

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Larbi Tébessi, Tébessa  
Faculté des Sciences Exactes et  
Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des Êtres Vivants



جامعة الشيخ العربي التبسي - تبسة  
كلية العلوم الدقيقة وعلوم الطبيعة والحياة  
قسم الكائنات الحية

# Écologie générale

*Cours et travaux dirigés destinés aux étudiants de deuxième  
année tronc commun en sciences biologiques et agronomiques*

Présentée par :

**Haroun CHENCHOUNI**

*(Maître de conférences et chercheur à l'Université de Tébessa, Algérie)*

Email : [chenchouni@gmail.com](mailto:chenchouni@gmail.com)

Web page : <http://orcid.org/0000-0001-9077-2706>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## **AVANT-PROPOS**

*Ce cours est destiné principalement aux étudiants de deuxième année Tronc Commun en Sciences Biologiques (S.N.V.), mais il représente aussi un document académique dont l'objet est de mettre à la disposition des étudiants de graduation (trons communs et licences des sciences environnementales) et de post-graduation (masters spécialisés en écologie) des sciences biologiques et sciences agronomiques, un document de référence sur l'écologie générale. Le document comprend une partie fondamentale sous forme de cinq chapitres, et également neuf séries de travaux dirigés (TD) accompagnées de corrigés-types.*

*La rédaction de cet ouvrage s'est essentiellement fondée sur des informations collectées et synthétisées depuis diverses références sur l'écologie fondamentales et appliquée.*

## TABLE DES MATIÈRES

<b>Avant-propos</b> .....	<b>i</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>ii</b>
Liste des figures.....	<b>iv</b>
Liste des séries de travaux dirigés (TD).....	<b>v</b>
<b>Chapitre 1 : Généralités sur l'écologie</b> .....	<b>1</b>
1. Définition de l'écologie.....	<b>1</b>
2. Domaines d'intervention.....	<b>2</b>
3. Notion d'écosystème.....	<b>2</b>
4. Classification des écosystèmes.....	<b>4</b>
<b>Chapitre 2 : Les facteurs écologiques et leur influence sur les êtres vivants</b> .....	<b>5</b>
1. Notions de facteur écologique.....	<b>5</b>
1.1. Loi du minimum.....	<b>5</b>
1.2. Facteur limitant.....	<b>5</b>
1.3. Loi de tolérance (intervalle de tolérance).....	<b>5</b>
1.4. La valence écologique.....	<b>6</b>
1.5. Niche écologique.....	<b>7</b>
1.6. Notion d'habitat.....	<b>7</b>
2. Classifications des facteurs écologiques.....	<b>8</b>
2.1. Facteurs abiotiques.....	<b>8</b>
2.1.1. Facteurs climatiques.....	<b>8</b>
2.1.2. Facteurs édaphiques.....	<b>16</b>
2.1.3. L'eau du sol.....	<b>18</b>
2.2. Facteurs biotiques.....	<b>19</b>
2.2.1. Coactions homotypiques.....	<b>19</b>
2.2.2. Coactions hétérotypiques.....	<b>21</b>
<b>Chapitre 3 : Structure et fonctionnement des écosystèmes</b> .....	<b>25</b>
1. La biosphère et ses constituants.....	<b>25</b>
2. Organisation de la biosphère.....	<b>25</b>
3. Les facteurs alimentaires.....	<b>25</b>
4. Besoins qualitatifs et quantitatifs en aliment.....	<b>26</b>
5. Classification des êtres vivants selon leurs besoins en alimentation.....	<b>26</b>
6. Les types de régimes alimentaires.....	<b>26</b>

7. Méthodes d'étude des régimes trophiques .....	27
7.1. Méthodes classiques .....	27
7.2. Méthodes modernes .....	27
8. Les chaînes trophiques .....	28
8.1. Différents types de chaînes trophiques .....	28
8.2. Représentation des chaînes trophiques .....	30
9. Notion de niveau et de réseau trophiques .....	30
10. Le réseau trophique .....	30
11. Les pyramides écologiques.....	30
11.1. La pyramide des nombres .....	32
11.2. La pyramide des biomasses.....	32
11.3. La pyramide des énergies.....	32
12. Transfert d'énergie et rendements.....	33
12.1. Définitions.....	33
12.2. Transfert d'énergie.....	33
12.3. Les rendements énergétiques.....	35
<b>Chapitre 4 : Dynamique des populations .....</b>	<b>36</b>
1. La cinétique démographique.....	36
2. Quelques exemples de dynamique des populations .....	36
3. Les lois de croissance des populations.....	37
3.1. Le taux intrinsèque d'accroissement $r$ .....	37
3.2. La capacité limite du milieu $K$ .....	38
3.3. Évolution des effectifs avec les hypothèses retenues .....	39
4. Stratégies adaptatives .....	40
4.1. Le concept de stratégie.....	40
4.2. Stratégies démographiques .....	41
4.3. Stratégies cœnotiques.....	43
<b>Chapitre 5 : Développement et évolution des écosystèmes .....</b>	<b>46</b>
1. Stabilité des écosystèmes .....	46
2. Notion de succession écologique .....	46
3. Types de successions écologiques .....	47
4. Causes de l'évolution des écosystèmes.....	47
5. Caractères généraux des successions .....	48
<b>Séries des travaux dirigés (TD).....</b>	<b>49</b>
<b>Annexe I - Glossaire des régimes alimentaires.....</b>	<b>78</b>
<b>Références .....</b>	<b>81</b>

## LISTE DES FIGURES

Fig. 1. Représentation sous forme de « gâteau feuilleté » de la hiérarchie des sciences biologiques par ordre de complexité croissante.....	1
Fig. 2. Zonation verticale de la biosphère et répartition des macro-écosystèmes.....	3
Fig. 3. Distribution des principaux biomes terrestres.....	4
Fig. 4. Représentation graphique de la loi de tolérance de Shelford qui définit les limites de tolérance d'une espèce en fonction de l'intensité du facteur écologique étudié.....	6
Fig. 5. Révolution de la terre et dates des saisons dans l'hémisphère Nord.....	13
Fig. 6. Variation de la photopériode lors du cycle circadien à Alger au solstice d'hiver et d'été et à l'équinoxe de printemps et d'automne.....	13
Fig. 7. Le triangle des sols est un triangle équilatéral.....	17
Fig. 8. Diagramme illustrant le principe d'Allee.....	20
Fig. 9. Diverse schématisation des pyramides écologiques.....	30
Fig. 10. Réseau trophique d'un écosystème aquatique dans la Méditerranée.....	31
Fig. 11. Figuration des pyramides des nombres, des biomasses et des énergies.....	32
Fig. 12. Transfert d'énergie et productivité de la chaîne trophique.....	33
Fig. 13. Biomasse des différents niveaux d'une chaîne alimentaire.....	34
Fig. 14. Principaux paramètres influençant la variation de l'effectif d'une population en fonction du temps.....	36
Fig. 15. Courbes représentant quelques exemples d'évolution des effectifs de population en fonction du temps.....	37
Fig. 16. Relation entre le taux intrinsèque d'accroissement ( $r$ ) et le nombre d'effectifs d'une population.....	38
Fig. 17. Deux modèles "équations différentielles" représentant une croissance exponentielle et une croissance logistique des effectifs d'une population en fonction du temps.....	40
Fig. 18. Stratégie de transformations et d'allocations des ressources énergétiques pour assurer les différentes fonctions vitales.....	41
Fig. 19. Caractéristiques des deux stratégies démographiques $r$ et $K$ .....	42
Fig. 20. Courbes illustrant la théorie de MacArthur et Wilson : relation entre richesse spécifique d'un peuplement insulaire, taux d'émigration et taux d'extinction.....	48

**LISTE DES SÉRIES DE TRAVAUX DIRIGÉS (TD)**

TD #1 – L'écologie et ses domaines d'intervention.....	49
Corrigé-type du TD #1 .....	51
TD #2 – Cycle biogéochimique de l'eau.....	54
TD #3 – Cycles biogéochimiques du carbone et de l'oxygène.....	56
1. Cycle du carbone.....	56
2. Cycle de l'oxygène .....	57
TD #4 – Cycle biogéochimique de l'azote.....	59
TD #5 – Facteurs écologiques abiotiques.....	61
Corrigé-type du TD #5 .....	64
TD #6 – Facteurs édaphiques.....	67
Corrigé-type du TD #5 .....	68
TD #7 – Cycle biogéochimique du soufre .....	69
TD #8 – Cycle biogéochimique du phosphore .....	72
TD #9 – Facteurs biotiques – relations trophiques – fonctionnement des écosystèmes.....	75
Corrigé-type du TD #9 .....	77

## CHAPITRE 1 : GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉCOLOGIE

### 1. Définition de l'écologie

Le mot « écologie » a été créé en 1866, par le biologiste allemand Ernst Haeckel, à partir de deux mots grecs : *oikos* qui veut dire : maison, habitat, et *logos* qui signifie science. L'écologie apparaît donc comme la science de l'habitat, étudiant les conditions d'existence des êtres vivants et les interactions de toute nature qui existent entre ces êtres vivants et leurs milieux. Il s'agit de comprendre les mécanismes qui permettent aux différentes espèces d'organismes de survivre et de coexister en se partageant ou en se disputant les ressources disponibles (espace, temps, énergie, matière). Par extension, l'écologie s'appuie sur des sciences connexes telles la climatologie, l'hydrologie, l'océanographie, la chimie, la géologie, la pédologie, la physiologie, la génétique, l'éthologie, ... etc. Ce qui fait de l'écologie, une science pluridisciplinaire ! (Fig. 1).

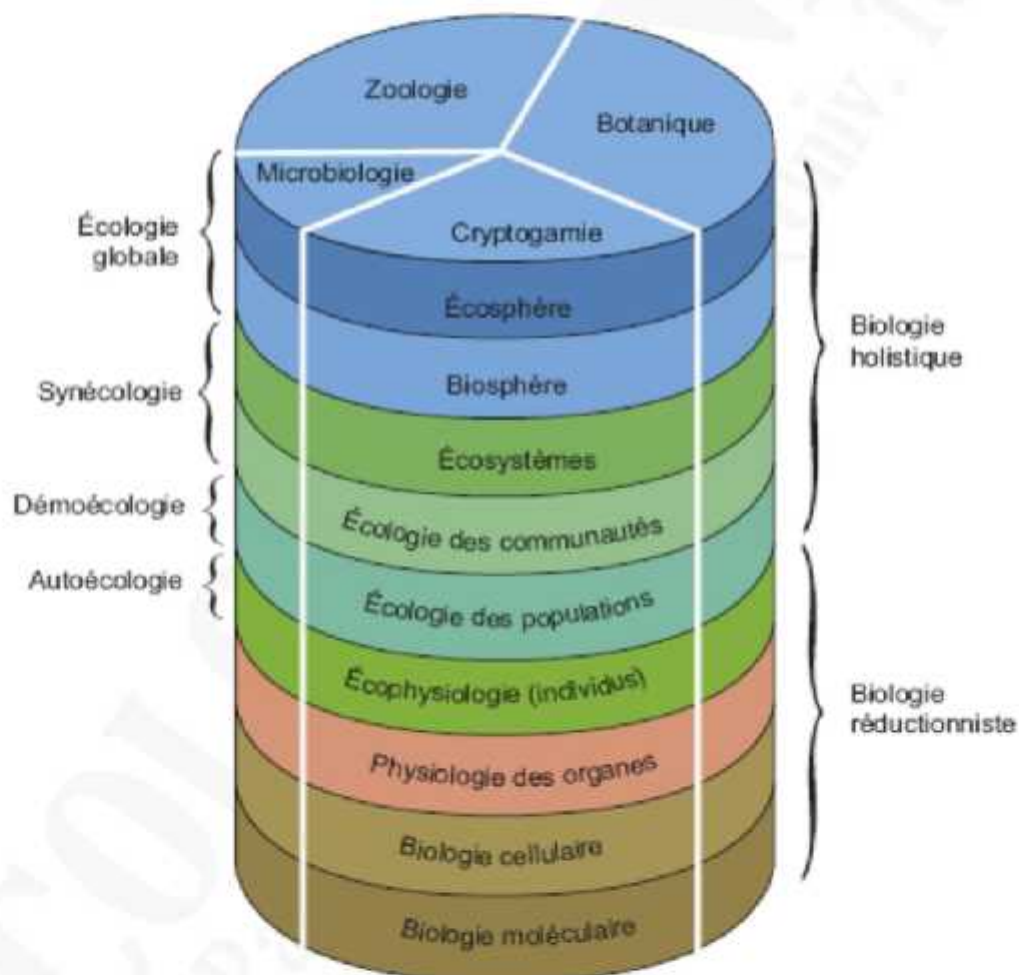


Fig. 1. Représentation sous forme de « gâteau feuilleté » de la hiérarchie des sciences biologiques par ordre de complexité croissante. Si l'on figure sous forme d'un gâteau l'ensemble des sciences biologiques, les tranches verticales du gâteau représentent les subdivisions traditionnelles (botanique, cryptogamie, zoologie, etc.) tandis que les coupes selon des plans horizontaux parallèles figurent depuis la base des degrés d'organisation de plus en plus complexes, le haut du feuilleté représentera les diverses subdivisions de l'écologie du niveau le plus simple (population), jusqu'au plus complexe (biosphère)



## 2. Domaines d'intervention

Les études écologiques portent conventionnellement sur trois niveaux :

- 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.
- Un **peuplement** (ou **communauté**) 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.

