

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
UNIVERSITE MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI BORDJ BOU ARRERIDJ  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE  
LA TERRE ET DE L'UNIVERS  
DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES**

**COURS D' ECOLOGIE GENERALE**

**ASSURE PAR Dr. FELLAH F.**

**ANNEE UNIVERSITAIRE : 2019- 2020**

# **PROGRAMME D'ÉCOLOGIE GÉNÉRALE**

## **INTRODUCTION**

Définition de l'écosystème et des constituants (Notions de biocénose et facteur écologique.)

## **CHAPITRE I: LES FACTEURS DU MILIEU**

### **I.1. Facteurs abiotiques**

- Climatiques.
- Edaphique.

### **I.2. Facteurs biotiques**

- Coactions homotypiques.
- Coactions hétérotypiques.

### **I.3. Interaction des milieux et des êtres vivants**

- Notion de niche écologique
- Notion de facteur limitant et loi du minimum
- Loi de tolérance
- Notion de Valence écologique

## **CHAPITRE II :STRUCTURE DES ÉCOSYSTÈMES**

- La chaîne trophique
- Différents types de chaînes trophiques
- Représentation graphique des chaînes trophiques

## **CHAPITRE III: FONCTIONNEMENT DES ÉCOSYSTÈMES**

- Définitions.
- Transfert d'énergie.
- Les rendements
- Stabilité des écosystèmes.
- Les cycles biogéochimiques

**CHAPITRE IV:** Evolution des écosystèmes et notion de climax.

## INTRODUCTION

### 1. Définition

Le mot « écologie » a été créé en 1866, par le biologiste allemand Ernst Haeckel, à partir de deux mots grecs : *oikos* qui veut dire : maison, habitat, et *logos* qui signifie science. L'écologie apparaît donc comme la science de l'habitat, étudiant les conditions d'existence des êtres vivants et les interactions de toute nature qui existent entre ces êtres vivants et leurs milieux. 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). Par extension, l'écologie s'appuie sur des sciences connexes telles la climatologie, l'hydrologie, l'océanographie, la chimie, la géologie, la pédologie, la physiologie, la génétique, l'éthologie, ... etc. Ce qui fait de l'écologie, une science pluridisciplinaire !

### 2. Notion de système écologique : Ecosystème

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

**Un écosystème** est par définition un système, c'est-à-dire un ensemble d'éléments en interaction les uns avec les autres. C'est un système biologique formé par deux éléments indissociables, **la biocénose** et **le biotope**.

**La biocénose** est l'ensemble des organismes qui vivent ensemble (zoocénose, phytocénose)

**Le biotope (écotope)** est le fragment de la biosphère qui fournit à la biocénose le milieu abiotique indispensable. Il se définit également comme étant l'ensemble des facteurs écologiques abiotiques qui caractérisent le milieu où vit une biocénose déterminée.

**La biosphère** est la partie de l'écorce terrestre où la vie est possible. La biosphère comprend une partie de la lithosphère (partie solide de l'écorce terrestre), une partie de l'atmosphère (la couche gazeuse entourant la Terre) et une partie de l'hydrosphère (partie du système terrestre constituée d'eau). La biosphère désigne l'ensemble de ces milieux et tous les êtres vivants qui y vivent.

**Exemple** : une forêt constituée d'arbres, de plantes herbacées, d'animaux et d'un sol.

**Ecosystème** : forêt.

**Biocénose** : phytocénose (arbres, plantes herbacées) et zoocénose (animaux).

**Biotope** : sol.

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 ; un lac, une prairie, ou un arbre mort...

Suivant l'échelle de l'écosystème nous avons :

- un micro-écosystème : exemple un arbre ;

- un méso-écosystème : exemple une forêt ;
- un macro-écosystème : exemple une région.

Les écosystèmes sont souvent classés par référence aux biotopes concernés. On parlera de :

- Ecosystèmes continentaux (ou terrestres) tels que : les écosystèmes forestiers (forêts), les écosystèmes prairiaux (prairies), les agroécosystèmes (systèmes agricoles);
- Ecosystèmes des eaux continentales, pour les écosystèmes lenticques des eaux calmes à renouvellement lent (lacs, marécages, étangs) ou écosystèmes lotiques des eaux courantes (rivières, fleuves) ;
- Ecosystèmes océaniques (les mers, les océans).

Un **individu** est un spécimen d'une espèce donnée.

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

Une **communauté** ou **biocénose** est l'ensemble des populations d'un même milieu, peuplement animal (zoocénose) et peuplement végétal (phytocénose) qui vivent dans les mêmes conditions de milieu et au voisinage les uns des autres.

## CHAPITRE I

### FACTEURS DU MILIEU

#### Notion de facteur écologique

On appelle « facteur écologique » tout élément du milieu pouvant agir directement sur les êtres vivants au moins durant une phase de leur cycle de vie.

Les facteurs écologiques sont de deux types :

**Facteurs abiotiques** : ensemble des caractéristiques physico-chimiques du milieu tel que les facteurs climatiques (température, pluviosité, lumière, vent...), édaphiques (texture et structure du sol, composition chimique,...)...

**Facteurs biotiques** : ensemble des interactions qui existent entre des individus de la même espèce ou d'espèces différentes : prédation, parasitisme, compétition, symbiose, commensalisme, ...etc.

#### I.1. Facteurs abiotiques

##### A- Facteurs climatiques

##### 1. Définition du climat

Le climat est l'ensemble des conditions 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.

##### 2. Principaux facteurs climatiques

Les éléments du climat qui jouent un rôle écologique sont nombreux. Les principaux sont la température, l'humidité et la pluviosité, l'éclairement et la photopériode (Répartition, dans la journée, entre la durée de la phase diurne et celle de la phase obscure). D'autres, comme le vent et la neige, ont une moindre importance, mais ils peuvent dans certains cas avoir un rôle non négligeable.

##### 2.1. Température

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

La grande majorité des êtres vivants ne peut subsister que dans un intervalle de températures comprise entre 0 et 50°C en moyenne. Les températures trop basses ou trop élevées déclenchent chez certains animaux un état de dormance (quiescence) appelé estivation ou hibernation. Dans les deux cas, le développement est quasiment arrêté.

