

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université des Frères Mentouri-Constantine 1

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Tronc Commun SNV

Cours d'Ecologie Générale

2^{ème} Année LMD



Par : Dr. Khalida FRAHTIA

Année Universitaire 2019-2020

AVANT-PROPOS

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 destiné aux étudiants de Deuxième Année Tronc Commun en Sciences de la Nature et de la Vie. Ce document comprend cinq chapitres portant sur les notions à la base d'Ecologie tels que les facteurs du milieu, la structure ainsi que le fonctionnement des écosystèmes.

SOMMAIRE

AVANT PROPOS	
INTRODUCTION.....	01

CHAPITRE I : Notion d'écosystème

1.1. Définition de l'écosystème.....	04
1.2. Domaines d'intervention.....	04
1.3. Description sommaire des principaux écosystèmes.....	05
1.3.1. Ecosystème forestier.....	05
1.3.2. Ecosystème prairial.....	05
1.3.3. Ecosystème des eaux de surface.....	06
1.3.3.1. Eaux courantes.....	06
1.3.3.2. Eaux stagnantes	06
1.3.4. Ecosystème océanique.....	07
1.4. Evolution des écosystèmes et notion de Climax.....	07

CHAPITRE II: Facteurs du milieu

2.1. Facteurs abiotiques.....	11
2.1.1. Facteurs climatiques.....	11
2.1.1.1. Température.....	12
2.1.1.2. Pluviométrie et hygrométrie.....	16
2.1.1.3. Lumière.....	18
2.1.1.4. Vent.....	20
2.1.1.5. Neige.....	20
2.1.2. Facteurs édaphiques.....	21
2.1.2.1. Facteurs physiques.....	21
2.1.2.1.1. Texture.....	21
2.1.2.1.2. Structure.....	22
2.1.2.1.3. Hygrométrie.....	23
2.1.2.2. Facteurs chimiques.....	24
2.1.2.2.1. pH du sol.....	24
2.1.2.2.2. Eléments minéraux.....	24
2.1.3. Facteurs Hydriques.....	26
2.1.3.1. Facteurs physiques.....	26
2.1.3.1.1. Densité.....	26
2.1.3.1.2. Courants.....	27
2.1.3.1.3. Lumière.....	28
2.1.3.2. Facteurs chimiques.....	28
2.1.3.2.1. Gaz dissous.....	28
2.1.3.2.2. Salinité.....	28
2.2. Facteurs biotiques.....	29
2.2.1. Compétitions.....	29
2.2.1.1. Compétition intraspécifique.....	30
2.2.1.2. Compétition interspécifique.....	31
2.2.2. Ravageurs et prédateurs.....	31
2.2.3. Coopération et symbiose.....	32
2.2.4. Parasitisme.....	32
2.2.5. Effet de groupe.....	33
2.2.6. Effet de masse.....	34

2.2.7. Commensalisme.....	34
2.2.8. Amensalisme.....	35
2.2.9. Neutralisme.....	35
2.3. Interaction des milieux et des êtres vivants.....	35
2.3.1. Rôle des facteurs écologiques dans la régulation des populations.....	35
2.3.2. Notion d'optimum écologique.....	35
2.3.3. Valence écologique.....	36
2.3.4. Loi du minimum.....	37
2.3.5. Notion de niche écologique.....	37

CHAPITRE III: Structure et fonctionnement des écosystèmes

3.1. Notion de chaîne alimentaire.....	38
3.1.1. Producteurs.....	38
3.1.2. Consommateurs.....	38
3.1.2.1. Herbivores (Consommateurs primaires).....	39
3.1.2.2. Carnivores (Consommateurs à plusieurs degrés).....	39
3.1.2.3. Parasites.....	39
3.1.3. Détritivores et décomposeurs.....	40
3.1.3.1. Détritivores.....	40
3.1.3.2. Décomposeurs.....	41
3.2. Principaux types de chaîne alimentaire.....	41
3.3. Flux d'énergie au niveau de la biosphère.....	42
3.4. Pyramides écologiques, productivité et rendements bioénergétiques.....	44
3.4.1. Pyramides écologiques.....	44
3.4.2. Productivité.....	47
3.4.2.1. Productivité primaire.....	47
3.4.2.2. Productivité secondaire.....	47
3.4.3. Rendements bioénergétiques.....	48
3.5. Circulation de la matière dans les écosystèmes et principaux cycles biogéochimiques.....	49
3.5.1. Cycle de l'eau.....	49
3.5.2. Cycles biogéochimiques à phase gazeuse.....	51
3.5.2.1. Cycle du carbone.....	51
3.5.2.2. Cycle de l'azote.....	52
3.5.3. Cycles biogéochimiques à phase sédimentaire.....	54
3.5.3.1. Cycle du phosphore.....	54
3.6. Stabilité des écosystèmes.....	56
3.7. Perturbation des cycles biogéochimiques.....	56
3.7.1. Pollution atmosphérique.....	56
3.7.2. Pluies acides.....	57
3.7.3. Eutrophisation.....	57
3.7.4. Trou dans la couche d'ozone Effet de	58
3.7.5. Effet de serre	59
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	60

INTRODUCTION

Le mot « écologie » vient du grec *Oïkos* (Demeure, habitat) et *Logos* (Science) ; c'est donc littéralement la science de la demeure, de l'habitat. Le terme fut introduit en 1866 par le biologiste allemand Ernst Haeckel qui définit l'écologie comme "la science des relations des organismes avec le monde environnant, c'est-à-dire, dans un sens large, la science des conditions d'existence".

Une autre définition a été proposée par Dajoz (1983) pour qui : " L'écologie est la science qui étudie les conditions d'existence des êtres vivants, les interactions de toutes sortes qui existent entre ces êtres vivants d'une part et entre ces êtres vivants et le milieu d'autre part. Il s'agit de comprendre les mécanismes qui permettent aux différentes espèces d'organismes de survivre et de coexister en se partageant ou en se disputant les ressources disponibles (Espace, temps, énergie, matière,...) "

Le sens du mot écologie a subi une dérive depuis que le grand public a été saisi des problèmes environnementaux (1965-1970). Il faut donc distinguer plusieurs vocables :

- **L'écologie** est une science ;
- **L'écologisme** (Environnementalisme) est l'activité politique visant à l'amélioration du milieu de vie de l'humanité ;
- **Les écologues** sont les scientifiques faisant de la recherche en écologie ;
- **Les écologistes** (Environnementalistes) sont les activistes de l'écologisme.

Le champ d'étude de l'écologie est local ou mondial, spécifique ou général, dépendant des questions auxquelles le scientifique essaie de répondre. Un écologue peut déterminer la température et la lumière nécessaire à un chêne isolé, un autre peut étudier tous les organismes qui vivent dans une forêt où l'on trouve ce chêne et un autre peut examiner comment les nutriments circulent entre la forêt et les communautés environnantes. L'écologie est la science la plus vaste des sciences de la nature et elle est liée à chacune des autres disciplines de la biologie. L'universalité et la pluridisciplinarité de l'écologie relient des domaines qui ne font pas partie de la biologie de façon traditionnelle tels : La climatologie, l'hydrologie, les statistiques, l'océanographie, la chimie, la physique, la géologie, la pédologie, la physiologie, l'éthologie, l'économie, la politique,...etc. En effet, l'écologie étudie non seulement chaque élément dans ses rapports avec les autres

éléments, mais aussi l'évolution de ces rapports selon les modifications que subissent le milieu et les populations animales et végétales. Ces rapports sont décrits du plus petit niveau jusqu'au niveau le plus global. Certaines de ces sous-disciplines sont : **L'écophysiologie** (Etude de la physiologie des organismes vivants en fonction des facteurs écologiques), **l'autoécologie** (Etude des relations entre un type d'organisme et son milieu), **l'écologie des populations** (Etude des relations entre une population d'individus d'une même espèce et son environnement), **la synécologie** (Etude des biocénoses et des écosystèmes), **l'écotoxicologie** (Etude des polluants dans les écosystèmes), **l'écologie de la conservation** (Ensemble des mesures visant à maintenir, restaurer et protéger les ressources naturelles)...etc.

Comment le champ de l'écologie s'ajuste-t-il dans l'organisation du monde biologique ?

L'une des caractéristiques de la vie est son degré d'organisation élevé. Les atomes s'organisent pour former des molécules, qui à leur tour composent des cellules. Dans les organismes multicellulaires, les cellules forment des tissus, les tissus des organes. Les organes sont organisés en systèmes comme le système nerveux et le système digestif. Les systèmes forment à leur tour des organismes individuels.

Les écologues s'intéressent surtout aux niveaux d'organisation biologique qui comprennent l'individu et/ou des niveaux supérieurs.

-**L'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).

-**L'espèce** est l'ensemble d'individus interféconds et génétiquement isolés des autres ensembles équivalents du point de vue reproductif.

-**La population** est un groupe d'individus de la même espèce occupant un territoire particulier à une période donnée.

-**Le peuplement** est l'ensemble des individus appartenant à plusieurs espèces (Populations) qui coexistent dans un même milieu et forment des ensembles fonctionnels.

-**Une communauté (Biocénose)** est l'ensemble des peuplements d'un même milieu, c'est-à-dire le peuplement animal (Zoocénose) et/ou végétal (Phytocénose) qui vivent dans les mêmes conditions de milieu et au voisinage les uns des autres. **Ex.:** Communauté vivante d'une forêt (Animaux et végétaux).

-Un **écosystème** est l'ensemble de la communauté vivante (**Biocénose**) et de son milieu physico-chimique (**Biotope**).

-Un **biome** est une grande région terrestre qui a un climat, un sol, des plantes et des animaux spécifiques. On peut citer : La toundra, la forêt boréale, la forêt tempérée, la forêt tropicale humide, la prairie, le désert ...

-La **biosphère** est l'enveloppe de la Terre comprenant tous les organismes vivants. Elle est constituée d'une partie de **l'atmosphère** (Enveloppe gazeuse qui entoure la Terre), une partie de **l'hydrosphère** (Compartiment «eau» de la Terre) et une partie de **la lithosphère** (Sol et roche de la couche terrestre).

CHAPITRE I : Notion d'écosystème

1.1. Définition de l'écosystème

La biosphère n'est pas peuplée de façon anarchique par les êtres vivants. Bien au contraire, ces derniers constituent des systèmes biologiques complexes consistant en autant de communautés spécifiques, associations de micro-organismes, plantes et animaux, inféodés à un milieu déterminé. Chaque communauté, que l'on dénomme « **biocénose** », présente un haut degré d'organisation dans les relations réciproques entre les divers individus, populations et espèces qui la composent ainsi qu'avec le milieu physico-chimique ambiant.

Chaque biocénose se développe en effet sur un substrat abiotique occupant une surface ou un volume variable et soumis à des conditions homogènes que l'on dénomme « **biotope** ». Ce dernier est caractérisé par un ensemble de facteurs de nature physique ou chimique : Localisation géographique, intensité du flux solaire, vent, température, hygrométrie, courants (En milieu aquatique), concentration en substances biogènes : Eau, gaz carbonique, oxygène, éléments minéraux nutritifs, etc. Chaque biotope constitue donc le support physique d'une biocénose spécifiquement définie par un ensemble de facteurs de milieu appelés « **facteurs écologiques** ». Il est donc possible de distinguer parmi les divers milieux et les innombrables êtres vivants qui peuplent la biosphère un ensemble d'unités fonctionnelles de nature écologique stables dans le temps dénommé « **écosystème** ». Ce terme désignant l'association d'un environnement physico-chimique spécifique (Biotope) avec une communauté vivante (Biocénose). Partant de ces définitions, nous pourrions être tentés comme l'ont fait de nombreux auteurs depuis Transley (1935) de définir l'écosystème par l'équation suivante :

$$\text{Ecosystème} = \text{Biotope} + \text{Biocénose}$$

1.2. Domaines d'intervention

La notion d'écosystème est multiscalaire (multi-échelle), c'est à dire qu'elle peut s'appliquer à des portions de dimensions variables de la biosphère. On distingue : Microécosystème (**Ex. : Arbre**), mésoécosystème (**Ex. : Forêt**) et macroécosystème (**Ex. : Région**).

Les écosystèmes sont souvent classés par référence aux biotopes concernés :

- **Ecosystèmes continentaux (Terrestres)** tels que les écosystèmes forestiers (Forêts).
- Ecosystèmes prairiaux (Prairies).
- Agroécosystèmes (Systèmes agricoles).
- **Ecosystèmes des eaux continentales** tels que les écosystèmes lentiques (Lacs, étangs) et les Ecosystèmes lotiques (Rivières, fleuves)
- **Ecosystèmes océaniques** (Mers, océans).

1.3. Description sommaire des principaux écosystèmes

1.3.1. Ecosystème forestier

La définition de la forêt, selon la F.A.O. (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture) correspond à un couvert arboré de plus de 10% sur au moins 0.5 hectare, et atteignant une hauteur supérieure à 5 m à maturité.

La forêt offre d'innombrables biens et services aux êtres vivants : Elle constitue à la fois, un stabilisateur des sols et du climat, régulateur des cours d'eau, dispensateur d'ombrage et d'abris ainsi qu'un habitat pour les pollinisateurs et les ennemis naturels des ravageurs d'importance agricole. En plus d'être une source appréciable de nourriture, d'énergie et de revenu, la forêt contribue également à la sécurité alimentaire de centaines de millions de personnes. On peut citer les forêts boréal ou Taïga (Caractérisées par des forêts de conifères sempervirents, couvrant environ 11% de la surface de la Terre), les forêts sempervirentes tempérées (Un des écosystèmes les plus complexes au monde en termes de richesse), les forêts décidues tempérées (Parmi les premiers biomes à être transformés à des fins agricoles), les forêts tropicales décidues (Typiques des régions où les pluies sont saisonnières),...

1.3.2. Ecosystème prairial

Les prairies apparaissent quand la pluviométrie est insuffisante pour permettre un bon développement des arbres, mais suffisante pour que les graminées et autres plantes herbacées puissent former une couverture plus ou moins continue. Les graminées se régénèrent au début de chaque saison de croissance à partir de bourgeons situés au niveau du sol ou en dessous et elles possèdent de nombreuses racines minces. Au cours de longues périodes, avec l'aide des animaux fousseurs, les sols des prairies ont tendance à former des horizons organiques épais. Ces sols conviennent parfaitement à l'agriculture (Prairies

transformées en cultures). Dans les régions trop sèches, les prairies (Impropre à l'agriculture) sont utilisées pour l'élevage. A noter que les prairies qui reçoivent le plus d'eau sont dominées par de grandes herbes en touffes serrées ou gazon dense. Si les précipitations sont moindres, la taille des plantes diminue et la couverture est moins dense.

1.3.3. Ecosystème des eaux de surface

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

1.3.3.1. 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).

1.3.3.2. 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** peut être définie comme toute pièce d'eau de moins de un mètre de profondeur, c'est à dire un plan d'eau où les radiations infrarouges pénètrent jusqu'au fond. La dissipation de cette énergie chauffe donc la vase qui en automne restitue la chaleur emmagasinées, permettant un développement très décalé dans le temps d'organismes benthiques tardifs au printemps et à survie automnale longue. Comme le recyclage des éléments minéraux y est extrêmement rapide, la quantité de phytoplancton est importante, permettant la prolifération du zooplancton et de poissons tolérants vis-à-vis des conditions d'oxygénation.
- **Un étang** est une pièce d'eau dont la profondeur est inférieure à 10 m mais où le vent est en toute saison susceptible de provoquer un brassage total de la colonne d'eau. Ceci implique une remontée permanente des éléments minéraux, favorisant ainsi le développement du phytoplancton.

- **Un lac** est un écosystème suffisamment profond pour que se manifeste en été une stratification thermique. Cela empêche le mélange des eaux supérieures chaudes pauvres en éléments nutritifs avec les eaux profondes et froides riches en sels minéraux. Un lac est caractérisé par trois zones : La zone littorale où croissent les macrophytes, la zone pélagique où se développent le plancton et les poissons et la zone benthique où vivent des organismes sténothermes exigeants des températures froides.

1.3.4. Ecosystème océanique

L'océan mondial désigne la quasi-totalité de l'hydrosphère puisque l'ensemble des eaux continentales correspond tout au plus à 3% de cette dernière, recouvrant 71% de la surface terrestre totale soit environ 360 millions de km². Ce compartiment de la biosphère contrôle l'ensemble des climats globaux par le jeu des échanges d'énergie et d'eau avec l'atmosphère. L'océan présente un ensemble de particularités physiques très remarquables. Sa profondeur moyenne est considérable, de l'ordre de 4000 m alors que seulement 2% des terres émergées excèdent 3000 m d'altitude, 77% de la surface océanique correspond à des fonds situés à plus de 3000 m.

L'océan mondial peut se subdiviser horizontalement en **province néritique** (Eaux de profondeur inférieure à 200 m) et en **province océanique** (Au-delà de 200 m et représente les eaux de grand large).

Alors que la luminosité ainsi que la température des eaux ne jouent qu'un rôle mineur dans ce type d'écosystème, c'est la teneur des mers en phosphates et nitrates qui constituent le facteur limitant primordial du développement des biocénoses océaniques.