## 3. Notion d'écosystème

Un système écologique ou écosystème « *ecosystème* » fut défini par la botaniste anglais Arthur Tansley en 1935 (Frontier *et al.*, 2008).

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**. L'**Écosystème** : est un complexe dynamique composé de plantes, d'animaux, de micro-organismes (biocénose), et de la nature morte environnante (biotope) agissant en interaction. (**Biocénose** × **Biotope** = **Écosystème**).

C'est l'unité fonctionnelle de base en écologie constituée par un ensemble d'éléments en perpétuelles interactions formant un ensemble cohérent et ordonné.

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

Les biocénoses sont caractérisées par : (i) une composition spécifique (ii) phénomènes d'interdépendances (iii) occupation d'un espace défini (biotope).

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.

La **biosphère** est la partie de l'écorce terrestre où la vie est possible. La biosphère comprend une partie de la lithosphère (partie solide de l'écorce terrestre), une partie de l'atmosphère (la couche gazeuse entourant la Terre) et une partie de l'hydrosphère (partie du système terrestre constituée d'eau). La biosphère désigne l'ensemble de ces milieux et tous les êtres vivants qui y vivent (Fig. 2).

La biosphère est caractérisée par : (i) existence de zones de contacts (échanges et recyclages) ; (ii) présence de l'eau liquide en quantité suffisante ; (iii) le soleil représente la source majeure de l'énergie ; (iv) système complexe (grande biodiversité) ; (v) structure irrégulière en mosaïque (océans, continents) (Barbault, 2000).

(Le rapport entre biosphère et écosphère est le même qu'entre communauté et écosystème)  
 (Biosphère × Biodiversité = Écosphère)

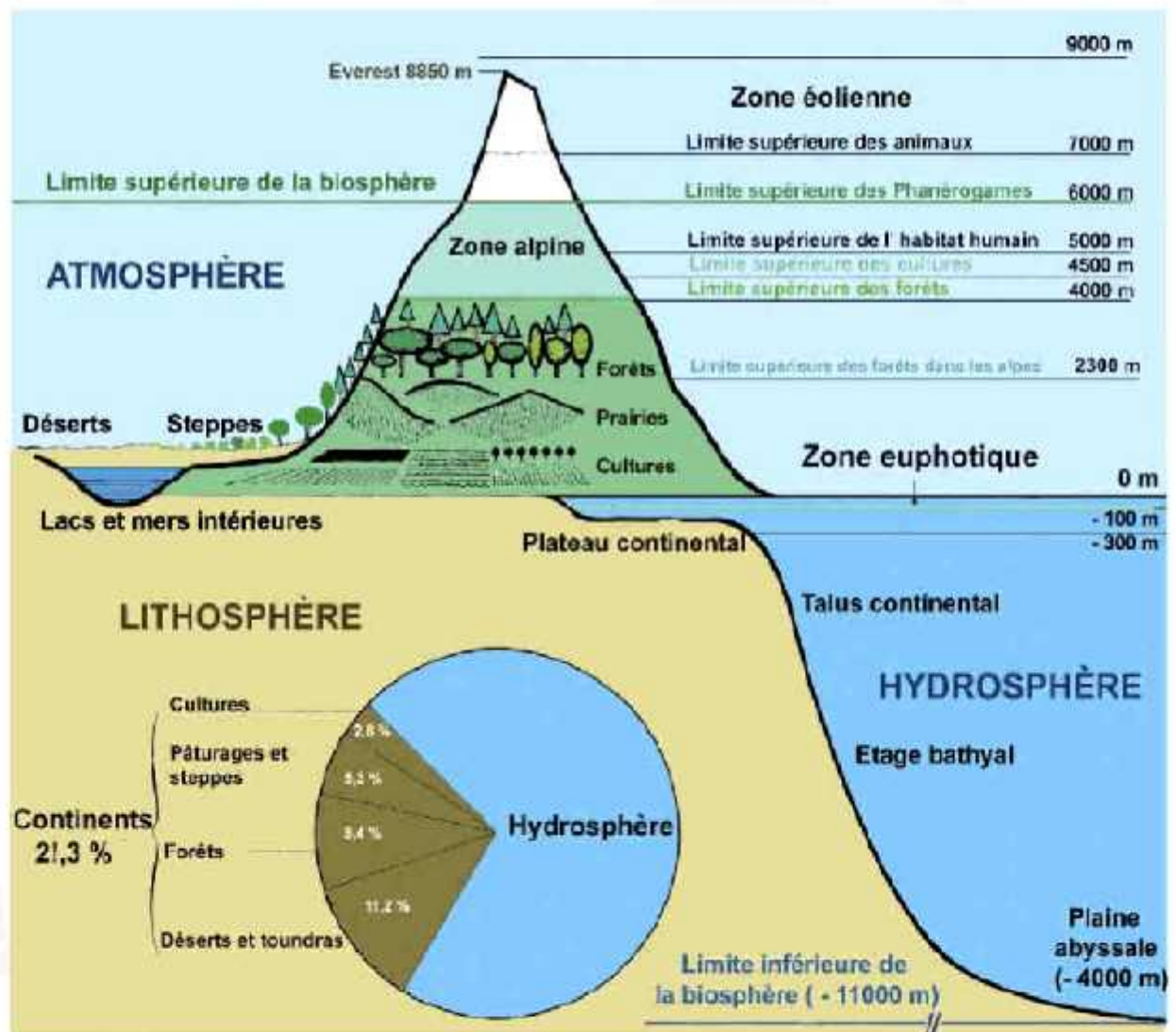


Fig. 2. Zonation verticale de la biosphère et répartition des macro-écosystèmes

#### 4. Classification des écosystèmes

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

- Les écosystèmes continentaux (terrestres) : écosystèmes forestiers (forêts), écosystèmes prairiaux (prairies, steppes, savanes), agro-écosystèmes (systèmes agricoles), ...
- Les écosystèmes des eaux continentales : écosystèmes lentiques (lacs, étangs) ou écosystèmes lotiques (rivières, fleuves)
- Les écosystèmes marins ou océaniques (mers, océans)
- Autres classifications tiennent en compte l'intervention de l'homme : écosystèmes naturels *vs* écosystèmes artificiels « *manmade ecosystems* » comme les barrages, les agro-écosystèmes ...)

On classe les écosystèmes selon leur étendue : **Micro-écosystème** (tronc d'arbre mort, petit îlot, ...); **Méso-écosystème** (forêt, étang, ...); **Macro-écosystème** (océan, désert, ...).

Les "**Biomes**" sont des regroupements biogéographiques homogènes d'écosystèmes par régions climatiques couvrant une vaste surface (toundra, taïga, steppes, déserts ...) (**Fig. 3**).

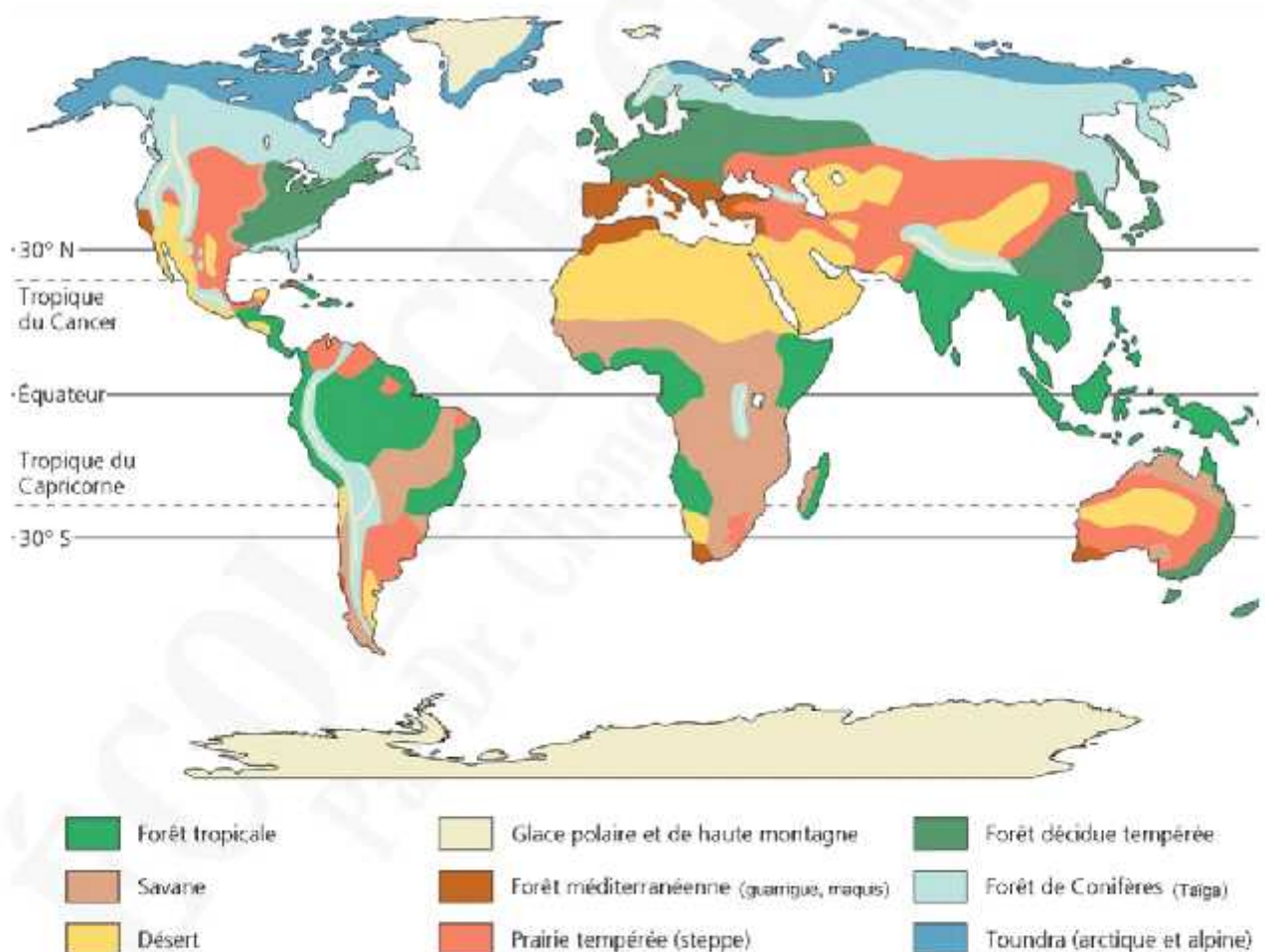


Fig. 3. Distribution des principaux biomes terrestres

## CHAPITRE 2 : LES FACTEURS ÉCOLOGIQUES ET LEUR INFLUENCE SUR LES ÊTRES VIVANTS

### 1. Notions de facteur écologique

Par définition, un facteur écologique est tout élément du milieu susceptible d'agir directement sur les êtres vivants au moins durant une phase de leurs cycles de développement.

L'action des facteurs écologiques peut se manifester sur :

- Le métabolisme des individus (diapause, hibernation, estivation, réactions photopériodiques, horloge biologique, rythmes d'activité, ...)
- La densité des populations (fécondité, fertilité, mortalité, cycles de développement, migration, ...)
- La répartition géographique des populations et des peuplements.

#### 1.1. Loi du minimum

Loi du minimum ou Loi de Liebig (1840) « *Tout processus écologique est conditionné par celui du facteur qui est le plus faiblement représenté dans le milieu* ». Exemple : Besoins des végétaux en éléments minéraux.

La loi du minimum stipule que la croissance d'un être vivant n'est possible que dans la mesure où tous les éléments indispensables pour l'assurer sont présents en quantités suffisantes dans le milieu. Ce sont les éléments déficitaires (dont la valeur est inférieure à une valeur minimum) qui conditionnent et limitent la croissance.

La loi de Liebig est généralisée à l'ensemble des facteurs écologiques sous forme d'une loi dite « loi des facteurs limitant ».

#### 1.2. Facteur limitant

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.

Lorsqu'un facteur écologique est absent, ou descend au-dessous d'un minimum critique ou accède à un niveau maximal tolérable, il est dit : **Facteur limitant**. Chaque être vivant possède des *limites de tolérance* entre lesquelles se situe son *optimum écologique*.

#### 1.3. Loi de tolérance (intervalle de tolérance)

Énoncée par Shelford en 1911, la loi de la tolérance stipule que pour tout facteur de l'environnement existe un domaine de valeurs (ou intervalle de tolérance) dans lequel tout processus écologique sous la dépendance de ce facteur pourra s'effectuer normalement.

C'est seulement à l'intérieur de cet intervalle que la vie de tel ou tel *organisme, population* ou *biocénose* est possible. La borne inférieure le long de ce gradient délimite la mort par carence, la borne supérieure délimite la mort par excès.