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

## 2.2. Humidité et pluviosité

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 :

- Des espèces aquatiques qui vivent dans l'eau en permanence (ex : poissons) ;
- Des espèces hygrophiles qui vivent dans des milieux humides (ex : amphibiens) ;
- Des espèces mésophiles dont les besoins en eau sont modérés et qui supportent des alternances de saison sèche et de saison humide ;
- Des espèces xérophiles qui vivent dans les milieux secs où le déficit en eau est accentué (espèces des déserts).

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

### Chez les végétaux

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

### Chez les animaux

- Utilisation de l'eau contenue dans les aliments.
- Réduction de l'excrétion de l'eau par émission d'une urine de plus en plus concentrée.
- Utilisation de l'eau du métabolisme formée par l'oxydation des graisses (dromadaire).

## 2.3. Lumière et ensoleillement

L'ensoleillement est défini comme étant la durée pendant laquelle le soleil a brillé. Le rayonnement solaire est composé essentiellement de lumière visible, de rayons Infrarouge et de rayons Ultraviolet. L'éclairement a une action importante non seulement par son intensité et sa nature (longueur d'onde) mais aussi par la durée de son action (photopériode).

### Action sur les végétaux

Les végétaux sont adaptés à l'intensité et à la durée de l'éclairement. Cette adaptation est importante lorsque les végétaux passent du stade végétatif (phase de croissance et de développement) au stade reproductif (floraison).

Les végétaux peuvent être divisés en trois catégories :

- **Les végétaux de jours courts** : ils ne fleuriront que si la photopériode au moment de l'éclosion des bourgeons est inférieure ou égale à 12h d'éclairement.
- **Les végétaux de jours longs** : qui ont besoin pour fleurir d'au moins 12h d'éclairement.
- **Les indifférents** : la durée d'éclairement ne joue aucun rôle dans la floraison.

### Action sur les animaux

Chez les animaux, le rôle essentiel de la photopériode réside dans l'entretien des rythmes biologiques saisonniers, quotidiens (circadiens) ou lunaires.

- **Rythmes biologiques saisonniers** : ils sont de deux types :
  - **Rythme de reproduction chez les vertébrés** : ils ont pour résultat de faire coïncider la période de reproduction avec la saison favorable.
  - **Diapause** : la photopériode est le facteur essentiel qui déclenche chez l'animal l'entrée en diapause avant que ne survienne la saison défavorable.
- **Rythmes quotidiens ou circadiens**

Il s'agit de rythmes dont la période est égale à 24h. Ils sont entretenus par un mécanisme interne mal connu appelé « horloge biologique », dont le réglage est conditionné par l'éclairement et la température.

- **Rythmes lunaires**

Il s'agit de rythmes d'activité déclenchés par la lumière lunaire. Ils sont surtout connus chez les animaux marins.

### 2.4. Vent

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

- Il a un pouvoir desséchant car il augmente l'évaporation.
- Il a aussi un pouvoir de refroidissement considérable.
- Le vent est un agent de dispersion des animaux et des végétaux.
- L'activité des insectes est ralentie par le vent.
- Les coups de vent, en abattant des arbres en forêt, créent des clairières dans lesquelles des jeunes arbres peuvent se développer.

### 2.5. Neige

C'est un facteur écologique important en montagne. La couverture de neige protège le sol du refroidissement. Sous un mètre de neige, la température du sol est de  $-0,6^{\circ}\text{C}$ , alors qu'elle est de  $-33,7^{\circ}\text{C}$  à la surface.

**B- Facteurs édaphiques**

**1. Définition du sol**

Le sol est un milieu vivant complexe et dynamique, définit 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. 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.

**2. Les facteurs édaphiques**

**2.1. La texture du sol**

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

Particule	Diamètre
Graviers	>2 mm
Sables grossiers	2 mm à 0,2 mm
Sables fins	0,2 mm à 20 µm
Limons	20 µm à 2µm
Argiles	< 2µm

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

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

Sur le plan biologique, la granulométrie intervient dans la répartition des animaux et des eaux souterraines. Nombreux organismes tels que les vers de terre préfèrent les sols limoneux ou argilo-sableux, tout comme quelques espèces de coléoptères qui préfèrent les sols argileux et/ou limoneux,

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.

## 2.2. La structure du sol

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

- **Particulaire** : où les éléments du sol ne sont pas liés, le sol est très meuble (sols sableux).
- **Massive** : où les éléments du sol sont liés par des ciments (matière organique, calcaire) durcies en une masse très résistante discontinue ou continue (sols argileux). Ce type de sol est compact et peu poreux. Il empêche cependant, les migrations verticales des animaux sensibles à la température et à l'humidité et ainsi en interdire l'existence.
- **Fragmentaire** : où les éléments sont liés par des matières organiques et forment des agrégats (Assemblage hétérogène de substances ou d'éléments qui adhèrent solidement entre eux) de tailles plus ou moins importantes. Cette structure est la plus favorable à la vie des êtres vivants, car elle comporte une proportion suffisante de vides ou de pores qui favorisent la vie des racines et l'activité biologique en général, en permettant la circulation de l'air et de l'eau.

## 2.3. L'eau du sol

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

- **L'eau hygroscopique** : provient 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 0,8mm. Elle est absorbée par les végétaux et elle 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. Cette eau s'écoule sous l'action de la pesanteur.

## 2.4. Le pH du sol

Le pH du sol est la résultante de l'ensemble de divers facteurs pédologiques. En effet, la solution du sol contient des ions  $H^+$  provenant de :

- L'altération de la roche mère
- L'humification de la matière organique (synthèse d'acide humique)
- L'activité biologique
- L'effet des engrais acidifiants

Le pH dépend également de la nature de la couverture végétale et des conditions climatiques (température et pluviosité) :

- les pH basiques (supérieurs à 7,5) caractérisent les sols qui se développent sur une roche mère calcaire. On les rencontre généralement dans les climats secs ou saisonnièrement secs et sous une végétation présentant des feuilles à décomposition rapide.
- Les pH acides (entre 4 et 6,5) se rencontrent beaucoup plus sous les climats humides et froids favorables à une accumulation de la matière organique. Ils caractérisent les forêts de conifères. Ils se forment surtout sur les roches siliceuses et les roches granitiques.

Les organismes vivants tels que les Protozoaires supportent des variations de pH de 3,9 à 9,7 suivant les espèces : certaines sont plutôt **acidophiles** alors que d'autres sont **basophiles**. Les **neutrophiles** sont les plus représentées dans la nature.