1.4. Evolution des écosystèmes et notion de Climax

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 détruit 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.1**).

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 physico-chimique).

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.

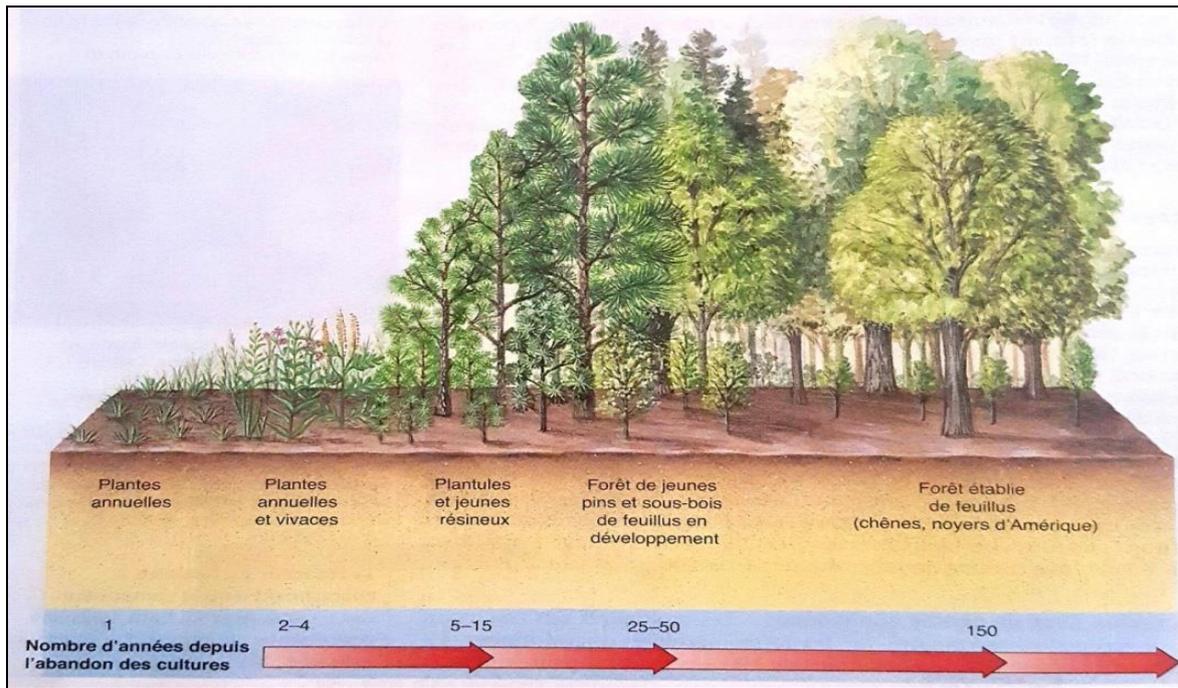


Figure 1 : Succession secondaire sur un champ abandonné en Caroline du Nord (Etats-Unis) (Berg et al., 2009).

CHAPITRE II : Facteurs du milieu

Le facteur de milieu ou **facteur écologique** est défini comme étant tout élément du milieu ayant un impact direct sur les êtres vivants. Il existe plusieurs modalités de classification des facteurs écologiques :

1° On peut distinguer des facteurs écologiques « **indépendants de la densité** », qui doivent leur nom au fait que leur action sur les êtres vivants est totalement indépendante de la densité des effectifs des populations de toute espèce pour laquelle ils constituent des facteurs limitant. La quasi-totalité des facteurs abiotiques de nature physique ou chimique est incluse dans ce groupe. **Ex.** : Froid, sécheresse et pulvérisation d'un pesticide, provoqueront dans les populations exposées un certain pourcentage de mortalité, dont la valeur dépendra exclusivement de l'intensité du facteur considéré et non de la densité des effectifs qui le subissent. A l'inverse, existent des facteurs « **dépendants de la densité** », essentiellement biotiques, exerçant une action directement liée aux densités des populations atteintes. **Ex.** : La quantité de nourriture disponible pour chaque individu et les risques de propagation d'une épidémie dépendent des densités atteintes par les populations concernées. Les facteurs biotiques contrôlent donc la stabilité des effectifs en empêchant la surpopulation (Ressources se raréfiant et forte compétition entre individus) ou au contraire, en favorisant leur croissance lorsque les densités sont basses (Ressources abondantes et faible compétition).

2° On peut aussi utiliser une classification « spatiale » des facteurs écologiques qui tient compte de la nature du milieu dans lequel ils exercent leur action. Celle-ci comporte **les facteurs climatiques, édaphiques, hydriques,...**

3° Et enfin, une troisième modalité qui distingue **les facteurs abiotiques** de nature physique ou chimique (Facteurs climatiques, composition chimique d'un sol,...) des **facteurs biotiques** qui consistent aux interactions entre êtres vivants (Parasitisme, prédation,...).

2.1. Facteurs abiotiques

Les facteurs abiotiques sont scindés en facteurs climatiques, édaphiques et hydriques.

2.1.1. Facteurs climatiques

Le climat est l'ensemble des circonstances atmosphériques et météorologiques propres à une région du globe. Le climat d'une région est déterminé à partir de l'étude

des paramètres météorologiques (Température, taux d'humidité, précipitations, force et direction du vent, durée d'insolation,...etc) évalués sur plusieurs dizaines d'années. De part et d'autre de l'Equateur et en se déplaçant vers les pôles, on trouve un climat équatorial, tropical, subtropical, tempéré, subpolaire et polaire. Cependant, il existe des variations considérables qui peuvent s'étudier sur des échelles spatiales différentes. Nous distinguerons :

- **Macroclimat (Régional)** : A l'intérieur des grandes zones les conditions climatiques ne sont pas uniformes. **Ex.** : En Algérie, il existe plusieurs régions climatiques : Région à climat tempéré humide de type méditerranéen (Tell), régions à climat continental (Hautes plaines) et régions à climat aride et sec (Sahara).
- **Mésoclimat (Local)** : **Dans une région climatique, le climat n'est pas le même en tous lieux. Nous distinguons des climats locaux variables suivant l'altitude, l'éloignement de la mer, l'exposition...etc.** **Ex.** : Climat d'une forêt.
- **Microclimat** : Conditions climatiques limitées à une région géographique très petite, significativement distinctes du climat général de la zone résultant de la modification du climat local par la topographie, le couvert végétal... Il est **défini par les écologues comme étant le climat « à l'échelle de l'organisme »**. **Ex.** : Climat sous un arbre ou une pierre.

Parmi les facteurs climatiques on distingue des facteurs énergétiques (Lumière, température), hydrologiques (Précipitations, hygrométrie) et mécaniques (Vent, enneigement).

2.1.1.1. Température

Grandeur physique à laquelle nous sommes le plus sensible. La notion du temps qu'il fait est intrinsèquement liée au sentiment de chaud ou de froid. La température traduit l'agitation moléculaire des gaz atmosphériques, conséquence des chocs entre leurs molécules. Elle représente un facteur limitant de toute première importance car :

- Toute hausse de température accélère le métabolisme selon la loi de Q_{10} , qui exprime la variation de vitesse d'une réaction biochimique ou d'un phénomène physico-chimique lorsque la température s'élève de 10°C.
- La température agit directement sur les activités enzymatiques et sur toute une série de phénomènes physico-chimiques extrêmement importants au niveau cellulaire. Elle contrôle, par voie de conséquence la respiration, la croissance, la photosynthèse, les activités locomotrices, la résistance à des facteurs défavorables du milieu,...etc.

- Les limites des aires de répartition géographique sont souvent déterminées par la température (Facteur limitant). Très souvent ce sont les températures extrêmes plutôt que les moyennes qui limitent l'installation d'une espèce dans un milieu.

L'intervalle thermique dans lequel la vie est possible est compris entre -200°C et $+100^{\circ}\text{C}$. **Ex.1:** Certaines Cyanophycées capables de se développer dans des eaux dont la température dépasse 80°C . **Ex.2 :** Certains spores de Cryptogames et kystes de Nématodes peuvent supporter des températures inférieures à -180°C . Cela résulte de leur aptitude à survivre en état **d'anhydrobiose** (L'organisme est fortement déshydraté et les fonctions vitales sont complètement ou presque complètement arrêtées). Cependant, l'intervalle de tolérance de la plupart des espèces vivantes est généralement beaucoup plus étroit, tout au plus de l'ordre d'une soixantaine de degrés (60°C) même pour les organismes déjà très **eurythermes** (Organismes doués d'une haute tolérance écologique par rapport à la température). A l'opposé, les **sténothermes** ne tolèrent qu'un intervalle limité de températures ambiantes en période de vie active. **Ex.1 :** La Puce des neiges (*Boreus hyemalis*) est un insecte eurytherme qui demeure actif entre -12 et 32°C . **Ex. 2 :** La Truite de rivière (*Salmo trutta*) est un poisson sténotherme dont la température optimale est de 7 à 17°C et la température létale est de 22 à 25°C . Le plus fort degré de **sténothermie** s'observe chez les organismes océaniques, car l'amplitude annuelle des températures est beaucoup plus faible en milieu aquatique qu'en milieu terrestre, justifié par la capacité calorifique de l'eau qui est beaucoup plus forte que celle de l'air (1m^3 d'eau à 30°C stocke 500 fois plus de chaleur que le même volume d'air à cette température). En conséquence, les biotopes aquatiques présentent une inertie thermique beaucoup plus forte que celle des biotopes terrestres qu'ils jouxtent. Ils se réchaufferont donc beaucoup moins en été et à l'opposé seront moins froids que ces derniers en période hivernale.

Les organismes vivants s'adaptent différemment aux variations thermiques, on distingue :

-Organismes éctothermes (Hétérothermes, poïkilothermes, à sang froid) : Organismes incapables de réguler leur température corporelle, ils se réchauffent s'il fait plus chaud et se refroidissent s'il fait plus froid. **Ex. :** Invertébrés, poissons, amphibiens, reptiles,...

-Organismes endothermes (Homéothermes, à sang chaud) : Organismes capables de réguler et maintenir leur température corporelle à un niveau constant (37°C pour les mammifères). **Ex. :** Mammifères, oiseaux...

-Organismes microthermes (Oligothermes) : Organismes adaptés à de basses températures. **Ex. :** Le Poisson des glaces (*Trematomus bernacchii*) est un poisson de l'océan glacial arctique qui vit entre -2.5 et 2°C.

-Organismes mégathermes (Polythermes) : Organismes adaptés à des températures élevées. **Ex. :** Les Madrépores (Corail) vivent dans les massifs coralliens entre 20 et 27°C.

On appelle **température optimale**, la température à laquelle le développement et les réactions métaboliques se déroulent de la meilleure manière possible avec le minimum de dépenses énergétiques.

- **Réactions des êtres vivants aux conditions thermiques défavorables**

Les plantes les plus résistantes aux hautes températures sont celles des déserts subtropicaux où l'on relève les records de chaleur enregistrés en 2009 (56.7°C dans la Vallée de la Mort en Californie et 55.9°C dans le Fezzan en Libye correspondant à des températures de l'air de l'ordre de 58 à 60°C). On conçoit dans de telles circonstances l'existence de certaines plantes xérophiiles comme les cactées, pouvant supporter jusqu'à 65°C.

Chez les vertébrés, diverses adaptations morphologiques accompagnent la résistance au froid :

-En sus d'un plumage pourvu d'un épais duvet ou d'une fourrure épaisse particulièrement isolants, ces animaux sont pourvus d'une forte couche de graisse sous-cutanée. **Ex. :** Manchots, phoques,...

-Une tendance à la réduction de la longueur des appendices : Oreilles, queue, cou, pattes et ailes, d'autant plus accentuée que l'on se rapproche des régions polaires (Règle d'Allen). **Ex.:** Le Renard Polaire possède les oreilles les plus petites de tous les renards. Cette adaptation permet à l'animal des milieux chaud de rayonner de la chaleur et de lutter ainsi contre l'élévation de sa température corporelle. **Ex.:** Le Fennec (*Fenecus zerda*) ayant de très grandes oreilles est inféodé aux déserts subtropicaux.

-La taille et donc la masse des espèces tendent à croître avec la latitude (Loi de Bergmann). **Ex. :** Le Manchot Empereur qui atteint les 50 kg se rencontre aux latitudes les plus australes, tandis que le plus petit, le Manchot de Galápagos qui pèse moins de 3 kg, vit à l'équateur.

Chez les invertébrés, la résistance aux températures extrêmes est très variable. De façon générale elle est plus forte chez les eurythermes que chez les sténothermes, et plus accentuée chez les formes de durée (Œufs d'hiver, nymphes en état de vie ralentie, kystes,...) que chez les stades métaboliquement actifs. Trois schémas pour l'ensemble des mécanismes d'adaptation aux conditions thermiques sont observés chez les insectes. Ils sont essentiellement représentés par l'adoption de modes de vie ralentie correspondant à :

- Une déshydratation poussée à un très haut degré.
- Un ajustement du métabolisme et du rythme d'activité au déroulement des saisons.
- La sélection des génotypes thermiquement les mieux adaptés (Intéresse l'espèce).

Les arthropodes ainsi que d'autres invertébrés susceptibles d'être exposés à une phase de gel ou de chaleur excessive au cours de leur cycle vital subissent des arrêts de développements (Chez les jeunes stades) ou d'activité (Chez les adultes) pendant ces périodes défavorables. Selon qu'ils soient facultatifs ou obligatoires, de tels arrêts sont dénommés **quiescence** ou **diapause**. A l'opposé de la quiescence, l'état de diapause se caractérise par un arrêt obligatoire et prolongé de développement et/ou d'activité de plusieurs mois, voire de plusieurs années. Selon le stade auquel elle s'effectue, on distingue des diapauses ovulaire, embryonnaire, larvaire, nymphale et/ou imaginale (Stade adulte). La diapause intervient alors que les conditions écologiques sont encore favorables à l'espèce qui la subit.

Chez beaucoup d'animaux, un état de quiescence dénommé **hibernation** apparaît en début de période hivernale. **Ex.** : Hormis la pression artérielle qui reste élevée, l'hibernation chez certains rongeurs (Spermophiles) s'accompagne d'une baisse de la température corporelle (4.5°C), le rythme respiratoire d'une inspiration par minute et celui du cœur de deux à trois pulsations par minute. Au-dessous d'une température de l'air de 3.3°C, l'activité métabolique du rongeur s'accroît, en particulier si la température de l'environnement tombe au-dessous du point de congélation de l'eau afin de maintenir la température corporelle au-dessus de 3.5°C. A la fin de la période d'hibernation, et lorsque la température de l'air atteint dans le terrier une vingtaine de degrés, celle du corps du rongeur passe de 3.5°C à 17.5°C en à peine une heure et demie. A partir de 24°C, l'animal ouvre les yeux et s'assied. Trois heures après, il est déjà en pleine activité.

A l'inverse, les espèces déserticoles évitent les chaleurs excessives en s'enfouissant au fond de galeries souterraines aux heures les plus chaudes de la journée lors de

l'estivation. Ce processus consiste à un arrêt d'activité provoqué par les hautes températures estivales (Généralement associées à une sécheresse prolongée). Elle est beaucoup plus fréquente chez les invertébrés. On l'observe cependant chez divers poissons des rivières temporaires des zones tropicales soumises à une période de quasi-assèchement estival, chez des mammifères insectivores, amphibiens et reptiles des zones arides.
Ex. : Tortue, escargot,...

La solution parfaite qui échappe aux organismes dépourvus de grandes possibilités de déplacement actif, reste **la migration**, comme celle des oiseaux et des insectes qui constitue la solution radicale du problème. En automne, les oiseaux quittent à l'état adulte, des régions qui vont bientôt devenir trop froides et par conséquent trop pauvres en nourriture. Ils reviendront au printemps. La ponte, l'éclosion surtout, et les premières semaines de vie des jeunes se dérouleront ensuite dans des conditions thermiques optimales pour l'espèce. **Ex. :** Flamant Rose, Monarque.

2.1.1.2. Pluviométrie et hygrométrie

La **pluviométrie désigne** la quantité totale de précipitations (Pluie, grêle, neige) reçu par unité de surface et par unité de temps. Elle constitue un facteur écologique d'importance fondamentale pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes. La répartition annuelle des précipitations est importante aussi bien par son rythme que par sa valeur volumique absolue. En réalité, le bilan hydrique du sol est tout aussi important que la valeur absolue des précipitations, vu qu'il exprime la différence entre les apports d'eau et les pertes par évaporation du sol nu ainsi qu'avec celles qui résultent de l'évapotranspiration végétale. Cette dernière est prépondérante dans le bilan hydrique des plantes. Entre 97 et 99% de l'eau absorbée par les végétaux est perdue par évapotranspiration. Ces pertes d'eau sont conditionnées par la plus ou moins grande siccité de l'atmosphère, laquelle dépend de la plus ou moins grande quantité de vapeur d'eau contenue par unité de volume d'air, c'est-à-dire **l'hygrométrie**.

L'eau représente de 70 à 90% des tissus de beaucoup d'espèces en état de vie active. L'approvisionnement en eau et la réduction des pertes constituent des problèmes écologiques et physiologiques fondamentaux. En fonction de leurs besoins en eaux, et par conséquent de leur répartition dans les milieux, on distingue :

-**Espèces aquatiques** qui vivent dans l'eau en permanence. **Ex. :** Poisson, corail.