À l'intérieur de l'intervalle de tolérance, existe une valeur optimale, dénommée « Préférendum » ou « optimum écologique » pour laquelle le métabolisme de l'espèce ou de la communauté considérée s'effectue à une vitesse maximale (Fig. 4).

(Loi de tolérance Shelford >> intérêt connaissance facteur limitant >> gestion des populations).

#### 1.4. La valence écologique

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

- Une espèce à forte valence écologique c'est-à-dire capable de peupler des milieux très différents et supporter des variations importantes de l'intensité des facteurs écologiques, est dite : **Euryèce**.
- Une espèce à faible valence écologique ne pourra supporter que des variations limitées des facteurs écologiques, elle est dite : **Sténoèce**.
- Une espèce à valence écologique moyenne, est dite : **Mésoèce**.

Exemples : Eury\_\_ vs. sténobiotte (valence écologique d'une espèce vis-à-vis un facteur écologique donnée), eury\_\_ vs. sténobathe (vis-à-vis pression hydrostatique), eury\_\_ vs. sténohaline (v-à-v salinité de l'eau), eury\_\_ vs. sténogrique (v-à-v humidité de l'air), eury\_\_ vs. sténoionique (v-à-v pH), eury\_\_ vs. sténophage (v-à-v régime alimentaire vs. alimentation), eury\_\_ vs. sténophote (v-à-v éclaircissements vs. lumière), eury\_\_ vs. sténotherme (v-à-v température), eury\_\_ vs. sténotope (v-à-v facteurs abiotiques vs. biotopes), eury\_\_ vs. sténoxène (v-à-v nombre d'hôtes parasités), eury\_\_ vs. sténoxène (v-à-v nombre d'hôtes parasités), eury\_\_ vs. sténoxique (concentration d'oxygène dissous).

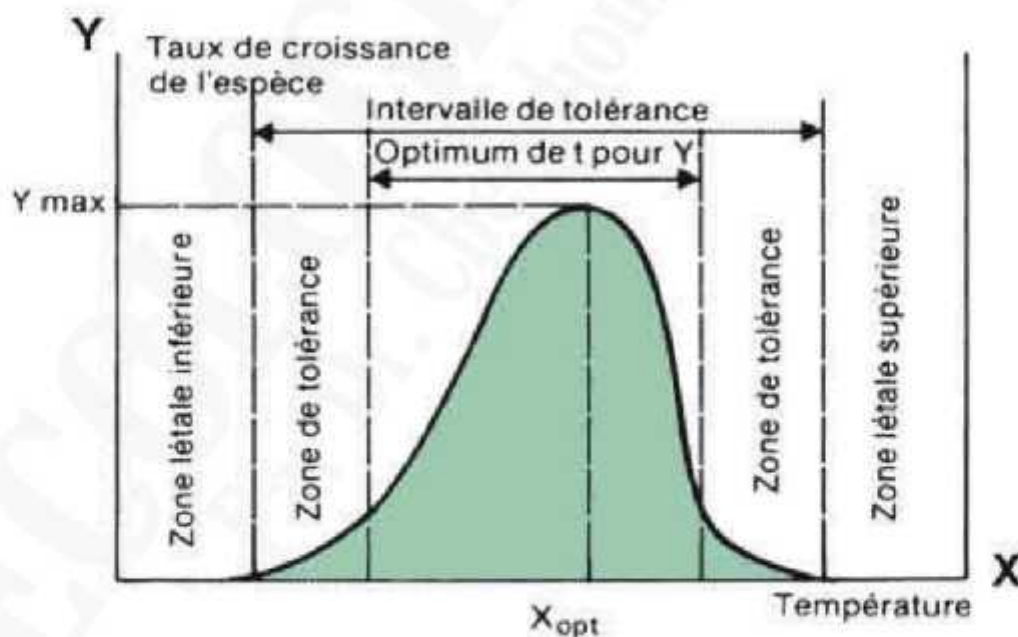


Fig. 4. Représentation graphique de la loi de tolérance de Shelford qui définit les limites de tolérance d'une espèce en fonction de l'intensité du facteur écologique étudié. (L'abondance de l'espèce est maximale au voisinage de l'optimum écologique = Préférendum. e.g. Thermopréférendum)

### 1.5. Niche écologique

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

Elle correspond à l'ensemble des paramètres qui caractérisent les exigences écologiques (climatiques, alimentaires, reproductives, etc.) propres à une espèce vivante et qui la différencient des espèces voisines d'un même peuplement. Le recoupement de ces facteurs décrit la niche, qui est la position que l'organisme occupe dans son environnement, comprenant les conditions dans lesquelles il est trouvé, les ressources qu'il utilise et le temps qu'il y passe.

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

Les organismes peuvent changer de niches quand ils se développent.

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

Exemple 1 : crapauds communs		
Stade	Têtard	Adulte
Environnement	Aquatique	Terrestre
Alimentation	Algues + détritux	Insectes
Exemple 2 : Papillon		
Stade	Larve	Adulte
Environnement	Feuillage	Fleurs
Alimentation	Herbivore	Nectarivore

Une confusion fréquente est faite entre niche écologique et habitat. Ce dernier correspond aux emplacements particuliers où l'espèce considérée se rencontre. La niche, elle, représente la fonction de l'espèce dans un écosystème.

### 1.6. 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 d'oiseaux (sitelles, bécasses), de mammifères (souris de bois, renards), d'insectes (papillons, coléoptères, pucerons) et de plantes (anémones de bois, mousses, lichen).

## 2. Classifications des facteurs écologiques

- SELON LEUR ORIGINE : facteurs écologiques abiotiques (physico-chimiques) et biotiques (en relation avec les êtres vivants).
  - ✓ **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.
- SELON LEUR DÉPENDANCE DE LA DENSITÉ (abondance des individus des espèces) : facteurs dépendants ou indépendants,
- SELON LA NATURE : facteurs édaphiques, climatiques, topographiques, hydrologiques, ...
- SELON LEUR PÉRIODICITÉ : périodique (primaire, secondaire), apériodique.

### 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 (Blondel, 1995).

##### 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

###### a. Limites de tolérance et températures préférentielles

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

Les êtres vivants ne peuvent théoriquement subsister au-delà de 50 °C et en deçà de 0 °C ; ce sont généralement les *limites de tolérance* où les activités vitales sont possibles. Certains êtres vivants, les microorganismes en particulier, sont capables de supporter des températures supérieures ou inférieures à ces limites.

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.

En fonction du thermopréférendum, on distingue les catégories d'espèces suivantes :

- Psychrophile "désigne les espèces qui se développent aux basses températures : régions froides",
- Microthermophile "espèce qui se développe dans des biotopes à température faible",
- Mésothermophile "organisme vivant dans les conditions climatiques des régions tempérées",
- Macrothermophile "espèce qui se développe dans des biotopes situés dans la zone intertropicale donc de climats chauds",
- Hyperthermophile "espèce vivant dans les régions arides très chaudes" = Thermo-extrémophile.

#### b. Action de la température sur la biocénose

Le plus souvent, ce sont les températures extrêmes plutôt que les moyennes qui présentent des actions sur les êtres vivants. Ces actions portent sur les niveaux suivants :

- **Les activités vitales** : la quantité de l'alimentation consommée ; la Vitesse de développement (le Zéro de développement correspond à la température au-dessous de laquelle la vitesse de développement est nulle) ; le nombre de générations (supérieur dans les régions tropicales) ; la fécondité et la fertilité (activité reproductrices, optimum de l'ovulation, taille de la progéniture, ...)
- **La densité des populations** : Pullulations ou extinction de certaines populations
- **La répartition géographique** : en latitude (Hémisphères, limites des isothermes)
- **Localisation des espèces** : altitude ; exposition (Adret : Sud, Ubac : Nord) ; recherche de microclimats ; ...

#### c. Adaptation aux températures extrêmes

Certains organismes peuvent subsister en conditions extrêmes en manifestant différents types d'adaptations :

##### i - Adaptations morphologiques

Se traduisent par des changements dans la taille de l'organisme et des appendices, coloration, ...

- Loi de Bergman :  $T^{\circ} \searrow \rightarrow \text{Vol/Surf} \nearrow$  ;
- Règle d'Allen : Réduction de la longueur des appendices chez animaux à sang chaud (Exemple : Renards polaires  $\rightarrow$  renards d'Europe  $\rightarrow$  Fennec)

##### ii - Physiologiques (Acclimatation)

Constituent la première expression de la plasticité écologique des espèces. L'acclimatation résulte de l'existence de mécanismes de régulations, provoquant des modifications métaboliques de nature homéostatique, qui permettent aux êtres vivants de maintenir constantes et à une valeur optimale leurs conditions internes face à des fluctuations du milieu ambiant. (*Homéostasie : tendance des organismes vivants à stabiliser leurs diverses constantes physiologiques*).

Exemple : élévation ou ralentissement du métabolisme (Diapause hivernale et estivale). Les températures trop basses ou trop élevées déclenchent chez certains animaux un état de dormance (quiescence) appelé hibernation ou estivation. Dans les deux cas, le développement est quasiment arrêté.



L'Homéothermie des animaux à sang chaud constitue un exemple classique des mécanismes homéostatiques. On peut répartir en deux groupes les animaux quant à leur réaction à des fluctuations de température ambiante :

- **Les Poïkilothermes** (syn. : animaux dit à sang froid, allothermes, ectothermes, exothermes) du *poikilos* = variable, *thermos* = chaleur, se dit des animaux dont la température corporelle est voisine (ou identique) de celle du milieu extérieur et suit ses fluctuations, comme les reptiles, les poissons ...
- **Les Homéothermes** (syn. : animaux dit à sang chaud, endothermes) du *homotos* = semblable, *thermos* = chaleur, se dit d'un animal (mammifère, oiseau) dont la température corporelle reste constante, indépendante de celle du milieu externe. Ainsi la plupart des oiseaux ont une température corporelle constante, comprise entre 40 et 43 °C, chez les mammifères, celle-ci varie de 36 à 39 °C selon l'espèce.

### iii - Éthologiques (comportementales)

Elles se manifestent par plusieurs formes d'adaptations comme l'enfouissement, activités nocturnes, comportement grégaire, divers comportements, ...

#### 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.

##### a. Classification des êtres vivants selon leurs besoins en eau

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 (*Exemple* : poissons) ;
- Des espèces **hygrophiles** qui vivent dans des milieux humides où l'humidité relative est proche de la saturation (*Exemple* : les amphibiens) ;
- Des espèces **mésophiles** dont les besoins en eau sont modérés et qui supportent des alternances de saison sèche et de saison humide (*Exemple* : organismes terrestres des régions tempérées) ;
- Des espèces **xérophiles** qui vivent dans les milieux secs où le déficit en eau est accentué (*Exemple* : organismes supportant des degrés élevés de sécheresse : espèces des régions sahariennes).

## b. Bilan et métabolisme hydrique chez les êtres vivants

### Apports :

- Absorption directe par voie digestive ou par le système racinaire,
- Pénétration par la cuticule ou les téguments,
- Utilisation de l'eau métabolique : eau préformée (combinée aux aliments) ou par oxydation des réserves.

### Pertes :

- Respiration,
- Transpiration (chez les animaux) et évapotranspiration (chez les végétaux),
- Excrétion (urines, digestion),
- Évaporation à travers les téguments.

## c. Approvisionnement en eau

Les végétaux ont des besoins différents en eau selon leurs localisations et leur phénologie.

Les animaux présentent plusieurs modes d'abreuvement :

- **Abreuvement régulier** : rythme de prise spécifique dans les régions où l'eau est disponible en quantités suffisantes (Régions tropicales et tempérées).
- **Abreuvement irrégulier et utilisation de l'eau préformée** (Espèces vivants dans les milieux à précipitations faibles et irrégulières).
- **Espèces réputées ne jamais boire** (Milieux xériques : *e.g.* *Addax nasomaculatus*).

## d. Influence de l'humidité sur la biocénose

- o Influence sur la longévité et la vitesse du développement : organismes gaspilleurs (longévité varie en fonction de la disponibilité de l'eau) ; organismes économiseurs (longévité ne varie pas en fonction de l'eau).
- o Influence sur la fécondité (Copulation et rythme de pontes ou de naissances).
- o Influence sur la localisation et la répartition géographique des espèces selon leurs besoins en eau (exposition, altitude, microclimat, Isohyètes).
- o Influence sur le comportement (Périodes d'alimentation et caractéristiques des aliments varient en fonction de l'humidité).

## e. Adaptation aux conditions extrêmes

Dans les conditions extrêmes, les êtres vivants manifestent plusieurs types d'adaptations. Ces adaptations sont plus au moins liées aux adaptations aux températures extrêmes (morphologiques et éthologiques).

La connaissance des effets de l'action combinée des températures et de l'humidité permet de décrire l'optimum écologique de la majorité des activités des êtres vivants.

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...
- Adaptations physiologiques (plantes CAM), ...

