



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique
Université d'IBN KHALDOUN
Faculté des sciences de la nature et de la vie
Département d'écologie et de biotechnologie



Dr. OMAR yamina

Polycopié de cours

Ecologie générale

Destiné aux étudiants de licence en Ecologie et environnement

2021-2022

Cet ouvrage est consacré à l'étude des aspects relatifs à l'écologie générale. Il traite, d'abord, la notion de l'écologie et les concepts fondamentaux tels que la notion l'écosystème, biocénoses, biotope, de facteurs écologiques, la notion de communautés vivantes : phytocénoses, zoocénoses, biomes, ainsi que les domaines d'interventions de l'écologie. Puis aborde la définition, la structuration et le fonctionnement des écosystèmes constituent des éléments fondamentaux pour la compréhension des milieux et des communautés vivantes. A travers la notion de facteurs écologiques, abiotiques et biotiques, et la classification des différentes interactions possibles entre les êtres vivants d'une part et entre eux et leurs milieux d'autre part.

Par la suite, le fonctionnement des écosystèmes est expliqué, où le transfert d'énergie et le rendement sont traités, où les cycles biogéochimiques sont expliqués. La notion des chaînes et réseaux trophiques, des producteurs primaires (autotrophes) et des consommateurs (hétérotrophes) est fondamentale car elle se rapporte aux transferts et aux échanges d'énergie afin de maintenir la vie de manière permanente au sien des êtres vivants.

La dernière partie du polycopié est réservée à la description des principaux biomes terrestres de la biosphère.

Table des matières

CHAPITRE 01 : INTRODUCTION A L'ÉCOLOGIE

1.1. Définition et objectif.....	1
1.2. Domaines d'intervention	1
1.3. Notion de système écologique : Ecosystème.....	2

CHAPITRE 02 : FACTEURS DU MILIEU

2.1. Facteurs abiotiques	4
2.1.1. Facteurs climatiques	4
2.1.1.1. Définition du climat.....	4
2.1.1.2. Principaux facteurs climatiques.....	4
2.1.1.2.1. Température.....	4
2.1.1.2.2. Humidité et pluviosité.....	4
2.1.1.2.3. Lumière et ensoleillement	5
2.1.1.2.4. Vent.....	6
2.1.1.3. Bioclimat et indices climatiques.....	6
2.1.1.3.1. Quotient pluviométrique d'EMBERGER 1942.....	7
2.1.1.3.2. Indice xerothermique de Bagnols et Gaussen 1955.....	8
2.1.1.3.3. Indice d'aridité de DEMARTONE.....	8
2.1.1.4. Caractéristiques générales des espèces végétales	9
2.1.1.4.1. Les types biologiques	9
2.1.1.5. Végétation des zones arides.....	10
2.1.2. Facteurs édaphiques.....	12
2.1.2.1. Définition du sol	12
2.1.2.2. Les facteurs édaphiques.....	12
2.1.2.2.1. La texture du sol	12
2.1.2.2.2. La structure du sol	13
2.1.2.2.3. L'eau du sol	13
2.1.2.2.4. Le pH du sol.....	14
2.1.2.2.5. La composition chimique	15

2.2. Facteurs biotiques	16
2.2.1. Coactions homotypiques.....	16
2.2.1.1. L'effet de groupe	16
2.2.1.2. L'effet de masse	16
2.2.1.3. La compétition intraspécifique	16
2.2.1.4. Coactions hétérotypiques.....	17
2.2.1.4.1. Le neutralisme	17
2.2.1.4.2. La compétition interspécifique	17
2.2.1.4.2.1. La prédation	17
2.2.1.4.2.2. Le parasitisme.....	18
2.2.1.4.2.3. Le commensalisme	18
2.2.1.4.2.4. Le mutualisme	19
2.2.1.4.2.5. L'amensalisme.....	19
2.3. Interaction des milieux et des êtres vivants	20
2.3.1. Notion de niche écologique	20
2.3.2. Notion d'habitat.....	21
2.3.3. Notion de facteurs de milieu.....	21
2.3.4. Notion de facteur limitant et loi du minimum	22
2.3.5. Tolérance et Amplitude écologique.....	23

CHAPITRE 03 : STRUCTURE DES ÉCOSYSTÈMES

3.1. La biosphère et ses constituants	26
3.2. Organisation de la biosphère	26
3.3. Classification des êtres vivants selon leurs besoins en alimentation	26
3.4. Les types de régimes alimentaires	27
3.5. La chaîne trophique	28
3.5.1. Définition.....	28
3.5.2. Composition de la chaîne trophique	28
3.5.2.1. Les producteurs	28
3.5.2.2. Les consommateurs	28
a-Les consommateurs de matière fraîche	28
b-Les consommateurs de cadavres d'animaux	28
3.5.2.3. Les décomposeurs ou détritivores	29
3.5.3. Les fixateurs d'azote.....	30
3.5.4. Différents types de chaînes trophiques	32
3.5.5. Représentation graphique des chaînes trophiques	32

3.5.6. Le réseau trophique.....	32
---------------------------------	----

CHAPITRE 04 : FONCTIONNEMENT DES ÉCOSYSTÈMES

4.1. Transfert d'énergie et rendements	33
4.1.1. Définitions	33
4.1.2. Transfert d'énergie.....	33
4.1.3. Les rendements	34
4.2. Stabilité des écosystèmes.....	35
4.3. Les cycles biogéochimiques	36
4.3.1. Le cycle de l'eau.....	36
5.4. Cycles biogéochimiques à phase gazeuse.....	37
5.4.1. Le cycle du carbone	37
5.4.2. Le cycle de l'azote	39
5.5. Cycles biogéochimiques à phase sédimentaire.....	40
5.5.1. Le cycle du phosphore	40

CHAPITRE 05 : EVOLUTION DES ÉCOSYSTÈMES

5.1. Notion de succession végétale	42
5.1.1. Première étape (statique)	42
5.1.2. Deuxième étape (succession).....	42
5.1.3. Troisième étape.....	42
5.1.4. Quatrième étape	42
5.2. Succession primaire ou secondaire	43
5.2.1. L'analyse synchronique	43
5.2.2. L'analyse diachronique.....	43
5.2.3. Succession primaire	43
5.2.4. Succession secondaire	44
5.3. Succession progressive ou régressive	45
5.3.1. Une succession progressivese.....	45
5.3.2. Une succession régressivese	45
5.4. Notion de climax.....	45
5.4.1. Climax climatique et climax édaphique	45
5.4.2. Métaclimax	46
5.5. Effet lisière	46
5.6. Écotone	46
5.7. Écoclina	47
5.8. Evolution des biocénoses	47

5.8.1. Action, la réaction et la coaction	47
5.8.2. Les facteurs climatiques	47
5.8.3. Les facteurs géologiques et édaphiques.....	48
5.8.4. Les facteurs biologiques	48

CHAPITRE 06 : LES PRINCIPAUX BIOMES TERRESTRES DE LA BIOSPHÈRE

6.1. Définition de Biome	49
6.2. Les forêts de conifères des régions boréales : la taïga.....	50
6.3. Les forêts décidues des régions tempérées	51
6.4. Les forêts sempervirentes des régions méditerranéennes	51
6.5. Les formations herbacées naturelles : prairies et steppes	51
6.6. Les forêts équatoriales sempervirentes	52
6.7. Les savanes	52
6.8. Les déserts	53
6.9. La toundra	53
6.10. Les biomes aquatiques	54

Liste des figures

Figure 01 : Les types biologiques.....	10
Figure 02 : l'eau dans le sol.....	14
Figure 03 : Intensité du facteur écologique	23
Figure 04 : Amplitude écologique	24
Figure 05 : Les niveaux trophiques	29
Figure 06 : Pyramide de l'énergie	31
Figure 07 : Pyramide de la biomasse.....	31
Figure 08 : Diverse schématisation des pyramides écologiques	32
Figure 09 : Biomasse des différents niveaux d'une chaîne alimentaire :le passage d'un niveau alimentaire à un autre entraîne une perte de matière considérable	34
Figure 10 : Cycle de l'eau.....	37
Figure 11 : Cycle du carbone.....	38
Figure 12 : Cycle de l'azote.....	40
Figure 13 : Cycle du phosphore.....	41
Figure 14 : Succession primaire	43
Figure 15 : Succession secondaire.....	44
Figure 16 : Distribution des principaux biomes terrestres.....	50

Liste des tableaux

Tableau N° 01 : Valeurs du Quotient d'EMBERGER Q_2	7
Tableau N°02 : Valeurs de l'indice d'aridité I.....	9
Tableau N° 03 : Classification des éléments du sol d'après leur grosseur.....	12

CHAPITRE 01 : INTRODUCTION A L'ECOLOGIE

1.1. Définition et objectif

➤ Première définition de l'écologie :

« Etude des relations des organismes avec leur monde extérieur environnant dans lequel nous incluons au sens large toutes les conditions d'existence » (Haeckel, 1866)

➤ Définition adoptée :

« La science qui étudie les conditions d'existence des êtres vivants et les interactions de toutes sortes qui existent entre ces êtres vivants d'une part, entre ces êtres vivants et le milieu d'autre part » (Dajoz, 1983)

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, elle 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

❖ On étudie l'écologie pour :

Comprendre comment les systèmes naturels fonctionnent

Comprendre quel est l'impact des activités humaines sur le fonctionnement des écosystèmes et les conséquences graves des atteintes de l'environnement

Pour permettre aux décideurs de mettre en place des pratiques écologiquement correctes : « S'il n'y a pas de solution c'est ce que il n'y a pas de problème »

1.2. Domaines d'intervention

Les études écologiques portent conventionnellement sur trois niveaux :

L'individu, la population et la communauté.

- 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.

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

- l'individu concerne **l'autoécologie** : c'est la science qui étudie les rapports d'une seule espèce avec son milieu. Elle définit les limites de tolérances et les préférences de l'espèce étudiée vis-à-vis des divers facteurs écologiques et examine l'action du milieu sur la morphologie, la physiologie et l'éthologie.

- la population concerne **l'écologie des populations** ou **la dynamique des populations** : c'est la science qui étudie les caractéristiques qualitatives et quantitatives des populations : elle analyse les variations d'abondance des diverses espèces pour en rechercher les causes et si possible les prévoir.
- la biocénose concerne **la synécologie** : c'est la science qui analyse les rapports entre les individus qui appartiennent aux diverses espèces d'un même groupement et de ceux-ci avec leurs milieux.

1.3. 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, phyocénose, microbiocénose, mycocénose...).

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 (substrat, sol « édaphotope », climat « climatope ») qui caractérisent le milieu où vit une biocénose déterminée.

Le biotope est défini par les caractéristiques et qualités de 05 éléments indispensables à la vie : l'eau, sol, air, lumière, température. Ces 05 éléments de vie se retrouvent dans tous les biotopes mais en quantité et en composition différentes. Le biotope est l'équilibre de ces 05 éléments de vie, chaque biotope est donc différent et chaque accueille un type de vie différent.

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 agro-écosystèmes (systèmes agricoles);
- Ecosystèmes océaniques (les mers, les océans).

CHAPITRE 02 : FACTEURS DU MILIEU

2.1. Facteurs abiotiques

2.1.1. Facteurs climatiques

2.1.1.1. 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.

2.1.1.2. 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.

2.1.1.2.1. 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 et plusieurs réactions chimiques dont leurs vitesses sont 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.

2.1.1.2.2. 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 xérophiiles 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).

2.1.1.2.3. 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). La photopériode croît de l'Equateur vers les Pôles. A l'Equateur, 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, pour atteindre 6mois de jours et 6mois de nuit aux Pôles mêmes.

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.

2.1.1.2.4. 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.
- Le vent a un effet mécanique sur les végétaux qui sont couchés au sol et prennent des formes particulières appelées anémomorphose.

2.1.1.3. Bioclimat et indices climatiques

Les climatologues et les biogéographes se sont efforcés de combiner des formules simples avec les principaux éléments du climat (température, précipitation). Ce qui apparaît déterminant pour la répartition des formations végétales et la délimitation des aires naturelles et diverses essences forestières dans le monde. De là vient l'idée de caractériser les différents climats du monde par des formules, des indices et des diagrammes climatiques. On les appelle formules Ombro-thermiques.

2.1.1.3.1. Quotient pluviométrique d'EMBERGER 1942

Le climat méditerranéen est caractérisé par un été sec et un hiver tempéré. Les précipitations présentent de fortes variations (100 à 2500 mm).

Ce climat se rencontre au niveau des territoires bordant la méditerranée, mais également dans d'autres régions du globe telles que : Californie, Chili, Australie et en Afrique du Sud

Emberger a proposé une formule plus simple, valable pour la région méditerranéenne où l'évaporation a une importance particulière. En effet, elle admet que cette évaporation croît avec l'amplitude thermique annuelle qu'il exprime par la différence entre la moyenne M du mois le plus chaud et la moyenne m du mois le plus froid.

C'est le plus connu et le plus largement utilisé en région méditerranéenne.

Ce quotient s'écrit de la manière suivante :

$$Q_2 = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$

Où P : précipitation annuelle en mm.