## 2.5. La composition chimique

Les divers types de sols ont des compositions chimiques très variées. Les éléments les plus étudiés en ce qui concerne leur action sur la faune et la flore sont les chlorures et le calcium.

Les sols salés, ayant des teneurs importantes en chlorure de sodium, ont une flore et une faune très particulière. Les plantes des sols salés sont des **halophytes**.

En fonction de leurs préférences, les plantes sont classées en **calcicoles** (espèces capables de supporter des teneurs élevées en calcaire), et **calcifuges** (espèces qui ne supportent que de faibles traces de calcium).

Quant aux animaux, le calcium est nécessaire pour beaucoup d'animaux du sol.

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

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

### 1. Coactions homotypiques

#### 1.1. L'effet de groupe

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

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

#### 1.2. L'effet de masse

A l'inverse de l'effet de groupe, l'effet de masse se produit, quand le milieu, souvent surpeuplé, provoque une compétition sévère aux conséquences néfastes pour les individus. Les effets néfastes de ces compétitions ont des conséquences sur le métabolisme et la physiologie des individus qui se traduisent par des perturbations, comme la baisse du taux de fécondité, la diminution de la natalité, l'augmentation de la mortalité. Chez certains organismes, le surpeuplement entraîne des phénomènes appelés phénomènes d'**autoélimination**.

#### 1.3. La compétition intraspécifique

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

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

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

## 2. Coactions hétérotypiques

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

### 2.1. Le neutralisme

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

### 2.2. La compétition interspécifique

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

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

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

### 2.3. La prédation

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

### 2.4. Le parasitisme

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

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

### 2.5. Le commensalisme

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

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

### 2.6. Le mutualisme

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

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

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

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

### 2.7. L'amensalisme

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

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

### I.3. Interaction des milieux et des êtres vivants

Les réactions des êtres vivants face aux variations des facteurs physico-chimiques du milieu intéressent la morphologie, la physiologie, le comportement.

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.

#### A. Notion de niche écologique

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

Les organismes peuvent changer de niches quand ils se développent.

**Exemple :** les crapauds communs occupent un environnement aquatique (s'alimentent d'algues et de détritus) avant de se métamorphoser en adultes, où ils deviennent terrestres (s'alimentent d'insectes).

Stade	Jeune	Adulte
Environnement	Aquatique	Terrestre
Alimentation	Algues + détritus	Insectes

## B. Notion de facteur limitant et loi du minimum

Tous les facteurs écologiques sont susceptibles de se comporter comme des facteurs **limitant** lorsqu'ils atteignent des valeurs incompatibles avec la vie d'une espèce. Par exemple, la truite nécessite une eau dont la concentration en O<sub>2</sub> dissous est au moins de 7 mg/l.

Découverte en 1840 par Liebig, la **loi du minimum** dit que " la croissance des végétaux n'est possible que si tous les éléments minéraux sont présents en quantité suffisante dans le sol " ou encore que " Le rendement d'une culture dépend alors uniquement de l'élément nutritif dont la quantité vient à manquer."

L'**interaction** des facteurs écologiques est déterminante dans la loi du minimum. Par exemple, le zinc serait pour les plantes moins nécessaire lorsque les sols se trouvent à l'ombre.

## C. Loi de tolérance (ou loi de Shelford)

Pour tout facteur de l'environnement, il existe un **intervalle de tolérance** pour un bon déroulement de la vie. La loi du minimum peut être considérée comme un cas particulier de cette loi de tolérance. C'est seulement à l'intérieur de cet intervalle que la vie de tel ou tel organisme, population ou biocénose est possible. La borne inférieure le long de ce gradient délimite la mort par carence, la borne supérieure délimite la mort par toxicité. A l'intérieur de l'intervalle de tolérance, existe une valeur optimale, dénommée « optimum écologique » pour lesquelles le métabolisme de l'espèce ou de la communauté considérée s'effectue à une vitesse maximale (Fig.01).

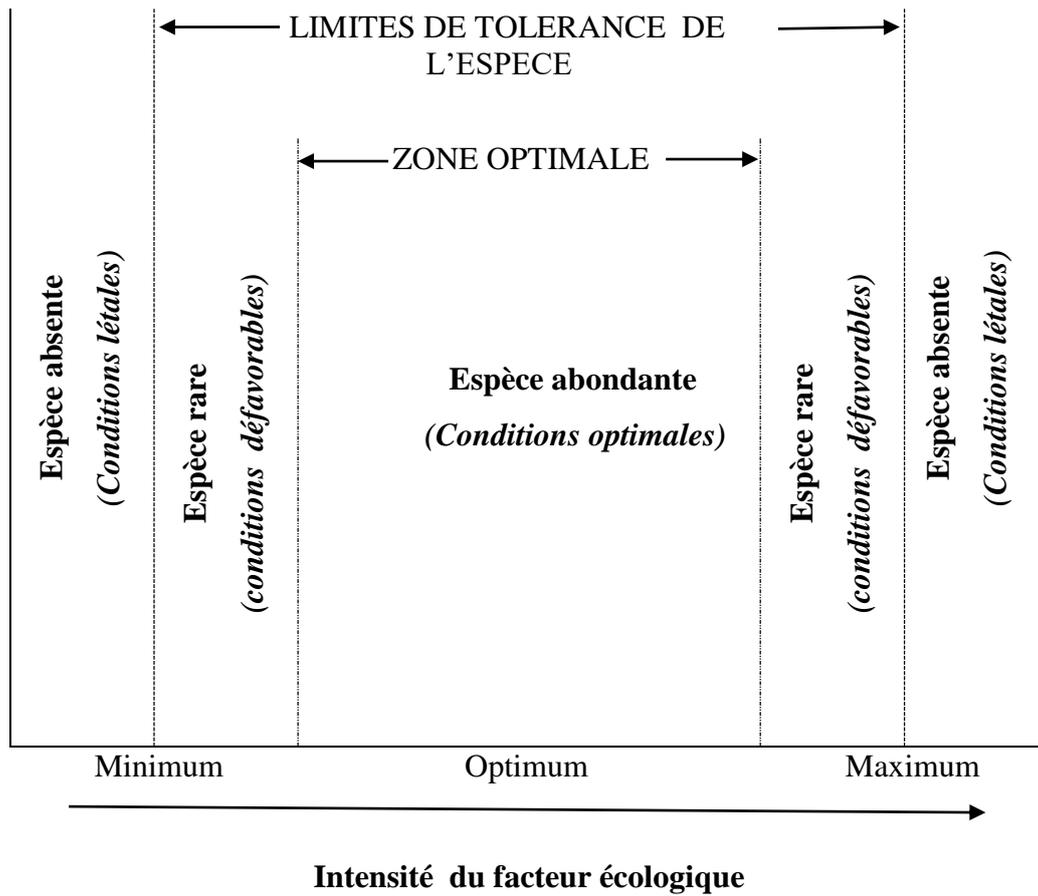
## E. Notion de Valence écologique

La valence écologique d'une espèce représente sa capacité à supporter les variations plus ou moins grandes d'un facteur écologique. Elle représente la capacité à coloniser ou à peupler un biotope donné.