-**Espèces hygrophiles** qui vivent dans des milieux humides. **Ex.** : Amphibiens, animaux des grottes.

-**Espèces xérophiles** qui vivent dans les milieux secs, désertiques. **Ex.** : Scorpion, chameau.

- **Réactions des êtres vivants aux conditions hydriques**

Chez les végétaux, les espèces xérophytes présentent diverses adaptations morphologiques à l'absence d'eau pendant une période prolongée, visant essentiellement la réduction de l'évapotranspiration par :

- Développement de structures cuticulaires cireuses et imperméables.
- Implantation systématique des stomates au fond de profondes dépressions et leur fermeture pendant la journée, permettant ainsi la diminution des pertes par évaporation.
- Réduction de la surface des feuilles (Transformées en écailles ou en épines).
- Adoption d'une forme subhémisphérique ou ovoïde dépourvue d'organes foliaires présentant le plus faible rapport surface/volume.
- Chute des feuilles à la saison sèche et réapparition après chaque pluie (Aphillie).
- Développement d'un appareil souterrain puissant, dont la biomasse dépasse celle des parties aériennes afin d'assurer son alimentation en eau.
- Mise en réserve d'eau dans les tissus aquifères associés à une bonne protection épidermique.
- Quasi-anhydrobiose pendant la saison sèche.

Chez les animaux xérophiles, la résistance à la sécheresse s'accompagne aussi de diverses adaptations morphologiques, écophysiologiques et comportementales destinées à limiter les pertes d'eau par respiration et excrétion, en adoptant les stratégies suivantes :

- 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.
- Récupération de l'eau contenue dans les fèces par l'intermédiaire des tubes des Malpighi qui viennent en contact étroit avec le rectum (Cryptonéphridisme).
- Récupération de l'eau métabolique (Quand la vapeur d'eau respiratoire n'est pas exhalée, elle repasse dans le sang).
- Utilisation de l'eau produite par le métabolisme oxydatif des glucides et des lipides.
- Enfouissement dans de profondes galeries souterraines aux heures les plus chaudes de la journée ou en se plaçant à l'ombre lorsqu'il existe un couvert végétal suffisant.
- Anhydrobiose (**Ex.** : Mollusques, insectes, reptiles, amphibiens...).

2.1.1.3. Lumière

L'énergie solaire est le produit de la réaction d'une énorme fusion nucléaire et est mise dans l'espace sous forme de radiation électromagnétique, en particulier la lumière visible et les rayons infrarouges et ultraviolets, qui ne sont pas visibles par l'œil humain. Un milliardième de l'énergie totale émise par le soleil frappe notre atmosphère, et de cette minuscule quantité d'énergie, une partie infime fait fonctionner la biosphère. Les nuages et, dans une moindre mesure, les surfaces (En particulier la neige, la glace et l'océan) réfléchissent environ 31% de la radiation solaire qui arrive sur Terre. Les 69% restants de la radiation solaire qui atteignent la Terre sont absorbés et font fonctionner le cycle de l'eau, poussent les vents et les courants marins, permettent la photosynthèse et réchauffent la planète.

L'éclairement joue un rôle primordial dans la plupart des phénomènes écologiques. Il a une action importante non seulement par son intensité et sa nature (Longueur d'onde) mais aussi par la durée de son action (Photopériode). Son intensité conditionne l'activité photosynthétique et donc l'ensemble de la production primaire de la biosphère et celle de chaque écosystème. En fonction de l'intensité lumineuse, on distingue des **espèces héliophiles** (De lumière) et des **espèces sciaphiles** (D'ombre). Les héliophytes (Plantes de lumière) présentent leur croissance maximale sous de forts éclaircements et ne tolèrent pas l'ombre d'autres individus. **Ex.:** Ciste, Romarin. Les sciaphytes nécessitent quant à elles, une ombre forte voire très dense pour leur croissance. **Ex.:** Fougère, Mousse.

Outre l'intensité, la durée de l'éclairement au cours du cycle nyctéméral appelée **photopériode** correspond à une alternance de période d'obscurité (**Scotophase**) et à une période d'éclairement (**Photophase**). Les photopériodes courtes sont caractérisées par la prédominance de la scotophase, les photopériodes longues par celle de la photophase. En d'autres termes, la photopériode est le rapport entre la durée du jour et la durée de la nuit. Celle-ci varie selon la latitude et les saisons sauf à l'équinoxe de printemps (21 mars) et l'équinoxe d'automne (22 septembre), où elle est de 12 h de nuit et 12 h de jour quelle que soit la latitude considérée. On note également que le jour le plus court correspond au solstice d'hiver (21 décembre), tandis que le jour le plus long correspond au solstice d'été (21 juin). La photopériode croît de l'équateur vers les pôles. A l'équateur, les jours sont rigoureusement égaux aux nuits pendant toute l'année. Au tropiques, l'inégalité reste

faible et pratiquement sans influence. Aux très hautes latitudes, c'est-à-dire au-delà du cercle polaire, nuits et jours dépassent les 24h.

- **Réactions des êtres vivants aux conditions d'éclairement**

Chez les végétaux, la photopériode joue un rôle essentiel dans la plupart des écosystèmes car elle contrôle la germination des végétaux, l'entrée en dormance et la reprise d'activité des bourgeons de l'apex des tiges et sur les rameaux, leur croissance, la chute automnale des feuilles des arbres caducifoliés ainsi que la floraison. L'adaptation des végétaux est importante lorsque les végétaux passent du stade végétatif (Croissance et développement) au stade reproductif (Floraison). Les végétaux peuvent être divisés en trois catégories :

-Végétaux de jours courts (Nyctipériodiques) : Ces végétaux ne fleuriront que si la photopériode au moment de l'éclosion des bourgeons est inférieure ou égale à 12h d'éclairement (Prédominance de la scotophase). **Ex.** : Canne à sucre, soja,...

-Végétaux de jours longs (Héméropériodiques) : Qui ont besoin pour fleurir d'au moins 12h d'éclairement (Prédominance de la photophase). **Ex.:** Betterave, épinard,...

-Végétaux indifférents (Photoapériodiques) : Dont la floraison n'est pas contrôlée par la photopériode. **Ex.** : Espèces tropicales.

Chez les animaux, le rôle essentiel de la photopériode réside dans l'entretien des rythmes biologiques :

- **Rythmes biologiques saisonniers**

Chez de nombreuses espèces d'oiseaux, le développement testiculaire auquel est associé celui du plumage nuptial, est conditionné par un réflexe initié par l'allongement de la durée du jour pendant la période hivernale. En outre, les migrations animales sont aussi sous la dépendance de la photopériode. Chez les pucerons, l'apparition des formes migrantes est induite par les photopériodes longues. Il en est de même chez les oiseaux, ce qui explique que leur départ automnal vers le sud peut avoir lieu dans les régions boréales même si les conditions climatiques sont encore favorables et la nourriture suffisante. Chez les arthropodes terrestres, la cessation d'activité à diverses phases du cycle vital pendant la mauvaise saison (Diapause) est généralement conditionnée par la photopériode.

- **Rythmes quotidiens ou circadiens**

Correspondent à une périodicité de 24 h. Ils sont entretenus par un mécanisme interne appelé « horloge biologique », dont le réglage est conditionné par l'éclairement et la

température. Chez les vertébrés terrestres, l'activité journalière, l'alimentation et le repos nocturne (Ou diurne) sont déterminés par les heures de lever et de coucher du soleil ainsi que par la durée de la photopériode. De tels rythmes circadiens s'observent aussi en milieu marin. Les migrations verticales du zooplancton sont en particulier contrôlées par la photopériode.

2.1.1.4. Vent

Le vent est un mouvement de l'air dans l'atmosphère produit par des différentes pressions atmosphériques (Déplacement des zones de hautes pressions vers les zones de basses pressions). Il constitue en certains biotopes un facteur écologique limitant à cause de son impact sur les êtres vivants et qui peut se résumer comme suit :

- Augmente l'évaporation (Pouvoir de dessèchement et de refroidissement).
- Assure la dispersion des animaux et des végétaux.
- Ralentie l'activité des insectes.
- Crée en forêt des clairières dans lesquelles des jeunes arbres peuvent se développer.
- A un effet mécanique sur les végétaux couchés au sol qui prennent des formes particulières appelées **anémomorphose**.

2.1.1.5. Neige

C'est un facteur écologique de toute première importance dans les milieux subpolaires et montagnards. Il exerce des actions biologiques variées de natures thermique et mécanique. La couverture neigeuse par ses propriétés isolantes protège efficacement du froid la végétation et les animaux. **Ex.:** Rongeurs enfouis sous la neige. Alors que la température de l'air peut être inférieure à -50°C dans les zones de Toundra arctique, celle-ci peut s'élever à -20°C à la surface du sol à 60 cm en dessous de la couche neigeuse. En règle générale, la température de la neige à une dizaine de centimètres au-dessous de sa surface est à peine inférieure à 0°C . Ceci explique pourquoi les campagnols et d'autres rongeurs des régions froides peuvent résister aux basses températures malgré leur fourrure peu épaisse.

A l'opposé, la neige peut constituer un facteur écologique défavorable là où elle persiste longtemps car elle réduit la période végétative. Ainsi, on observe la présence d'associations végétales dites **chionophiles** adaptée à la persistance de la couverture neigeuse donc à une brève saison végétative. **Ex.:** Saule, mousses. En outre, l'accumulation de la neige sur les végétaux arborés et arbustifs exerce une action mécanique défavorable, courbant les tiges et provoquant la rupture des branches.

2.1.2. Facteurs édaphiques

Le sol est un milieu vivant complexe et dynamique, défini comme étant la formation naturelle de surface à structure meuble et d'épaisseur variable résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus physiques, chimiques et biologiques au contact de l'atmosphère et des êtres vivants. Autrement dit, les sols ou **pédosphère** résulte de l'interaction de deux compartiments biosphériques : L'atmosphère et les couches superficielles de la lithosphère. Il est formé d'une fraction minérale et de matière organique. Végétaux et animaux puisent du sol l'eau et les sels minéraux et trouvent l'abri et/ou le support indispensable à leur épanouissement. **On peut scinder les facteurs édaphiques en facteurs physiques et facteurs chimiques :**

2.1.2.1 Facteurs physiques

2.1.2.1.1. Texture

Tous les sols comportent deux fractions distinctes : L'une minérale et l'autre organique, intimement mélangées en complexe organo-minéral. La texture dépend de la nature des fragments de la roche mère ou de minéraux provenant de sa décomposition. Elle est définie par la grosseur des particules qui la composent : Eléments grossiers (Cailloux et graviers) ainsi que des éléments fins (Sables, limons et argiles) (**Tab.1**). La granulométrie est la mesure de la forme, de la dimension et de la répartition en différentes classes des grains et des particules de la matière divisée.

Tableau 1 : Classification granulométrique des éléments des sols (Ramade, 2009).

Élément	Classification pédologique (Ecologique)
Cailloux	>20mm
Graviers	2 à 20 mm
Sables	
-Grossiers	0.5 à 2 mm
-Moyens	50 µ à 0.5 mm
-Fins	20 µ à 50 µ
Limons	2 à 20 µ
Argiles	< 2 µ

La proportion relative des éléments fins constituant la fraction minérale permet de classer selon leur texture les divers types de sols. Elle présente une grande importance pour l'ensemble des écosystèmes terrestres, car c'est d'elle que dépend pour une grande part

la circulation de l'eau dans les sols. En fonction de la proportion des différentes fractions granulométriques on détermine les textures suivantes :

- **Textures fines** : Comportent un taux élevé d'argile et correspondent à des sols dits «lourds», difficiles à travailler, mais qui présentent un optimum de rétention d'eau.
- **Textures grossières** : Elles caractérisent les sols sableux, 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 correspondent aux meilleurs terres dites «franches».
 - Les sols à texture limoneuse, qui contiennent plus de 35% de limons et sont pauvres en humus (Matière organique du sol provenant de la décomposition des végétaux).

Sur le plan biologique, la granulométrie intervient dans la répartition des animaux et des eaux souterraines. Nombreux organismes préfèrent les sols limoneux ou argilo-sableux, présentant une teneur élevée en éléments fins et qui ont la faculté de retenir l'eau nécessaire (Contrairement aux éléments grossiers qui permettent une dessiccation trop rapide du sol).

2.1.2.1.2. Structure

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

- Particulaire** : Les éléments du sol ne sont pas liés. Le sol est très meuble. **Ex.** : Sols sableux.
- Massive** : Les éléments du sol sont liés par des ciments (**Ex.** : Matière organique, calcaire) durcies en une masse très résistante discontinue ou continue. **Ex.** : 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 interdisent l'existence.

- Fragmentaire** : Les éléments sont liés par des matières organiques et forment des agrégats (Mottes) 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 (Pores) qui favorisent la vie des racines et l'activité biologique en général en permettant la circulation de l'air et de l'eau.

La porosité constitue un autre paramètre édaphique important qui combine les critères propres à la texture et à la structure du sol considéré. La porosité peut se définir comme la proportion du volume des lacunes par rapport au volume total. De cette dernière dépend la circulation de l'eau et des gaz dans les sols, dont le rôle est essentiel aussi bien pour assurer le développement des plantes supérieures que celui de microflore et de la faune édaphique. La porosité décroît lorsque l'on passe de structures en agrégats très lacunaires vers des structures de plus en plus particulaires. Lorsque les sols particulaires sont dépourvus de sable, ils peuvent devenir asphyxiants car ni l'eau ni les gaz ne peuvent circuler normalement.

2.1.2.1.3. Hygrométrie

La capacité de rétention d'eau dans les sols varie beaucoup en fonction de leur porosité. Cette hygrométrie des sols se mesure généralement en pourcentage de l'eau contenue dans un sol par rapport au volume total de terre. La capacité qu'ont les molécules d'eau à être retenues à la surface des particules de sol constituant les parois des lacunes dépend de leur teneur en limons et argiles. En effet, la surface disponible pour la rétention de l'eau est d'autant plus grande que les particules seront plus petites. Il est à noter que la plus grande proportion d'eau utilisable par les plantes se rencontre dans les sols limoneux (25% d'eau utilisable par les plantes). Cette valeur est plus faible à la fois pour les sols sablonneux et argileux. Les premiers parce qu'ils se drainent facilement et n'ont qu'une faible capacité de rétention capillaire par suite de la grande taille de leurs particules, les seconds parce qu'ils possèdent au contraire une capacité de rétention élevée.

L'eau est présente dans le sol sous quatre états particuliers:

-L'eau hygroscopique : Proviens de l'humidité atmosphérique et forme une mince pellicule autour des particules du sol. Elle est retenue très énergiquement et ne peut être utilisée par les organismes vivants.

-L'eau capillaire non absorbable : Occupe les pores d'un diamètre inférieur à 0.2 mm. Elle est également retenue trop énergiquement pour être utilisée par les organismes vivants. Seuls certains organismes très adaptés peuvent l'utiliser.

-L'eau capillaire absorbable : Située dans les pores dont les dimensions sont comprises entre 0.2 et 0.8 mm. Elle est absorbée par les végétaux et permet l'activité des bactéries et des petits protozoaires comme les flagellés.

-**L'eau de gravité** : Occupe de façon temporaire les plus grands pores du sol avant de s'écouler spontanément vers le bas (Drainage) en alimentant les nappes phréatiques.

2.1.2.2. Facteurs chimiques

2.1.2.2.1. pH du sol

Le pH des eaux libres et interstitielles (Contenues dans la porosité) intervient de façon essentielle dans la nature et le développement des espèces végétales propres à tel ou tel écosystème terrestre ainsi que dans ceux de la microflore et de la faune édaphique. Selon la nature du pH de l'eau interstitielle, on distingue des sols acides ($\text{pH} < 7$), neutres (pH voisin de 7) et basique ($\text{pH} > 7$). Le pH des sols dépend du CO_2 , de la concentration et de la proportion relative des sels minéraux et des molécules organiques dissoutes dans cette eau de rétention qui résultent de divers facteurs pédologiques (Altération de la roche mère, humification de la matière organique, activité biologique, effet des engrais acidifiants,...). Le pH dépend également de la nature de la couverture végétale et des conditions climatiques (Température et pluviosité) puisque :

-Les pH basiques caractérisent les sols qui se développent sur une roche mère calcaire. On les rencontre généralement sous les climats secs ou saisonnièrement secs et sous une végétation présentant des feuilles à décomposition rapide.

-Les pH acides se rencontrent beaucoup plus sous les climats humides et froids favorables à une accumulation de la matière organique. Ils caractérisent les forêts de conifères et se forment surtout sur les roches siliceuses et les roches granitiques.

Le pH des sols conditionne la répartition des organismes. Selon la plus ou moins grande amplitude de pH tolérée, on distingue des **espèces euryioniques** à l'opposé des espèces **sténoioniques**. Parmi ces dernières, on distingue les espèces **acidiphiles**, **neutrophiles** et **basiphiles** selon qu'elles soient inféodées à des sols acides, neutres ou basiques. Il existe une étroite liaison entre teneur en calcium et degré d'acidité d'un sol, lesquels varient en sens inverse. On constate que les végétaux calcicoles sont neutrophiles ou basiphiles tandis que les plantes silicicoles sont acidiphiles.