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

m : Moyenne des minima du mois le plus froid en kelvin

La formule a été modifiée par STEWART en 1955 :

$$Q_3 = \frac{3.43P}{M - m}$$

Où P : Précipitation annuelle en mm

$M - m$: amplitude thermique en °C

Tableau N° 01 : Valeurs du Quotient d'EMBERGER Q_2

Etage bioclimatique	Q_2	précipitation
Saharien	$Q < 10$	$P < 100$
Aride	$10 < Q < 45$	$100 < P < 400$
Semi-aride	$45 < Q < 70$	$400 < P < 600$
Sub-humide	$70 < Q < 110$	$600 < P < 800$
Humide	$110 < Q < 150$	$800 < P < 1200$
Per-humide	$150 < Q$	$1200 < P$

2.1.1.3.2. Indice xerothermique de Bagnols et Gaussen 1955

On veut estimer avec plus de précision encore l'intensité de la période sèche, ces auteurs ont adopté l'indice xerothermique. Cet indice X_m indique approximativement le nombre de jour biologiquement sec au cours de la période sèche.

$$X_m = J_m - (J_p + J_{br}) J^h$$

X_m : indice d'intensité de sécheresse du mois considéré

J_m : Nombre totale de jour de mois

J_p : Nombre de jour de pluie en ce mois

J_{br} : Nombre de jour de brouillard ou de rosée en ce mois

J^h : Etat hygrométrique en ce mois (coefficient hygrométrique « K »)

$H < 40\%$ \implies $K = 1$

$40\% < H < 60\%$ \implies $K = 0,9$

$60\% < H < 80\%$ \implies $K = 0,8$

$H > 80\%$ \implies $K = 0,7$

2.1.1.3.3. Indice d'aridité de DEMARTONE

L'aridité est caractérisée par la faiblesse de précipitations moyennes annuelles. C'est un concept climatique à référence spatiale.

Cet indice (annuel ou mensuel) se calcule de la façon suivante :

Indice annuel :
$$I = \frac{P}{T + 10}$$

Indice mensuel :
$$I = \frac{12P}{T + 10}$$

P : Précipitations totales annuelles ou mensuelles

T : Température moyenne annuelle ou mensuelle

Afin de caractériser le climat général d'une région du monde, on utilise les valeurs suivantes :

Tableau N°02 : Valeurs de l'indice d'aridité I

Valeur de I	Type de climat	Type de végétation
0 à 5	Hyper aride	Désert absolu
5 à 10	Aride	Désert
10 à 20	Semi- aride	Steppe
20 à 30	Sub- humide	Prairie naturelle, forêt
30 à 55	humide	Forêt

2.1.1.4. Caractéristiques générales des espèces végétales

Dans les zones arides, les conditions climatiques obligent les espèces végétales à des adaptations nécessaires à leur survie. Ces adaptations recouvrent les régulations physiologiques et morphologiques qui permettent aux plantes de s'adapter à une alimentation en eau déficitaire s'opérant à différentes échelles.

2.1.1.4.1. Les types biologiques

Les types biologiques sont considérés comme une expression de stratégie d'adaptation de la flore aux conditions du milieu.

Ces types ont été établis par RAUNKIAER pour les végétaux des régions tempérées où la saison défavorable est la saison froide (Fig N° 01) mais ils peuvent être appliqués aux végétaux des régions où la saison défavorable est la saison sèche.

- **Les phanérophytes** : Sont des arbres et des buissons dont les bourgeons sont situés à plus de 50 cm du sol, et qui perdent leurs feuilles à la mauvaise saison.
- **Les chamaephytes** : Sont des plantes ligneuses à bourgeons situés à moins 30 cm du sol.
- **Les hémicryptophytes** : Ont des bourgeons situés au ras du sol (forment de grosses touffes ex : graminées).
- **Les géophytes** : Sont des plantes vivaces à bulbe ou rhizome souterrains.
- **Les thérophytes** : Sont des annuelles qui passent la mauvaise saison sous la forme de graines.

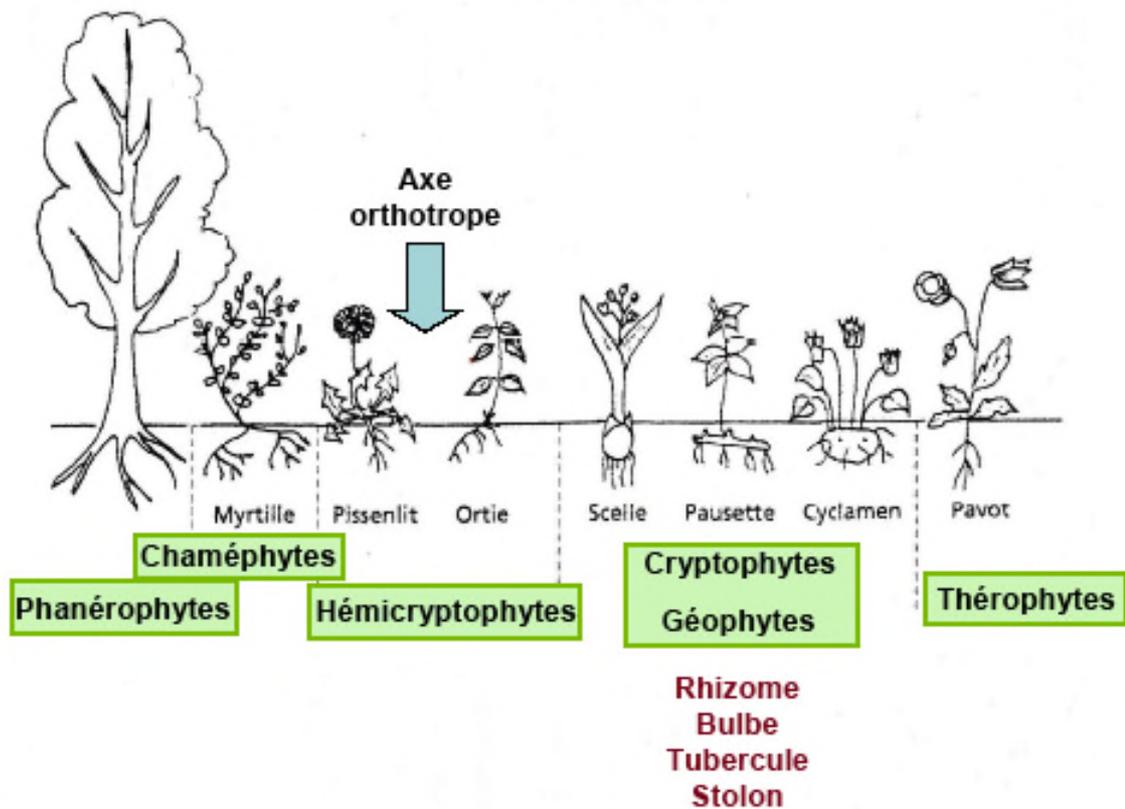


Figure 01 : Les types biologiques

2.1.1.5. Végétation des zones arides

Dans les zones arides, le couvert végétal est rare. On peut néanmoins distinguer 03 formes de plantes :

- * Annuelles éphémères
- * Pérennes succulentes
- * Pérennes non succulentes

Les éphémères annuels : qui apparaissent après les pluies, accomplissent leur cycle de vie au cours d'une brève saison. Les éphémères ne possèdent pas les caractéristiques scéromorphiques des pérennes. En général, elles sont de petite taille, ont des racines peu profondes et leur adaptation physiologique est constituée par une croissance active. Les éphémères survivent pendant la saison sèche, qui peut durer plusieurs années, sous forme de graines.

Les pérennes succulentes : sont capables d'accumuler et de stocker de l'eau, ceci est dû à la prolifération du tissu parenchymal des tiges et des feuilles et aux faibles taux de transpiration qui les caractérisent. Les cactus sont des pérennes succulentes typiques.

Les pérennes non succulentes : constituent la majorité des plantes de la zone aride. Ce sont des plantes rustiques, qui comprennent les graminées, les petites plantes ligneuses, les buissons et les arbres qui supportent le stress de l'environnement des zones arides.

On peut distinguer 03 formes de croissance des pérennes non succulentes :

- ✓ Persistantes : actives biologiquement pendant toute l'année.
- ✓ Caduques en période de sécheresse : biologiquement dormante en saison sèche.
- ✓ Caduques en période froide : biologiquement dormante en saison froide.

Les éphémères sont des espèces qui échappent à la sécheresse et ne sont pas considérées comme de véritables xérophytes.

Les pérennes succulentes et non succulentes au contraire supportent la sécheresse et sont des xérophytes véritables.

Quelques-unes des caractéristiques des plantes xérophiles sont les suivantes :

- Développement d'un important système racinaire.
- Pousses moins importantes des parties aériennes que les racines.
- Réduction de la surface de transpiration.
- Adaptations spéciales dans les espèces persistantes qui diminuent la transpiration.

2.1.2. Facteurs édaphiques

2.1.2.1. Définition du sol

Le sol est la couche supérieure recouvrant la roche mère. Il s'agit d'une formation naturelle se développant à la partie superficielle, rocheuse de l'écorce terrestre «la lithosphère». Généralement meuble, le sol a une épaisseur variable ; il résulte de la transformation lente de la roche sous-jacente, dite roche-mère, sous l'influence de divers processus, physiques, chimiques (t °; eau; gel ...) et biologiques (racines; microorganismes; animaux fouisseurs).

2.1.2.2. Les facteurs édaphiques

2.1.2.2.1. La texture du sol

La texture correspond à la composition granulométrique des éléments du sol. Selon leur grosseur (tableau N° 03) on les classe en graviers, sables grossiers, sables fins, limons et colloïdes minéraux.

Tableau N° 03 : Classification des éléments du sol d'après leur grosseur.

Particules	Dimension en mm
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 » car leur cohésion est très forte, 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).

De la texture dépendent la circulation de l'air et de l'eau donc la croissance des racines et la vie des organismes du sol.

2.1.2.2.2. La structure du sol

La structure du sol découle de l'arrangement des éléments entre eux.

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

2.1.2.2.3. L'eau du sol

La disponibilité de l'eau dans le sol règle, en partie, sa température et son aération. Grâce au gel, elle contribue à la désagrégation de la roche mère et comme elle est un excellent solvant elle met à la disposition des vivants des ions et des sels minéraux libérés du matériel parental ou venus des autres sources. Dans un sol lourd, l'eau est très fortement retenue par les éléments du sol car, entre eux, les pores sont très fins.

L'eau est présente dans le sol sous quatre états particuliers (Fig 02):

- **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.

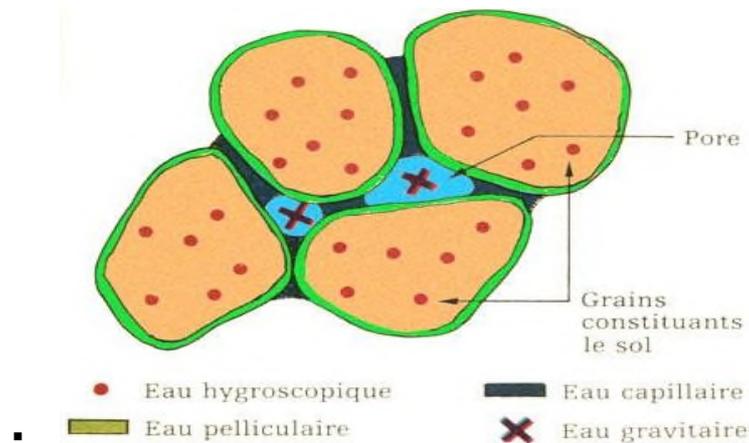


Figure 02: l'eau dans le sol

2.1.2.2.4. 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 ions calcium se trouvent dans les sols basiques et neutres ; ils sont spécialement abondants dans les calcaires. Les ions nitrates représentent la seule forme d'azote assimilable par les plantes et leur quantité dépend de l'activité bactérienne.

- 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.

L'acidité apparaît dans le sol, soit quand il est riche en matière organique qui, en se décomposant, libère du gaz carbonique, soit quand il est soumis à des précipitations qui entraînent les bases.

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.

2.1.2.2.5. 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 CaCl_2 , 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.

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

2.2.1. Coactions homotypiques

2.2.1.1. 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.

2.2.1.2. 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**.

2.2.1.3. 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.

2.2.1.4. Coactions hétérotypiques

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

2.2.1.4.1. Le neutralisme

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

2.2.1.4.2. 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.

2.2.1.4.2.1. La prédation

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

Ce type de relation conduit à de nombreuses adaptations visant d'une part, à augmenter l'efficacité du prédateur, et d'autre part, à augmenter les défenses de la proie. Le système prédateur-proie possède une dynamique particulière.

Les populations d'espèces proies conditionnent le taux de croissance de leurs espèces prédatrices car elles leur fournissent les aliments nécessaires au développement et à la reproduction des individus qui s'en nourrissent. Inversement les populations de prédateurs peuvent réduire par leurs prélèvements le taux de croissance des populations de leurs proies.

Le niveau de prédation est déterminé par l'aptitude de prédateur à capturer sa proie et par la capacité de la proie à éviter la capture.

Exemple:

Le lynx du Canada se nourrit principalement de lièvres d'Amérique et il a été observé que lorsque les lièvres sont abondants, les lynx le sont aussi proportionnellement.

2.2.1.4.2.2. 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.

Les parasites et leur hôte présentent en générale une adaptation mutuelle qui fait que les uns et les autres ne seront pas victimes d'une forte mortalité due à l'infestation ou aux réaction de défense. Les populations suivent alors des fluctuations semblables au système prédateur-proie.

Exemple:

La coccidiose est une maladie produite par un ensemble de parasites protistes appartenant à la sous-classe *Coccidiasina*. Les coccidioses sont des parasites obligatoires intracellulaires, ils ont donc besoin d'un hôte pour vivre, en plus ils doivent se trouver non seulement à l'intérieur de l'animal mais aussi à l'intérieur de ses cellules.