#### *Chez les animaux*

La thermorégulation est un ensemble de phénomènes écophysologiques permettant :

- Pertes importantes du poids corporel suite à l'oxydation des graisses pour utilisation de l'eau formée du métabolisme,
- Variation de la température corporelle,
- Excrétions concentrées et peu hydratées (urine),
- Sudation à des températures élevées,
- Rétention hydrique,
- Récupération de la vapeur atmosphérique,
- Utilisation de l'eau contenue dans les aliments,
- Autres adaptations physiologiques...

#### **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 qualité (longueur d'onde) mais aussi par la durée de son action (photopériode).
- ✓ La durée du jour et inversement celle de la nuit s'accroissent ou diminuent selon les saisons au cours du cycle annuel, l'écart entre hiver et été étant d'autant plus accentué que l'on s'élève en latitude (Fig. 5).
- ✓ La photopériode croît de l'Équateur vers les Pôles. À l'Équateur, les jours sont rigoureusement égaux aux nuits, pendant toute l'année. Au Tropiques, l'inégalité reste faible et pratiquement sans influence. Aux très hautes latitudes, c'est-à-dire au-delà du cercle polaire, nuits et jours dépassent les 24h, pour atteindre 6 mois de jours et 6 mois de nuit aux Pôles mêmes. (Exemple : variation de la photopériode à Alger, Fig. 6).
- ✓ L'atmosphère joue le rôle d'écran ou mieux de filtre en arrêtant certaines radiations et en laissant passer d'autres. En effet, l'atmosphère absorbe une part du rayonnement solaire, et diffuse une autre portion. A ces deux actions s'ajoute un phénomène de réflexion.

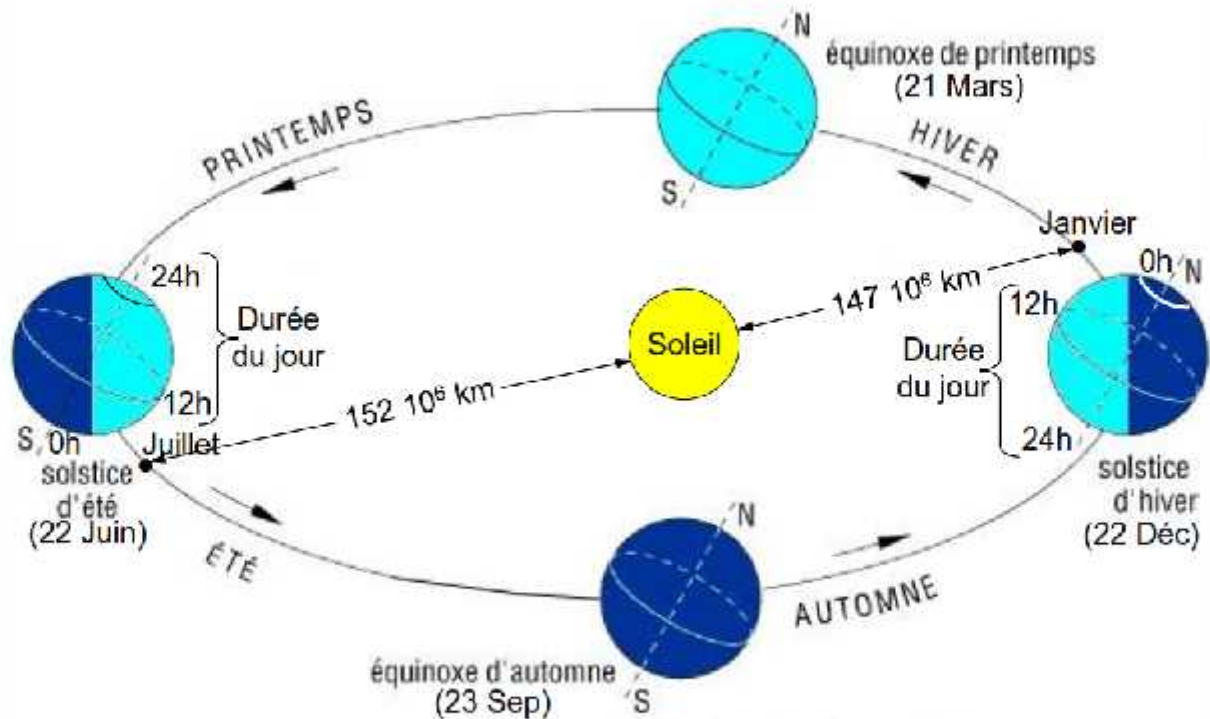


Fig. 5. Révolution de la terre et dates des saisons dans l'hémisphère Nord

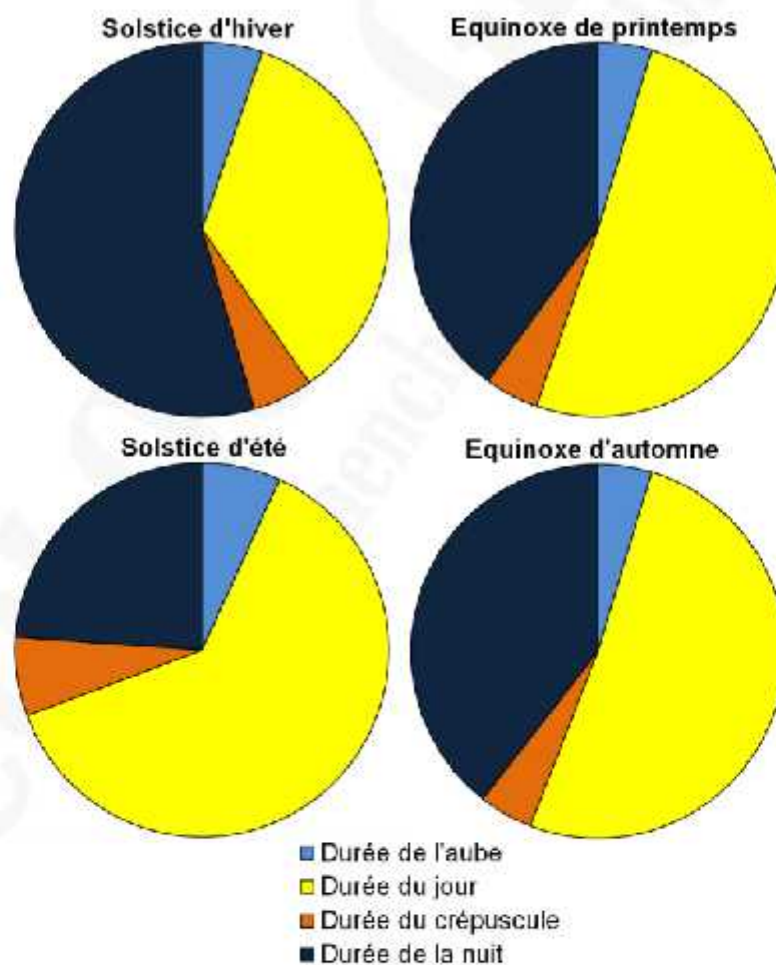


Fig. 6. Variation de la photopériode lors du cycle circadien à Alger au solstice d'hiver et d'été et à l'équinoxe de printemps et d'automne

### a. Actions 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).

L'intensité de l'éclairement influence sur la photosynthèse chez les végétaux, ainsi deux types de plantes se distinguent selon leur préférence vis-à-vis l'intensité de la lumière :

- **Héliophile** (syn. Photophile, Luciphile, Lucicole) : désigne tout organisme qui exige un fort ensoleillement pour se développer ou présenter une activité normale. (*Exemple* : les espèces croissant dans des habitats ouverts très ensoleillés comme les savanes, steppes, déserts chauds, ...).
- **Héliophobe** (syn. Sciaphile, Photophobe, Lucifuge) : désigne un organisme qui ne peut croître que sous des luminosités réduites *i.e.* à l'ombre. (*Exemple* : Les végétaux des strates inférieures des écosystèmes forestiers très denses).

Selon la photopériode, les végétaux sont divisés en trois catégories :

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

### b. Actions sur les animaux

Chez les animaux, le rôle essentiel de la photopériode réside dans l'entretien des rythmes biologiques (biorythme). On distingue principalement trois types de biorythmes :

- **Le rythme circadien** (quotidien ou journalier ou nyctéméral) : Rythme dont la période dure un nyctémère (= 24 heures = photophase + scotophase = jour + nuit). Rythme entretenu par un mécanisme biologique inconnu chez les animaux "Horloge biologique" (espèces nocturnes ou diurnes). *e.g.* blattes, chauve-souris, ...
- **Le rythme lunaire** : Rythme en relation avec la position lunaire et le changement des marées. Influence sur les activités à marées hautes ou à marées basses. *e.g.* moules, ...
- **Le rythme saisonnier** : induit principalement par la photopériode et sa variation saisonnière. Son influence se manifeste sur :
  - (a) les cycles de développement notamment lors de la période de reproduction avec activation des organes reproducteurs, des modifications morphologiques et comportementales. (*e.g.* végétaux annuels et majorité des animaux des régions non tropicales ; ils ont pour résultat de faire coïncider la période de reproduction avec la saison favorable),
  - (b) Sur le déclenchement des phénomènes de diapauses et de dormance (avant que ne survienne la saison défavorable),
  - (c) Induction de mouvements de déplacement et de migration.

#### 2.1.1.2.4. VENT

Le vent résulte du mouvement de l'atmosphère entre les hautes et basses pressions. Les zones trop ventées présentent une grande gêne physique pour le déroulement des activités vitales.

L'impact de ce facteur sur les êtres vivants peut se résumer en :

- Il a un pouvoir desséchant puisqu'il augmente l'évaporation.
- Il a aussi un pouvoir de refroidissement considérable.
- Le vent est un agent de dispersion des animaux et des végétaux (anémochorie).
- 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.
- Il conditionne la direction du déplacement (Anémotaxie) et celle de croissance (Anémotropisme) des êtres vivants,

**Anémotaxie** : Réaction de déplacement d'un être vivant conditionnée par le vent soit dans la direction de ce dernier (positive) soit en direction opposée (négative).

**Anémotropisme** : Réponse de croissance ou de motilité d'un organisme dont l'orientation est déterminée par la direction du vent.

Selon la préférence des êtres vivants à la vitesse du vent, on distingue :

- ✓ **Espèce aérophile** (Anémophile) : désigne toute espèce inféodée à des biotopes exposés à de forts vents.
- ✓ **Espèce aérophobe** (Anémophobe) : désigne toute espèce inféodée à des habitats non ventés.

#### 2.1.1.2.5. NEIGE

Dans les régions enneigées, la neige peut constituer un facteur limitant vis-à-vis de l'activité des êtres vivants et de l'accessibilité à l'alimentation.

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

Les adaptations aux conditions neigeuses peuvent apparaître, elles sont surtout de type :

- **Physiologique** : utilisation de réserves de graisses,
- **Morphologique** : pelage épais, poussées de griffes et de poils entre les orteils,
- **Comportemental** : utilisation de la neige comme abri.

## 2.1.2. FACTEURS ÉDAPHIQUES

### 2.1.2.1. Définition du sol

Le sol est un milieu vivant complexe et dynamique, défini comme étant la formation naturelle de surface, à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus : physiques, chimiques et biologiques, au contact de l'atmosphère et des êtres vivants.

Il est formé d'une fraction minérale et de matière organique. Végétaux et animaux puisent du sol l'eau et les sels minéraux et trouvent l'abri et le support indispensable à leur épanouissement.

### 2.1.2.2. La texture du sol

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

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

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

- **Textures fines** : comportent un taux élevé d'argile (>40%) et correspondent à des sols dits « lourds », difficiles à travailler, mais qui présentent un optimum de rétention d'eau.
- **Textures sableuses ou grossières** : elles caractérisent les sols légers manquant de cohésion et qui ont tendance à s'assécher saisonnièrement.
- **Textures moyennes** : on distingue 2 types :
  - Les limons argilo-sableux qui ne contiennent pas plus de 30 à 35% de limons, qui ont une texture parfaitement équilibrée et qui correspondent aux meilleures terres dites « franches ».
  - Les sols à texture limoneuse, (plus de 35% de limons), sont pauvres en humus (matière organique du sol provenant de la décomposition partielle des matières animales et végétales).