2.1.2.2.2. Eléments minéraux

Les divers types de sols ont des compositions chimiques très variées. Les éléments les plus étudiés selon leur action sur la faune et la flore sont :

- **Phosphore** : Elément indispensable pour tous les êtres vivants puisqu'il est un des constituants essentiels des acides nucléiques. Présent dans les sols à l'état de phosphates, d'acide phosphorique ou bien comme anion libre en solution dans l'eau interstitielle, cet élément constitue souvent le principal facteur limitant par suite de sa faible concentration dans les sols.
- **Azote** : Représente avec les phosphates un des éléments minéraux dont la disponibilité est la plus importante pour le développement des autotrophes. L'accumulation d'azote organique provoque un enrichissement excessif du sol en nitrates (Voisinage des étables, enclos du batail,...) qui s'accompagne d'une multiplication des plantes nitrophiles qui peuvent envahir les pâturages.
- **Potassium** : Constitue aussi un élément nutritif essentiel pour les végétaux. En général les végétaux cultivés sont beaucoup plus exigeants en potassium que les plantes sauvages, mais il existe d'importants écarts selon les espèces entre les teneurs limites au-dessous desquelles se manifeste la carence.
- **Calcium** : Représente un constituant fondamental qui conditionne plus que tout autre les caractéristiques des sols, car de lui dépend la plupart des paramètres physico-chimiques du milieu édaphique. Sa plus ou moins grande concentration contrôle le pH, l'aération, la perméabilité et la résistance mécanique des sols. Le calcaire édaphique intervient de façon déterminante dans la répartition de nombreuses espèces végétales. Les plantes sont dites **calcicoles**, **indifférentes** ou **calcifuges** selon leur plus ou moins grande exigence en calcium, car cet élément est de toute façon indispensable à la nutrition minérale des végétaux. Contrairement aux calcicoles qui se rencontrent dans les biotopes où le calcium est abondant, les calcifuges se trouvent sur des terrains acides pauvres en cet élément. En conséquence, on distingue des communautés de calcicoles qui constituent des groupements végétaux propres aux régions calcaires et des communautés de calcifuges inféodés aux terrains siliceux.
- **Magnésium** : Représente, après le calcium, l'élément métallique le plus abondant chez les végétaux. Lorsqu'il est en excès par rapport au calcium, cet élément provoque des carences calciques.
- **Sodium** : Constitue l'élément prédominant dans les sols salés, qui se forment dans toutes les zones mal drainées situées dans des régions à climat sec ainsi que dans les milieux littoraux

soumis à l'invasion périodique des eaux marines. Bien que le sodium soit un élément indispensable pour tous les êtres vivants, sa concentration dans les sols, au-delà d'un certain seuil, interdit le développement normal de la plupart des espèces végétales. Les végétaux qui croissent sur des sols sursalés, appelés **plantes halophytes**, présentent plusieurs adaptations leur permettant de pallier les concentrations excessives en sels de sodium.

- **Oligo-éléments** : C'est une série d'éléments minéraux indispensables, à de faibles concentrations, pour le développement des plantes et/ou des animaux. La photosynthèse exige la disponibilité de manganèse, de fer, de chlore, de vanadium,...D'autres fonctions métaboliques des plantes nécessitent en sus de ces éléments le bore, le cobalt, le silicium,...La plupart de ces éléments sont également indispensables aux animaux qui requièrent en outre du fluor et de l'iode.

Les sols dits anormaux renferment de fortes concentrations d'éléments plus ou moins toxiques : Plomb, cadmium, soufre...Les métaux lourds exercent sur la végétation une action toxique qui entraîne la sélection d'espèces dites **toxicorésistantes** ou **métallophytes** formant des associations végétales particulières.

2.1.3. Facteurs hydriques

Le milieu aquatique présente un ensemble de singularités quant à la nature des facteurs écologiques qui le caractérisent.

2.1.3.1. Facteurs physiques

L'eau est un composé de densité et de viscosité relativement élevées. L'eau présente aussi une forte capacité calorifique, ses chaleurs spécifiques de fusion et d'évaporation sont anormalement élevées par rapport aux autres liquides. Ces particularités rendent les biotopes aquatiques beaucoup moins sensibles aux fluctuations thermiques saisonnières que les milieux terrestres situés aux mêmes latitudes. En outre, l'eau possède la propriété de dissoudre aisément des quantités importantes de sels minéraux et de gaz. Parmi les facteurs physiques les plus influents en milieu aquatique on peut citer :

2.1.3.1.1. 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. **Ex.** : Flotteur des algues macrophytes et des cnidaires et vessie natatoire des poissons. La viscosité de l'eau facilite aussi la flottabilité des organismes planctoniques de petite taille. La densité et la viscosité de l'eau constituent aussi une entrave aux déplacements rapides. Ainsi, les animaux bons nageurs possèdent une forme fuselée, hydrodynamique, destinée à réduire la résistance à l'avancement. **Ex.** : Thons, Requins, Dauphins.

2.1.3.1.2. Courants

Les courants jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques tant en milieu océanique qu'en milieu continental. Dans l'écosystème océanique, des courants horizontaux au débit colossal amènent les eaux chaudes vers les hautes latitudes et à l'opposé, les eaux froides subpolaires vers les zones intertropicales. Les transferts thermiques que ces courants génèrent, jouent un rôle majeur non seulement dans l'ajustement des températures océaniques mais aussi dans le contrôle des climats des régions continentales qu'il longe, où une fluctuation même limitée des courants océaniques peut provoquer de grandes perturbations climatiques en milieu continental. **Ex.:** Le Gulf Stream qui prend naissance dans l'Atlantique tropical est l'un des plus importants courants chauds, il ajuste les températures océaniques et contrôle ainsi les climats des régions continentales.

En plus de leur influence dans l'ajustement des températures marines et dans la circulation des éléments minéraux nutritifs, les courants contrôlent aussi le cycle vital de nombreux animaux aquatiques. Ainsi, les larves planctoniques de nombreuses espèces de poissons sont transportées par les masses d'eau en mouvement vers les zones où elles se fixeront en milieu littoral pour atteindre le stade adulte. **Ex.:** Morue, Aiglefin. Par ailleurs, le déplacement des masses d'eau permet le développement de très nombreuses espèces d'animaux marins sessiles au régime microphage, dépendant entièrement des mouvements de l'eau pour leur nourriture. **Ex.:** Eponges, cnidaires, mollusques...

2.1.3.1.3. Lumière

Constitue un facteur écologique limitant en milieu aquatique. Par suite de la forte absorption des radiations lumineuses par l'eau, les végétaux autotrophes ne peuvent se développer en milieu océanique ou lacustre que dans une couche superficielle dite « **euphotique** » qui atteint au maximum une centaine de mètres de profondeur.

2.1.3.2. Facteurs chimiques

2.1.3.2.1. Gaz dissous

L'eau est capable de dissoudre de grandes quantités de substances gazeuses. Parmi ces dernières, le CO₂ et l'O₂ constituent des facteurs chimiques de toute première importance.

Le gaz carbonique se dissout facilement dans l'eau. Ainsi, l'eau de mer renferme une concentration de CO₂ 150 fois supérieure à celle qu'atteint ce gaz dans l'atmosphère. Il ne constitue pas ainsi un facteur limitant de la production primaire dans les écosystèmes aquatiques.

A l'inverse du gaz carbonique, l'oxygène ne se rencontre jamais à de forte concentration dans les eaux continentales ou marines car sa solubilité est assez faible, de sorte qu'il peut représenter un facteur limitant pour de nombreuses espèces animales. Les teneurs maximales d'oxygène dissous dans l'eau dépassent à peine 10cm³/l. Ces dernières sont encore plus basses dans l'océan dont la salinité atténue la solubilité de l'oxygène dans ses eaux. La teneur en oxygène des milieux aquatiques est contrôlée par sa dissolution à partir de l'atmosphère et par sa production par l'activité photosynthétique des végétaux aquatiques. Dans les cours d'eau animés d'un intense courant, la teneur en oxygène dissous, favorisée par l'importante aération due à l'agitation, peut devenir sursaturante même si les producteurs primaires font défaut.

2.1.3.2.2. Salinité

La salinité moyenne de l'eau de mer est de l'ordre de 35‰, le chlorure de sodium représentant à lui seul 80‰ de la teneur totale en sels dissous. La salinité des eaux saumâtres varie de 3‰ à 20‰ et celle des eaux douces est inférieure à 3‰.

En réalité, les biotopes d'eau saumâtre sont dits **euryhalins** car ils présentent généralement une importante variation annuelle de salinité en fonction des fluctuations climatiques mais aussi en conséquence d'actions anthropiques. A l'inverse des biotopes

euryhalins, dont la salinité varie en fonction du temps, existent des biotopes **sténohalins** dont la salinité est constante. Il s'agit soit des milieux marins dits « **polyhalins** » car de salinité élevée, soit des eaux douces qui constituent des biotopes « **oligohalins** » pauvres en sels dissous.

Les sels minéraux nutritifs, plus particulièrement les phosphates et les nitrates, ne se rencontrent jamais à forte concentrations dans les milieux aquatiques. Certains oligoéléments (Manganèse, zinc, vanadium, cobalt, bore, molybdène) se rencontrent à l'état de traces infimes et peuvent être de ce fait des facteurs limitant la productivité de lacs aux eaux très pures. En milieu marin, la concentration en phosphates et nitrates constitue le principal facteur limitant de la production primaire océanique.

2.2. Facteurs biotiques

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

-**Homotypiques** (Intraspécifiques), lorsqu'elles se produisent entre individus de la même espèce. **Ex.** : Compétition intraspécifique, effet de masse, effet de groupe,...

-**Hétérotypiques** (Interspécifiques), lorsqu'elles ont lieu entre individus d'espèces différentes. **Ex.:** Compétition interspécifique, prédation, parasitisme, mutualisme, commensalisme, amensalisme,...

2.2.1. Compétition

La compétition se manifeste lorsque des individus appartenant à la même espèce ou à des espèces différentes, recherchent la même ressource qui est présente en quantité limitée. Les ressources peuvent être la nourriture, un abri, un site de nidification, etc. **La compétition directe ou par interférence** se manifeste lorsqu'un individu a un comportement agressif vis-à-vis de ses concurrents ou bien lorsqu'elle se fait par l'intermédiaire de substances toxiques qui sont sécrétées dans le milieu. **La compétition indirecte ou par exploitation** se produit lorsqu'un individu accapare les ressources aux dépens de l'autre. **Ex.1** : Dans les vases littorales de l'Europe occidentale, la graminée (*Spartina anglica*) élimine peu à peu l'espèce voisine (*S. stricta*) en accaparant tout l'espace disponible par multiplication végétative intense (Compétition par exploitation). **Ex.2** : L'Écureuil américain (*Sciurus carolinensis*) a été introduit en Angleterre où il a éliminé peu à peu l'Écureuil roux (*S. vulgaris*) (Compétition par interférence).

2.2.1.1. Compétition intraspécifique

La compétition intraspécifique se produit entre individus de la même espèce et peut intervenir pour de très faibles densités de population. Lorsqu'une ressource indispensable n'est plus disponible en quantité suffisante, les individus qui constituent la population concernée entrent en concurrence pour se la procurer. **Ex.** : Chez la Drosophile, des interactions de nature compétitive apparaissent lorsqu'il y'a deux individus dans un flacon d'élevage de 0.25L où la surface de la nourriture est de 300 mm² car les mouches se gênent lors de la prise de nourriture et de la ponte, ce qui diminue leur fécondité.

La compétition intraspécifique se manifeste de façons très diverses :

- **Comportement territorial** : Lorsque l'animal défend une certaine surface contre les incursions des autres individus de la même espèce. Souvent, les oiseaux défendent un territoire dont la surface est fonction des ressources disponibles. **Ex.**: La Grouse (*Lagopus scoticus*) est un oiseau qui défend les zones de bruyère les plus riches comme territoire de reproduction et d'alimentation.

-**Maintien d'une hiérarchie sociale** : Avec des individus dominants et des individus dominés. **Ex.** : Chez le Hanneton commun (Vers), les larves âgées de 3 ans empêchent le développement de celles de un ou deux ans.

-**Comportement agonistique** : Est un comportement agressif entre les individus d'une population. Il se manifeste pour l'accès à la nourriture, à un abri ou lors de la recherche d'un partenaire sexuelle. La compétition sexuelle est observée le plus souvent dans un environnement où un sexe est plus présent qu'un autre pour une même espèce sur un même territoire.

-**La compétition pour l'alimentation** : Augmente avec la densité de population et sa conséquence la plus fréquente est la baisse du taux de croissance des populations. **Ex.** : Baisse du nombre de jeunes par couple chez la Mésange (*Parus major*).

Chez les végétaux, la compétition intraspécifique liée aux fortes densités se fait surtout pour l'eau et la lumière. Elle a pour conséquence une diminution du nombre de graines formées et/ou une mortalité importante qui réduit fortement les effectifs. **Ex.** : La réponse de Tournesol (*Helianthus annuus*) à l'augmentation de densité consiste en un étiolement de la plante qui produit des capitules moins gros.

2.2.1.2. Compétition interspécifique

Peut-être définit comme étant la recherche active par les membres de deux ou plusieurs espèces d'une même ressource du milieu (Nourriture, abri, lieu de ponte,...etc) où chaque espèce agit défavorablement sur l'autre. La compétition est d'autant plus grande entre deux espèces qu'elles sont plus voisines. Cependant, deux espèces ayant exactement les mêmes besoins ne peuvent cohabiter, l'une d'elles étant forcément éliminée au bout d'un certain temps selon le principe d'exclusion compétitive (Gause, 1934). **Ex.** : Le lézard (*Anolis limifrons*) et l'oiseau (*Hylophylax naevoides*) se nourrissent dans la litière et dans la strate végétale comprise entre 0 et 2 m et consomment des arthropodes identiques. La densité de l'oiseau et celle du lézard varient en sens inverse. La compétition avec les oiseaux entraîne chez les lézards une pénurie alimentaire à certaines périodes de l'année, ce qui réduit leur densité, détériore leur état physiologique et diminue la fécondité des femelles.

2.2.2. Ravageurs et prédateurs

La prédation est le facteur initial du transfert de l'énergie dans les biocénoses. Elle définit les liens caractérisant les chaînes et les réseaux trophiques. Le prédateur est tout organisme libre qui se nourrit aux dépens d'un autre. Il tue sa proie pour la manger. Le niveau de l'intensité d'exploitation d'une population par un prédateur est déterminé par l'aptitude du prédateur à capturer la proie et par la capacité de cette dernière à éviter la capture. Les prédateurs peuvent être **polyphages** (S'attaquant à un grand nombre d'espèces), **oligophages** (Se nourrissant de quelques espèces) ou **monophages** (Ne subsistant qu'aux dépens d'une seule espèce).

Certaines expériences d'éradication de ravageurs réalisées à vaste échelle prouvent le rôle important que peut jouer la prédation dans la régulation des effectifs de l'espèce proie. **Ex.:** L'introduction en Californie d'un des prédateurs de la Cochenille Australienne (*Pericerya purchasi*), introduite accidentellement dans les vergers de (*Citrus californiens*) en 1869 a permis son éradication (Lutte biologique). On regroupe sous le terme "**ravageurs**" les insectes, acariens et nématodes qui s'attaquent aux cultures. Les dommages peuvent affecter les feuilles (Consommation des feuilles et fruits par les chenilles), la sève (Succion de la sève par les pucerons) et les racines (Attaque des racines par les nématodes) en plus de la transmission de pathogènes (Pucerons vecteurs de bactéries, virus). Au niveau mondial, on estime les pertes à 20% des plantes cultivées. L'impact des ravageurs est beaucoup plus important dans les pays en voie de développement que dans les pays industrialisés.

Le cannibalisme constitue une forme spéciale de prédation qui survient à l'intérieur d'une même espèce dont les individus s'entre-dévorent. Le cannibalisme représente aussi, à cet égard, une expression extrême de la compétition intraspécifique dont les effets sont autorégulateurs. Il est largement répandu dans le règne animal depuis les arthropodes jusqu'aux vertébrés où il se rencontre chez les poissons, les oiseaux, les rongeurs...et les sociétés humaines primitives.

2.2.3. Coopération et symbiose

La coopération ou mutualisme apparaît quand deux espèces forment une association de bénéfice réciproque qui n'est pas indispensable, puisque chacune peut vivre isolément (Protection contre les ennemis, dispersion, pollinisation, apport de nutriments...). **Ex.** : Les graines des arbres doivent être dispersées au loin pour survivre et germer. Cette dispersion est assurée par les oiseaux, les singes...qui tirent profit de l'arbre (Alimentation, abri...).

L'association obligatoire et indispensable entre deux espèces est une forme de mutualisme à laquelle on réserve le nom de **symbiose**. Les partenaires d'une relation symbiotique sont appelés « symbiotes ». Dans cette association chaque espèce ne peut survivre, croître et se développer qu'en présence de l'autre. **Ex.** : Les lichens sont formés par l'association (Obligatoire) d'une algue et d'un champignon.