Les puces et les poux sont deux autres très bons exemples de parasitismes. Dans ce cas, les parasites vivent sur l'animal et non à l'intérieur de ce dernier.

2.2.1.4.2.3. Le commensalisme

Il représente le cas le plus simple d'interaction positive et sans doute la première étape évolutive vers le développement de symbiose. Lors de cette 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.

Le commensalisme se rencontre aussi bien en milieu terrestre que aquatique. Il est particulièrement fréquent entre une plante ou un animal fixé d'une part et un animal mobile d'autre part, il existe aussi entre deux végétaux.

Le contact entre les deux protagoniste peut être permannet ou uniquement temporaire.

Interactions au cours desquelles un des partenaires exerce une influence positive.

Exemple:

- Une espèce de crustacés qui peut se fixer sur le dos de certains animaux, comme les baleines ou les tortues marines, sans pour autant leur nuire.
- Le **héron garde bœufs** et le bétail constitue un exemple de commensalisme véritable : les hérons accompagnent le bétail qui fait lever les insectes et les autres animaux de la végétation. Les oiseaux augmentent alors leur apport alimentaire.

2.2.1.4.2.4. 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.

2.2.1.4.2.5. L'amensalisme

Divers micr-organismes et des végétaux présentent une forme particulière d'actions négatives caractérisées par l'émission dans le milieu de substances toxiques. Ce type de relations antagonistes entre espèces différentes est dénommée télétoxie (Xi et al., 2013).

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 avec un radical phénol " la juglone", qui explique la pauvreté de la végétation sous cet arbre.

2.3. 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.

2.3.1. Notion de niche écologique

La niche écologique peut être définie comme la place qu'occupe une espèce au sein d'un écosystème. Elle réunit toutes les conditions nécessaires à sa survie.

Elle est également définie par les relations qui existent entre les individus de cette espèce et ceux des autres espèces, ainsi que par les modifications de l'habitat entraînées par toutes ces espèces.

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

La connaissance de la niche écologique permet de comprendre la structure, l'organisation des écosystèmes et de répondre aux questions suivantes: comment, où et au dépens de qui se nourrit telle espèce? Par qui est-elle mangée? Comment et où se repose-t-elle? Comment se reproduit-elle?

Pour bien comprendre cette notion de la niche, il faut distinguer les trois axes suivants:

- Un **axe spatial** qui prend en compte l'habitat de l'espèce;
- Un **axe trophique** qui caractérise le régime alimentaire;
- Un **axe temporel** qui montre comment l'espèce utilise l'espace et la nourriture en fonction du temps (rythme d'activité).

Si on considère la niche écologique, on peut distinguer:

- Des **espèces allopatriques**: espèces voisines dont les aires de répartition sont distinctes. Leurs niches écologiques peuvent être séparées, contigues ou chevauchées particulièrement.

- Des *espèces sympatriques*: espèces qui cohabitent dans une aire plus ou moins vaste. Leurs niches écologiques peuvent se superposer partiellement ou l'une peut être totalement incluse dans l'autre.

2.3.2. Notion d'habitat

Contrairement à la niche, l'habitat d'un organisme est l'environnement physique dans lequel un organisme est trouvé.

Les habitats contiennent beaucoup de niches et maintiennent de nombreuses espèces différentes.

Exemple : Une forêt comporte un vaste nombre de niches pour un choix de oiseaux (sitelles, bécasses), de mammifères (souris de bois, renards), d'insectes (papillons, coléoptères, pucerons) et de plantes (anémones de bois, mousses, lichen).

2.3.3. Notion de facteurs de milieu

Un **facteur écologique** est tout élément du milieu (température, lumière, pH du sol, prédateur) susceptible d'agir directement ou indirectement sur les êtres vivants (individu, espèce, communauté) au moins durant une partie de leur développement. Ainsi, tout être vivant doit être considéré dans le contexte environnemental qui conditionne sa vie, et l'étude des écosystèmes nécessite de connaître comment ces facteurs écologiques opèrent.

Les effets d'un facteur écologique peuvent se répercuter sur la répartition géographique « **effet biogéographique** », sur la fréquence des individus « **effet démographique** », sur le déroulement de certaines fonctions vitales - respiration, photosynthèse- « **effet physiologique** ».

Les effets de ces facteurs peuvent être étudiés à plusieurs niveaux :

- au niveau de l'individu (approche éco- physiologique), ex: influence de la température sur la croissance d'un plant de blé ;
- au niveau d'une population déterminée, ex : influence de la température sur un champ de blé ;
- au niveau d'une communauté d'êtres vivants, ex : influence de la température sur l'écosystème forêt.

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.

2.3.4. Notion de facteur limitant et loi du minimum

Il arrive parfois qu'un facteur écologique atteigne un seuil critique et fatal incompatible avec la vie pour une espèce animale ou végétale donnée; on dit alors que le facteur écologique en question est un **facteur limitant**. Cette notion découle de la loi du minimum (Liebig ; 1840) qui dit que « *la croissance des végétaux n'est possible que si tous les éléments minéraux sont présents en quantités suffisantes dans le sol et ce sont les éléments déficitaires (dont la concentration est inférieure à une valeur minimum) qui conditionnent et limitent la croissance* ».

La loi de Liebig fut généralisée à l'ensemble des facteurs écologiques sous forme d'une loi dite « loi des facteurs limitant ». Cela supposait au début que le facteur était limitant quand son intensité est au-dessous d'une valeur minimale incapable de satisfaire aux exigences de l'espèce et donc il est limitant par manque ou **par défaut**. Puis, cette notion s'étendit pour s'appliquer également aux cas où la valeur d'un facteur dépasse celle acceptable pour une espèce ; le facteur est alors limitant **par excès**.

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

Aussi, tous les facteurs écologiques, à un moment ou un autre, sans aucune exception, sont susceptibles de se comporter comme des facteurs limitant, quand leurs valeurs sont critiques : trop faibles et donc insuffisantes ou bien trop élevées et donc toxiques.

2.3.5. Tolérance et Amplitude écologique

➤ Loi de tolérance (ou loi de *Shelford*)

Toute unité biologique (individu, espèce, groupement....) présente pour la plupart des facteurs du milieu : une valeur minimale, exigée pour son développement ; une valeur maximale au delà de laquelle, elle disparaît ; Ces deux valeurs, sont appelées, respectivement limite inférieure et supérieure de tolérance (Fig 03).

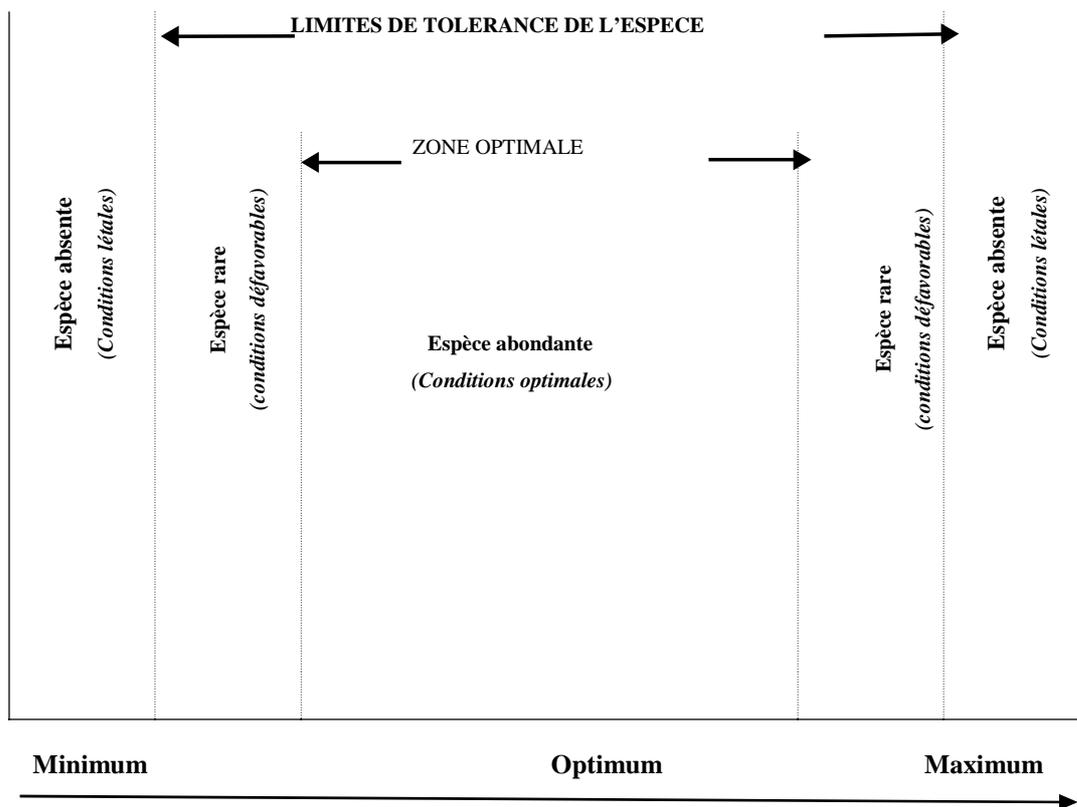


Figure 03: Intensité du facteur écologique

➤ Amplitude écologique

Distribution théorique des individus d'une espèce en fonction d'un gradient écologique

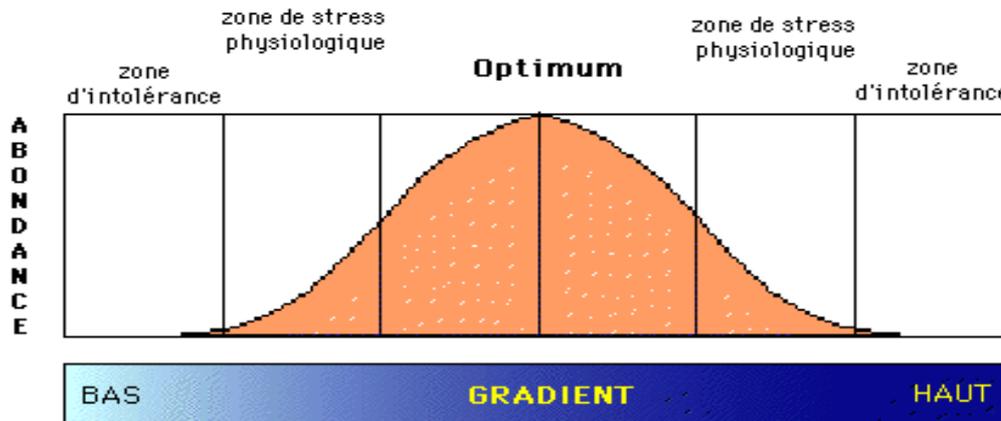


Figure 04: Amplitude écologique

En reportant sur un système d'axes, en abscisses, l'intensité d'un facteur « température, par exemple » et en ordonnées, la performance de l'espèce « biomasse, effectif, activité... » ; On trace une courbe à allure parabolique, délimitée par les deux limites, inférieure et supérieure. L'étendue de l'intervalle entre ces deux limites renseigne sur **la tolérance** de l'espèce en question, pour le facteur considéré et constitue son **amplitude écologique** qui représente le potentiel permettant à une espèce d'exploiter le milieu et supporter les variations environnementales.

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

Les espèces à large amplitude sont dites **euryèce** (Eurybiotes) tandis que les espèces à faible amplitude sont **sténoèce** (Sténobiotes) et les espèces à valence écologique moyenne, sont dite **mesoèce**.

L'amplitude varie d'une espèce à l'autre, et pour la même espèce, d'un facteur à l'autre. Pour caractériser un organisme, on utilise les suffixes : **phyte** et parfois **bie** (xérophyte ; aérobie) ; Si un organisme n'a aucune tolérance ou résistance pour un facteur- toxique même à faible dose - on le caractérise par le suffixe : **fuge** ou **phobe** (calcifuge ; hydrophobe).

➤ Valence écologique

La valence écologique se définit comme la possibilité pour une espèce végétale ou animale de coloniser des milieux différents.

Une espèce à forte valence écologique est capable de peupler des milieux très différents et donc peut supporter des variations importantes de l'intensité des facteurs écologiques. Elle est dite euryèce : espèce peu spécialisée par exemple dans ses choix alimentaires, les territoires qu'elle occupe, ses exigences...

✚ Une espèce qui occupe tous les milieux est dite **ubiquiste**.

✚ Une espèce à faible valence écologique (*sténoèce*) est dite spécialisée et occupe un sinon très peu de milieux et aussi ne pourra supporter que des variations limitées des facteurs écologiques.

CHAPITRE 03 : STRUCTURE DES ÉCOSYSTÈMES

3.1. La biosphère et ses constituants

Biosphère signifie, littéralement, sphère de la vie, c'est-à-dire l'ensemble de la vie terrestre. Les êtres vivants sont localisés sur une couche étroite à la surface de la Terre. Celle-ci comprend **la basse atmosphère**, Les océans, mers, lacs et cours d'eau que l'on regroupe sous le nom d'**hydrosphère** et la mince pellicule superficielle des terres émergées appelés **lithosphère**.

L'épaisseur de la biosphère varie considérablement d'un point à un autre puisque la vie pénètre jusque dans les fosses océaniques au-delà de 10 000 m de profondeur alors que dans la lithosphère, on ne trouve guère trace de vie au-delà d'une dizaine de mètres. Dans l'atmosphère, par suite de la raréfaction de l'oxygène, les êtres vivants se font plus rares avec l'altitude et vivent rarement à plus de 10 000 m.