- 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, elle est dite **sténoèce**.
- Une espèce à valence écologique moyenne, est dite **mesoèce**.

### Exemples :

La puce des neiges, *Boreus Hyemalis*, insecte de l'ordre des mécoptères, vit dans les Alpes à la limite de la zone des neiges et demeure active entre - 12 °C et + 32°C.



**Figure 01 :** Limites de tolérance d'une espèce en fonction de l'intensité du facteur écologique étudié. (L'abondance de l'espèce est maximale au voisinage de l'optimum écologique).

## CHAPITRE II

### STRUCTURE DES ECOSYSTEMES

#### II.1. La chaîne trophique

##### II.1.1. Définition

Une chaîne trophique ou chaîne alimentaire est une succession d'organismes dont chacun vit au dépend du précédent. Tout écosystème comporte un ensemble d'espèces animales et végétales qui peuvent être réparties en trois groupes : les producteurs, les consommateurs et les décomposeurs.

##### II.1.2. Les producteurs

Ce sont les végétaux autotrophes photosynthétiques (plantes vertes, phytoplancton : cyanobactéries ou algues bleues : organisme procaryote). Ayant le statut de producteurs primaires, ils constituent le premier niveau trophique de l'écosystème. En effet, grâce à la photosynthèse ils élaborent la matière organique à partir de matières strictement minérales fournies par le milieu extérieur abiotique.

##### II.1.3. Les consommateurs

Il s'agit d'êtres vivants, dits hétérotrophes, qui se nourrissent des matières organiques complexes déjà élaborées qu'ils prélèvent sur d'autres êtres vivants. Ils se considèrent comme étant des producteurs secondaires. Les consommateurs occupent un niveau trophique différent en fonction de leur régime alimentaire. On distingue les consommateurs de matière fraîche et les consommateurs de cadavres.

#### A. Les consommateurs de matière fraîche, il s'agit de :

- **Consommateurs primaires (C1) :** Ce sont les phytophages qui mangent les producteurs. Ce sont en général des animaux, appelés herbivores (mammifères herbivores, insectes, crustacés : crevette), mais aussi plus rarement des parasites végétaux et animaux des plantes vertes.
- **Consommateurs secondaires (C2) :** Prédateurs de C1. Il s'agit de carnivores se nourrissant d'herbivores (mammifères carnassiers, rapaces, insectes,...).
- **Consommateurs tertiaires (C3) :** Prédateurs de C2. Ce sont donc des carnivores qui se nourrissent de carnivores (oiseaux insectivores, rapaces, insectes,...).

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

Les C<sub>2</sub> et les C<sub>3</sub> sont soit des prédateurs qui capturent leurs proies, soit des parasites d'animaux.

#### B. Les consommateurs de cadavres d'animaux

Les **charognards** ou **nécrophages** désignent les espèces qui se nourrissent des cadavres d'animaux frais ou décomposés. Ils terminent souvent le travail des carnivores. **Exemple :** Chacal, Vautour,...

### B.1. Les décomposeurs ou détritivores

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

- **Saprophyte** : Organisme végétal se nourrissant de matières organiques en cours de décomposition.  
**Exemple**: Champignons.
- **Saprophage** : Organisme animal qui se nourrit de matières organiques en cours de décomposition.  
**Exemple** : Bactéries.
- **Détritivore** : Invertébré qui se nourrit de détritus ou débris d'animaux et/ou de végétaux.  
**Exemple** : Protozoaires, lombrics, nématodes, cloportes.
- **Coprophage** : Animal qui se nourrit d'excréments.  
**Exemple** : Bousier.

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

### B.2. Les fixateurs d'azote

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

## II.2. Différents types de chaînes trophiques

Il existe trois principaux types de chaînes trophiques linéaires :

- **Chaîne de prédateurs**  
Dans cette chaîne, le nombre d'individus diminue d'un niveau trophique à l'autre, mais leurs tailles augmentent (règle d'Elton énoncée en 1921).  
**Exemple** : (100) Producteurs + (3) Herbivores + (1) Carnivore.
- **Chaîne de parasites**  
Cela va au contraire d'organismes de grandes tailles vers des organismes plus petits, mais de plus en plus nombreux (la règle d'Elton n'est pas vérifiée dans ce cas).  
**Exemple** : (50) Herbes + (2) Mammifères herbivores + (80) Pucelles + (150) Leptomonas.
- **Chaîne de détritivores**  
Va de la matière organique morte vers des organismes de plus en plus petits (microscopiques) et nombreux (la règle d'Elton n'est pas vérifiée dans ce cas).  
**Exemple** : (1) Cadavre + (80) Nématodes + (250) Bactéries.

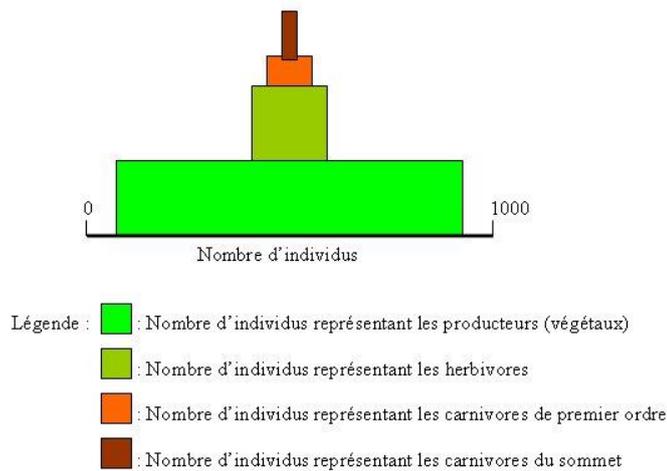
### II.3. Représentation graphique des chaînes trophiques

La schématisation de la structure des biocénoses est généralement conçue à l'aide de pyramides écologiques, qui correspondent à la superposition de rectangles horizontaux de même hauteur, mais de longueurs proportionnelles au nombre d'individus, à la biomasse ou à la quantité d'énergie présentes dans chaque niveau trophique. On parle alors de pyramide des nombres, des biomasses ou des énergies.