2.2.4. Parasitisme

Un parasite est un organisme qui vit aux dépens de un ou plusieurs hôtes où il trouve un habitat et dont il tire sa nourriture, le plus souvent sans le tuer. Les parasites se distinguent des prédateurs car ils ne mènent pas une vie libre. Ils sont au moins à un stade de leur développement liés à la surface (**Ectoparasites**) ou à l'intérieur (**Endoparasites**) du corps de leur hôte. Ils peuvent être **monoxènes** (Cycle évolutif à un seul hôte) et/ou **hétéroxènes** (Cycle évolutif à plusieurs hôtes). Contrairement aux prédateurs, les parasites ont souvent une petite taille, ce qui les rend difficiles à détecter et à étudier. **Ex.** : Virus, bactéries, champignons, protozoaires, puces, poux, tiques.

Les parasites peuvent intervenir dans la biologie des espèces hôtes et dans le fonctionnement des écosystèmes de diverses façons : En évoluant et en modifiant leur génotype en fonction de l'hôte, en modifiant le comportement de leur hôte en vue d'assurer leur transmission, en orientant la physiologie de leur hôte afin de l'exploiter au maximum, en déprimant le système immunitaire de leur hôte pour augmenter leurs chances de survie, en réduisant la compétition interspécifique, en modifiant le sex-ratio,...

Dans ses formes les plus primitives, le parasite constitue une variante de la prédation car le parasite finit toujours par tuer son hôte dont il dévore les organes internes. Dans de tels cas, on désigne les animaux pratiquant cette forme de parasitisme sous le terme de **parasitoïdes**, comme c'est le cas chez de nombreuses espèces d'insectes.

2.2.5. Effet de groupe

On parle d'effet de groupe lorsque des modifications physiologiques, morphologiques et comportementales ont lieu chez des animaux de la même espèce quand ils sont groupés par deux ou plus de deux dans un espace raisonnable et avec une quantité de nourriture suffisante. La lutte contre les ennemis et la recherche de la nourriture sont facilitées par la vie en commun. 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. **Ex.1:** Un troupeau d'Eléphants d'Afrique doit renfermer au moins 25 individus pour pouvoir survivre. **Ex. 2 :** Les têtards du crapaud (*Alytes obstetricans*) ont une croissance plus rapide et un poids plus élevé quand ils sont élevés par groupes de 2 à 5 que lorsqu'ils sont élevés isolément.

L'effet des phases est une manifestation spectaculaire de l'effet de groupe. Il a été découvert chez les acridiens mais il existe aussi chez d'autres insectes. Chez le Criquet Migrateur (*Locusta migratoria*), un polymorphisme phasaire a été découvert par Uvarov, pour qui, les formes solitaire et grégaire des locustes sont très dissemblables sur le plan morphologique, pigmentaire, anatomique, physiologique, éthologique, biologique et écologique. Ceci explique pourquoi elles ont été autrefois considérées comme des espèces différentes. Les individus solitaires sont verts et peu actifs, si on les groupe, ils deviennent bariolés de noir et d'orange et très actifs. Les individus grégaires ont un appétit bien plus grand que les individus solitaires, ils grandissent plus vite et sont plus lourds. L'apparition de la phase grégaire est due à des phénomènes sensoriels tels que la vue des congénères ou des stimuli tactiles.

2.2.6. L'effet de masse

L'effet de masse se produit quand le milieu souvent surpeuplé provoque une compétition sévère aux conséquences néfastes pour les individus (A l'inverse de l'effet de groupe aux conséquences bénéfiques). Ces effets néfastes à conséquences métabolique et physiologique sur les individus, se traduisent par des perturbations comme la baisse du taux

de fécondité, la diminution de la natalité, l'augmentation de la mortalité (Apparition d'épidémies), l'allongement du stade larvaire... Chez certains organismes, le surpeuplement entraîne des phénomènes appelés phénomènes d'**autoélimination**. **Ex.1** : Dans certaines colonies de Goélands argentés à forte densité d'individus, il se produit des phénomènes de cannibalisme à l'égard des nichées.

Ex. 2 : Il existe une densité optimum pour laquelle le nombre d'œufs pondus par femelle de Ténébrion (*Tribolium confusum*) atteint un maximum (Effet de groupe). Au-delà de cette densité optimum, la fécondité des femelles diminue. Lorsque la farine dans laquelle vivent ces coléoptères contient une certaine quantité d'excréta et des sécrétions diverses plus ou moins toxiques, on assiste à une réduction de la fécondité des femelles, un allongement de la durée du développement larvaire ainsi qu'à l'apparition de cannibalisme des imagos vis-à-vis des œufs. Ces effets sont réversibles et cessent quand on élève à nouveau les Ténébrion dans de la farine neuve. Le cannibalisme des imagos vis-à-vis des œufs augmente avec la densité de la population. Le pourcentage d'œufs mangés est de 7.7% pour une densité de 1.25 imago/g de farine et de 98.4% pour une densité de 40 imagos/g de farine.

2.2.7. Commensalisme

Représente la première étape évolutive vers le développement de relations mutuellement bénéfiques. Il s'agit d'une interaction entre une espèce commensale qui en tire un bénéfice et une espèce hôte qui n'en tire ni avantage ni nuisance. Les deux espèces exercent l'une sur l'autre des coactions de tolérance réciproque. Parmi les commensaux, on peut citer les animaux qui s'installent et qui sont tolérés dans les gîtes des autres espèces.

Ex. : 110 espèces de coléoptères recensées dans les terriers de la Marmotte des Alpes.

Le transport de l'organisme (Le plus petit) par un autre (Le plus grand) est une forme de commensalisme connue sous le nom de **phorésie**. **Ex.** : Le transport de diverses espèces d'acariens par des coléoptères comme les *Geotrupes*.

2.2.8. Amensalisme

L'amensalisme est aussi connu sous le nom d'antagonisme ou antibiose et certaines de ses manifestations sont utilisées en lutte biologique. C'est une interaction dans laquelle une espèce est éliminée par une autre espèce qui secrète une substance toxique. Dans les interactions entre végétaux, l'amensalisme est souvent appelé **allélopathie**, phénomène responsable de la formation d'espaces dépourvus de végétation. **Ex.** : La Piloselle (*Hieracium*

pilosella) produit une substance toxique qui empêche la germination de nombreuses plantes annuelles. Dans le milieu aquatique, les cas d'amensalisme sont nombreux.
Ex. : Les Péridiniens du Genre *Gonyaulax* responsable du phénomène des eaux rouges rejettent des substances qui diffusent dans l'eau et qui peuvent entraîner la mort de toute la faune sur d'assez grandes étendues.

2.2.9. Neutralisme

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

2.3. Interaction des milieux et des êtres vivants

2.3.1. Rôle des facteurs écologiques dans la régulation des populations

Les réactions des êtres vivants face aux variations des facteurs physico-chimiques du milieu intéressent la morphologie, la physiologie et l'éthologie. Les êtres vivants sont éliminés totalement ou bien leurs effectifs sont fortement réduits lorsque l'intensité des facteurs écologiques est proche des limites de tolérance ou les dépasse. Même si les effectifs des populations animales ou végétales présentent des fluctuations cycliques ou apériodiques, ils subissent rarement des variations d'amplitude considérables et oscillent, dans la plupart des cas, autour d'une valeur moyenne qui est la capacité limite du milieu. Il existe cependant quelques exceptions à cette constatation. Celles-ci concernent les espèces introduites de façon artificielle par l'Homme dans les milieux qui leur sont écologiquement favorables, ou à l'opposé, les espèces aux populations déclinantes (Perturbations écologiques induites par l'Homme ou par suite de son action directe sur les espèces concernées, par la pêche ou la chasse).

2.3.2. Notion d'optimum écologique

Enoncée par Schelford en 1911, la loi de tolérance stipule que pour tout facteur de l'environnement existe un domaine de valeurs ou gradient (Intervalle de tolérance) dans lequel tout processus écologique sous la dépendance de ce facteur pourra s'effectuer normalement. C'est seulement à l'intérieur de cet intervalle qu'en conséquence, la vie de tel ou tel organisme, l'apparition de telle ou telle biocénose seront possible.

-Il existe une borne inférieure délimitant le domaine de ce gradient de valeurs au-dessous de laquelle survient la mort par carence ou par défaut du facteur considéré.

-Une borne supérieure au-delà de laquelle l'excès du facteur est également mortel.

-A l'intérieur de l'intervalle de tolérance existe une valeur optimale dénommée « **preferendum** » ou « **optimum écologique** » pour lesquelles le métabolisme de l'espèce ou de la communauté considérée s'effectue à une vitesse maximale.

Les variations de la vitesse de croissance d'un organisme, de la densité de ses populations ou de tout autre phénomène écologique en fonction de la température fournissent une excellente illustration de la loi de Schelford (**Fig.2**).

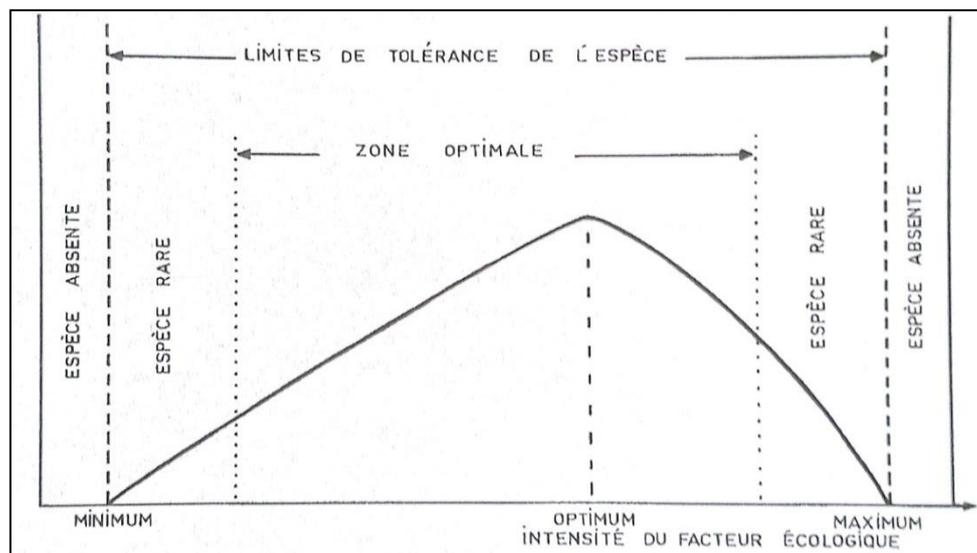


Figure 2 : Limites de tolérance d'une espèce en fonction de l'intensité du facteur écologique étudié (Dajoz, 2006).

2.3.3. Valence écologique

La valence écologique d'une espèce est la capacité de cette dernière à peupler des milieux différents caractérisés par des variations plus ou moins grandes des facteurs écologiques :

- Une espèce à forte valence écologique c'est-à-dire capable de peupler des milieux très différents et supporter des variations importantes de l'intensité des facteurs écologiques est dite **euryèce**.
- Une espèce à faible valence écologique ne pourra supporter que des variations limitées des facteurs écologiques est dite **sténoèce**.

2.3.4. Loi du minimum

On doit à Liebig (1840) la loi du minimum qui stipule que la croissance d'un végétal n'est possible que dans la mesure où tous les éléments indispensables pour l'assurer sont présents en quantités suffisantes dans le sol. Ce sont les éléments déficitaires (Dont la

concentration est inférieure à une valeur minimum) qui conditionnent et limitent la croissance. La loi de Liebig est généralisée à l'ensemble des facteurs écologiques sous forme d'une loi dite «Loi des facteurs limitants».

Un facteur écologique joue le rôle d'un facteur limitant lorsqu'il est absent, réduit au-dessous d'un seuil critique ou bien excède le niveau maximum tolérable. C'est le facteur limitant qui empêchera l'installation et la croissance d'un organisme dans un milieu.

2.3.5. Notion de niche écologique

La niche écologique a beaucoup évolué depuis sa première définition par Grinnell en 1904. Pour cet auteur, ce concept correspond à l'habitat. D'où le terme de niche qu'il avait avancé par analogie avec l'habitat du chien. Des années plus tard, cette notion caricaturale a été abandonnée pour d'autres concepts. Selon Odum (1971), l'habitat d'un individu représente « son adresse » et la niche écologique « sa profession ». Sous le terme de profession, il faut envisager le rôle de diverses espèces de la biocénose, leurs adaptations, leurs exigences, leurs ressources, leurs modes de vie... En somme, leurs fonctions au sein de l'écosystème pendant des périodes particulières.

Selon Gause (1934), deux espèces possédant la même niche écologique ne peuvent cohabiter dans le même écosystème (Principe de l'exclusion compétitive). Des modifications des niches peuvent apparaître en réponse à des phénomènes démographiques éventuellement accompagnés de changement de comportement. Ce phénomène est appelé : Plasticité des niches écologiques. **Ex. :** En cas de sécheresse prolongée, les Méricions (Rongeur du Sahel) deviennent grégaires, migratrices, arboricoles et s'approvisionnent en eau en rongant l'écorce des arbres.

CHAPITRE III : Structure et fonctionnement des écosystèmes

3.1. Notion de chaîne alimentaire (Trophique)

Du Grec « *Trophê* » signifiant «Nourriture». C'est la cascade des échanges trophiques (Alimentaires) dans un milieu peuplé d'animaux et de végétaux, l'ensemble formant une biocénose. Chaque organisme est prédateur du maillon précédent et proie du maillon suivant. La boucle du cycle se referme schématiquement entre le dernier maillon prédateur et le premier maillon végétal par la décomposition de la matière organique (Cadavres) en matière minérale : Opération assurée par les décomposeurs. En réalité, chaque maillon de la chaîne comprend une partie des organismes consommée par le maillon suivant et une partie qui meurt naturellement ou accidentellement : Pollution, maladies, ... Il y a donc à chaque étape à la fois passage à l'étape suivante et retour au monde minéral par décomposition.

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**. Il se définit également comme étant l'ensemble des relations trophiques existant à l'intérieur d'une biocénose entre les diverses catégories écologiques d'êtres vivants constituant cette dernière (Producteurs, consommateurs, décomposeurs).

3.1.1. Producteurs

Les producteurs autotrophes sont pour la plupart des végétaux chlorophylliens photosynthétiques. Ces végétaux utilisent une fraction du flux solaire qu'ils accumulent sous forme d'énergie en le transformant en matières biochimiques élaborées à partir de gaz carbonique, d'eau et de sels minéraux. Ces végétaux assurant la photosynthèse sont des **phototrophes**. **Ex.** : Dans les mers et océans, le phytoplancton assure ce rôle.

Il existe toutefois des micro-organismes autotrophes tirant l'énergie nécessaire à leur synthèse des réactions chimiques (Chimiosynthèse), qualifiés ainsi de **chimiotrophes**. **Ex.** : Dans les profondeurs abyssales où les rayons du soleil ne parviennent pas, les bactéries thermophiles sont les premiers maillons de la chaîne.

3.1.2. Consommateurs

Les consommateurs hétérotrophes ne peuvent se nourrir qu'avec des matières organiques complexes (Glucides, acides aminés, triglycérides). Ils dépendent donc entièrement des producteurs qui représentent la seule source d'énergie utilisable par les

animaux, de manière directe dans le cas des herbivores (Consommateurs primaires) ou indirecte dans celui des carnivores (Consommateurs secondaires et d'ordre supérieur). Un type particulier de consommateurs secondaires est constitué par les ectoparasites et/ou les endoparasites d'autres animaux qui vivent de façon sédentaire.

3.1.2.1. Herbivores (Consommateurs primaires) : Les herbivores sont les consommateurs primaires (C1). Comme ils consomment des végétaux, ils constituent le second niveau de la chaîne alimentaire. Leur taille est fort variable : Cela va de petits organismes brouteurs d'algues aux grands mammifères végétaliens que sont les girafes et les éléphants, en passant par la plupart des insectes et les rongeurs. Certains ont une nourriture très spécialisée ; les oiseaux granivores ne consomment que des graines ; les insectes xylophages le bois des troncs...

3.1.2.2. Carnivores (Consommateurs à plusieurs degrés) : Les carnivores capturent la plupart du temps des proies. Par définition ce sont donc des prédateurs (Tiré du mot proie). Ils transforment donc de la biomasse animale. Suivant le degré de prédation, on distingue deux types de carnivores :

a. Consommateurs d'herbivores ou consommateurs secondaires (C2). **Ex. :** Un lion lorsqu'il capture une gazelle.

b. Consommateurs de carnivores ou consommateurs tertiaires (C3). **Ex. :** La vipère qui avale une musaraigne.

Comme ils ingèrent des prédateurs, on les qualifie souvent de superprédateurs. Il est d'ailleurs possible dans l'absolu de distinguer des niveaux trophiques d'ordre 4, 5 voire 6, notamment dans le milieu marin où les chaînes sont longues. Le même animal peut appartenir à plusieurs niveaux. **Ex. :** Une buse est un simple C2 lorsqu'elle se nourrit de grillons, ce qui est très courant l'été. Elle devient un C3 si elle capture une taupe ou une musaraigne. Elle est C4 lorsqu'elle attrape une vipère qui, elle aussi, consomme des insectivores.