La source majeure d'énergie dans la biosphère est le soleil. L'autre source importante est l'énergie géothermique. Grâce à la photosynthèse, les plantes transforment l'énergie solaire en énergie chimique, et les animaux en mangeant ces plantes ou en se mangeant entre eux, la récupèrent.

3.2. Organisation de la biosphère

Le niveau le plus élémentaire d'organisation du vivant est la cellule. Celle-ci est intégrée dans l'individu qui s'intègre dans une population. La population fait partie d'une communauté ou biocénose. La biocénose s'intègre à son tour dans l'écosystème. L'ensemble des écosystèmes forment la biosphère qui est le niveau le plus élevé du vivant.

Un écosystème est constitué par l'ensemble des êtres vivants (biocénose) et du milieu dans lequel ils vivent (biotope).

Le biotope fournit l'énergie, la matière organique et inorganique d'origine abiotique. La biocénose comporte trois catégories d'organismes : des **producteurs** de matières organiques, des **consommateurs** de cette matière et des **décomposeurs** qui la recyclent. Les végétaux captent l'énergie solaire et fabriquent des glucides qui seront transformés en d'autres catégories de produits, ils seront broutés par les **herbivores** qui seront dévorés par des **carnivores**. Les **décomposeurs** consomment les déchets et les cadavres de tous et permettent ainsi le retour au milieu de diverses substances. Par son unité, son organisation et son fonctionnement, l'écosystème apparaît comme le maillon de base de la biosphère.

3.3. Classification des êtres vivants selon leurs besoins en alimentation

On distingue :

- **Les Autotrophes (Producteurs) :** Végétaux chlorophylliens (plantes vertes vasculaires terrestres et algues aquatiques) qui utilisent l'énergie solaire, le gaz carbonique, l'eau et des sels minéraux pour les transformer en matière biochimique élaborée.

- **Les Hétérotrophes (Consommateurs primaires)** : Dépendent entièrement des autotrophes et ne peuvent se nourrir qu'avec des matières organiques complexes (glucides, acides aminés,...) qu'ils puisent directement sur les autotrophes (phytophages) ou indirectement (carnivores)
- **Les parasites (consommateurs secondaires)** qui tirent leurs aliments à partir d'hôtes qu'ils ne tuent pas obligatoirement.
- **Les saprophytes (Décomposeurs)** : Champignons, bactéries, levures et autres organismes hétérotrophes utilisant la matière organique morte (détritiques végétaux, excréments et cadavres d'animaux dont ils assurent une minéralisation progressive et totale.

3.4. Les types de régimes alimentaires

On distingue :

- ❖ **Les Herbivores ou Phytophages**; consommateurs de végétaux classés selon la partie du végétal consommé : Phyllophage (feuilles), Granivores (graines), Xylophages (xylème ou bois), Carpophages ou Frugivores (fruits),...
- ❖ **Les Carnivores ou Carnassiers**, consommateurs d'animaux classés selon le type d'animal consommé: Entomophages (Insectivores), Aphidiphages (Aphidiens ou pucerons), Piscivores (Poissons), Charognards (Nécrophages, cadavres frais),...
- ❖ **Les Détritivores** : Coprophages (excréments), Saprophytes (matière organique en décomposition),...
- ❖ **Les consommateurs à large spectre alimentaire** : Polyphages (consomment à la fois des aliments de nature animale et végétale), les Omnivores (alimentation très diversifiée), les Microphages (Planctonophages)

3.5. La chaîne trophique

3.5.1. 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.

3.5.2. Composition de la chaîne trophique

3.5.2.1. 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.

3.5.2.2. Les consommateurs

Il s'agit d'êtres vivants, dits hétérotrophes, qui se nourrissent des matières organiques complexes déjà élaborées qu'ils prélèvent sur d'autres êtres vivants. Ils 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 C₂ et les C₃ 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,...

3.5.2.3. Les décomposeurs ou détritivores

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

- **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.

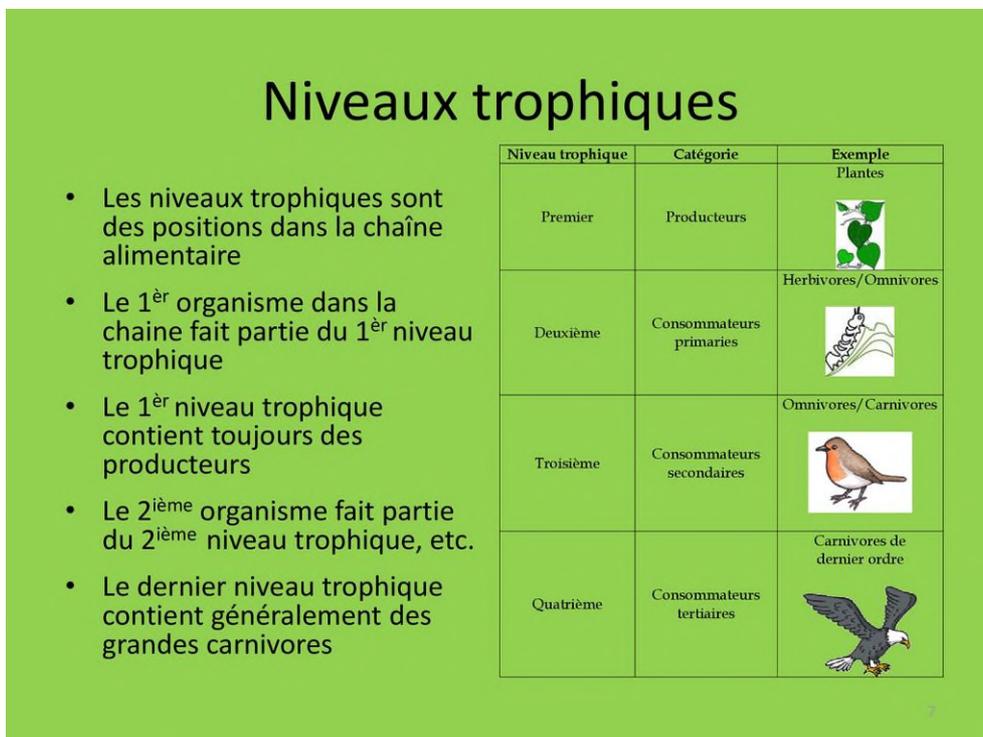


Figure 05: Les niveaux trophiques

3.5.3. Les fixateurs d'azote

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

3.5.4. 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 détritiques

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.

▪ Chaîne de l'énergie

Montre la quantité d'énergie qui est disponible aux consommateurs à chaque niveau trophique (Fig 06).

L'énergie disponible pour les organismes à chaque niveau trophique diminue toujours en allant vers le haut de la chaîne alimentaire.

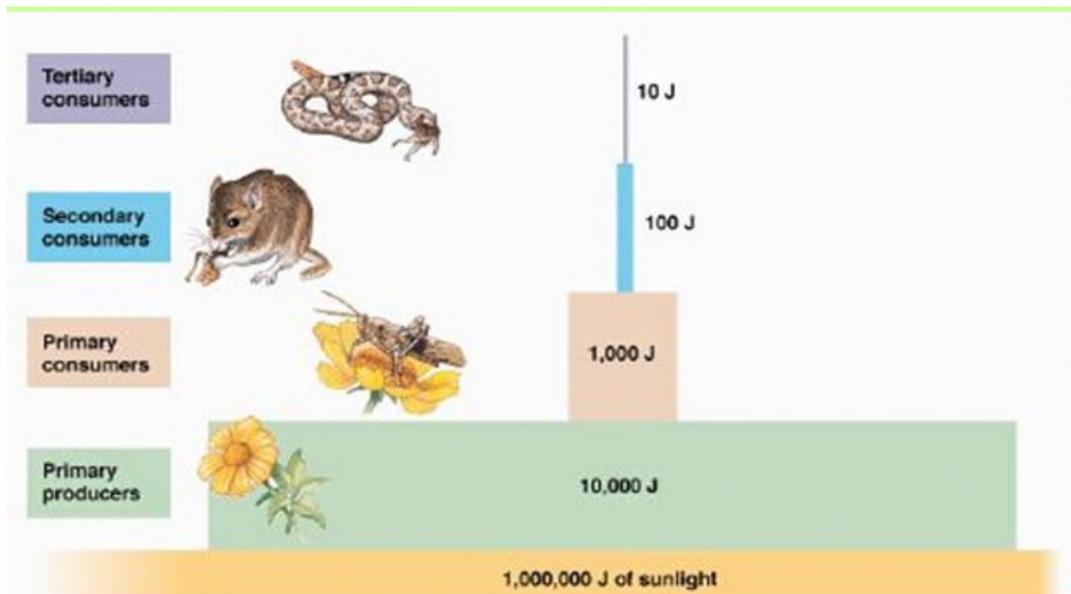


Figure 06 : Pyramide de l'énergie

▪ **Chaîne de la biomasse**

Illustre la masse vivante de tous les organismes au niveau de chaque niveau trophique diminue vers le haut de la chaîne alimentaire (Fig 07).

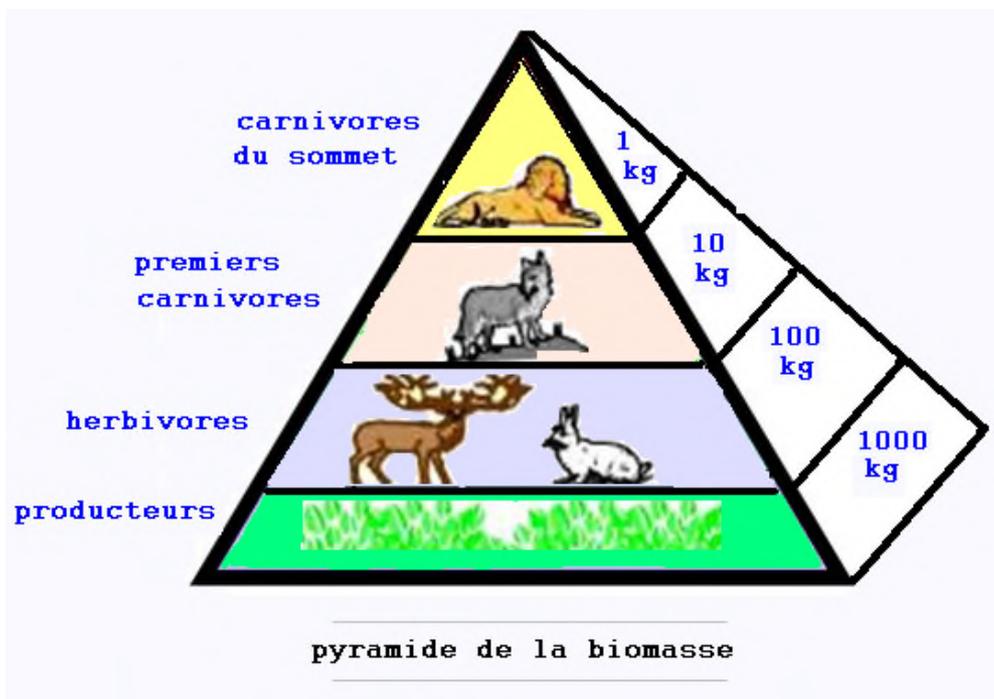


Figure 07 : Pyramide de la biomasse

3.5.5. 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 (Fig.08).

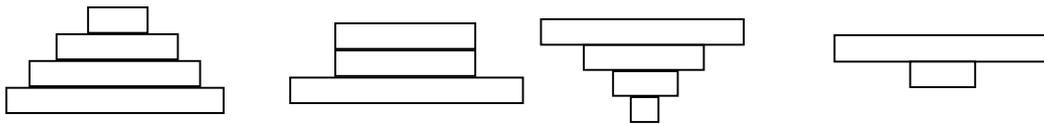


Figure 08 : Diverses schématisations des pyramides écologiques.

3.5.6. Le réseau trophique

Le réseau trophique se définit comme un ensemble de chaînes alimentaires reliées entre elles au sein d'un écosystème et par lesquelles l'énergie et la matière circulent. Il se définit également comme étant l'ensemble des relations trophiques existant à l'intérieur d'une biocénose entre les diverses catégories écologiques d'êtres vivants constituant cette dernière (producteurs, consommateurs et décomposeurs).

CHAPITRE 04 : FONCTIONNEMENT DES ÉCOSYSTÈMES

4.1. Transfert d'énergie et rendements

4.1.1. Définitions

- **Productivité brute (PB):** Quantité de matière vivante produite pendant une unité de temps, par un niveau trophique donné.
- **Productivité nette (PN):** Productivité brute moins la quantité de matière vivante dégradée par la respiration.

$$PN = PB - R.$$
- **Productivité primaire :** Productivité nette des autotrophes chlorophylliens.
- **Productivité secondaire :** Productivité nette des herbivores, des carnivores et des décomposeurs.

4.1.2. 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^{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 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 (Fig.09).