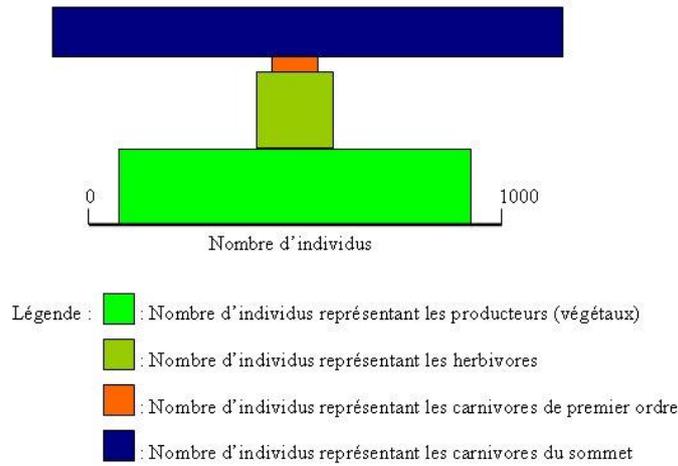
#### a) La pyramide des nombres

À la base de cette pyramide se trouve habituellement le niveau trophique inférieur de toute chaîne alimentaire : celui des producteurs (les végétaux) au-dessus duquel s'empilent les niveaux trophiques supérieurs. Les pyramides des nombres n'ont pas toutes une base plus large que le sommet. Les pyramides peuvent être inversées (un sommet plus large que la base) ou avoir une forme particulière (voir l'exemple b) ci-dessous). Il reste que, dans chaque cas, la largeur de chacun des niveaux trophiques est un indicateur du nombre d'organismes appartenant à ces niveaux.

Voici deux exemples de pyramides des nombres :



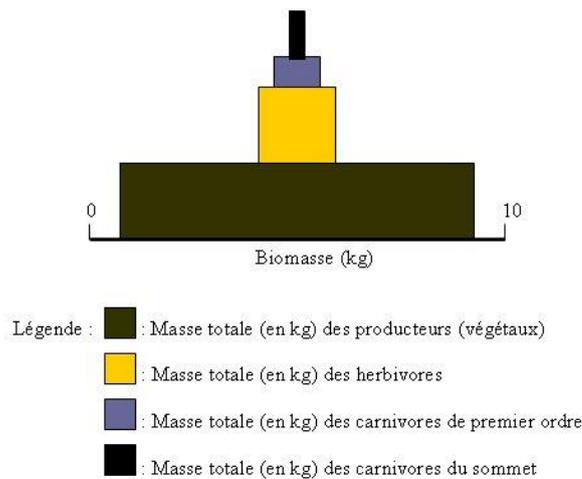
Cette représentation pourrait illustrer la chaîne alimentaire suivante : herbe - sauterelle - grenouille - faucon. Par ce type de représentation pyramidale, il faut comprendre que les carnivores du sommet (le faucon) sont moins nombreux que les carnivores de premier ordre (la grenouille). De la même façon, la population des carnivores de premier ordre est plus petite que celle des herbivores (la sauterelle). Bref, l'importance de la largeur de la base nous indique qu'un grand nombre d'organismes est nécessaire pour satisfaire aux besoins alimentaires des organismes d'un niveau trophique supérieur dans la chaîne alimentaire.



Cette représentation pourrait illustrer la chaîne alimentaire suivante : herbe - lapin - renard - puces. De ce type de pyramide, il faut comprendre que les carnivores du sommet (les puces) sont plus nombreux que les carnivores de premier ordre (le renard). En effet, pour un seul renard, on trouvera plusieurs puces (insectes) se nourrissant du sang du renard. Toutefois, la population des carnivores de premier ordre est plus petite que celle des herbivores (le lapin).

**b) La pyramide des biomasses**

Les pyramides des biomasses sont utiles pour comparer, en termes de masse totale des organismes, les niveaux trophiques d'une chaîne alimentaire. Cette considération écologique tient compte, par exemple, qu'un lièvre s'avère être un meilleur repas qu'une souris pour un renard affamé ! La forme des pyramides des biomasses est relativement constante : la biomasse décroît au fur et à mesure que le niveau trophique est plus élevé. Voici un exemple d'une pyramide des biomasses :

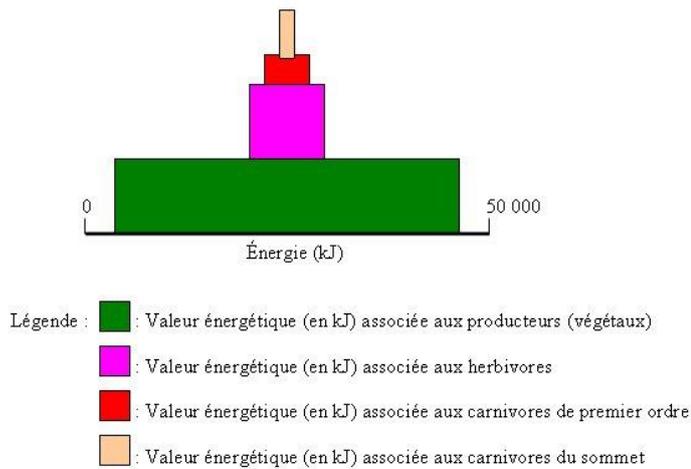


**c) La pyramide d'énergie**

Un renard affamé n'obtiendra pas la même valeur énergétique pour son repas s'il mange 1 kg de poulet ou 1 kg de souris. De la même façon, 500 g d'herbes n'a pas la même importance énergétique que 500 g de viande.

Ni la pyramide des nombres, ni la pyramide des biomasses ne renseignent sur l'aspect énergétique associé à un aliment bien que cet aspect soit important à considérer dans une chaîne alimentaire. Il faut alors se tourner vers les pyramides d'énergie pour obtenir une représentation plus juste.