Cette classification est représentée à l'aide d'un triangle, appelé triangle des textures (**Fig. 7**)

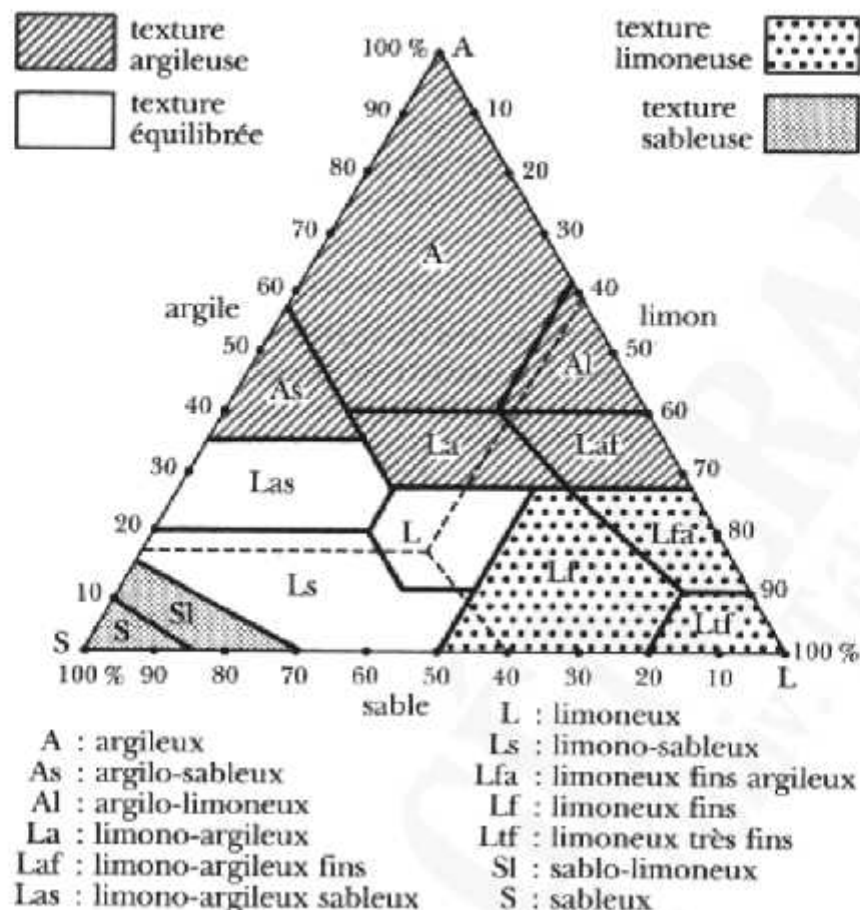


Fig. 7. Le triangle des sols est un triangle équilatéral comportant trois variables dont la somme est de valeur constante (100%)

Sur le plan biologique, la granulométrie intervient dans la répartition des êtres vivants et des eaux souterraines. Nombreux organismes tels que les vers de terre préfèrent les sols limoneux ou argilo-sableux, tout comme quelques espèces de coléoptères qui préfèrent les sols argileux et/ou limoneux, présentant une teneur élevée en éléments fins et qui ont la faculté de retenir l'eau nécessaire, contrairement aux éléments grossiers qui permettent une dessiccation trop rapide du sol.

#### 2.1.2.2. La structure du sol

La structure est l'organisation du sol. Elle se définit également comme étant l'arrangement spatial des particules de sables, de limons et d'argiles.

On distingue principalement trois types de structures :

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



- **Structure 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.

### 2.1.3. L'EAU DU SOL

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

- **L'eau hygroscopique** : provient de l'humidité atmosphérique et forme une mince pellicule autour des particules du sol. Elle est retenue très énergiquement et ne peut être utilisée par les organismes vivants.
- **L'eau capillaire non absorbable** : occupe les pores d'un diamètre inférieur à 0,2 mm. Elle est également retenue trop énergiquement pour être utilisée par les organismes vivants. Seuls certains organismes très adaptés peuvent l'utiliser.
- **L'eau capillaire absorbable** : située dans les pores dont les dimensions sont comprises entre 0,2 et 0,8 mm. Elle est absorbée par les végétaux et elle permet l'activité des bactéries et des petits Protozoaires comme les flagellés.
- **L'eau de gravité** : occupe de façon temporaire les plus grands pores du sol. Cette eau s'écoule sous l'action de la pesanteur.

### 2.1.2.4. 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<sup>+</sup> provenant de :

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

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

- **Les pH basiques** (supérieurs à 7,5) caractérisent les sols qui se développent sur une roche mère calcaire. On les rencontre généralement dans les climats secs ou saisonnièrement secs et sous une végétation présentant des feuilles à décomposition rapide.
- **Les pH acides** (inférieurs à 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 (forêts boréales). Ils se forment surtout sur les roches siliceuses et les roches granitiques.
- **Les pH neutres** (6,5 ~ 7,5).

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** (alcalinophiles). Les **neutrophiles** sont les plus représentées dans la nature.

(Consulter aussi : extrémophiles, Faryionique "amphitolérante", Sténoionique)

### 2.1.2.5. La composition chimique

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

Les sols salés, ayant des teneurs importantes en chlorure de sodium, ont une flore et une faune très particulière. Les plantes des sols salés sont dites **halophytes** (euhalophytes, halophytes tolérantes, halophytes facultatives) contrairement aux **glycophytes**.

En fonction de leurs préférences au calcaire, 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).

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

### 2.2.1. Coactions homotypiques

#### 2.2.1.1. Relations entre individus

Les êtres vivants peuvent communiquer entre eux de différentes façons : visuelle, sonore, chimique, ...

Les phéromones sont des substances chimiques circulant entre les individus de la même espèce et servent à transmettre divers types d'information. Reçues par un autre individu elles peuvent induire une réaction caractéristique (modification du comportement, de développement).

Les phéromones existent chez différents groupes de végétaux et d'animaux. Ils agissent à des doses minimales et la variation de leurs concentrations provoque une variation dans les réactions.

#### 2.2.1.2. L'effet de groupe (grégarisme)

Lorsque les êtres vivants d'une même espèce animale sont groupés en 2 ou plus, ces derniers en tirent des avantages, notamment pour la vitesse de croissance, la défense et l'accès aux ressources du milieu.

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 (**Fig. 8**).

*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.

**Principe du minimum :** Il est impossible d'éviter la disparition d'espèces grégaires devenues rares en raison de la diminution de leurs populations à un effectif minimum tolérable pour leur développement.

### 2.2.1.3. 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, le cannibalisme, déplacements, ... Chez certains organismes, le surpeuplement entraîne des phénomènes appelés phénomènes d'auto-élimination (Fig. 8).

**Principe d'Allee :** Ce principe stipule que la densité constitue un facteur écologique limitant pour une population naturelle tant à ses faibles valeurs qu'à ses fortes valeurs. Évident pour les fortes densités, car le surpeuplement exacerbe la compétition entre individus pour l'accès aux ressources indispensables en particulier la nourriture, ce principe est aussi valable pour ses faibles densités. Ce fait apparemment paradoxal résulte de ce qu'un minimum de densité peut s'avérer nécessaire pour assurer la pérennité d'une population ou d'un groupe d'individus. Il est donc d'importance majeure en biologie de la conservation car les populations des espèces menacées sont toujours très réduites (Fig. 8).

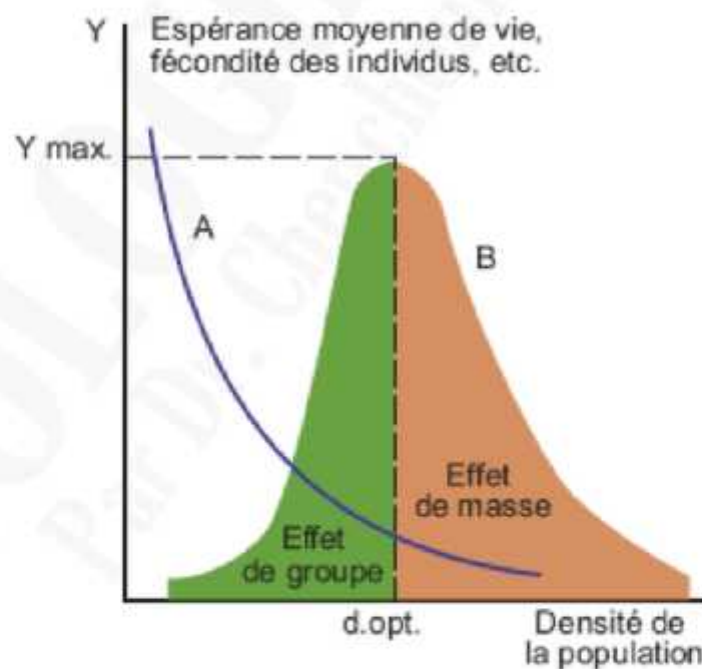


Fig. 8. Diagramme illustrant le principe d'Allee. On constate que la réponse écologique d'une population tend à s'annuler tant pour les faibles densités (absence d'effet de groupe) que pour les fortes densités (effet de masse excessif)

#### 2.2.1.4. La compétition intraspécifique

Ce type de compétition se manifeste entre les individus d'une population en surpeuplement et il peut intervenir pour de très faibles densités.

La compétition intraspécifique influence sur les populations à différents niveaux :

- Augmentation de la mortalité et baisse de la natalité suite à un ensemble d'effets socio-physiologiques néfastes appelé "Maladie de choc" (batailles répétées, baisse de l'activité gonadique, infestations diverses, migrations, ...).
- Comportement territorial et constitution de groupes et de sociétés. Le phénomène de "Compétition de combat" se manifeste lorsqu'un individu, un couple ou un groupe d'individus s'approprient une ressource environnementale en la défendant énergiquement.
  - Induction de phénomènes de compétitions en mêlée (fluctuations cycliques de situations de sureffectifs et de sous effectifs des différentes classes d'âge de la même population).
- Déclenchement de mouvements de déplacements et de migration.

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

#### 2.2.1.5. Le cannibalisme

Forme de prédation qui se pratique entre individus d'une même espèce.

### 2.2.2. Coactions hétérotypiques

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

#### 2.2.2.1. Le neutralisme

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

*Exemple* : Espèces à niches écologiques totalement différentes.

#### 2.2.2.2. La compétition interspécifique

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

Dans la compétition interspécifique, chaque espèce agit défavorablement sur l'autre. La compétition est d'autant plus intense 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.

**Principe d'exclusion réciproque de Gause** : Loi écologique découverte par Gause en 1934.

Elle peut s'énoncer ainsi : « deux espèces ayant des exigences écologiques voisines ne peuvent coexister, la population de l'une d'entre elles éliminant obligatoirement celle de l'autre ».

En corrélaire de ce principe, deux espèces ne peuvent occuper une même niche écologique, ce que Gause exprimait par l'égalité :

Une espèce = Une niche écologique

De ce fait, les espèces cohabitant dans un même milieu développent un mécanisme d'isolement écologique qui est à l'origine de la spécialisation des espèces (Niche écologique).

Dans un écosystème, la distribution des niches écologiques peut être divisée en :

**Espèces allopatriques** (aires distinctes, compétition inexistence ou absente).

"*Allopatrie* : Désigne deux espèces dont les populations ne cohabitent pas".

**Espèces sympatriques** (même aire, compétition pourra être forte ou nulle, selon leurs exigences).

"*Sympatrie*. Désigne la coexistence de deux espèces taxonomiquement voisines dans une même aire de distribution géographique et dans le même habitat".

### 2.2.2.3. La prédation

(Consommation de nourriture)

Le prédateur est tout organisme libre "espèce prédatrice" qui se nourrit aux dépens autres espèces appelées *proies*. La prédation est favorable au prédateur et à la population proie car elle permet de maintenir l'équilibre et la santé de cette dernière (le prédateur capture en priorité les individus jeunes, malades ou âgés).

– *Le cannibalisme* (coaction homotypique) est une forme extrême de la prédation.

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).

### 2.2.2.4. Le parasitisme

C'est une situation dans laquelle un être vivant appelé parasite vit aux dépens d'un autre être vivant appelé hôte. C'est un phénomène observé chez les végétaux et tous les groupes d'animaux connus. C'est une interaction négative qui peut entraîner des chutes considérables des effectifs des populations.

On distingue :

- Endoparasites (parasites des viscères : parasites intracellulaires / extracellulaires) et ectoparasites (parasites extérieurs).
- Parasites permanents et parasites temporaires.
- Parasites obligatoires et parasites facultatifs.
- Selon le nombre d'hôtes : monoxène, dixène, ...

### 2.2.2.5. Le commensalisme

- C'est un mode d'exploitation non-parasitaire d'une espèce par une autre.
- Interaction entre une espèce, dite commensale, qui en tire profit de l'association et une espèce hôte qui n'en tire ni avantage ni nuisance. Les deux espèces exercent l'une sur l'autre des coactions de tolérance réciproque.

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

**Kleptoparasitisme.** Forme de commensalisme propre à certaines sociétés animales dans laquelle une espèce vole la nourriture à une autre espèce afin de nourrir sa propre progéniture.

### 2.2.2.6. La kleptobiose

Association interspécifique observée chez des organismes sociaux dans laquelle une espèce dérobe les aliments collectés par une autre espèce sans vivre en commensale dans son nid.

### 2.2.2.7. L'amensalisme (Antibiose)

Une espèce est inhibée dans sa croissance ou dans sa reproduction par une autre espèce inhibitrice (amensale) qui sécrète dans le milieu des substances toxiques. C'est une action bénéfique pour l'espèce amensale mais néfaste pour l'autre. Dans les interactions entre végétaux, l'amensalisme est souvent appelé **allélopathie**.

*Exemple* : Le Noyer émet par son feuillage une substance volatile toxique qui empêche l'installation des plantes sous sa couronne.

**Allélopathie (syn. Télétoxie).** Phénomène par lequel les plantes d'une espèce donnée peuvent empêcher le développement d'autres plantes en sécrétant par leurs racines ou par leurs feuilles des substances toxiques qui inhibent la germination des graines ou la croissance des autres végétaux présents dans leur voisinage.