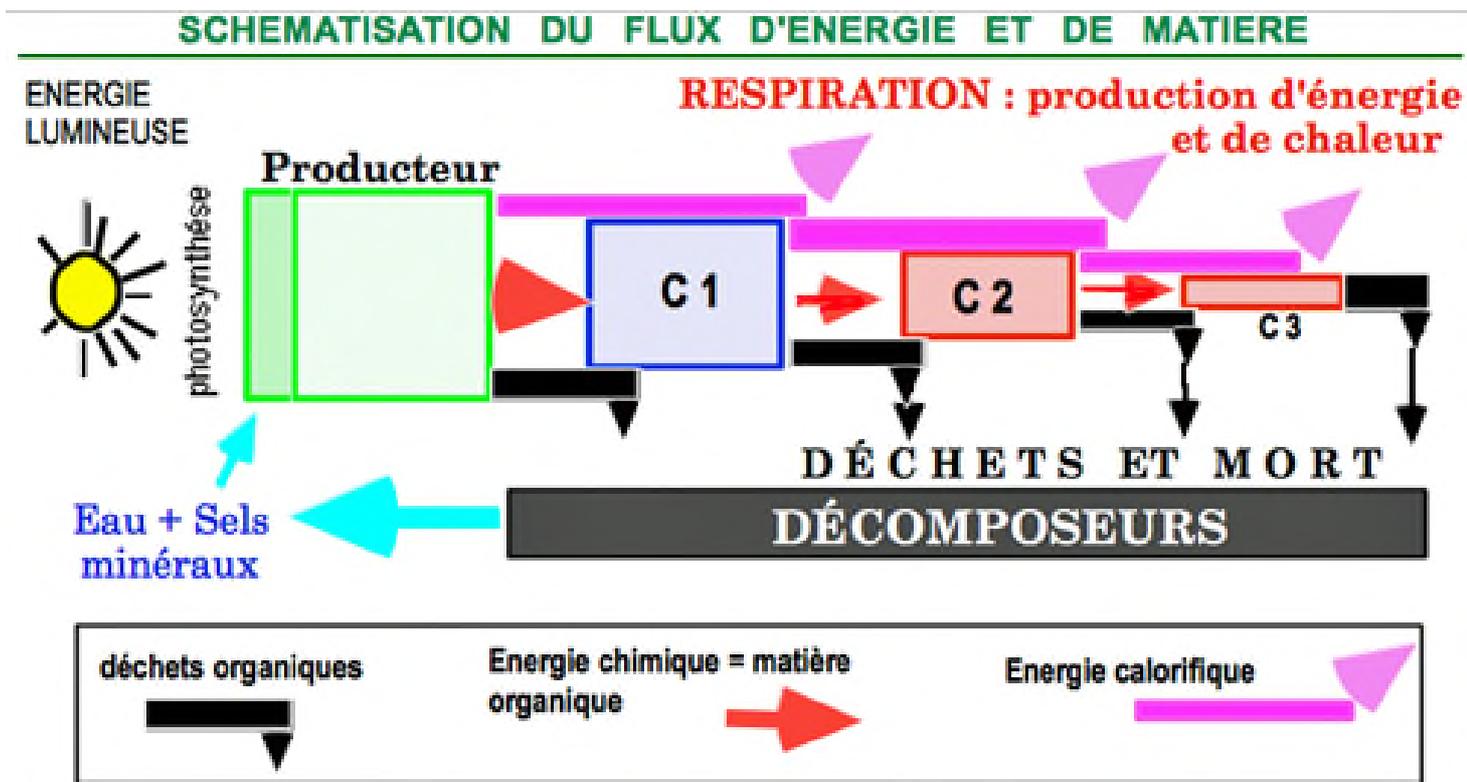


Figure 09 : Biomasse des différents niveaux d'une chaîne alimentaire :

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

4.1.3. 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 $(PS1/A1 \times 100)$. Ce rendement intéresse les éleveurs, car il exprime la possibilité pour une espèce de former la plus grande quantité possible de viande à partir d'une quantité donnée d'aliments.

4.2. 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.

4.3. 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.).

4.3.1. 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 (Fig.10).

Sous l'effet de la chaleur du soleil, l'eau des mers, des fleuves et des lacs s'évapore. **L'évapotranspiration** joue un rôle également important dans le cycle de l'eau. Elle est accélérée par les végétaux qui transpirent de grandes quantités d'eau par leur système foliaire. De plus, leurs racines, accélèrent ces mouvements ascendants de l'eau dans le sens sol-atmosphère. Cette eau rejoint alors l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau (nuages). Les nuages sont poussés par le vent. Lorsqu'ils traversent des régions froides, la vapeur d'eau se condense. Elle retombe sur le sol, sous forme de pluie, de neige ou de grêle. Les 7/9 du volume total de ces précipitations retombent à la surface des océans et les 2/9 seulement sur les continents. La circulation de l'eau dans la lithosphère emprunte trois voies :

- **Le ruissellement** : phénomène d'écoulement des eaux à la surface des sols.
- **L'infiltration** : phénomène de pénétration des eaux dans le sol, à travers les fissures naturelles des sols et des roches, assurant ainsi l'alimentation des nappes phréatiques.
- **La percolation** : phénomène de migration de l'eau à travers les sols (jusqu'à la nappe phréatique).

Ruissellement, infiltration et percolation assurent l'alimentation des cours d'eau qui restituent en dernier lieu l'eau à l'hydrosphère.

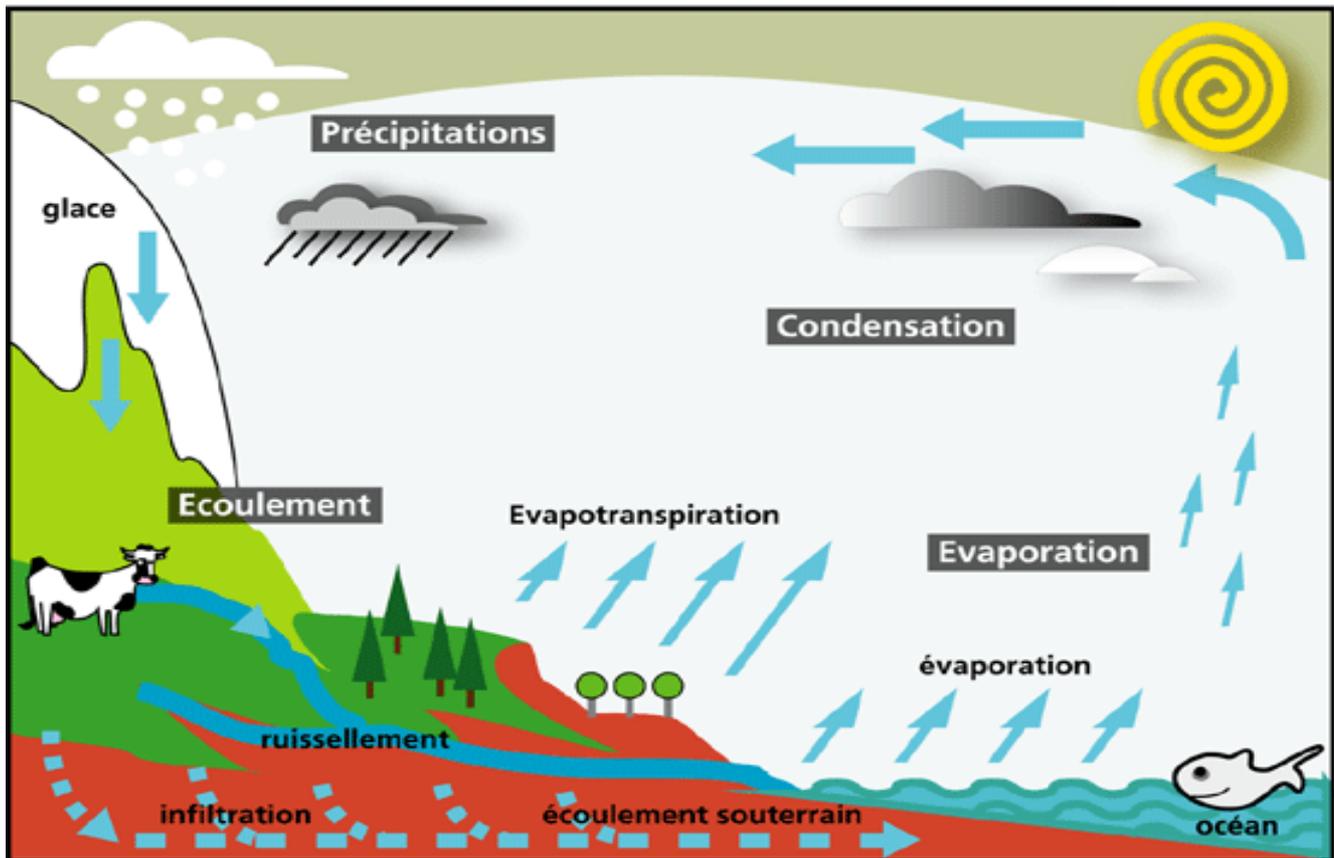


Figure 10 : Cycle de l'eau.

5.4. Cycles biogéochimiques à phase gazeuse

5.4.1. Le cycle du carbone

Lors de la respiration, les êtres vivants consomment de l'oxygène et rejettent du dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère. De même, les industries, les véhicules de transports rejettent du CO_2 dans l'atmosphère après combustion d'un carburant, en présence d'oxygène. Les éruptions volcaniques sont également considérées comme source naturelle de CO_2 . Le CO_2 est absorbé par les plantes (photosynthèse) et l'eau (dissolution). Photosynthèse et dissolution sont les phénomènes permettant le recyclage du gaz carbonique (Fig.11).

Après la photosynthèse, le carbone se combine avec d'autres éléments pour former des molécules complexes, qui après la mort de la plante seront dégradées très lentement en charbon. Lors de leur combustion, ces combustibles fossiles formeront à nouveau du CO_2 .

Le CO_2 de l'air et celui dissous dans l'eau constituent la seule source de carbone inorganique à partir de laquelle s'élaborent toutes les substances biochimiques constituant la cellule vivante (grâce à l'assimilation chlorophyllienne).

Au cours de la respiration des autotrophes, des hétérotrophes et de divers autres organismes, le gaz carbonique est dégagé parallèlement à la consommation d'oxygène.

Le dégagement de CO_2 a lieu également au cours des fermentations qui conduisent à une décomposition partielle des substrats dans des conditions anaérobies.

Dans les sols, il se produit souvent un ralentissement du cycle du carbone : les matières organiques ne sont pas entièrement minéralisées mais transformées en un ensemble de composés organiques acides (les acides humiques). Dans certains cas les matières organiques ne sont pas entièrement minéralisées et elles s'accumulent dans diverses formations sédimentaires. Il se produit une stagnation et même un blocage du cycle du carbone. c'est le cas actuellement de la formation de tourbe ou par le passé de la constitution de grands dépôts de houille, de pétrole et d'autres hydrocarbures fossiles.

Cependant, nous produisons trop de dioxyde de carbone et notre terre n'arrive plus à le recycler. Le taux de CO₂ dans l'atmosphère augmente et le climat se réchauffe. En effet, le CO₂ présent dans l'atmosphère permet de piéger la chaleur du soleil qui rend la vie possible sur terre. C'est ce qu'on appelle l'effet de serre. En augmentant la concentration de CO₂ dans l'atmosphère, l'équilibre de notre écosystème est perturbé. Le climat se réchauffe et cela peut avoir des conséquences graves sur la vie sur terre : les calottes glaciaires pourraient fondre et augmenter le niveau des mers en certains points provoquant des inondations, augmentation des conditions climatiques extrêmes comme les tempêtes, les raz de marée, la sécheresse... etc.

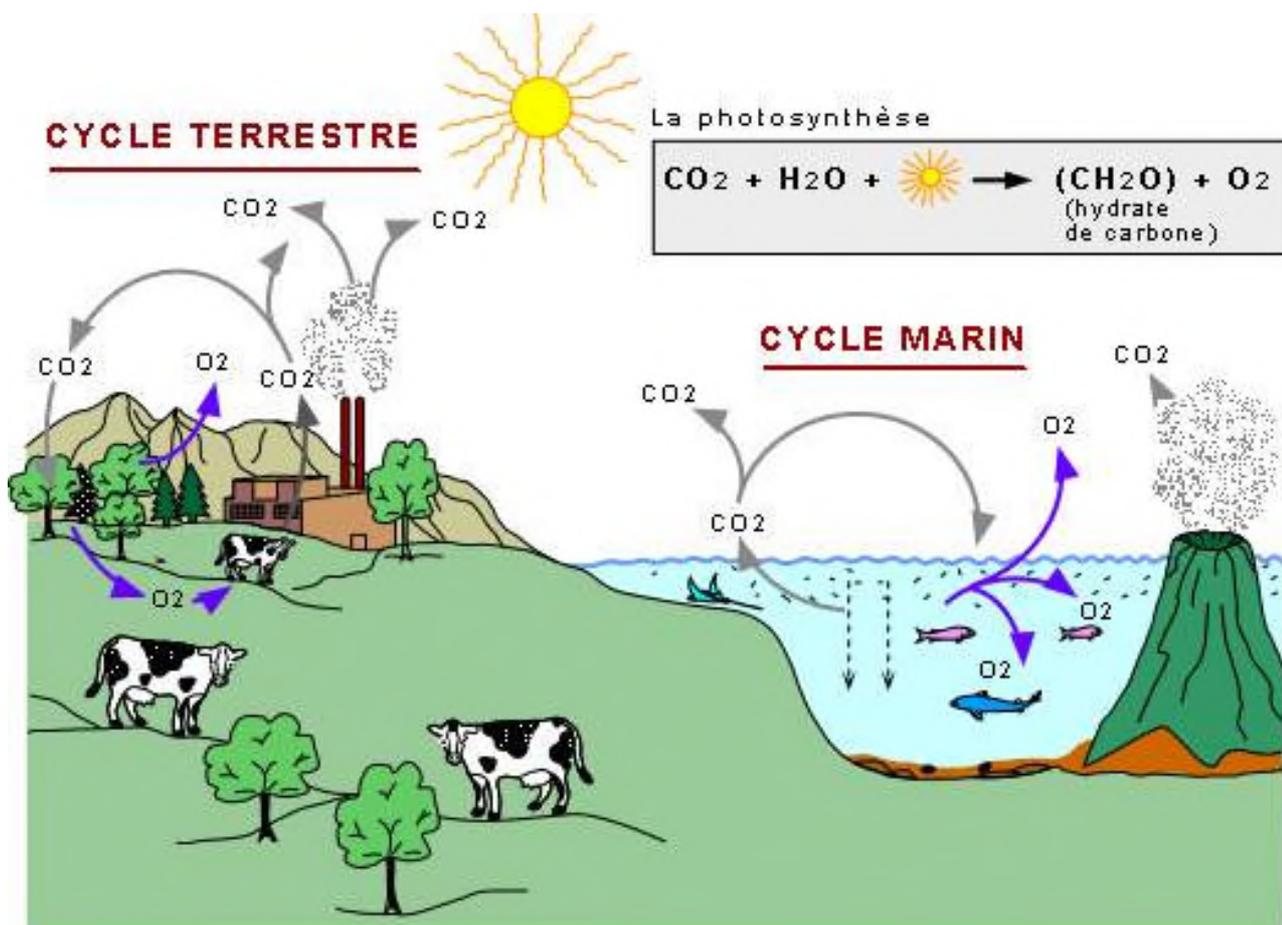


Figure 11 : Cycle du carbone.