Voici un exemple d'une pyramide d'énergie :



## CHAPITRE III

### FONCTIONNEMENT DES ECOSYSTEMES

#### III.1. Définition

- **Productivité brute (PB):** Quantité de matière vivante produite pendant une unité de temps, par un niveau trophique donné.
- **Productivité nette (PN):** Productivité brute moins la quantité de matière vivante dégradée par la respiration.  
 $PN = PB - R$ .
- **Productivité primaire :** Productivité nette des autotrophes chlorophylliens.
- **Productivité secondaire :** Productivité nette des herbivores, des carnivores et des décomposeurs.

#### III.2. Transfert d'énergie

Les relations trophiques qui existent entre les niveaux d'une chaîne trophique se traduisent par des transferts d'énergie d'un niveau à l'autre.

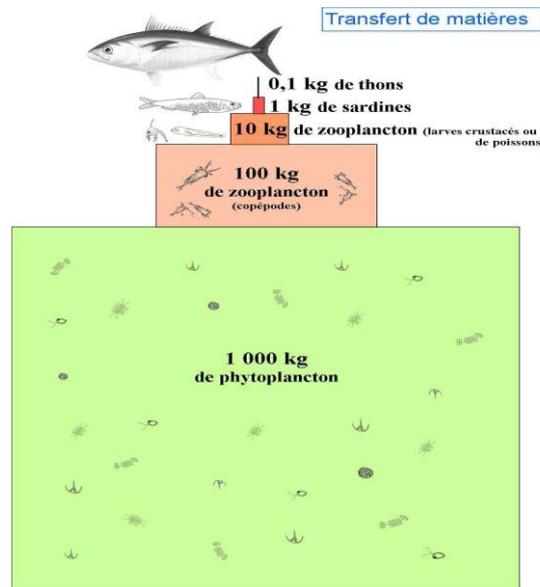
- Une partie de la lumière solaire absorbée par le végétal est dissipée sous forme de chaleur.
- Le reste est utilisé pour la synthèse de substances organiques (photosynthèse) et correspond à la **Productivité primaire Brute (PB)**.
- Une partie de **(PB)** est perdue pour la **Respiration (R1)**.
- Le reste constitue la **Productivité primaire Nette (PN)**.
- Une partie de **(PN)** sert à l'augmentation de la biomasse végétale avant d'être la proie des bactéries et des autres décomposeurs.
- Le reste de **(PN)**, sert d'aliment aux herbivores qui absorbent ainsi une quantité d'énergie Ingérée **(I1)**.
- La quantité d'énergie ingérée **(I1)** correspond à ce qui réellement utilisé ou Assimilé **(A1)** par l'herbivore, plus ce qui est rejeté (**Non Assimilée (NA1)**) sous la forme d'excréments et de déchets :  
 $I1 = A1 + NA1$
- La fraction assimilée **(A1)** sert d'une part à la **Productivité Secondaire (PS1)** et d'autre part aux dépenses **Respiratoires (R2)**.
- On peut continuer le même raisonnement pour les carnivores.

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

Dans le cas des producteurs primaires, ce flux est : **PB = PN + R1**.

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

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



*Biomasse des différents niveaux d'une chaîne alimentaire :*

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

### III.3. Les rendements

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

- **Rendement écologique :** C'est le rapport de la production nette du niveau trophique de rang (n) à la production nette du niveau trophique de rang (n-1) :  $(PS1/PN \times 100)$  ou  $(PS2/PS1 \times 100)$ .
- **Rendement d'exploitation :** C'est le rapport de l'énergie ingérée (I) à l'énergie disponible. C'est la production nette de la proie :  $(I1/PN \times 100)$  ou  $(I2/PS1 \times 100)$ .
- **Rendement de production nette :** Qui est le rapport de la production nette à l'énergie assimilée :  $(PS2/A2 \times 100)$  ou  $(PS1/A1 \times 100)$ .
- **Rendement d'assimilation :** C'est le rapport de l'énergie assimilée (A) à l'énergie ingérée (I). Ce rendement exprime l'aptitude d'une espèce à utiliser l'énergie contenue dans les aliments :  $(A1/I1 \times 100)$  ou  $(A2/I2 \times 100)$ .

### III.4. Stabilité des écosystèmes

Les ressources disponibles, régulées par les facteurs physico-chimiques du milieu, contrôlent les chaînes trophiques depuis les producteurs jusqu'aux prédateurs. C'est la théorie du contrôle des communautés par les ressources (éléments nutritifs), ou **contrôle bottom-up** (du bas vers le haut).

**Exemple :** La relation existante entre la teneur en phosphates des océans + la quantité des planctons + taille des poissons qui s'en nourrissent.

A l'inverse, le fonctionnement d'un écosystème dépend de la prédation exercée par les niveaux trophiques supérieurs sur les niveaux trophiques inférieurs. **C'est le contrôle top-down.**

**Exemple :** Effet régulateur d'une population de carnivores (loups) sur une population de proies (lièvres). Les deux contrôles interviennent simultanément dans les écosystèmes et peuvent être complémentaires. Les modifications par l'homme d'un niveau trophique peuvent amplifier l'un ou l'autre des deux contrôles et entraîner une instabilité de l'écosystème.

**Exemples :**

- Augmentation des ressources en éléments nutritifs (amplification du contrôle bottom-up). Cas de la pollution organique des eaux ou eutrophisation.
- Diminution d'abondance d'un prédateur de haut niveau (amplification du contrôle top-down). Cas de la chasse ou de la pêche.

### III.5. Les cycles biogéochimiques

Il existe une circulation de la matière dans chaque écosystème où des molécules ou des éléments chimiques, reviennent sans cesse à leur point de départ et que l'on peut qualifier de cyclique, à la différence des transferts d'énergie. Le passage alternatif des éléments, ou molécules, entre milieu inorganique et matière vivante, est appelé cycle biogéochimique. Celui-ci correspond à un **cycle biologique** (cycle interne à l'écosystème qui correspond aux échanges entre les organismes) auquel se greffe un **cycle géochimique** (cycle de grandes dimensions, pouvant intéresser la biosphère entière et qui concernent les transports dans le milieu non vivant).

On peut distinguer trois principaux types de cycles biogéochimiques :

- Le cycle de l'eau.
- Le cycle des éléments à phase gazeuse prédominante (carbone, oxygène, azote).
- Le cycle des éléments à phase sédimentaire prédominante (phosphore, potassium etc.).