3.1.2.3. Parasites : Ils viennent allonger ces chaînes alimentaires. Un rapace qui est un C4 peut très bien porter des tiques (Acarien parasite) qui sucent son sang. Ces arthropodes sont alors des C5. Mais les tiques peuvent elles aussi être victimes d'un superparasitisme puisqu'elles hébergent souvent des bactéries ou des virus pathogènes

(Vecteurs de maladies). Les bactéries qui sont alors des C6 peuvent à leur tour être sujettes à un parasitisme viral par des bactériophages. A ce moment-là, les virus sont des C7.

3.1.3. Détritivores et décomposeurs

Utilisant la matière organique morte pour assurer leur métabolisme, leur croissance et leur reproduction, ces organismes se comportent bien comme des consommateurs. L'aboutissement de leur action est la minéralisation des différents éléments. Ils assurent ainsi un rôle considérable dans le recyclage de la matière, ce qui leur permet de récupérer au passage l'énergie nécessaire à leur vie. Ce rôle est d'une importance capitale dans le fonctionnement des écosystèmes puisqu'il correspond au bouclage du cycle de la matière. Il remet ainsi à la disposition des végétaux les éléments nutritifs indispensables à la réalisation de l'activité photosynthétique. Ce recyclage s'effectue en deux étapes et met en cause deux catégories d'êtres vivants : Les détritivores et les décomposeurs.

3.1.3.1. Détritivores

Ils représentent l'ensemble des individus qui se nourrissent de débris animaux ou végétaux. Leur action essentielle qui marque la 1^{ère} étape de la transformation de la matière organique morte se manifeste par une fragmentation des débris en éléments plus fins que d'autres transformateurs pourront trouver dans leurs excréments ou dans les boulettes fécales. Les matières que les détritivores ingèrent sont dilacérées au cours du transit intestinal. Une partie de ce qu'ils consomment va être digérée et transformée en biomasse. Le reste rejeté dans les fèces, contient encore de la matière organique, mais beaucoup plus dégradée qu'au départ puisqu'elle a subi une hydrolyse enzymatique dans leur tube digestif. On distingue plusieurs catégories de détritivores selon le lieu ou le type de consommation.

a. Nécropages : Ne se nourrissant que de cadavres d'animaux. **Ex. :** Nécropores, insectes coléoptère souvent associé au bout de quelques jours à d'autres insectes adultes ou à des asticots de mouches sur les cadavres d'oiseaux, de mammifères ou d'autres animaux.

b. Coprophages : Individus mangeant des excréments. **Ex. :** Bousier.

c. Saprophages : Désigne les êtres vivants qui mangent des éléments végétaux en décomposition. **Ex. :** Cloportes qui trouvent leur nourriture sous les écorces pourries.

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

3.1.3.2. Décomposeurs

La première étape de dégradation de la matière organique morte, assurée par les détritivores, permet à des êtres microscopiques, des bactéries, des champignons ou des protozoaires d'accomplir la seconde étape de cette transformation. Ces micro-organismes sont les responsables de la minéralisation proprement dite. Par des processus aérobies pour certains, anaérobies pour les autres, ils déclenchent des réactions de fermentation. Celles-ci coupent les molécules organiques encore présentes sous forme de glucides, de protides ou lipides, telles que les acides humiques, en molécules minérales beaucoup plus petites : Les sels minéraux.

3.2. Principaux types de chaînes alimentaires

On distingue souvent trois types de chaînes trophiques :

- **Chaînes alimentaires de prédateurs (De consommateurs) :** Celles-ci partant d'un végétal, passent de petits organismes à des organismes de taille de plus en plus grande.

Ex. : Végétal (Producteur)/Mouton (Herbivore)/Homme (Carnivore).

On rencontre souvent même deux niveaux successifs de carnivores.

Ex.: Chêne (Producteur)/Chenille (Herbivore)/Mésange (Carnivore 1)/Epervier (Carnivore 2).

En milieu aquatique, les chaînes trophiques des prédateurs sont toujours plus longues que dans le milieu terrestre.

- **Chaînes alimentaires 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.

Ex.: Sapin (Producteur)/Chenille(Herbivore)/Braconide(Parasite)/Chalcidien (Hyperparasite).

- **Chaînes alimentaires saprophytiques :** Dans ce type de chaîne, la circulation de matière est à prédominance détritique. Les organismes qui constituent de telles chaînes sont dénommés des détritivores. On distingue parmi ces derniers des saprophages qui se nourrissent de matière organique en voie de putréfaction, des coprophages qui consomment les excréments des animaux, des nécrophages qui s'alimentent de cadavres et des géophages qui consomment de la litière en voie d'humification.

Ex. : Litière (Matière organique morte)/Vers de terre (Détritivore)/Bactérie (Décomposeur).

3.3. Flux d'énergie au niveau de la biosphère

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

▪ 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.

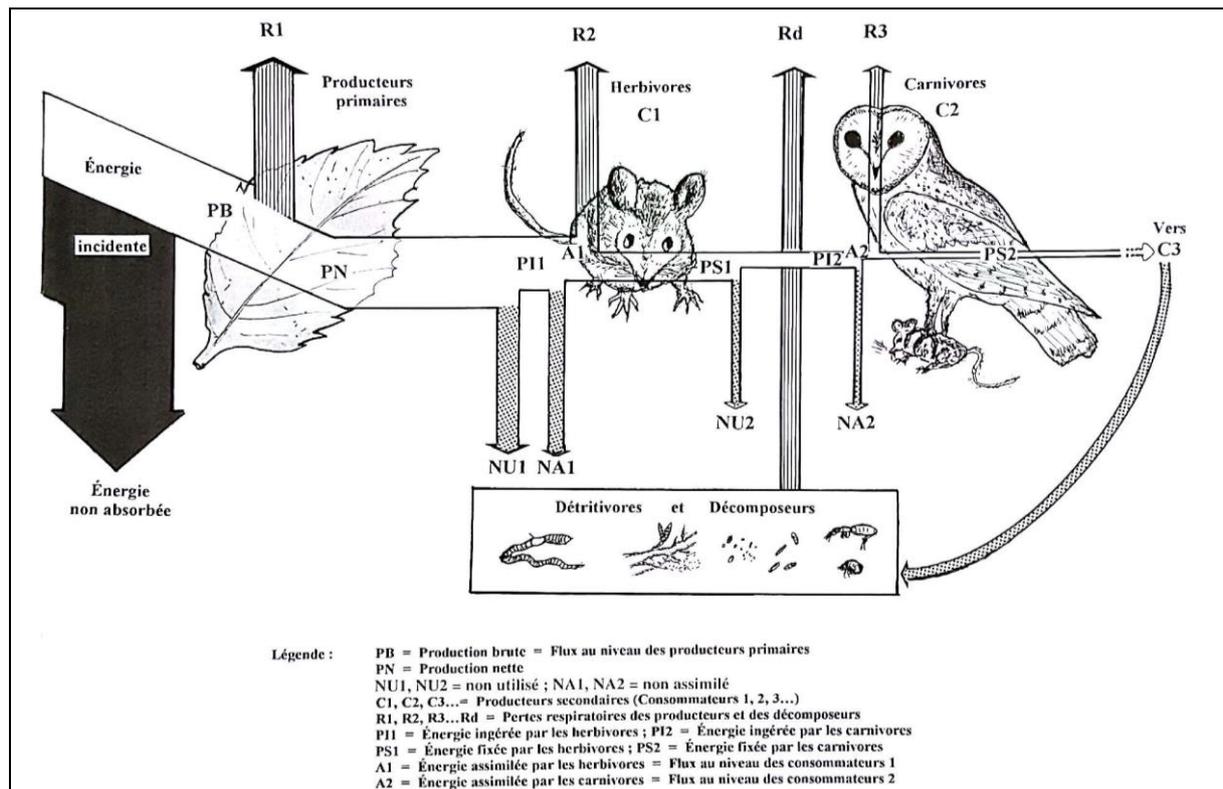


Figure 3 : Flux d'énergie à travers un réseau trophique (Faurie et al., 2012).

3.4. Pyramides écologiques, productivités et rendements bioénergétiques

3.4.1. Pyramides écologiques

Les réseaux trophiques présentent une structure bien définie caractérisée par la nature et le nombre d'organismes présents à chaque niveau des diverses chaînes alimentaires. Celle-ci correspond à une valeur particulière du rapport «taille des individus/type de métabolisme» des diverses espèces constituant la communauté.

Les pyramides écologiques permettent de donner une représentation géométrique à la structure trophique d'un écosystème. Elles 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.

Il y'a trois principaux types de pyramides :

- **Pyramide des nombres** : Correspond au nombre d'organismes à chaque niveau trophique dans un écosystème donné, avec les plus grands nombre illustrés par une plus grande surface pour cette partie de la pyramide. Dans la plupart des pyramides des nombres, les organismes à la base de la chaîne trophique sont les plus abondants, chaque niveau successif est occupé par un nombre moindre d'organismes. On observe aussi des pyramides des nombres inversées, dans lesquelles les plus hauts niveaux trophiques présentent plus d'organismes que les niveaux trophiques inférieurs. C'est le cas pour les décomposeurs, les parasites, les insectes herbivores vivant dans les arbres et d'autres organismes similaires. **Ex.:** Un arbre peut fournir de la nourriture pour des milliers d'insectes consommateurs de feuilles. Il est à noter que les pyramides des nombres sont d'une utilité limitée parce qu'elles ne donnent pas d'indications sur la biomasse des organismes à chaque niveau et elles n'indiquent pas la quantité d'énergie transférée d'un niveau à l'autre (**Fig.4**).

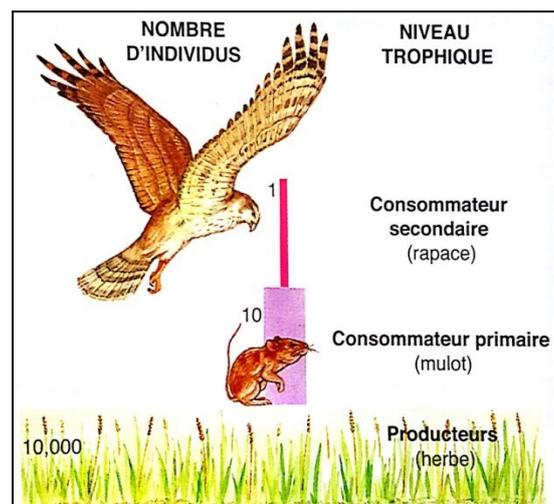


Figure 4 : Pyramide des nombres (Berg et al., 2009).

- **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. 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 (**Fig.5**).

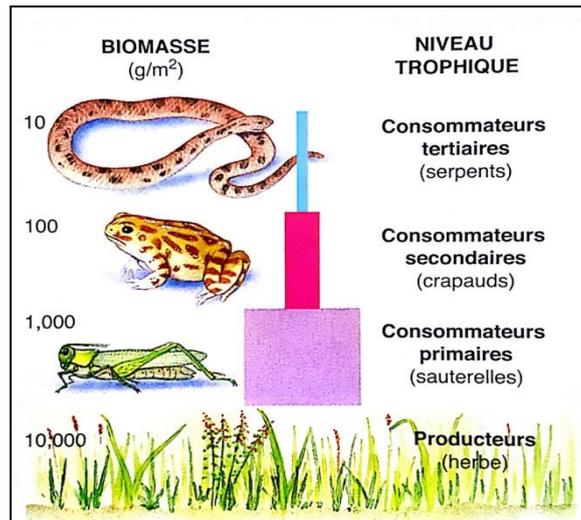


Figure 5: Pyramide des biomasses (Berg et al., 2009).

- Pyramide des énergies** : Illustre la quantité d'énergie souvent exprimée en kilocalories/m²/an contenue dans la biomasse de chaque niveau trophique. Ces pyramides qui ont toujours de grandes bases et deviennent progressivement plus petites à travers les niveaux trophiques successifs, montrent que la plupart de l'énergie se dissipe dans l'environnement en passant d'un niveau trophique au suivant. En réalité, une fraction seulement du flux d'énergie entrant dans un écosystème est fixée dans les organismes de chaque niveau trophique et stockée dans la biomasse, le reste est dépensé pour assurer les besoins métaboliques des êtres vivants : Entretien, croissance, reproduction (**Fig.6**).

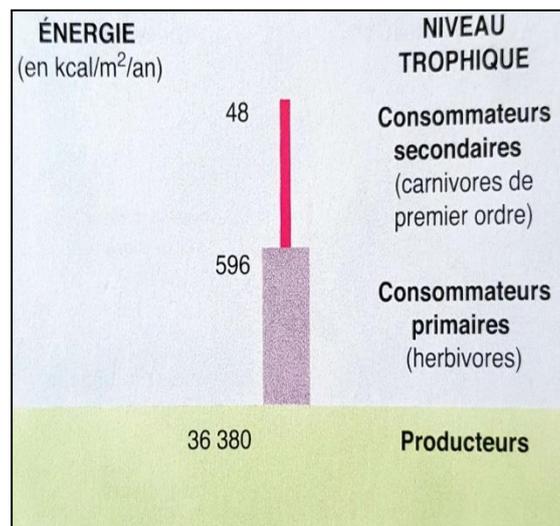


Figure 6 : Pyramide d'énergie (Berg et al., 2009).

3.4.2. Productivité

Dans chaque écosystème, une partie du flux d'énergie qui pénètre dans le réseau trophique n'est pas dissipée mais stockée sous forme de substances organiques. Cette production ininterrompue de matière vivante (Biomasse) constitue un des processus fondamentaux de la biosphère, dont l'importance décroît d'ailleurs au fur et à mesure que l'Homme exerce une pression de plus en plus grande sur les ressources naturelles. C'est en effet cette productivité des écosystèmes qui assure le renouvellement de ces ressources (Production primaire et secondaire).

3.4.2.1. Productivité primaire

La **productivité primaire brute (PB)** correspond à la quantité totale de carbone fixée sous forme de matière organique par les autotrophes exprimée par unité de surface et par unité de temps. C'est aussi l'équivalent de la fraction du flux solaire utilisée par les organismes photosynthétiques. Elle est exprimée en règle générale en tonnes de carbone/hectare/an ou en gramme de carbone/m²/jour. On l'estime à 1% de la quantité totale d'énergie annuellement reçue par la végétation terrestre, laquelle est de l'ordre de $5 \cdot 10^{20}$ kcal.an⁻¹. Nous savons qu'une partie des matières organiques ainsi élaborées est utilisée par les végétaux pour leurs propres besoins métaboliques. Si l'on tient compte de ces pertes, on en vient à dégager la notion de **production primaire nette (PN)** qui traduit la productivité des végétaux dans les écosystèmes continentaux et du phytoplancton dans l'océan (**PN = PB - R**).

3.4.2.2. Productivité secondaire

Désigne le taux d'accumulation de matière vivante (Donc d'énergie) au niveau des hétérotrophes : Consommateurs et décomposeurs. Il n'existe qu'un seul type de productivité secondaire. En effet, quel que soit le niveau trophique dans lequel on se place, celle-ci consiste toujours en la conversion de la productivité primaire nette en différents tissus des multiples organismes hétérotrophes, grâce à un processus unique et général puisque les animaux et les micro-organismes décomposeurs ne font que transformer des matières organiques déjà produites. Ce processus s'effectue avec un rendement assez faible, une bonne partie de l'énergie absorbée étant dissipée au cours des diverses phases de la respiration cellulaire et autres phénomènes métaboliques.

3.4.3. Rendements bioénergétiques

Le rendement énergétique (Ou efficience) est défini pour un niveau trophique comme le rapport entre le flux énergétique retenu et le flux entrant, c'est-à-dire le rapport « énergie fixée/ énergie reçue ». On peut donc caractériser les divers organismes du point de vue bioénergétique par leur aptitude à diminuer ces pertes d'énergie. Cette aptitude est évaluée par les calculs de rendements :

- **Rendement écologique** : De loin le plus intéressant car c'est le seul rendement qui mette en évidence les pertes énergétiques quand on passe d'un niveau alimentaire à un autre. C'est le rapport de la production nette du consommateur à la production nette du niveau trophique consommé.
- **Rendement de consommation** : C'est le rapport entre l'énergie ingérée **par un consommateur et celle qui est contenue dans la nourriture dont il dispose**. Pour un prédateur ce sera la part de l'énergie contenue dans une proie qui sera effectivement ingérée. Toute la production nette mise à la disposition du consommateur n'est pas exploitée. Un herbivore n'exploitera pas toute la production nette d'un végétal. Il délaissera par exemple les racines ou les parties ligneuses et préférera les pousses tendres. Un carnivore abandonnera les os et les phanères, qui contiennent pourtant de l'énergie.
- **Rendement d'assimilation** : **Lorsque les aliments sont ingérés par un consommateur, ils sont soumis au cours du transit dans le tractus digestif à des processus mécaniques et chimiques de digestion. Une partie seulement traversera la muqueuse intestinale pour passer dans le sang, ce sont les nutriments. Le reste ne sera pas assimilé et sera éliminé avec les fèces. Le rendement d'assimilation est donc le rapport entre l'énergie assimilée des nutriments et l'énergie ingérée des aliments.**
- **Rendement de production nette** : 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, vu que tout ce qui est assimilé ne participe pas à l'élaboration de la biomasse du consommateur. Une part importante de la biomasse de l'énergie assimilée ne sera pas fixée car elle est mise à profit pour couvrir les besoins métaboliques qu'exigent la respiration, l'excrétion ou l'homéothermie... Ce rendement est le rapport de la production nette à l'énergie assimilée.