5.4.2. Le 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.12).

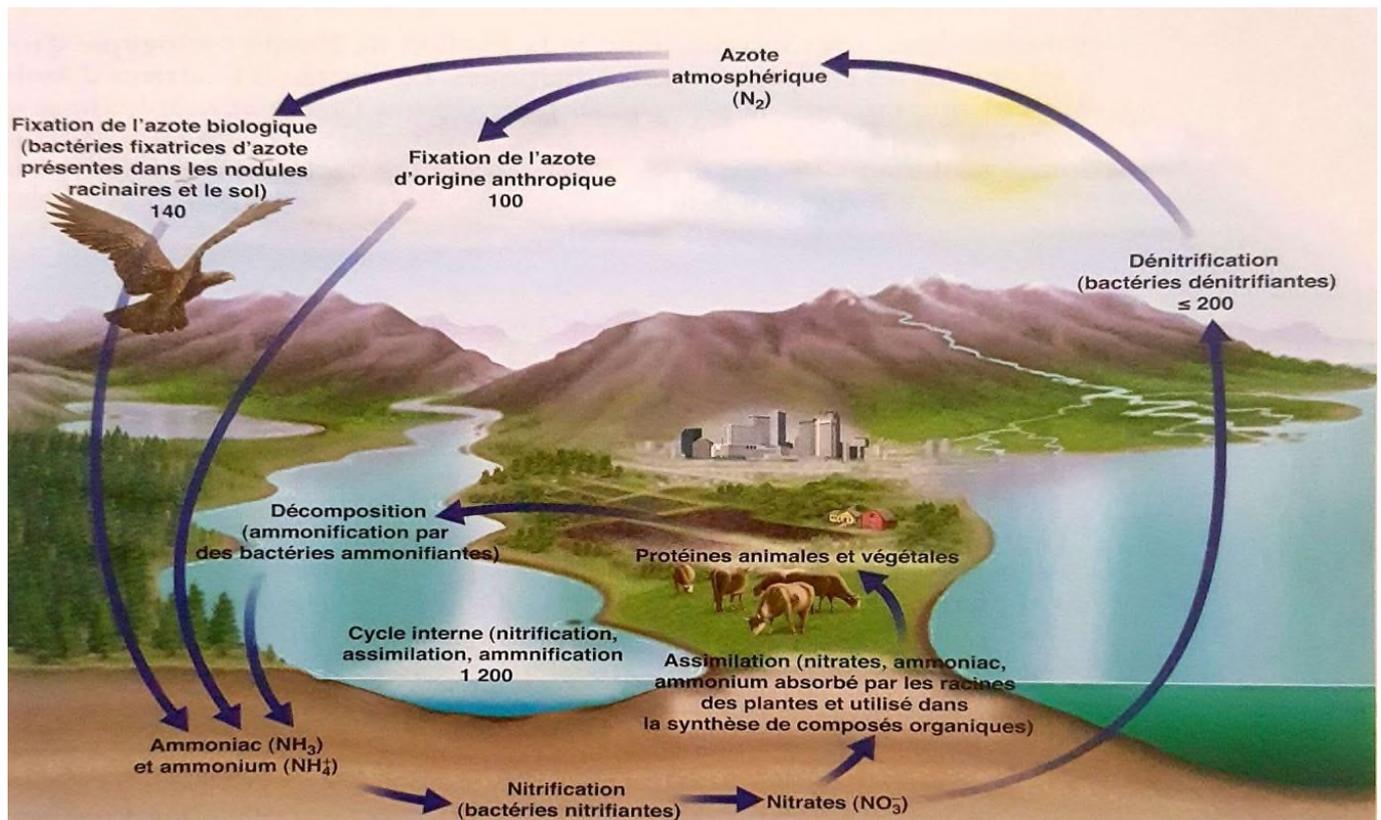


Figure 12 : Cycle de l'azote.

5.5. Cycles biogéochimiques à phase sédimentaire

5.5.1. Le cycle du phosphore

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

Dans le milieu terrestre, la concentration en phosphore assimilable est souvent faible et joue le rôle de facteur limitant. Ce phosphore est mis en circulation par lessivage (ou érosion) et dissolution et introduit ainsi dans les écosystèmes terrestres où il est absorbé par les végétaux. Ceux-ci l'incorporent dans diverses substances organiques et le font ainsi passer dans les réseaux trophiques. Puis les phosphates organiques sont restitués au sol avec les cadavres, déchets et excréta produits par les êtres vivants, attaqués par les micro-organismes et retransformés en orthophosphates minéraux, à nouveau disponibles pour les plantes vertes et autres autotrophes.

Le phosphore est introduit dans les écosystèmes aquatiques par les eaux de ruissellement. Celles-ci vont ensuite rejoindre les océans, permettant ainsi le développement du phytoplancton et des animaux des divers maillons de la chaîne trophique.

Le passage du phosphore de l'état organique à l'état inorganique est assuré par des bactéries et des champignons.

Un retour partiel des phosphates des océans vers les terres émergées s'effectue par l'intermédiaire des oiseaux marins **ichtyophages** ou **piscivores** par le biais de gisements de guano.

Cependant, dans les océans, le cycle du phosphore se fait avec des pertes, puisqu'une partie importante des phosphates entraînée en mer se retrouve immobilisée dans les sédiments profonds (fragments de cadavres de poissons, non consommés par les détritivores et les décomposeurs). Lorsqu'il n'existe pas de courants ascendants permettant la remontée des eaux en surface, la pénurie de phosphore est un facteur limitant. Le cycle du phosphore est donc incomplet et ouvert. Du fait de sa rareté et en raison de ces pertes pour le cycle, le phosphore constitue donc le principal facteur limitant qui contrôle la majeure partie de la production primaire.

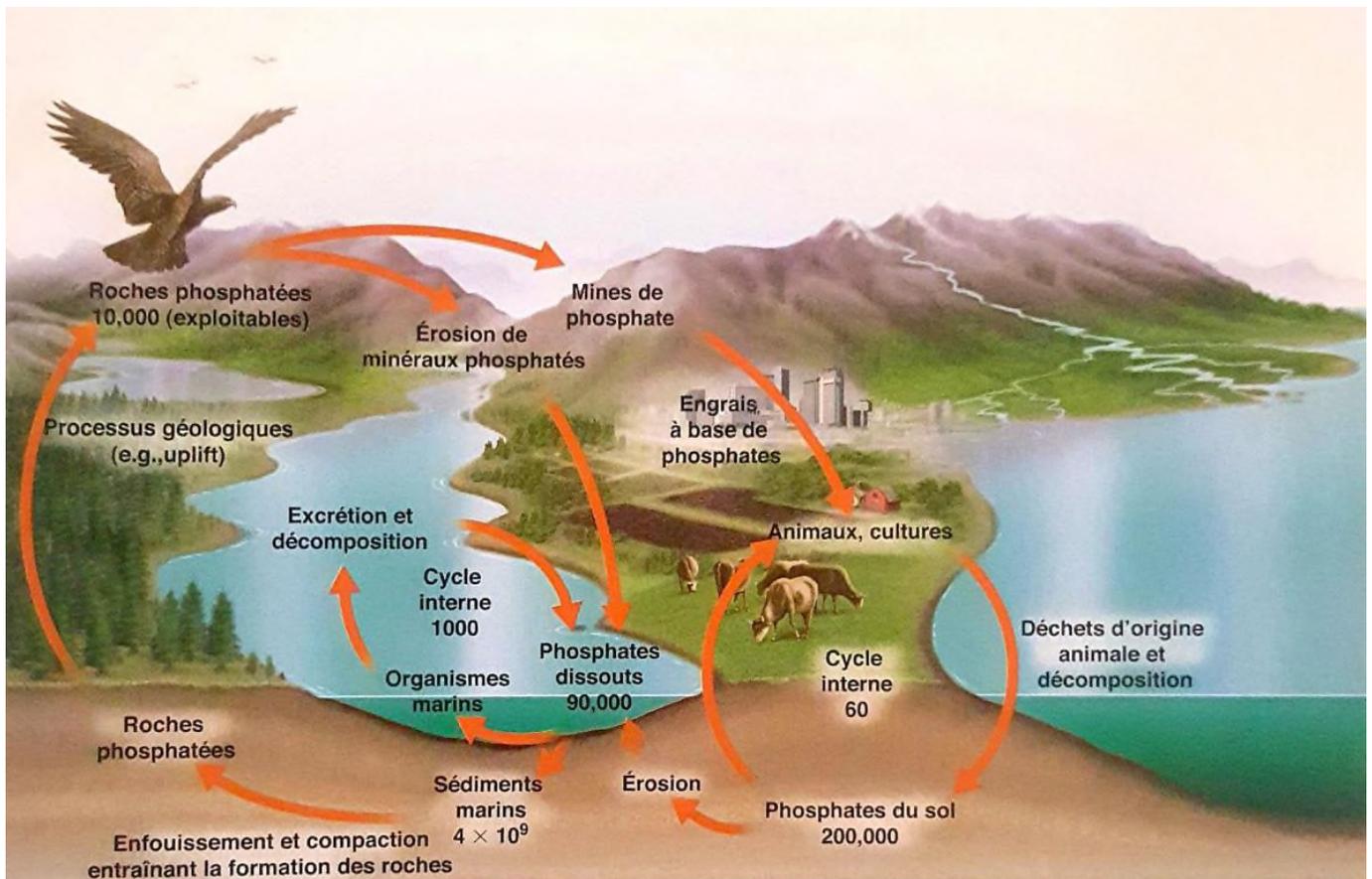


Figure 13 : Cycle du phosphore.

CHAPITRE 05 : EVOLUTION DES ÉCOSYSTÈMES

5.1. Notion de succession végétale

La notion de succession végétale a été développée par le botaniste américain F. Clements en 1916: à partir d'un substrat nu, sans végétation, des espèces s'installent et, progressivement, le cortège d'espèces change pour aboutir à un stade ultime, nommé climax.

5.1.1. Première étape (statique)

Les espèces ne sont pas réparties au hasard. Il existe des regroupements d'espèces animales et d'espèces végétales en fonction des paramètres abiotiques du milieu.

5.1.2. Deuxième étape (succession)

Ces regroupements ne sont pas fixes et immuables dans le temps, ils évoluent et correspondent à des stades différents, aboutissant théoriquement à un climax.

5.1.3. Troisième étape

Les espèces végétales et animales ne sont pas « juxtaposées » au sein d'une association, de nombreuses interactions existent entre elles (les chaînes alimentaires). Alors, à l'influence des facteurs abiotiques, s'ajoute maintenant l'influence des relations biotiques entre espèces vivantes

5.1.4. Quatrième étape

Tous les liens entre abiotique et biotique sont quantifiables sur une base énergétique.

5.2. Succession primaire ou secondaire

On appelle série, la séquence complète d'une succession. Il est possible d'analyser la succession par deux méthodes:

5.2.1. L'analyse synchronique

On compare au même moment des écosystèmes différents qui sont censés représenter différentes phases d'une succession.

5.2.2. L'analyse diachronique

On mesure les changements au cours du temps dans un même écosystème soit directement par un suivi (Exemple: station écologique en Angleterre depuis 1856, station du lac Léman depuis 1957), soit de manière indirecte par dendrochronologie étude pollinique.

5.2.3. Succession primaire

La succession est dite primaire si l'écosystème démarre sur un milieu qui n'a jamais été colonisé par des êtres vivants. on les trouve aussi sur les glissements de terrain, les coulées de laves, les bancs de sables.