### 2.2.2.8. Le mutualisme

Phénomène d'association bénéfique entre deux espèces vivantes. Celle-ci peut être facultative (*coopération*), ou obligatoire ; on la dénomme alors *symbiose*.

### 2.2.2.9. La coopération

Deux espèces ou plus forment une coopération non réciproque et/ou non obligatoire, relation bénéfique aux différentes espèces coopérantes. *Exemple* : les oiseaux coloniaux.

### 2.2.2.10. La symbiose

C'est la forme la plus évoluée des interactions positives entre espèces et représente le type de mutualisme le plus achevé. Elle tient en un phénomène d'association obligatoire, donc permanente, entre les organismes qui la pratiquent. Dans cette association, chaque espèce ne peut survivre, croître et se développer qu'en présence de l'autre.

Dans les cas les plus évolués, et aussi les plus fréquents, elle se traduit par le fait qu'une des espèces héberge à l'intérieur de son organisme l'autre espèce du couple de symbiotes (endosymbiose), par opposition aux cas moins évolués où les deux organismes restent extérieurs l'un à l'autre (exosymbiose).

Exemples : *Endosymbiose* : Association des végétaux avec les bactéries fixatrices d'azote ; endomycorhizes ; flore bactérienne vivant dans le tube digestif des animaux ; *Exosymbiose* : termites/fourmis en association avec des champignons basidiomycètes ; ectomycorhizes.

### 2.2.2.11. L'inquilinisme

Interaction positive entre espèces différentes dans laquelle l'une "inquiline" se fait héberger et utilise les déchets alimentaires ou autres présents dans le nid de l'espèce hôte sans que cette dernière ne tire un bénéfice particulier de sa présence – à la différence d'une relation de coopération.

### 2.2.2.12. L'esclavagisme

Forme d'interaction entre espèces différentes se traduisant chez certaines espèces de fourmis par le pillage des nids d'une autre espèce afin de capturer des larves qui seront ensuite utilisées comme ouvrières dans la colonie de l'espèce dominante.

Tableau récapitulatif des différentes coactions hétérotypiques

Nature de la coaction	Espèces réunies		Espèces séparées	
	Espèce A	Espèce B	Espèce A	Espèce B
Neutralisme	0	0	0	0
Compétition	-	-	0	0
Prédation ou Parasitisme <sup>(1)</sup>	+	-	-	0
Commensalisme <sup>(2)</sup>	+	0	-	0
Kleptobiose <sup>(3)</sup>	+	-	0	0
Amensalisme = Antibiose <sup>(4)</sup>	0	-	0	0
Coopération	+	+	0	0
Symbiose	+	+	-	-
Inquilinisme <sup>(5)</sup>	+	0	0	0
Esclavagisme <sup>(6)</sup>	+	-	0	0

(0) espèce non influencée.

(+) espèce favorisée.

(-) espèce défavorisée.

<sup>(1)</sup> L'espèce "A" prédatrice ou parasite de l'espèce "B".

<sup>(2)</sup> L'espèce "A" commensale de l'espèce "B" (hôte).

<sup>(3)</sup> L'espèce "A" vole la nourriture de l'espèce "B".

<sup>(4)</sup> L'espèce "A" amensale de l'espèce "B".

<sup>(5)</sup> L'espèce "A" inquiline de l'espèce "B" (hôte).

<sup>(6)</sup> L'espèce "A" domine l'espèce "B".

## CHAPITRE 3 : STRUCTURE ET FONCTIONNEMENT DES ÉCOSYSTÈMES (LES FACTEURS ALIMENTAIRES)

### 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 11 000 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 (Fig. 2).

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.

### 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.

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. Les facteurs alimentaires

La nourriture est un facteur écologique important dont la qualité, la quantité et l'accessibilité jouent un rôle en modifiant divers paramètres des populations tels la fécondité, la longévité, la vitesse de développement, le taux de natalité.



#### 4. Besoins qualitatifs et quantitatifs en aliment

Toutes les activités vitales des organismes vivants nécessitent des besoins alimentaires caractérisées par la présence en quantités suffisantes de substances chimiques indispensables (oligoéléments, glucides, protéines, vitamines, ...).

La quantité de nourriture présente et accessible est un facteur limitant pour beaucoup d'espèces.

A poids égal, les besoins sont plus importants pour les espèces de petite taille que chez les espèces de grande taille. Ces besoins sont plus élevés chez les homéothermes que chez les poïkilothermes.

Le rapport entre la quantité ingérée chaque jour et le poids corporel varie d'une espèce à une autre et d'une région à une autre pour la même espèce.

#### 5. Classification des êtres vivants selon leurs besoins en alimentation

On distingue :

##### 5.1. Les autotrophes (producteurs)

Végétaux chlorophylliens (plantes vertes vasculaires, phytoplancton : cyanobactéries ou algues bleues : organisme procaryote) qui utilisent l'énergie solaire, le gaz carbonique, l'eau et des sels minéraux pour les transformer en matière biochimique élaborée.

##### 5.2. 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).

##### 5.3. Les parasites (consommateurs secondaires)

Qui tirent leurs aliments à partir d'hôtes qu'ils ne tuent pas obligatoirement.

##### 5.4. Les saprophytes (Décomposeurs)

Champignons, bactéries, levures et autres organismes hétérotrophes utilisant la matière organique morte (détritus végétaux, excréments et cadavres d'animaux) dont ils assurent une minéralisation progressive et totale.

#### 6. Les types de régimes alimentaires

Le régime alimentaire varie en fonction des espèces, des saisons, selon les disponibilités alimentaires, l'activité de l'animal et son stade de développement. Il n'existe aucun type de régime alimentaire absolu.

*(Intérêt des relations alimentaires et leurs combinaisons : Chorologie, Phéromones élaborées à base d'alkaloïdes végétaux, parasites évoluant en relation avec consommation de nourriture)*

Certains animaux ont un régime alimentaire varié (euryphages), d'autres suivent un régime spécial (sténophages qui se nourrissent d'une seule catégorie d'aliments).

On distingue (Annexe 1) :

▪ **Les Herbivores ou Phytophages**

Consommateurs de végétaux classés selon la partie du végétal consommée : Radicivores ou Rhizophages (racines), Phyllophages ou Folivores (feuilles), Granivores (graines), Xylophages ou Lignivores (xylème ou bois), Carpophages ou Frugivores (fruits), Nectarivores (nectar), Polliniphages (pollen), Phytosuccivores (sève), Algophages, Algivores, Phycophages ou Fucivores (algues), Mycétophages ou Mycophages (champignons), ...

▪ **Les Carnivores ou Carnassiers**

Consommateurs d'animaux (Zoophages) classés selon le type d'animal consommé : Malacophages (mollusques), Oophages (œufs), Entomophages ou Insectivores (insectes), Acridophages (criquets), Ophidophages (serpents), Ornithophages (oiseaux), Aphidiphages (Aphidiens ou pucerons), Apivores (abeilles), Piscivores-ichtyophages (Poissons), Charognards- Nécrophages-sarcophage (cadavres frais), ...

▪ **Les Détritivores ou Détritiphages**

Mangeurs de débris. En milieu terrestre : Coprophages (excréments), Saprophages (matière organique en décomposition), Géophages (M.O. en voie d'humification), Nécrophages (cadavres). En milieu aquatique : Limophages (sédiments meubles), Suspensivores (M.O. en suspension), Dépositivores (M.O. déposées à la surface sédiments), ...

▪ **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 (Phyto et Zooplanctonophages = Mégaplanctons)

(Consulter aussi les régimes alimentaires spéciaux : Hématophages, Bactériophages, Lithophages, ...)

## 7. Méthodes d'étude des régimes trophiques

### 7.1. Méthodes classiques

(i) **L'observation directe** : est la plus simple à mettre en œuvre mais non applicable aux espèces de petites tailles et les espèces discrètes (Mammifères et Oiseaux de grande taille).

(ii) **L'analyse du contenu stomacal et des rejets de la digestion** : Analyse des éléments contenus dans le tube digestif ou excrétés par celui-ci (excréments, régurgitations). C'est une méthode qui permet de donner des résultats qualitatifs et quantitatifs. Cette méthode nécessite parfois le sacrifice de l'animal (analyse du contenu stomacal). L'identification des éléments retrouvés est parfois difficile. (Vertébrés et invertébrés).

### 7.2. Méthodes modernes

(iii) **La méthode sérologique** : Cette méthode se base sur l'utilisation des antisérums fabriqués au laboratoire. C'est une méthode qui permet en particulier de connaître les prédateurs de certaines espèces. Les antisérums ne présentent pas une spécificité absolue et sont généralement coûteux.

(iv) **La méthode des radio-isotopes** : C'est une méthode basée sur l'utilisation de radio-isotopes (éléments chimiques radioactifs : deutérium  $\text{H}^2$ , tritium  $\text{H}^3$ ,  $\text{C}^{14}$ ,  $\text{O}^{18}$ ,  $\text{P}^{32}$ , ...). C'est une méthode coûteuse qui permet de dresser les chaînes alimentaires en donnant des résultats quantitatifs précis.

## 8. Les chaînes trophiques

Une chaîne alimentaire est une succession d'organismes d'une biocénose dans laquelle diverses espèces établissent entre elles des liens de dépendance tels que l'espèce de rang " $n$ " mange celle de rang " $n-1$ " avant d'être mangée par celle de rang " $n+1$ ".

### 8.1. Différents types de chaînes trophiques

Il existe trois principaux types de chaînes trophiques linéaires : (chaînes de prédateurs, de parasites, et de détritivores).

(i) **LES CHAÎNES COMMENÇANT PAR LES VÉGÉTAUX VIVANTS (AUTOTROPHES)** où l'on distingue les catégories suivantes (maillons) :

#### 1. Les producteurs

Ce sont les végétaux autotrophes photosynthétiques. Ayant le statut de producteurs primaires, ils constituent le premier niveau trophique de l'écosystème.

#### 2. Les consommateurs

Il s'agit d'êtres vivants hétérotrophes se nourrissant 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.

#### 2.1. Les consommateurs de matière fraîche, Il s'agit de :

##### ▪ Consommateurs primaires ( $C_1$ )

Ce sont les phytophages qui mangent les producteurs. Ce sont en général des animaux herbivores (mammifères herbivores, insectes, crustacés, ...).

##### ▪ Consommateurs secondaires ( $C_2$ )

Prédateurs de  $C_1$ . Il s'agit de carnivores se nourrissant d'herbivores (mammifères carnassiers, rapaces, insectes, ...).

##### ▪ Consommateurs tertiaires ( $C_3$ )

Prédateurs de  $C_2$ . Ce sont donc des carnivores qui se nourrissent de carnivores (oiseaux insectivores, rapaces, insectes, ...) ... (*super-prédateurs*)

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

Les  $C_2$  et les  $C_3$  sont soit des prédateurs qui capturent leurs proies, soit des parasites d'animaux.

## 2.2. 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.

## 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. Le caractère cyclique de la chaîne alimentaire est assuré par les décomposeurs qui assurent le retour progressif au monde minéral des éléments contenus dans la matière organique.

## 4. Les fixateurs d'azote

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

On distingue 2 types de chaînes alimentaires commençant par des végétaux autotrophes :

### A. Chaînes de prédateurs (consommateurs)

Commence généralement par des êtres de petites tailles mais de grands nombres et va vers des êtres de grandes tailles et d'effectifs réduits. Donc le nombre d'individus diminue d'un niveau trophique à l'autre, mais leurs tailles augmentent (règle d'Elton énoncée en 1921).

Exemple 1 : Pin → Puceron → Coccinelle → Araignée → Oiseau insectivore → Rapace.

Exemple 2 : (100) Herbe → (3) Rongeur → (1) Renard.

### B. Chaînes de parasites

Cela mène des organismes de tailles de plus en plus réduites et de plus en plus nombreux contrairement à la précédente (la règle d'Elton n'est pas vérifiée dans ce cas).

Exemple 1 : (50) Herbes → (2) Mammifères herbivores → (80) Pucès → (150) *Leptomonas*

Exemple 2 : Chenille → Diptère → Hyménoptère.

### (ii) LES CHAÎNES COMMENÇANT PAR LA MATIÈRE ORGANIQUE MORTE :

#### C. Chaîne de détritivores (saprophytes)

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).

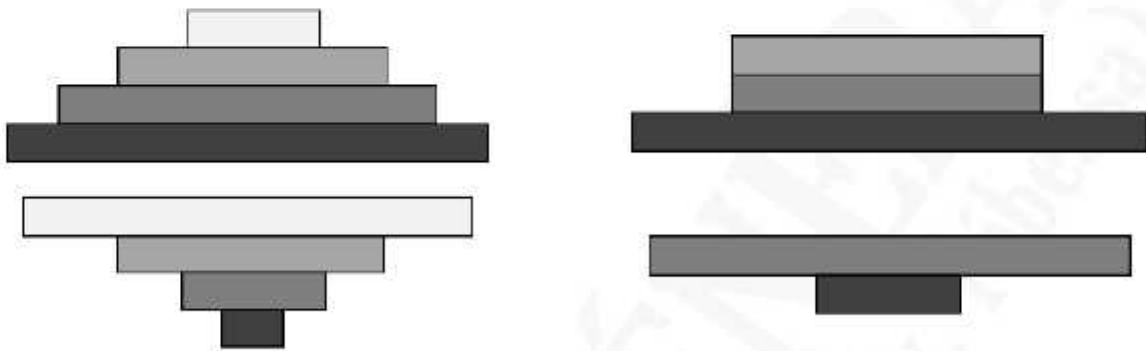
Les consommateurs primaires sont qualifiés de saprophages (détritivores).