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

L'interaction continue qui s'exerce entre facteurs abiotiques et organismes vivants d'un écosystème, s'accompagne d'une circulation ininterrompue de matière entre biotope et biocénose sous forme de substances alternativement minérales et organiques.

Les diverses espèces (Autotrophes et/ou hétérotrophes) cherchent et absorbent sans relâche les substances indispensables à leur croissance, leur entretien, leur reproduction et rejettent dans le milieu des déchets minéraux et organiques plus ou moins complexes provenant de leur métabolisme. De la sorte, carbone, hydrogène, oxygène, azote, phosphore, soufre, potassium, chlor, calcium, magnésium, fer et une trentaine d'autres corps simples indispensables à l'édification de la cellule vivante sont sans cesse transformés en matières biochimiques (Glucides, lipides, acides aminés,...), ou absorbés sous forme d'ions inorganiques par les végétaux autotrophes, puis utilisés par les hétérotrophes : Animaux puis micro-organismes dégradeurs. Ceux-ci décomposent en dernier lieu les excréta, détritiques végétaux et cadavres, en éléments minéraux hydrosolubles ou en composés gazeux qui retournent dans le sol, les eaux et l'atmosphère. Ainsi les divers éléments biogènes circulent sans cesse par dissolution dans les eaux continentales superficielles, qui les amènent dans les océans, ou entre les continents ou les mers et l'atmosphère, entre lesquels s'effectuent d'incessants échanges gazeux.

A l'échelle de la biosphère, on désigne sous le terme de cycles biogéochimiques ce passage alternatif des éléments entre milieu inorganique et matières vivantes, et dont les diverses phases se déroulent au sein des écosystèmes. L'existence de tels cycles confère à la biosphère un pouvoir considérable d'autorégulation, lequel assure la pérennité des écosystèmes et se traduit par une remarquable constance du taux des divers éléments présents dans chaque milieu.

On peut distinguer trois types majeurs de cycles biogéochimiques : Cycle de l'eau, cycle des éléments à phase gazeuse prédominante et cycle des éléments à phase sédimentaire prédominante.

3.5.1. Cycle de l'eau

L'eau représente le constituant inorganique le plus abondant dans la matière vivante. Chez l'Homme adulte, elle constitue 63% du poids corporel. Près des 3/4 de la surface terrestre sont recouverts par l'hydrosphère (Soit 363 millions de km² sur un total

de 510 millions de km²). Les océans représentent à eux seuls 96,5% de la masse totale d'eau présente dans la biosphère. Il existe deux cycles de l'eau : Un cycle lent dans les océans et les nappes souterraines, et un cycle court sur la surface de la Terre et dans l'air. Si l'eau des cellules est remplacée après quelques heures, le cycle de l'eau dans les rivières dure en moyenne 16 jours. L'eau des lacs et des grandes mers intérieures connaît un cycle qui varie de 10 à 1 000 ans tandis que le cycle des eaux souterraines est d'environ 1 500 ans. L'eau des océans se renouvelle quant à elle tout les 2 500 à 3 500 ans. Le cycle le plus lent se situe dans les glaciers qui peuvent retenir l'eau pendant une période de 9 500 à 15 000 ans.

Le cycle de l'eau consiste en un échange d'eau entre les différents compartiments de la Terre : L'hydrosphère, l'atmosphère et la lithosphère (**Fig.7**).

Sous l'effet du flux solaire, l'eau des nappes liquides superficielles (Mers, fleuves, lacs,...) s'évapore. L'eau transpirée par les végétaux (Evapotranspiration) s'évapore également. Les masses d'air chargées de vapeur d'eau se déplacent tandis que celle-ci condense en nuages. Leur refroidissement ramène cette eau à la surface du sol ou des mers sous forme de précipitations (Pluie, neige, grêle ou plus rarement par condensation sur des corps froids « rosée »). Le 7/9 de leur volume total retombe à la surface des océans et le 2/9 seulement sur les continents. La majeure partie du cycle de l'eau s'effectue donc entre océan et atmosphère. La circulation de l'eau dans la lithosphère emprunte trois voies :

- **Percolation (Infiltration) :** Phénomène de migration de l'eau à travers les sols (Perméables). Joue un rôle essentiel dans les écosystèmes terrestres puisqu'il assure la réhydratation des sols qui emmagasinent l'eau, en particulier dans les couches superficielles. L'infiltration assure aussi l'alimentation des nappes phréatiques.
- **Evaporation et évapotranspiration :** Constitue le phénomène opposé de l'infiltration. Certes, l'évaporation à la surface d'un sol joue un rôle important dans le régime hydrique, mais les végétaux accélèrent beaucoup ce processus en transpirant des masses considérables d'eau par l'intermédiaire de leur système foliaire et/ou racinaire. Cette transpiration du couvert végétal vaporise chaque année des quantités d'eau considérables. L'évapotranspiration, somme de la quantité d'eau transpirée par les plantes et évaporée par les sols, joue donc un rôle essentiel dans le cycle de l'eau sur les continents. Il s'évapore en effet jusqu'à 50 tonnes d'eau chaque année d'un hectare de forêt feuillue.

- **Ruissellement** : Phénomène d'écoulement des eaux à la surface des sols. Favorisé par la destruction du couvert végétal, il représente l'agent principal de l'érosion des sols. Ruissellement superficiel et résurgence des nappes souterraines assurent l'alimentation des cours d'eaux qui restituent en dernier lieu ce volume d'eau à l'océan mondial.

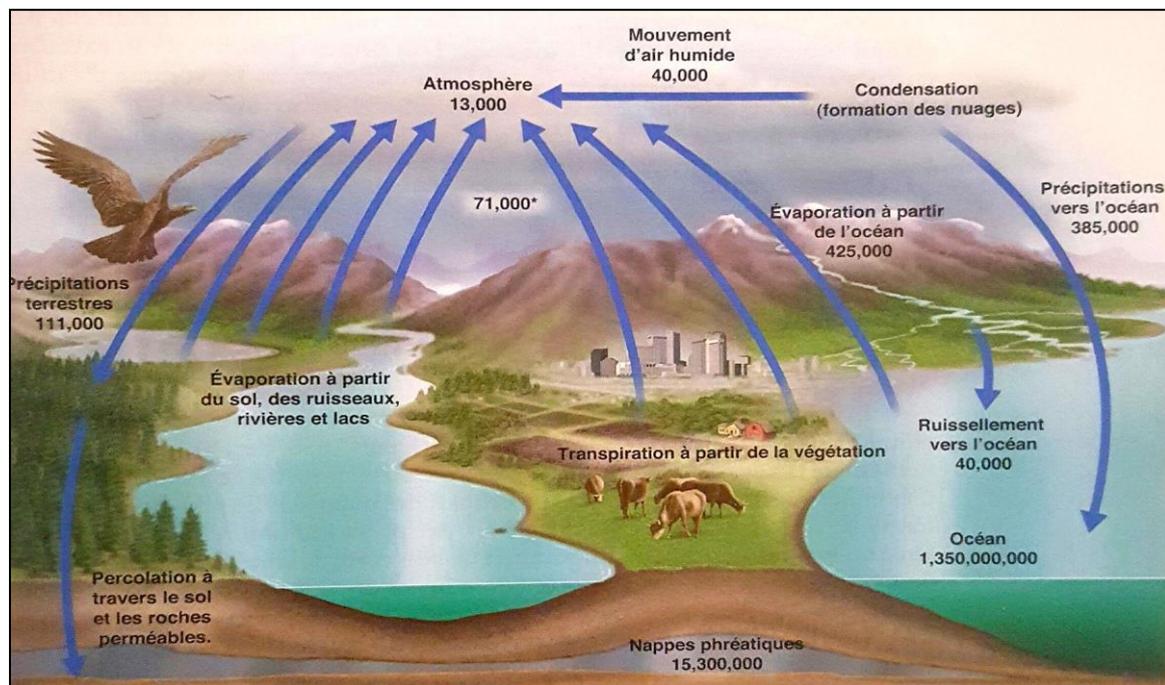


Figure 7 : Cycle de l'eau (Berg et al., 2009).

3.5.2. Cycles biogéochimiques à phase gazeuse

3.5.2.1. Cycle du carbone

Le carbone est le plus important des éléments chimiques caractérisant le monde vivant. A l'échelle de la planète, il existe trois réservoirs de carbone : L'atmosphère, les océans et la biosphère continentale. Les échanges entre l'atmosphère et la biosphère sont essentiellement liés à l'activité des êtres vivants. Lors de la photosynthèse, les producteurs autotrophes fixent le carbone pour assurer leurs constituants organiques. Les consommateurs permettent par ailleurs le transfert de ces constituants dans les divers réseaux trophiques. A l'opposé, d'autres échanges biochimiques vont équilibrer ces prélèvements en rejetant dans l'atmosphère un flux identique de carbone : 100 Gt (Gigatonnes) issu de la respiration cellulaire et la fermentation (Décomposition de la matière organique). De même, les éruptions volcaniques, les industries et les véhicules de transports, rejettent du (CO₂) dans l'atmosphère.

Quant aux flux du carbone entre l'air et l'eau des océans, ils sont équilibrés et du même ordre. Les échanges physicochimiques aux interfaces des deux éléments font apparaître un rejet de 100 Gt de (CO_2) dans l'atmosphère et une absorption identique de 100 Gt de ce gaz par l'eau. La quantité de dioxyde de carbone dissous dans les océans est environ 50 fois plus grande que celle qui est présente dans l'atmosphère.

Dans les sols, il se produit souvent un ralentissement du cycle du carbone : Les matières organiques ne sont pas entièrement minéralisées mais transformées en un ensemble de composés organiques acides qui s'accumule dans diverses formations sédimentaires (Acides humiques). Il se produit une stagnation et même un blocage du cycle du carbone. C'est le cas de la constitution de grands dépôts de pétrole et d'autres hydrocarbures fossiles, lesquels malgré leur forte teneur en carbone, n'interfèrent pas dans les conditions naturelles avec le cycle du carbone (**Fig.8**).

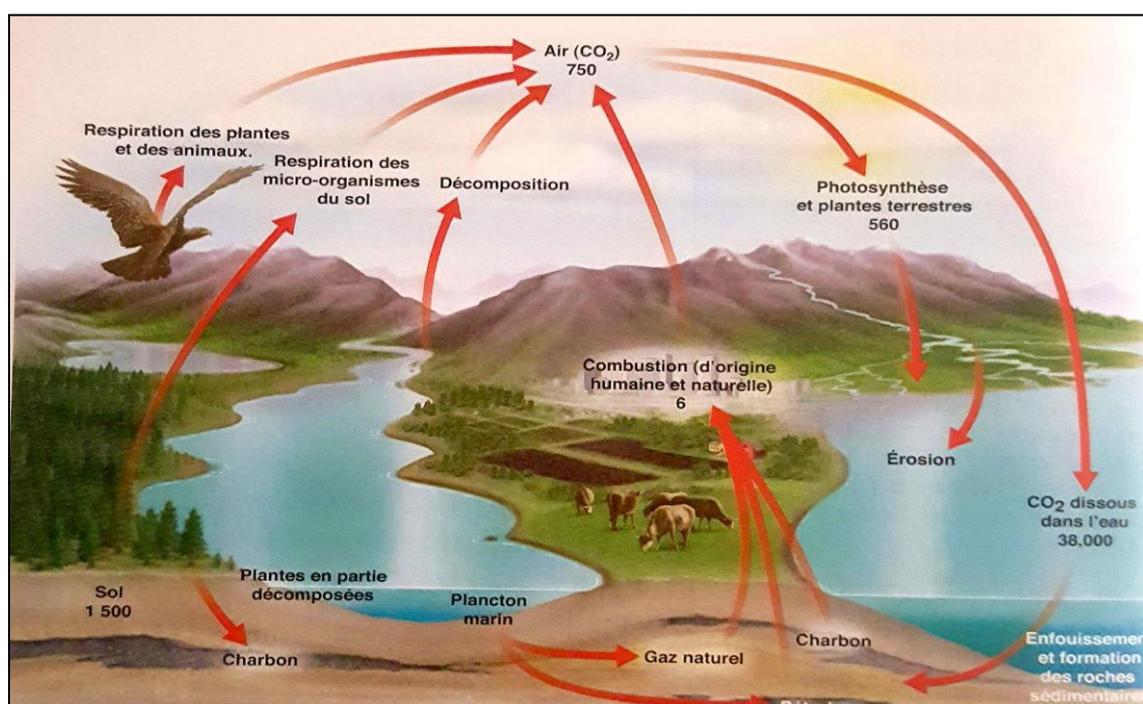


Figure 8 : Cycle du Carbone (Berg et al., 2009).

3.5.2.2. Cycle de l'azote

L'azote minéral est présent à profusion sur notre planète puisque sa forme gazeuse (N_2) (Azote atmosphérique) représente la plus grande partie de l'air que nous respirons (78 % du volume). En revanche, les ions nitrates (NO_3^-) constituent la seule forme d'azote minéral assimilable par les plantes avec les ions ammonium. Cet élément se retrouve entre

autres dans les acides aminés constituant les protéines et dans les bases azotées de l'ADN.

La plupart des êtres vivants ne peuvent utiliser la molécule (N_2). De ce fait, ils ont besoin de ce qu'on nomme **l'azote fixé** dans lequel les atomes d'azote 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^-). Des processus sont nécessaires pour transformer l'azote atmosphérique (N_2) en une forme assimilable par les organismes : La fixation de l'azote diatomique (N_2), la nitrification et la dénitrification.

- **La fixation** : 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 (Ex. : Légumineuses), qui ont la faculté de produire de l'ammoniac (NH_3) à partir de l'azote et de l'hydrogène atmosphérique grâce à une enzyme : La Nitrogénase. L'ammoniac peut aussi provenir de la décomposition d'organismes morts (Action des bactéries saprophytes) sous forme d'ions ammonium (NH_4^+). Dans les sols où le pH est élevé, l'ammonium se transforme en ammoniac gazeux.
- **La nitrification** : Transforme les produits de la fixation (NH_4^+ , les ions nitrates NH_3) en (NO_x) (Soient NO_2^- et NO_3^-), des nitrites et nitrates. Les végétaux absorbent grâce à leurs racines les (NO_3^-) et, dans une moindre mesure, l'ammoniac présent dans le sol, et les incorporent dans les acides aminés et les protéines. Les végétaux constituent ainsi la source primaire d'azote assimilable par les animaux.
- **La dénitrification** : Grâce aux bactéries dites dénitrifiantes (Transformant la matière organique), l'azote retourne à l'atmosphère sous sa forme moléculaire (N_2), avec comme produit secondaire du CO_2 et de l'oxyde d'azote (N_2O) (Gaz à effet de serre). L'activité humaine contribue à l'augmentation de la dénitrification, entre autres, 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^-) (Fig.9).

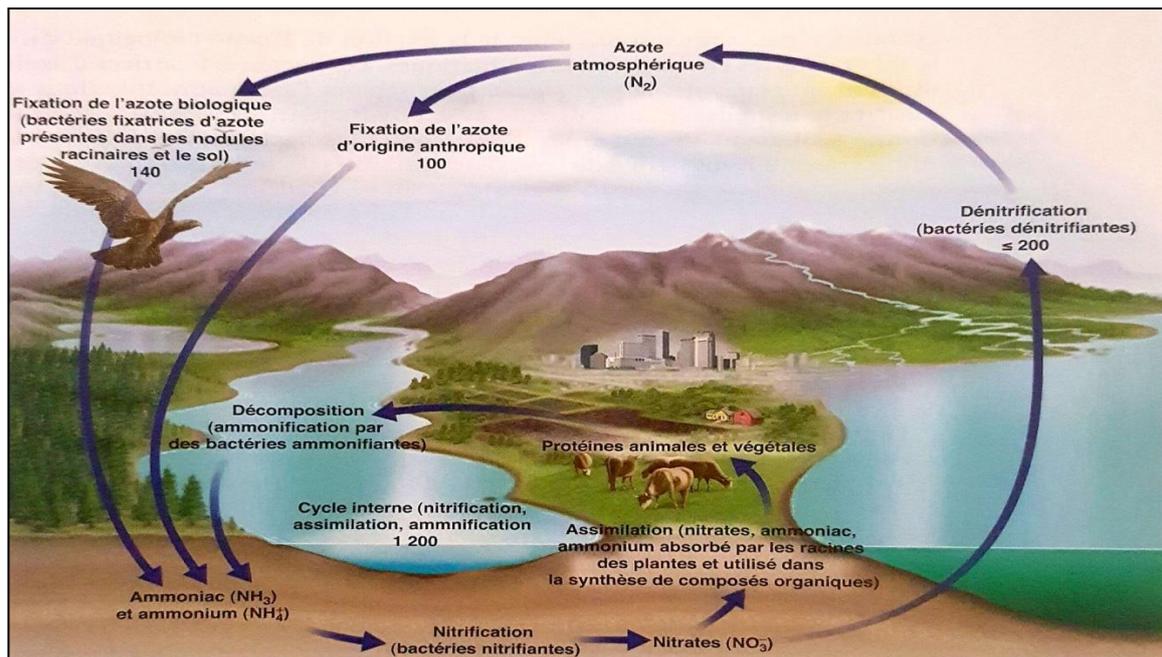


Figure 9 : Cycle de l'azote (Berg et al., 2009).