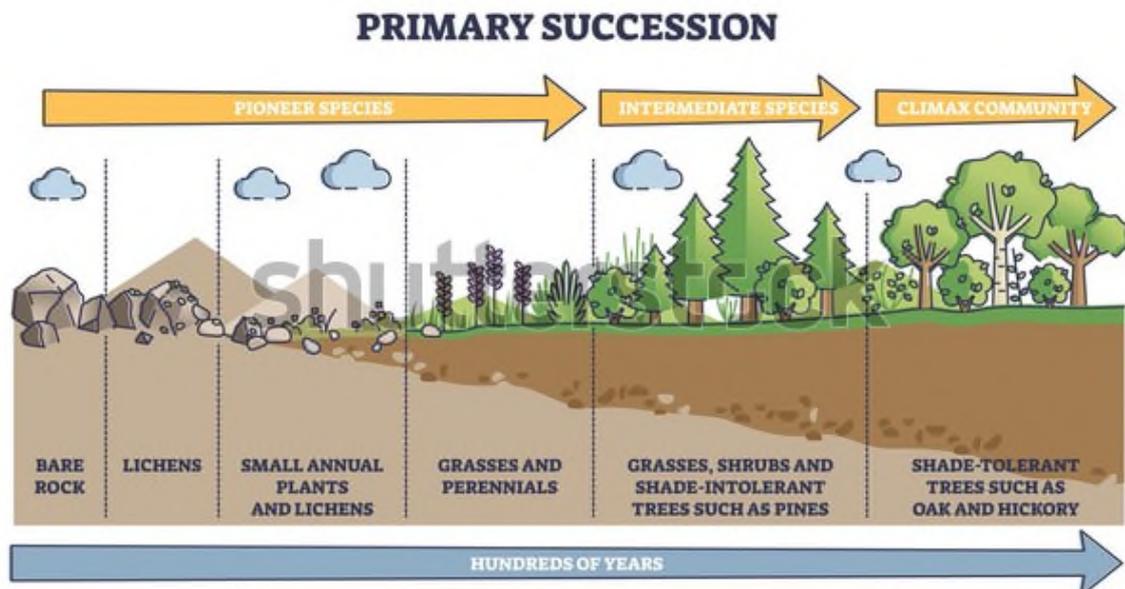


Figure 14: Succession primaire

5.2.4. Succession secondaire

Si l'écosystème démarre sur un milieu déjà colonisé, c'est une succession secondaire. C'est le cas lors des abandons de cultures ou lors des ouragans. Les successions secondaires sont plus lentes que les successions primaires.

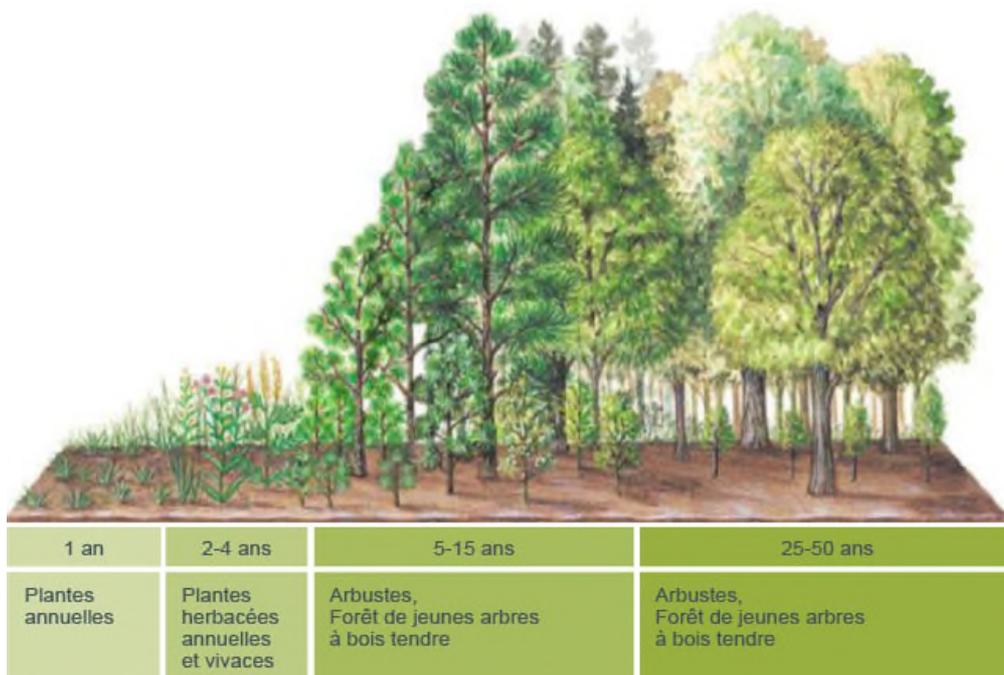


Figure 15: Succession secondaire

On distingue deux types de successions secondaires

5.2.4. 1. Succession de régénération: due à un événement très bref comme par exemple un incendie.

5.2.4. 2. Successions de colonisation: due à des événements de longue durée (déprise rurale après une période de culture de plusieurs siècles).

Ce type de succession peut être illustré par la reconstitution d'une forêt sur un champ dont la culture a été abandonnée.

5.3. Succession progressive ou régressive

5.3.1. Une succession progressive

Traduit par un enrichissement et un développement des communautés vivantes. Exemple; retrait du glacier et de la succession lors d'un abandon de culture

5.3.2. Une succession régressive

Traduit par un appauvrissement des communautés vivantes.

Elles peuvent être liées par exemple à des attaques parasitaires qui suppriment une partie des espèces de l'écosystème. Elles s'observent aussi suite à l'intervention de l'homme, en particulier quand il transforme un écosystème forestier en formation ouverte (élevage ou culture).

5.4. Notion de climax

Dans l'évolution d'un écosystème, il arrive un moment où les conditions du milieu sont plus avorables aux espèces en place qu'à toute autre espèce. La succession atteint alors un stade d'équilibre nommé climax.

5.4.1. Climax climatique et climax édaphique

Dans les cas extrême, si les facteurs écologiques sont localement trop défavorables, la succession ne pourra s'achever par le développement d'un climax caractéristique d'un état d'équilibre avec le climat régional, mais sera bloquée à un stade moins évolué ou différent. On doit donc considérer deux types de climax: le climax climatique et le climax édaphique.

Dans une région donnée, les conditions climatiques moyennes vont induire des successions qui conduisent à un état final dénommé climax climatique.

Des différences dans la nature des facteurs microclimatiques et/ou édaphiques vont se traduire par l'apparition de biotopes plus chauds ou plus froids, plus secs ou plus humides. Dans ces biotopes, la biocénose tendra au cours de son évolution vers un équilibre conditionné par des valeurs locales des facteurs édaphiques et climatiques, indépendamment du climat régional.

❖ Climax cyclique

On peut rencontrer dans certaines circonstances des successions cycliques dans lesquelles le stade climatique est détruit plus ou moins rapidement et remplacé par un sol nu.

Exemple: les buissons d'un des stades ont une litière contenant des molécules qui inhibent la germination des autres espèces. Ces molécules sont volatiles et provoquent de nombreux incendies naturels. Ces

incendies permettent le redémarrage de la succession qui ne dépassera néanmoins jamais le stade buissonnant.

Exemple: la succession formée par le couple Cactus- Créosote dans les désert californien.

Stade 0: désert

Stade 1: une graine de créosote germe et se développe.

Stade 2: la plante attire les oiseaux et les rongeurs. Il fait obstacle au vent et permet le dépôt de sédiments fins.

Stade 3: les animaux ont des graines de cactus dans leur excréments. Ces graines se développent dans les sédiments fins.

Stade 4: le cactus grandit et étouffe le créosote. Ce dernier meurt. Les sdiments fins attirent les rongeurs qui participent à sa destruction.

Stade 5: les rongeurs faisant des trous et le Créosote n'étant plus là pour stabiliser les sols, le cactus a ses racines à découvert et meurt. On revient au stade 0.

Dans l'exemple cité, il est impossible de définir un climax car il n'y a pas de stade stable au cours de la succession. On parle alors de *climax cyclique*.

5.4.2. Métaclimax

Dans des conditions climatiques et édaphiques homogènes, il persiste au sein d'une même aire biogéographique une hétérogénéité spatiale. Cette hétérogénéité reflète une hétérogénéité temporelle.

Le décalage temporel est provoqué par les perturbations. Ces perturbations (incendies, chablis) provoquent des espaces plus ou moins vides qui seront colonisés. Néanmoins, tous les endroits d'une même aire biogéographique n'étant pas touchés en même temps par une perturbation, cela crée des décalages dans les successions en divers endroits: c'est *un métaclimax*.

5.5. Effet lisière

Lorsque deux biocénoses différentes sont adjacentes, cette continuité de l'une et l'autre des deux biocénoses, s'interpénètrent, ce qui a pour conséquence de distribuer des espèces de chacune des deux biocénoses dans l'autre. C'est ce qu'on appelle *l'effet lisière*.

5.6. Écotone

Il désigne les zones d'interfaces et plus précisément une zone fonctionnelle de transition écologique entre deux milieux . **Exemple:** la lisière savane/forêt ou la lisière forêt/mer sont deux écotones abritant des espèces différentes et où se jouent des processus écologiques différentes.

La notion de lisière est plutôt utilisée pour une description géographique ou paysagère des milieux, alors que celle d'écotone l'est pour décrire le fonctionnement écologique de lisières complexes (et souvent mouvantes) dans l'espace et le temps

En écologie du paysage, on dit que la lisière est un écotone. Un corridor biologique linéaire faisant l'interface entre deux milieux peut être qualifié d'« écotonal ».

En matière de cartographie des corridors biologiques, par exemple dans un projet de trame verte, une zone d'écotone peut aussi être considérée comme « zone-tampon » constituant ainsi une transition douce avec la « matrice éco paysagère ».

5.7. Écoclina

Un écoclina est une variation de l'environnement physicochimique dépendante d'un ou deux facteurs physico-chimiques déterminants comme condition de vie (permettant la présence ou d'absence) de certaines espèces; il peut s'agir de thermocline , chemocline (gradient chimique), halocline (gradient de salinité)

5.8. Evolution des biocénoses

Les principales causes qui participent à l'évolution des biocénoses sont:

5.8.1. Action, la réaction et la coaction

L'action est l'influence exercée par le biotope sur la biocénose. Elle se manifeste de façon très diverse et les conséquences en sont très variées. Parmi ces conséquences, notons l'apparition des adaptations morphologiques et écologiques, le maintien ou l'élimination de certaines espèces et la régulation de leur abondance.

La réaction est l'influence exercée par une biocénose sur son biotope. Elle peut se manifester par la destruction, l'édification ou la modification du milieu.

La coaction est l'influence que les organismes exercent les uns sur les autres dans leur milieu naturel.

5.8.2. Les facteurs climatiques

L'influence des facteurs climatiques est particulièrement évidente. Les changements qui se sont produits pendant les périodes glaciaires et interglaciaires du quaternaire qui ont modifié les distributions de la faune et de la flore dans certaines régions du globe en constituent bon exemple.

5.8.3. Les facteurs géologiques et édaphiques

Les phénomènes géologiques comme l'érosion, la sédimentation, l'orogénèse, le volcanisme peuvent modifier profondément le biotope pour provoquer un changement considérable dans la biocénose.

L'évolution des sols sous l'action combinée du climat et des organismes entraîne une évolution parallèle de la flore.

5.8.4. Les facteurs biologiques

Ce sont les plus fréquents ils agissent plus rapidement que les autres facteurs. L'action de l'homme est, sans doute, le facteur biologique le plus important de l'évolution des biocénoses.

Les incendies, les déforestations, les introductions volontaires ou non des espèces nouvelles (espèces exotiques) dans un milieu constituent quelques-unes des interventions humaines capables de faire évoluer rapidement les biocénoses.

CHAPITRE 06 : LES PRINCIPAUX BIOMES TERRESTRES DE LA BIOSPHÈRE

6.1. Définition de Biome

Un biome est une communauté vivante qui se rencontre sur des vastes surfaces en milieu continental. Elle correspond donc à la biocénose propre à des macro-écosystèmes. La notion de biome a été utilisée essentiellement en écologie terrestre, mais l'appellation est actuellement étendue aux biomes aquatiques.

Les biomes terrestres sont donc des écosystèmes terrestres caractéristiques de grandes zones biogéographiques qui sont soumises à un climat particulier et caractérisées par une biocénose ou communauté climacique caractéristiques, c'est-à-dire une biocénose relativement stable (à maturité), résultant de l'interaction des êtres vivants et du climat au cours d'une succession et en équilibre avec les conditions physiques locales.

La répartition des biomes est sous le contrôle du macroclimat, car les facteurs édaphiques interviennent rarement à cette échelle. Les biomes ont donc fréquemment une distribution zonale en bandes plus ou moins parallèles à l'équateur.

Il peut y avoir des perturbations locales dans cette distribution, dues à des barrières physiques comme les océans, les montagnes ou autres irrégularités de surface traversant chaque continent.

Dans la majorité des cas, la végétation fournit les traits essentiels de la physionomie des biomes, les animaux ayant une biomasse bien moins importante. C'est pour cette raison que les grandes lignes de la division du globe en biomes sont surtout établies à partir de l'étude de la végétation.