#### 5.1. Le cycle de l'eau

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

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

**L'évapotranspiration** joue un rôle également important dans le cycle de l'eau.

**Le ruissellement** : phénomène d'écoulement des eaux à la surface des sols.

**L'infiltration** : phénomène de pénétration des eaux dans le sol, à travers les fissures naturelles des sols et des roches, assurant ainsi l'alimentation des nappes phréatiques.

## 5.2. Le cycle du carbone

Lors de la respiration, les êtres vivants consomment de l'oxygène et rejettent du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) dans l'atmosphère. De même, les industries, les véhicules de transports rejettent du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère après combustion d'un carburant, en présence d'oxygène. Les éruptions volcaniques sont également considérées comme source naturelle de CO<sub>2</sub>. Le CO<sub>2</sub> est absorbé par les plantes (photosynthèse) et l'eau (dissolution). Photosynthèse et dissolution sont les phénomènes permettant le recyclage du gaz carbonique.

## 5.3. Le cycle du phosphore

En dépit de la rareté du phosphore minéral dans la biosphère, cet élément reste important pour la matière vivante (c'est un constituant de l'ADN, de l'ARN et de l'ATP). Son réservoir principal est constitué par diverses roches qui cèdent peu à peu leurs phosphates aux écosystèmes.

Dans le milieu terrestre, la concentration en phosphore assimilable est souvent faible et joue le rôle de facteur limitant.

## 5.4. Le cycle de l'azote

Le cycle de l'azote est très complexe.

Trois processus de base sont impliqués dans le recyclage de l'azote: la fixation de l'azote diatomique N<sub>2</sub>, la nitrification et la dénitrification.

# III. 6. Influence des activités humaines sur les équilibres biologiques

## 6.1. L'eutrophisation

L'eutrophisation est une forme singulière mais naturelle de pollution de certains écosystèmes aquatiques qui se produit lorsque le milieu reçoit trop de matières nutritives assimilables par les algues et que celles-ci prolifèrent. Les principaux nutriments à l'origine de ce phénomène sont le phosphore (contenu dans les phosphates) et l'azote (contenu dans l'ammonium, les nitrates, et les nitrites). L'eutrophisation s'observe surtout dans les écosystèmes dont les eaux se renouvellent lentement et en particulier dans les lacs profonds.

L'eutrophisation devient un problème écologique (et économique) quand il y a déséquilibre entre un apport (excessif) et la consommation naturelle de nutriments par l'écosystème :

- azote, introduit dans le milieu terrestres et/ou aquatique sous trois formes minérales qui sont l'ammonium (ou azote ammoniacal, le plus directement et rapidement toxique pour les organismes aquatiques), les nitrites (ou azote nitreux) et les nitrates (ou azote nitrique), chacune de ces formes ayant une écotoxicité et une toxicité différente),

- carbone (carbonates, hydrogénocarbonates, matières organiques...)
- phosphore, qui est généralement le facteur limitant dans les milieux naturels d'eau douce (tandis que l'azote est limitant en milieu marin (loi de Liebig). Ce sont souvent les phosphates (orthophosphates, polyphosphates) qui permettent l'emballement du processus, mais le taux de saturation en phosphore n'est pas à lui seul un bon indicateur de risque.

Ce milieu déséquilibré est dit *dystrophe* et peut devenir *hypertrophe*. Pour les trois nutriments évoqués ci-dessus, des variations de conditions du milieu abiotique (oxydo-réduction) ou biotique (sous l'influence de l'activité bactérienne et des racines, ainsi que du métabolisme végétal, fongique et animal) peuvent faire passer l'azote, le carbone et le phosphore de l'une de leurs formes à une autre. Or ces formes sont plus ou moins toxiques ou écotoxiques.

C'est dans les années 1960 avec la subite et rapide dégradation des lacs en aval de zones fortement urbanisées qu'on a pris conscience de ce phénomène.

Ce processus a comme principales origines :

- **Des épandages agricoles** de fumiers, lisiers ou engrais chimiques trop fréquents ou trop concentrés (en azote et phosphore). Une carence en potassium peut parfois aussi être en cause ;
- **Des rejets industriels et/ou urbains** d'eaux usées ou de boues d'épuration trop riches en nitrates, ammonium, phosphore et matières organiques incomplètement traitées ;
- La déforestation et les coupes rases qui aggravent le ruissellement du phosphore (doublement ou triplement des teneurs de l'eau en aval après la coupe au Québec selon Carignan et al, 2000 et des nitrates (augmentation d'un facteur 6 au Québec), et les incendies de forêts qui sont suivis d'une augmentation des nitrates dans l'eau de ruissellement (jusqu'à 60 fois plus, selon des mesures faites au Canada).

La conjonction de ces phénomènes a fait de l'eutrophisation un processus fréquent, atteignant même les zones océaniques, pouvant provoquer l'extension de zones mortes), ou le développement d'algues toxiques, telles *Dynophysis*, sur les littoraux, par exemple en Bretagne (France). Dans certaines régions, comme en Bretagne, les marées vertes et certaines algues toxiques semblent principalement dues au rejet du lisier provenant de l'élevage porcins (densément implanté en Bretagne).

## 6.2. Les pluies acides

Pluies acides, forme de pollution atmosphérique faisant actuellement l'objet d'une grande controverse en raison des importants dommages dont elle serait responsable sur l'environnement. Les pluies acides se forment lorsque les oxydes de soufre et d'azote s'associent à l'humidité de l'air pour libérer de l'acide

sulfurique et de l'acide nitrique qui sont ensuite transportés très loin de leur source avant d'être précipités par la pluie sous forme de PLUIES ACIDES.

**a) Les gaz qui sont à l'origine des pluies acides**

**Le dioxyde de soufre :  $SO_2$ .** C'est l'un des plus dangereux gaz et il provient surtout des sources industrielles et d'électricité mais aussi des combustibles, usines à charbon, du traitement du gaz naturel et surtout de la production d'électricité.

**Le dioxyde de carbone :  $CO_2$ .** Ce gaz provient des transports en tout genre, des feux de forêts, centrales thermiques et chaudières industrielles.

**Oxyde d'azote :  $NO_x$ .** Les émissions d'oxydes d'azote proviennent essentiellement des combustions de carburants de véhicules automobiles, des combustibles d'appareils de chauffage domestiques et de l'alimentation des centrales thermiques.