Exemple : (1) Cadavre → (80) Nématodes → (2500) Bactéries.

Exemple : Milieux abyssaux (grands fonds marins), cavernicoles (grottes sombres) et dans le sol (milieu endogé).

## 8.2. Représentation des chaînes trophiques

La schématisation graphique 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. 9**, **Fig. 11** et **Fig. 13**).



*Fig. 9. Diverses schématisations des pyramides écologiques*

## 9. Notion de niveau et de réseau trophiques

Dans une chaîne alimentaire, les organismes appartenant au même niveau trophique sont séparés des végétaux chlorophylliens par le même nombre d'étapes. Les végétaux chlorophylliens constituent ainsi le premier niveau trophique (premier maillon).

Un même animal peut appartenir à plusieurs niveaux trophiques (polyphages et omnivores). De ce fait, les chaînes alimentaires s'anastomosent pour former des réseaux trophiques complexes.

## 10. 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) (**Fig. 10**).

## 11. Les pyramides écologiques

La structure trophique d'un écosystème peut être décrite en termes d'individus, de biomasse ou d'énergie. Elle peut être représentée graphiquement par les pyramides écologiques qui sont de trois types (**Fig. 11**) :

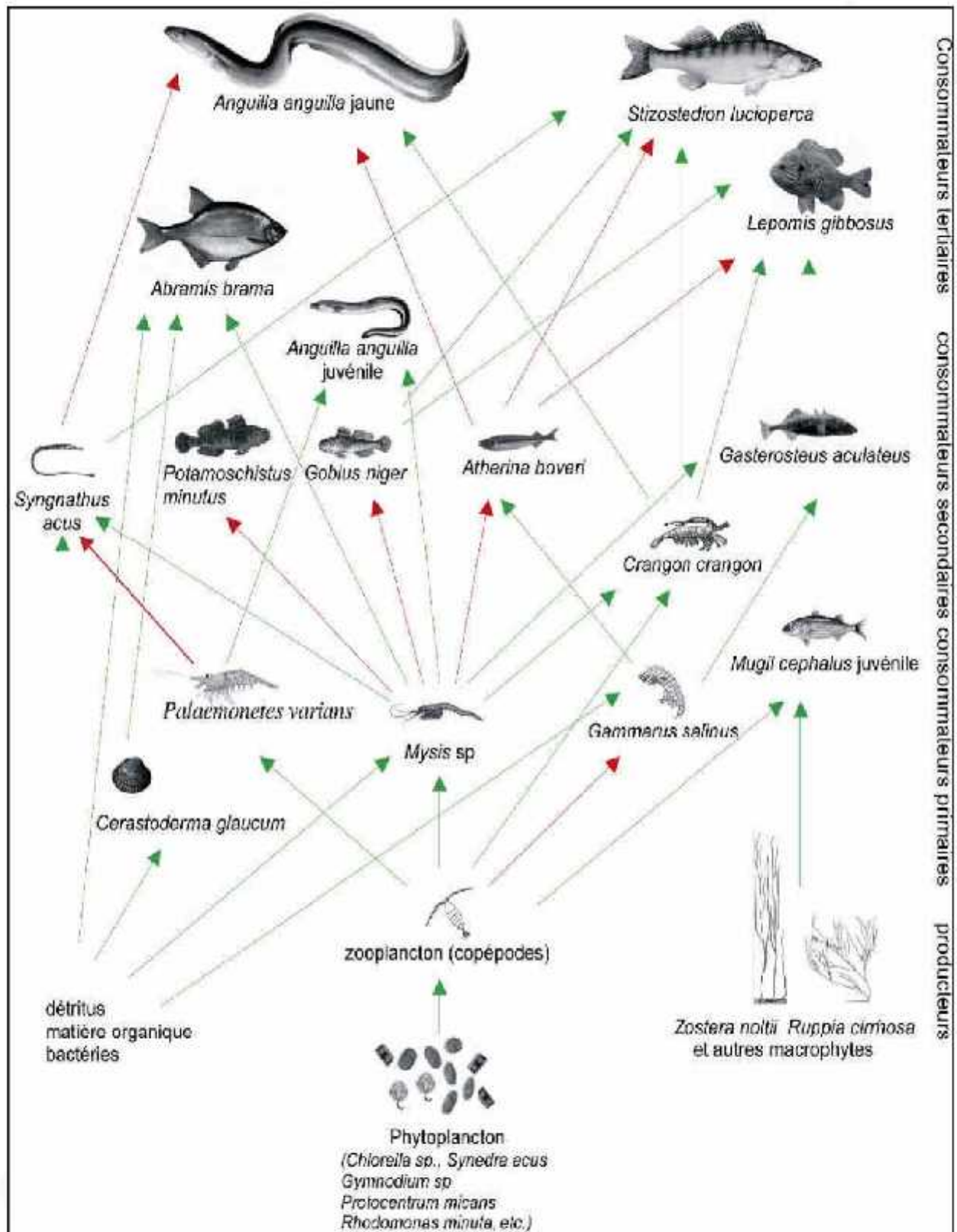
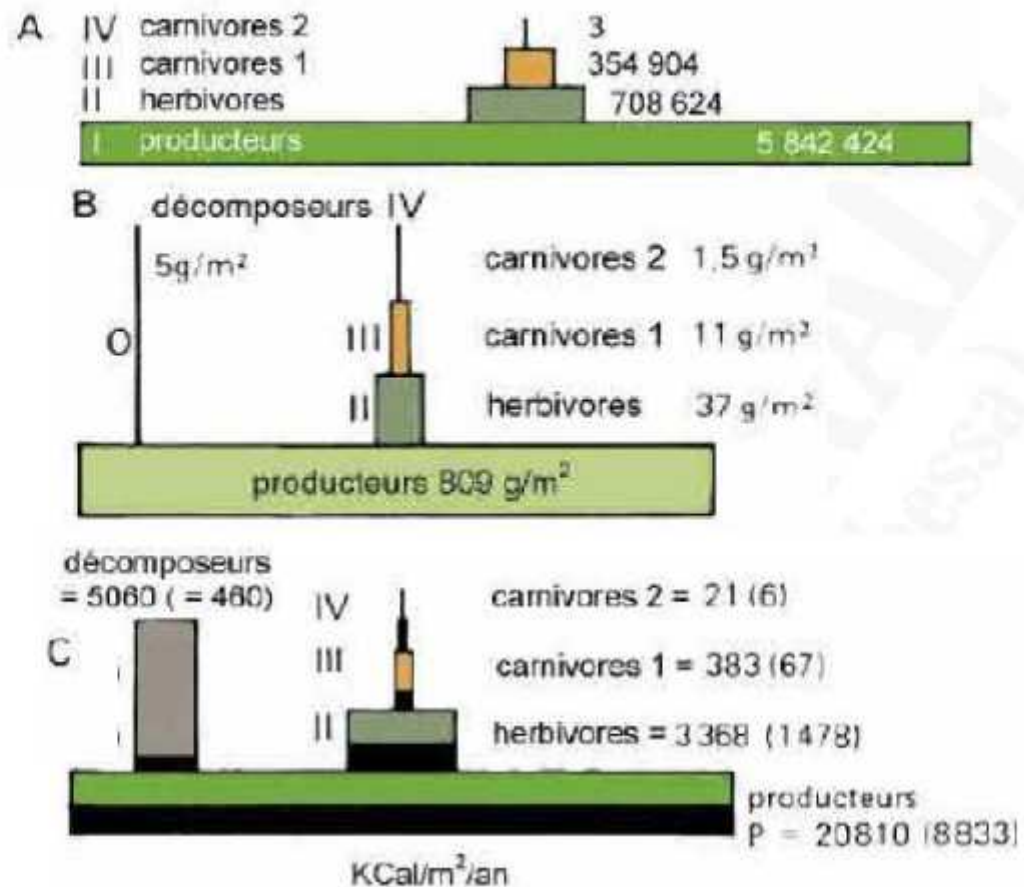


Fig. 10. Réseau trophique d'un écosystème aquatique dans la Mer Méditerranéenne



**Fig. 11.** Figuration des pyramides des nombres (A), des biomasses (B) et des énergies (C). Le flux de l'énergie transitant dans chaque niveau trophique est exprimé en  $kCal.m^{-2}.an^{-1}$ . La partie noire représente la fraction du flux d'énergie perdue par la respiration et par l'excrétion

### 11.1. La pyramide des nombres

Le nombre d'individus de chaque niveau trophique y est représenté. Ce nombre décroît ou décroît d'un niveau trophique à l'autre (selon le type des chaînes alimentaires, mais le plus souvent en décroissance). Cette pyramide met à pied d'égalité des organismes de masses différentes (Fig. 11A).

### 11.2. La pyramide des biomasses

Elle représente pour chaque niveau trophique la biomasse correspondante (biomasse sèche). Les pyramides des biomasses accordent la même importance à des tissus ayant des valeurs énergétiques différentes (Fig. 11B).

### 11.3. La pyramide des énergies

Elle est le mode de représentation le plus satisfaisant car chaque niveau trophique est mentionné par la quantité d'énergie accumulée et de celle dépensée par les organismes de chaque niveau (KCal) par unité de surface (ou de volume) et de temps (Fig. 11C).

Dans les pyramides écologiques, les décomposeurs sont placés habituellement à côté des prédateurs.

Les chaînes d'énergie permettent de quantifier le transfert et la productivité d'énergie dans les chaînes trophiques et évaluer ainsi l'efficacité des écosystèmes.

Globalement un millionième seulement du flux solaire initial est converti en biomasse de carnivore.

## 12. Transfert d'énergie et rendements

### 12.1. 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.

### 12.2. 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 (Fig. 12).

- Une partie de la lumière solaire absorbée par le végétal est dissipée sous forme de chaleur (CIT).
- 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 ( $R_1$ ).
- Le reste est 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 ( $I_1$ ).
- La quantité d'énergie ingérée ( $I_1$ ) correspond à ce qui réellement utilisé ou Assimilé ( $A_1$ ) par l'herbivore, plus ce qui est rejeté (Non Assimilé) ( $NA_1$ ) sous la forme d'excréments et de déchets :  $I_1 = A_1 + NA_1$
- La fraction assimilée ( $A_1$ ) sert d'une part à la Productivité Secondaire ( $PS_1$ ) et d'autre part aux dépenses Respiratoires ( $R_2$ ).
- On peut continuer le même raisonnement pour les carnivores 3 (Fig. 12).

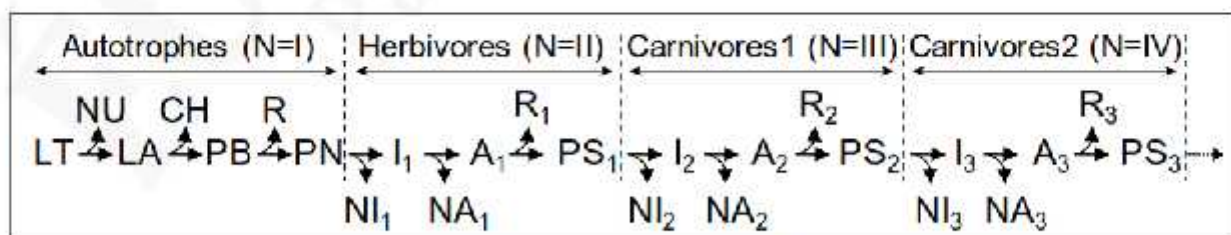


Fig. 12. Transfert d'énergie et productivité de la chaîne trophique



Ainsi, du soleil aux consommateurs (1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup> ou 3<sup>ème</sup> ordre), l'énergie s'écoule de niveau trophique en niveau trophique, diminuant à chaque transfert d'un chaînon à un autre. On parle donc de flux d'énergie. Le flux d'énergie qui traverse un niveau trophique donné correspond à la totalité de l'énergie assimilée à ce niveau, c'est-à-dire à la somme de la productivité nette et des substances perdues par la respiration (Fig. 12).

Dans le cas des producteurs primaires, ce flux est :  $PB = PN + R_1$ .

Le flux d'énergie qui traverse le niveau trophique des herbivores est :  $A_1 = PS_1 + R_2$ .

Plus on s'éloigne du producteur primaire, plus la production de matière vivante est faible (Fig. 13).