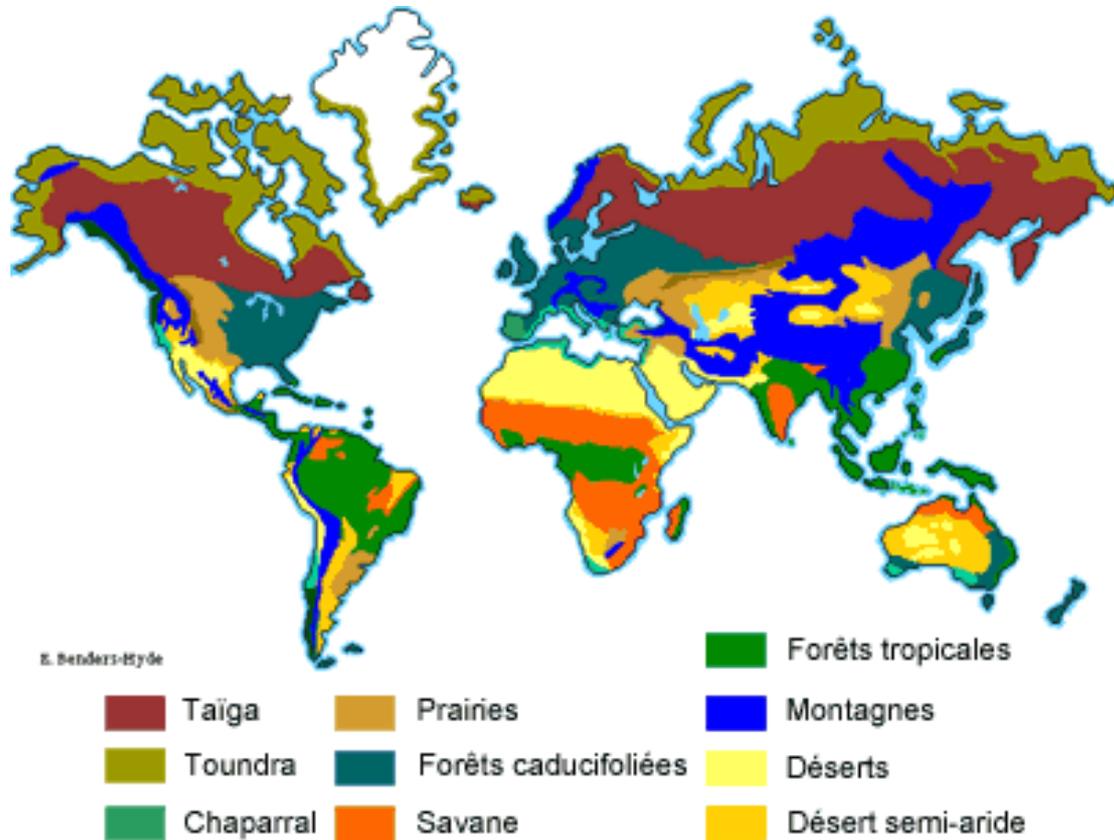


Figure 16: Distribution des principaux biomes terrestres

Les grands biomes terrestres sont :

6.2. Les forêts de conifères des régions boréales : la taïga

La taïga est une ceinture de forêts qui borde la toundra au sud et qui constitue 31% des forêts du globe. Elle développée au Canada et dans le nord de l'Eurasie.

Son climat est caractérisé par 4 mois dont la T° moyenne est supérieure à 10° C. Les hivers sont longs, 6 mois à moins de 0°C. Les biocénoses de la taïga sont dominées par des arbres adaptés au froid, essentiellement des Conifères (pin, sapin, épicéa, mélèze) et des feuillus comme l'aulne le bouleau et le saule. Les animaux sont représentés par de grandes espèces de Cervidés (élan, wapiti, renne), des petits mammifères végétariens (écureuils, porc-épic, lemmings), des carnivores (ours, loup, renard, glouton, martre, vison, animaux à fourrure).

Les oiseaux sédentaires sont peu représentés et beaucoup migrent en hiver, on retient le coq de bruyère, le bec croisé.

6.3. Les forêts décidues des régions tempérées

On les trouve en Europe tempérée, depuis l'Atlantique jusqu'au versant sibérien de l'Oural, en Chine septentrionale et centrale, sur le continent nord américain du 110^e parallèle jusqu'à la latitude du Saint Laurent. Elles sont quasi inexistantes dans l'hémisphère sud sauf en Australie et Nouvelle Zélande.

Ces forêts sont composées d'arbres à feuilles caduques, chêne, hêtre, châtaignier, charme, tilleul, érable. La faune est représentée par les grandes espèces de mammifères dont beaucoup ont disparu ou sont très menacées (ours, loup en Europe). Il reste le cerf, le chevreuil, le sanglier qui n'ont plus de prédateurs naturels pour contrôler leurs effectifs, les petits mammifères (renard, blaireau, divers mustélidés et rongeurs) et beaucoup d'oiseaux, d'insectes et de micro-organismes.

6.4. Les forêts sempervirentes des régions méditerranéennes

Les régions à climat de type méditerranéen sont caractérisées par une T° annuelle moyenne de l'ordre de 15 à 20°C : les étés y sont secs et chauds ce qui entraîne un arrêt de la croissance de la végétation, les hivers y sont doux et humides et les gelées exceptionnelles. Des régions au climat analogue existent en Californie, en Afrique du sud et en Australie.

Beaucoup de conifères caractérisent la région méditerranéenne : les 2 espèces les plus répandues sont le pin d'Alep et le pin maritime.

La végétation méditerranéenne primitive a été presque partout détruite par le feu particulièrement et remplacée par des stades de dégradation connus sous le nom de maquis et de garrigue. Dans le maquis et la garrigue dominent des buissons à feuilles épineuses ou persistantes comme diverses espèces de Cistes, le romarin la lavande...

Beaucoup de végétaux se sont adaptés à ces conditions climatiques : feuilles petites, épaisses et dures, persistantes (végétation sclérophylle), beaucoup résistent au feu (végétation pyrophyte). La faune compte : des reptiles (grand lézard, lézard vert, couleuvre, vipère), de grands mammifères peu nombreux, des oiseaux frugivores, des rongeurs et de nombreux insectes.

6.5. Les formations herbacées naturelles : prairies et steppes

Les formations herbacées naturelles représentent le plus vaste biome terrestre. Elles couvrent 24% de la surface des continents et se rencontrent sur tous les continents. Ces formations s'installent dans les régions tempérées, au cœur des continents, lorsque le climat est caractérisé par des étés chauds et humides

et des hivers froids. On inclut dans les formations herbacées naturelles la steppe russe, la prairie nord-américaine et la pampa sud-américaine.

La végétation est dominée par les Poacées accompagnées de Cypéracées. Les arbres sont presque totalement absents. La faune comprend beaucoup de mammifères fouisseurs (marmotte, chien de prairie, écureuil, grand hamster, rat taupe), de grands mammifères Ongulés mobiles comme l'antilope, l'âne sauvage et de nombreux insectes

6.6. Les forêts équatoriales sempervirentes

Elles sont connues aussi sous le nom de forêts denses, forêts ombrophiles et occupent les régions chaudes, bien arrosées toute l'année, sans saison sèche ou de très courte durée.

Elles existent dans 3 régions principales :

- . L'Amazonie ;
- . L'Afrique occidentale et centrale ;
- . L'Indo-Malaisie.

La température est chaude toute l'année et les précipitations élevées, 2500 à 8000 mm/an.

La forêt équatoriale est formée par des arbres sempervirents d'une grande diversité : il en existe 600 espèces en Côte d'Ivoire et 2000 en Malaisie. On citera les Palmiers, les Diptérocarpacées, les Orchidées, les Euphorbiacées, les Rubiacées. La faune de ces forêts renferme beaucoup de groupes reliques (Onychophores), ainsi que des groupes normalement aquatiques (planaires) profitant du microclimat humide des sous-bois. On rencontre également de nombreux mammifères arboricoles (singes, lémuriniens) qui ne descendent jamais à terre et des mammifères terrestres (antilopes, okapi, hippopotame..), des reptiles, des oiseaux et de nombreux insectes.

6.7. Les savanes

Les savanes sont des formations végétales intertropicales couvrant des surfaces très étendues dans des régions à climat ensoleillé, chaud en été (T° moyenne annuelle 26°C) et pluviosité faible en moyenne de 250 à 1000 mm/an en fonction du type de savane.

Les savanes herbeuses sont caractérisées par une végétation formée de Poacées dures, hautes de 80 cm à plusieurs mètres. Elles sont particulièrement bien représentées en Afrique, en Amérique du sud.

Les savanes arbustives sont caractérisées par la présence d'arbres plus ou moins dispersés (Acacia, Baobab, en Afrique, Eucalyptus en Australie, Cactées en Amérique du sud) d'une taille inférieure à 15m avec une écorce épaisse.

La faune des savanes comprend beaucoup de grands herbivores qui vivent en troupes surtout en Afrique (antilope, gazelle, zèbre, girafe, éléphant) et des carnivores (lion, léopard, guépard). Des oiseaux coureurs (autruche en Afrique, le nandou en Amérique et l'Emeu en Australie) et des insectes (termites, blattes, arachnides).

6.8. Les déserts

34% de la surface des terres émergées sont des déserts ou des semi-déserts. Dans beaucoup de régions, les déserts s'étendent sous l'action combinée de processus naturels et des activités humaines (la désertification).

On appelle déserts ou zones arides les régions où la pluviosité annuelle moyenne est inférieure à 100 mm et très irrégulière (Sahara, périodes de 8 ans sans pluie).

La végétation des déserts est rare, elle se présente le plus souvent sous la forme contractée, c'est-à-dire localisée dans les dépressions ou les rares zones favorables. On va trouver des arbustes, des plantes succulentes : principales familles, Chénopodiacées, Astéracées, Brassicacées. Les plantes présentent une vie courte localisée à la période humide. Toutes sont adaptées à la sécheresse et à la chaleur. Les mammifères sont bien représentés au Sahara (130 espèces), antilopes, chameaux et beaucoup de rongeurs (gerboises, gerbilles). Beaucoup mènent une vie souterraine. Beaucoup d'insectes et de reptiles, des scorpions.

6.9. La toundra

La toundra est la zone de végétation située au delà de la limite naturelle des arbres. Le climat est caractérisé par une période sans gelée inférieure à 3 mois et la moyenne du mois le plus chaud est inférieur à 10°C. Précipitations faibles, < 250 mm/an.

La végétation du sud de la toundra à la limite des forêts comprend des arbrisseaux nains (*Betula nana* et diverses Ericacées) mêlés de tourbières à sphaignes. Plus au nord, apparaissent des pelouses et des tourbières à *Carex* et *Eriophorum*, puis des tapis de Bryophytes et de lichens qui subsistent seuls dans la partie la plus septentrionale.

Les Mammifères de la toundra comprennent des Ongulés (renne, élan, mouflon, caribou), des carnivores (ours brun et blanc, loup, loutre, vison, lynx), des rongeurs (marmotte, castor). Les oiseaux, hiboux des neiges, lagopèdes.

La couleur blanche est fréquente chez les mammifères et les oiseaux arctiques.

6.10. Les biomes aquatiques

On trouve aujourd'hui huit biomes aquatiques principaux : les cours d'eau importants (fleuves et rivières), les lacs, les zones humides, les estuaires, la zone intertidale, les récifs de corail, l'océan et la zone benthique.

A la différence des biomes terrestres, les biomes aquatiques sont généralement caractérisés par des états physiques de l'environnement, tels que la teneur en sels, la température de l'eau, la profondeur de l'eau et la vitesse des flux d'eau. Ils sont également fortement influencés par les biomes terrestres environnants, le climat et par les activités humaines.

En phytosociologie, l'association végétale est l'unité de base de la classification des communautés végétales. C'est un concept abstrait fondé à partir d'une série de communautés réelles, mais qui permet de désigner toutes les communautés qui ont un aspect similaire, qui vivent dans des habitats similaires et, surtout, qui ont un noyau d'espèces végétales caractéristiques. Au-dessus de l'association désignée par le nom d'une ou de deux espèces prises parmi les plus représentatives (dominante ou caractéristique), les écologues distinguent l'alliance phytosociologique, l'ordre et la classe

L'expression « association végétale » a été forgée par Alexander von Humboldt et Aimé Bonpland en 1805. Elle est utilisée en phytosociologie, discipline botanique étudiant les relations spatiales et temporelles entre les végétaux. Dans la mesure où la phytosociologie ne se contente pas de décrire des assemblages de plantes, mais étudie également les relations des plantes entre elles et avec leur milieu de vie (climat, sol), ainsi que leur répartition géographique, on peut également considérer que c'est une discipline écologique ou géographique, et cela d'autant plus que ses méthodes et concepts sont transposables à tous les types d'organismes.

Références bibliographiques

- BARBAULT R, 2000. Ecologie générale. Structure et Fonctionnement de la biosphère. 6^{ème} Édition. Dunod, 390p.
- CAMPBELL, 2012. Biologie ; 4^{ème} édition. PEARSON, 1457p.
- CHRISTIAN L, 2001, Ecologie de l'écosystème à la biosphère, Dunod, Paris, 502p.
- DAJOZ R., 2006. Précis d'écologie Ed Dunod, Paris. 631P.
- DANCHIN E, GIRALDEAU L.A, CERILLY F, 2005. Ecologie comportementale; Dunod, Paris, 637p.
- FRONTIER S, PICHOD-VIALE D, LEPRETE A, DAVOULT D, LUWAK C, 2004, Ecosystème structure, Fonctionnement, Evolution, 4^{ème} Edition, , Dunod, Paris, 549P.
- FAURIE C, FERRA C, MEDORI P, DEVAUX J, ET HEMPTINNE J L, 2003. Ecologie approche scientifique et pratique, 5ème Edition TEC & DOC. 407p.
- JORGENSEN S E, BRIAN F; 2008. Encyclopedia of Ecology, 1st Edition from S.E. Printbook.
- MCFARLAND D, 2001, Le comportement Animal : Psychologie, Ethologie et Evolution, 1ère Edition, DeBook Université, 613p.
- ODILE P, 1979. Ecologie, collection BIO-MODULES, Ed Décarie. 151P.
- RAMADE F, 2009. Éléments d'écologie : Ecologie fondamentale, 4^{ème} Edition, Dunod, Paris, 689p.
- RAMADE F, 2008, Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité, Dunod, Paris, 726p.
- RAMADE F, 2005. Éléments d'écologie : Ecologie appliquée, Ed Dunod, Paris, 864P.
- TRIPLET P, 2016, Dictionnaire encyclopédique de la diversité biologique et de la conservation de la nature. 939p.