**b) Les effets des pluies acides**

Les enfants, les personnes âgées et celles qui ont des problèmes respiratoires et cardiaques voient leur état de santé se détériorer lorsqu'ils vivent dans des régions où il y a le SMOG acide ou des pluies acides. Outre les effets néfastes sur notre santé, les différents composants de notre environnement peuvent être affectés par les pluies acides : eaux, sol, matériaux et végétaux.

- **Les conséquences sur l'eau et la vie des lacs :** L'eau paraît plus transparente car le plancton a disparu. Les poissons respirent mal. Les différentes espèces disparaissent.
- **Les conséquences sur les matériaux :** Lorsque les précipitations lavent l'atmosphère de ses polluants, pratiquement tout l'ensemble des différents matériaux ou monuments est susceptible d'être dégradé. L'acidification des précipitations entraîne une corrosion des surfaces métalliques: L'érosion des voies de chemin de fer limite les trains à une certaine vitesse. La pierre est également atteinte. On observe la formation d'une croûte en surface qui se décolle laissant apparaître la pierre qui se décolle en poussière. Malheureusement la pollution n'épargne pas les monuments.
- **Les conséquences sur les plantes et les forêts :** Les pluies acides participent au dépérissement des forêts. Sous l'action des polluants la perméabilité de la cuticule des feuilles et des aiguilles est modifiée. Pendant de nombreuses années les dégâts constatés ont essentiellement concerné les résineux (pins, sapins). Aujourd'hui les symptômes sont les plus visibles sur les arbres âgés (chênes, etc...)

- **Les conséquences sur les sols** : Les précipitations acides modifient la composition chimique de certains sols en les acidifiant. Ces effets se traduisent par une perte d'éléments minéraux nutritifs pour les arbres et la végétation. Les sols sableux sont les plus sensibles. Ils sont facilement lessivables.

### 6.3. Effet de serre

L'effet de serre est un phénomène thermique bien connu sur les planètes comme la Terre et Vénus, où l'atmosphère laisse passer une partie du rayonnement solaire qui vient frapper le sol. Réchauffé, celui-ci émet un rayonnement infrarouge en partie ou totalement piégé par l'atmosphère rendue « imperméable » par la présence de gaz, dont principalement la vapeur d'eau sur Terre et le CO<sub>2</sub> sur Venus. On observe alors une isolation accrue de la planète et un réchauffement global de celle-ci. À noter que l'effet de serre existe aussi sur Mars, bien qu'il soit très faible.

Les gaz à effet de serre sont des composants *gazeux* de l'atmosphère qui contribuent à l'effet de serre (sans perdre de vue que l'atmosphère contient d'autres composants non gazeux qui contribuent à l'effet de serre, comme les gouttes d'eau des nuages sur Terre). Ces gaz ont pour caractéristique commune d'absorber une partie des infrarouges émis par la surface de la Terre.

Sous l'effet des gaz à effet de serre, l'atmosphère terrestre se comporte en partie comme la vitre d'une serre, laissant entrer une grosse partie du rayonnement solaire, mais retenant le rayonnement infrarouge réémis.

La transparence de l'atmosphère (dans l'ordre du spectre visible) permet au rayonnement solaire d'atteindre le sol. L'énergie ainsi apportée s'y transforme en chaleur. Comme tout corps chaud, la surface de la Terre rayonne sa chaleur. Mais les GES et les nuages sont opaques aux rayons infrarouges émis par la Terre. En absorbant ces rayonnements, ils emprisonnent l'énergie thermique près de la surface du globe, où elle réchauffe l'atmosphère basse. Les nuages qui sont des particules de glace (ou d'eau liquide) réfléchissent le rayonnement solaire vers l'espace et le rayonnement terrestre vers elle.

#### *Effets des activités humaines*

La plupart des gaz à effet de serre (GES) sont d'origine naturelle. Mais certains d'entre eux sont uniquement dus à l'activité humaine ou bien voient leur concentration dans l'atmosphère augmenter en raison de cette activité. C'est le cas en particulier de l'ozone (O<sub>3</sub>), du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et du méthane (CH<sub>4</sub>).

La combustion des carbones fossiles comme le charbon, le lignite, le pétrole ou le gaz naturel (méthane) rejette du CO<sub>2</sub> en grande quantité dans l'atmosphère : la concentration atmosphérique de gaz carbonique a ainsi légèrement augmenté, passant de 0,030 % à 0,038 % en 50 ans. Un des secteurs d'activités qui

dégagent le plus de gaz à effet de serre est l'énergie : à ce sujet, voir l'article énergie et effet de serre. Ces combustibles augmentent, de plus, la concentration de gaz à effet de serre, car ils étaient enfouis dans le sol depuis des milliers d'années ce qui a rompu l'équilibre. Il s'agit d'un ajout additionnel de gaz carbonique dans l'atmosphère qui n'est pas non plus complètement compensé par une assez grande absorption : seule la moitié serait recyclée par la nature ; l'autre moitié resterait dans l'atmosphère et augmenterait l'effet de serre.

La seconde cause d'émission de gaz à effet de serre est la déforestation, qui est responsable à elle seule de 20 % des émissions mondiales. Les déboisements les plus importants concernent les trois grandes forêts tropicales que sont la forêt amazonienne, la forêt du Bassin du Congo, et la forêt indonésienne. Il s'agit d'une des plus grandes causes, car tout le carbone absorbé par ces arbres est rediffusé dans l'air. S'il y avait replantation, cette quantité de dioxyde de carbone serait réabsorbée par un autre arbre, mais sans replantation, alors il n'y a qu'un ajout de la quantité de ce gaz dans l'air.

### ***Conséquences pour l'environnement***

L'effet de serre n'est pas en soi nocif aux écosystèmes ; sans lui, la Terre ne serait qu'une boule de glace où la vie ne serait pas possible, car il n'y aurait pas d'eau liquide. Le danger pour les écosystèmes réside plutôt dans la variation trop rapide et trop importante des conditions climatiques pour que la plupart des espèces dites *évoluées* puissent s'adapter en cas de changements de température et de pluviométrie. Des écosystèmes marins et littoraux pourraient également être touchés par une hausse du niveau de la mer et des modifications des courants marins et des conditions physico-chimiques de l'eau de mer (acidité, taux de gaz dissous...). Les populations humaines seraient évidemment touchées par le réchauffement climatique. En effet, une hausse des températures aide à la prolifération des maladies infectieuses puisque celles-ci survivent mieux dans des milieux chauds et humides.

---