L'industrie, en mettant à la disposition des agriculteurs de nombreux fertilisants de synthèse, intervient pour une certaine part dans le cycle de l'azote. Beaucoup d'engrais azotés sont en effet synthétisés par réduction de l'azote de l'air. Comme ils doivent libérer soit des ions (NO_3^-), soit des ions (NH_4^+), leur obtention met en jeu des réactions chimiques utilisant de l'acide sulfurique ou de l'acide nitrique. Ces deux engrais, avec le nitrate de calcium ainsi obtenus chimiquement, sont les plus usités. Ceux qui apportent directement des nitrates ont une action très rapide, mais sont une source importante de pollution parce qu'ils sont très solubles.

3.5.3. Cycles biogéochimiques à phase sédimentaire

3.5.3.1. Cycle du phosphore

En dépit de la rareté du phosphore minéral dans la biosphère, cet élément reste important pour la matière vivante (Constituant de l'ADN, de l'ARN et de l'ATP). Il possède un cycle qui passe par deux phases : L'une qui se déroule dans les écosystèmes terrestres, l'autre dans les écosystèmes aquatiques. Son réservoir principal est constitué par diverses roches qui cèdent peu à peu leurs phosphates aux écosystèmes.

Dans le milieu terrestre, la concentration en phosphore assimilable est souvent faible et joue le rôle de facteur limitant. Ce phosphore est mis en circulation par lessivage (Ou érosion) et dissolution et introduit ainsi dans les écosystèmes terrestres où il est

absorbé par les végétaux. Ceux-ci l'incorporent dans diverses substances organiques et le font ainsi passer dans les réseaux trophiques. Les phosphates organiques sont restitués au sol avec les cadavres, déchets et excréta produits par les êtres vivants, attaqués par les microorganismes et retransformés en orthophosphates minéraux, à nouveau disponibles pour les plantes vertes et autres autotrophes.

Le phosphore introduit dans les écosystèmes aquatiques par les eaux de ruissellement, rejoint les océans, permettant ainsi le développement du phytoplancton et des animaux des divers maillons de la chaîne trophique. Un retour partiel des phosphates des océans vers les terres émergées s'effectue grâce à la pratique de la pêche ou par les excréments des oiseaux marins piscivores. Cependant, dans les océans, le cycle du phosphore se fait avec des pertes, puisqu'une partie importante des phosphates entraînée en mer se retrouve immobilisée dans les sédiments profonds (Fragments de cadavres de poissons non consommés par les détritivores et les décomposeurs). Lorsqu'il n'existe pas de courants ascendants permettant la remontée des eaux en surface, la pénurie de phosphore devient un facteur limitant. Le cycle du phosphore est donc incomplet et ouvert. Du fait de sa rareté et en raison de ces pertes pour le cycle, le phosphore constitue donc le principal facteur limitant qui contrôle la majeure partie de la production primaire (**Fig.10**).

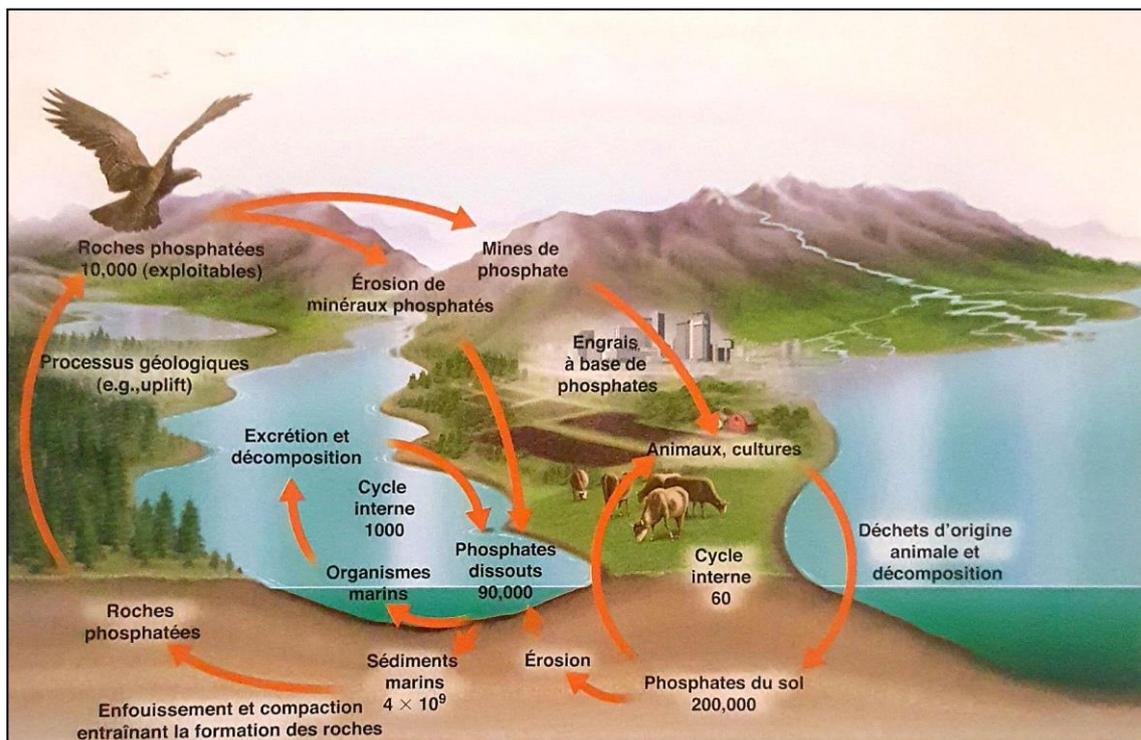


Figure 10 : Cycle du phosphore (Berg et al., 2009).

3.6. Stabilité des écosystèmes

Les ressources disponibles, régulées par les facteurs physico-chimiques du milieu, contrôlent les chaînes trophiques depuis les producteurs jusqu'aux prédateurs. C'est la théorie du contrôle des communautés par les ressources (Eléments nutritifs), ou **contrôle Bottom-up** (Du bas vers le haut). **Ex.** : Teneur en phosphates des océans/Quantité des planctons/Taille des poissons.

A l'inverse, le fonctionnement d'un écosystème dépend de la prédation exercée par les niveaux trophiques supérieurs sur les niveaux trophiques inférieurs : C'est le **contrôle Top-down** (Du haut vers le bas). **Ex.** : Effet régulateur d'une population de loups (Carnivores) sur une population de lièvres (Proies).

Les deux contrôles interviennent simultanément dans les écosystèmes et peuvent être complémentaires. Les modifications par l'Homme d'un niveau trophique peuvent amplifier l'un ou l'autre des deux contrôles et entraîner une instabilité de l'écosystème. **Ex. 1:** Augmentation des ressources en éléments nutritifs (Amplification du contrôle Bottom-up) : Cas de la pollution organique des eaux (Eutrophisation). **Ex.2 :** Diminution d'abondance d'un prédateur de haut niveau (Amplification du contrôle Top-down) : Cas de la chasse ou de la pêche.

3.7. Perturbation des cycles biogéochimiques

Etymologiquement, polluer signifie : Profaner, salir. Le terme de pollution désigne non seulement l'ensemble des rejets des composés toxiques que l'Homme libère dans la biosphère, mais aussi les substances qui, sans être vraiment dangereuses pour les organismes, exercent une influence perturbatrice sur l'environnement. Cette définition englobe aussi bien les polluants produits par l'activité humaine ainsi que les substances naturelles qui accroissent la pollution d'origine anthropique. **Ex.** : Gaz et poussière émis par les éruptions volcaniques, les incendies de forêts...

3.7.1. Pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique est due au rejet intempestif de substances diverses dans l'atmosphère. Elle a accompagné la civilisation industrielle et s'est accrue au cours des dernières décennies dans l'ensemble des pays développés. On considère qu'il y'a trois grandes sources de polluants : Industrie (Cimenteries, raffineries, usines chimiques, sidérurgies, papeteries...), voitures et poids lourds (Moteur à essence et surtout moteurs Diesel) et chauffage (Chaudières domestiques, industrielles, centrales thermiques). A ces

trois grandes sources, viennent s'ajouter des substances rejetées dans l'atmosphère et les océans (Par les volcans), des composés chimiques tels que les chlorofluorocarbones (CFC), la maîtrise non complète de mise en œuvre de certaines techniques accompagnant les réactions nucléaires, l'agriculture intensive...

Généralement, les polluants atmosphériques ne séjournent pas indéfiniment dans l'atmosphère : Si la pollution est faible et s'il n'y a pas de vent, la dispersion est dite normale et les gaz se dispersent en altitude. En revanche, les polluants retombent en panache si la pollution est forte (Sous l'action du vent). Sous l'action de la lumière et en présence d'air humide, les oxydes d'azote et de soufre favorisent la formation de pluies acides. Grâce au jeu du lessivage et de l'érosion hydrique, les polluants sont transférés des sols vers l'hydrosphère. En définitive, les phénomènes géochimiques vont avoir pour conséquence d'amener la masse des polluants, tôt ou tard dans l'océan mondial qui constitue le dernier réceptacle des agents toxiques.

3.7.2. Pluies acides

Les canadiens et les scandinaves ont été les premiers à observer l'acidification croissante de leurs lacs et la mort des arbres engendrées par les pluies acides. L'acidification provient des masses d'air qui se sont chargées de gaz polluants, présents surtout au-dessus de zones industrielles. Les gaz incriminés se combinent aux gouttelettes d'eau de l'atmosphère et finissent par former des précipitations ou des brouillards acides. Il s'agit notamment de dioxyde de soufre (SO_2) (Activités humaines : Industrie, transport, chauffage, volcanisme,...) ; oxyde d'azote (NO , NO_2^- , NO_3) (Combustions industrielles, domestiques, automobiles) ; ammoniac (NH_3^+) (Elevage) ; chlore (Cl) (Combustion des PVC) ; ozone (Photolyse du dioxyde d'azote) ;...

3.7.3. Eutrophisation

L'eutrophisation naturelle est un processus qui s'échelonne sur des milliers d'années. Sa durée dépend de la profondeur initiale des plans d'eau. Cette évolution peut être considérablement accélérée par les activités anthropiques. Il s'agit là d'un des impacts les plus graves de l'Homme sur les écosystèmes aquatiques.

Si le carbone, l'oxygène et l'hydrogène sont toujours disponibles au sein des eaux en quantités suffisantes pour l'activité métabolique du phytoplancton, il n'en est pas de même pour l'azote et le phosphore, issus du lessivage des sols. Dans les conditions naturelles, les

flux d'entrée de ces deux éléments demeurent faibles et sont surtout réduits en période estivale (Due à la faible pluviométrie). Qu'elles soient agricoles (Elevage intensif, épandage d'engrais, irrigation), industrielles ou domestiques (Lessive riche en phosphates,...), les activités humaines ont profondément modifié l'importance, la périodicité et la composition quantitative des apports en azote et en phosphates aux écosystèmes lacustres. Le maintien de flux importants en été, en raison des rejets liés à l'activité humaine, alors que l'intensité lumineuse est maximale, conduit à une stimulation de l'activité photosynthétique, donc de la croissance exubérante du phytoplancton. Les eaux superficielles sont alors fortement colorées (Phénomène de fleur d'eau ou « bloom »). Le développement anarchique de ces organismes s'accompagne d'une situation catastrophique pour le fonctionnement de l'écosystème et le zooplancton n'est plus en mesure d'assurer sa fonction naturelle de régulation de la biomasse des producteurs primaires. Ceux-ci se développant très rapidement, présentent fréquemment des structures coloniales non ingérables par les crustacés filtreurs. De plus, ils excrètent des substances répulsives, voire toxiques. Seuls quelques poissons de vase peuvent subsister.

3.7.4. Trou dans la couche d'ozone

L'ozone stratosphérique se forme spontanément à partir d'atomes d'oxygène libérés par la molécule de dioxygène. Elle forme une couche d'environ 3mm d'épaisseur entre 15 et 25km d'altitude, absorbant la quasi-totalité des ultraviolets (U.V.) à faible longueur d'onde émis par le soleil. Sous l'action des U.V., l'ozone se brise et donne une molécule de dioxygène et un atome d'oxygène qui se recombinent naturellement. L'énergie des U.V. incidents est ainsi fractionnée par la rupture et la recombinaison des molécules d'ozone. Sans la couche d'ozone, les U.V. à haute énergie risqueraient d'atteindre les êtres vivants dont les molécules organiques seraient altérées, compromettant gravement la survie des êtres vivants. Sa réduction est à l'origine d'une augmentation notable des cancers de la peau et diverses autres pathologies, notamment oculaires.

La découverte du trou de la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique a fait prendre conscience des dégâts irréparables causés à l'atmosphère par les activités industrielles. Dès les années 1970, des scientifiques ont montré les dangers d'une utilisation massive des composés chlorofluorocarbonés considérés comme les principaux responsables de l'agression de la couche d'ozone. Ces gaz lorsqu'ils parviennent dans la stratosphère sont

soumis à l'action de photons très énergétiques qui peuvent leur arracher un atome de chlore. Ce composé va former avec les atomes d'oxygène libérés lors du cycle de l'ozone une molécule d'oxygène et un atome de chlore qui s'attaquera à une autre molécule d'ozone.

3.7.5. Effet de serre

L'azote et l'oxygène gazeux qui constituent la majeure partie de l'atmosphère n'absorbent pas et n'émettent pas de radiations thermiques. C'est la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone et quelques autres gaz présents dans l'atmosphère en quantités bien moindres (Méthane, protoxyde d'azote) qui absorbent une partie des radiations thermiques qui quittent la surface. Ils font donc office de « couvercle » imparfait vis-à-vis de ces radiations, ce qui génère la différence de 20 à 30°C entre la température moyenne réelle de la surface terrestre qui avoisine les 15°C et la température que l'on observerait en l'absence de gaz à effet de serre. On appelle cet effet « couvercle » l'effet de serre naturel et les gaz sont logiquement connus en tant que gaz à effet de serre. Quant au renforcement de l'effet de serre, incriminé dans le réchauffement global il est causé par les gaz présents dans l'atmosphère à cause des activités humaines comme l'agriculture intensive, l'exploitation minière, la combustion des combustibles fossiles (Charbon, pétrole, gaz) associée à une déforestation importante, et dont les conséquences sur la vie sur Terre sont catastrophiques (Fonte des calottes glaciaires, augmentation du niveau des mers provoquant des inondations, tempêtes, sécheresse...). Des quantités de plus en plus importantes de dioxyde de carbone ont été émises dans l'atmosphère au cours des 200 dernières années et ces émissions se sont accrues au cours des 50 dernières années. Chaque année, les nouvelles émissions continuent à s'ajouter au carbone présent dans l'atmosphère à hauteur de 8 000 millions de tonnes et qui est susceptible d'y rester pour plus d'un siècle.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Dajoz R. (2006) : Précis d'Ecologie. 8^{ème} édition. Edition Dunod. 631p.**
2. **Delmas R. ; Chauzy S. ; Verstraete J.M. ; Ferré H. (2012) : Atmosphère, océan et climat. Edition Belin. 287p.**
3. **Faurie C. ; Ferra C. ; Médori P. ; Dévaux J. ; Hemptinne J.L. (2011) : Ecologie : Approche scientifique et pratique. 5^{ème} édition. Edition Lavoisier. 407p.**
4. **Faurie C. ; Ferra C. ; Médori P. ; Dévaux J. ; Hemptinne J.L. (2012) : Ecologie : Approche scientifique et pratique. 6^{ème} édition. Edition Lavoisier. 488p.**
5. **Frontier S. ; Pichod-Viale D. ; Leprêtre A. ; Davoult D. ; Luczak C. (2008) : Ecosystème : Structure, Fonctionnement, Evolution. 4^{ème} édition. Edition Dunod. 558p.**
6. **Houghton J. (2011) : Le réchauffement climatique. Edition De Boeck Université. 495p.**
7. **Ramade F. (2009) : Elément d'Ecologie : Ecologie fondamentale. 4^{ème} édition. Edition Dunod. 689p.**
8. **Raven R.H. ; Berg L.R. ; Hassenzahl D.M. (2009) : Environnement. Edition De Boeck Université. 687p.**
9. **Raven R.H. ; Evert R. ; Eichhorn S. (2014) : Biologie végétale. Edition De Boeck Université. 781p.**
10. **Ricklefs R.E. ; Miller G.L. (2005) : Ecologie. Edition De Boeck Université. 821p.**
11. **Rio B. (2006) : L'eau et la vie : Edition du Dauphin. 218p.**
12. **<http://www.fao.org/publications/sofo/fr/>**



Cours d'Ecologie Générale
2^{ème} Année LMD (SNV)
2019-2020