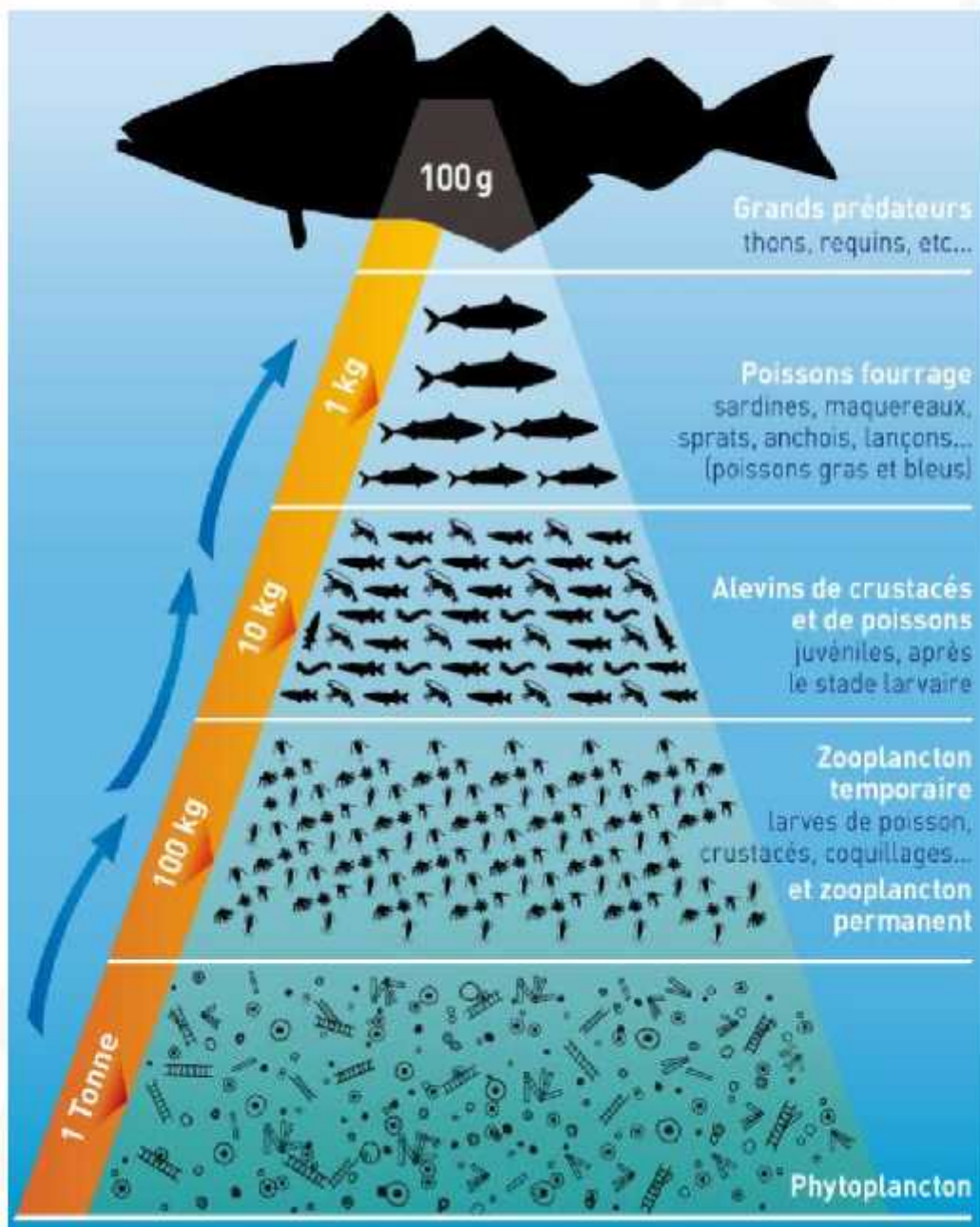


Fig. 13. Biomasse des différents niveaux d'une chaîne alimentaire : le passage d'un niveau alimentaire à un autre entraîne une perte considérable de matière

### 12.3. Les rendements énergétiques

À chaque étape du flux, de l'organisme mangé à l'organisme mangeur et à l'intérieur de chacun d'eux, de l'énergie est perdue.

On peut donc caractériser les divers organismes du point de vue bioénergétique, par leur aptitude à diminuer ces pertes d'énergie. Cette aptitude est évaluée par les calculs de rendements appelés également des *coefficients d'efficacité* :

#### 12.3.1. Rendement d'exploitation

Appelé aussi rendement de consommation.

$$C_e = I_n / P_{n-1} \times 100$$

Où  $I_n$  est la quantité de productivité nette  $P_{n-1}$  du niveau trophique  $n-1$  réellement consommée par les organismes du niveau trophique  $n$ .

C'est le rapport de l'énergie ingérée ( $I$ ) à l'énergie disponible.

Exemple :  $(I/PN \times 100)$  ou  $(I_2/PS_1 \times 100)$ .

#### 12.3.2. Rendement d'assimilation

$$A_n = A_n / I_n \times 100$$

Où  $A_n$  est la quantité d'énergie assimilée contenue dans les aliments ingérés  $I_n$  qui est et devient disponible pour la croissance.

#### 12.3.3. Rendement de production nette

$$P_n = P_n / A_n \times 100$$

C'est le pourcentage de la quantité d'énergie qui est convertie en biomasse animale  $P_n$  par rapport à celle assimilée  $A_n$ .

Exemple :  $(PS_1/A_1 \times 100)$  ou  $(PS_2/A_2 \times 100)$ .

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.

#### 12.3.4. Rendement de production brute

$$R_n = A_n \times P_n = P_n / I_n \times 100$$

C'est le produit des coefficients d'efficacité d'assimilation par celui de production nette.

Exemple :  $(PS_1/I_1 \times 100)$  ou  $(PS_2/I_2 \times 100)$ .

#### 12.3.5. Rendement écologique

$$E_n = C_e \times A_n \times P_n = P_n / P_{n-1} \times 100$$

C'est le rapport de la production nette du niveau trophique de rang ( $n$ ) à la production nette du niveau trophique de rang ( $n-1$ ).

Exemple :  $(PS_1/PN \times 100)$  ou  $(PS_2/PS_1 \times 100)$ .

## CHAPITRE 4 : DYNAMIQUE DES POPULATIONS

### 1. La cinétique démographique

La dynamique des populations s'intéresse à l'étude et suit l'évolution des effectifs au cours du temps. L'effectif d'une population peut évoluer en raison de divers paramètres : mortalité, natalité, immigration et émigration (Fig. 14). Le bilan de ces paramètres permet de suivre à une date donnée et dans le temps, l'effectif de la population. Le problème lié aux paramètres définis ci-dessus est qu'ils dépendent de beaucoup d'autres et que leur modélisation n'est pas facile.

### 2. Quelques exemples de dynamique des populations

Les schémas illustrés dans la (Fig. 15) donnent quelques exemples d'évolution des effectifs de population en fonction du temps.

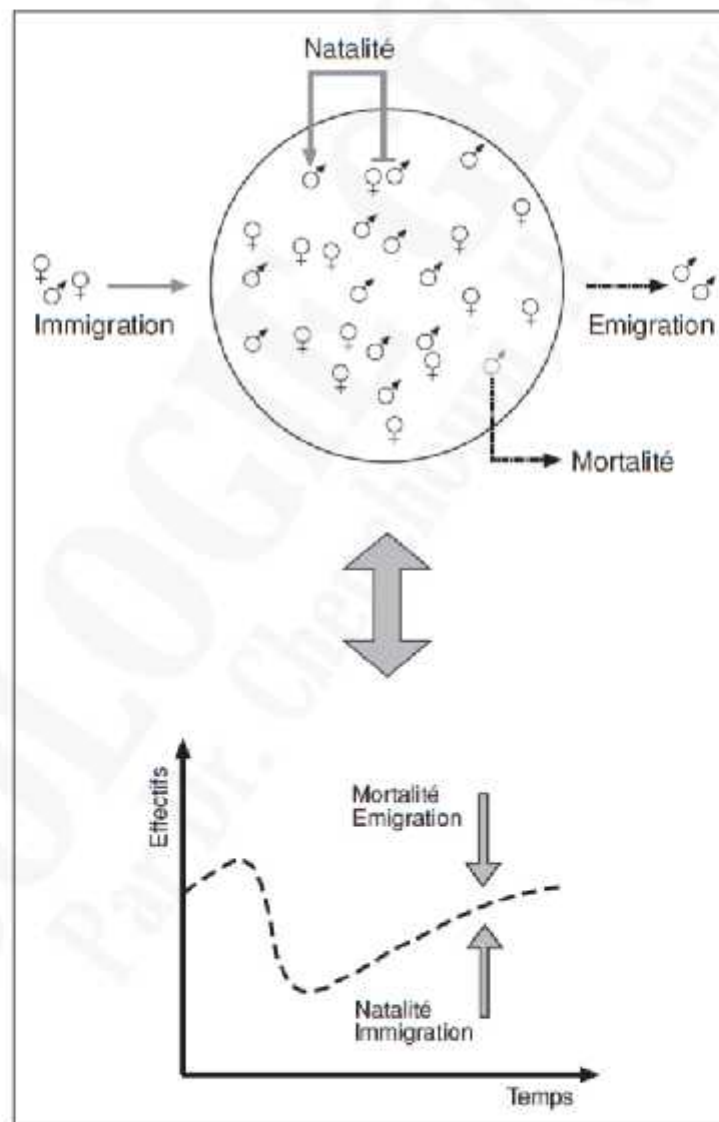


Fig. 14. Principaux paramètres (mortalité, natalité, immigration et émigration) influençant la variation de l'effectif d'une population en fonction du temps

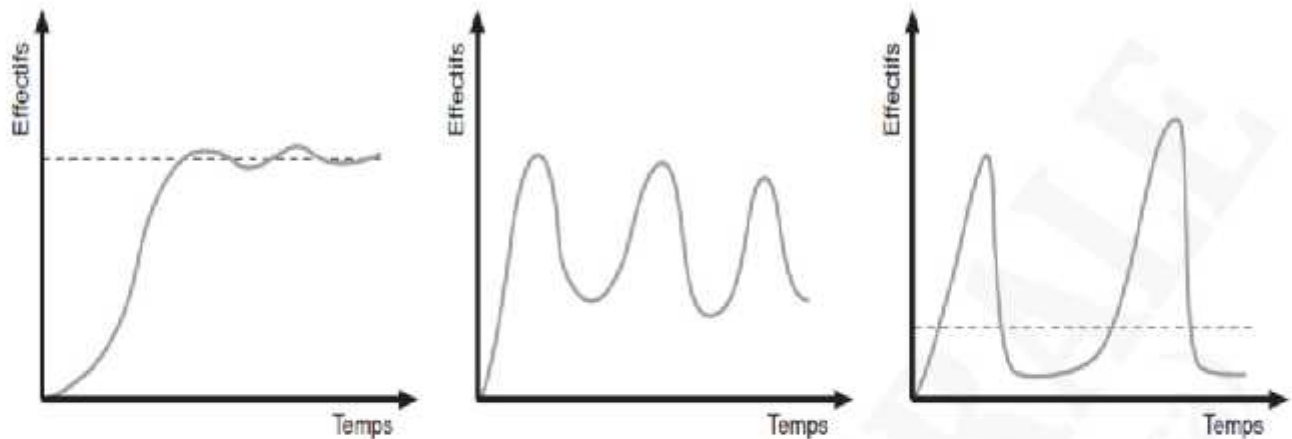


Fig. 15. Courbes représentant quelques exemples d'évolution des effectifs de population en fonction du temps (gauche : une plante graminée, centre : algue diatomée, droite : la tordeuse grise du Mélèze)

- Le premier concerne une population de **graminées**. On a tout d'abord une croissance assez marquée, puis une quasi-stabilisation autour d'une valeur donnée (ligne pointillée). Les rares fluctuations de population autour de la valeur d'équilibre sont dues aux aléas climatiques (Fig. 15).
- Le second schéma concerne des algues planctoniques, les **diatomées** (Fig. 15), qui connaissent des variations cycliques, assez régulières, dues aux fluctuations saisonnières au cours d'un cycle annuel (Fig. 15).
- Le troisième schéma concerne la **tordeuse grise du Mélèze** (*Zeiraphera diniana* : Lepidoptera). On a pour cet insecte des gradations cycliques régulières. La population passe régulièrement au-dessus du seuil admissible de dégâts (ligne pointillée) et est le reste du temps en période de latence. Les variations du nombre d'insectes sont très brusques lorsqu'on passe d'un état à l'autre.

### 3. Les lois de croissance des populations

Dans la nature, il existe des variations de population sensiblement différentes. On peut chercher à expliquer et à modéliser ces variations, même si les relations de cause à effet assez complexes ne rendent pas cette tâche facile.

#### 3.1. Le taux intrinsèque d'accroissement $r$

Tous les êtres vivants ont la capacité de se multiplier. On peut donc définir un taux d'accroissement,  $r$  qui quantifie cela. Par définition  $r$  est déterminé par la relation suivante :

$$r = \frac{\text{accroissement de la population pendant un temps donné}}{\text{effectif de la population}}$$

Ainsi, ce taux intrinsèque d'accroissement peut tout simplement correspondre à ce qui est dit dans la phrase suivante : "la population s'accroît de 2% par an". Dans ce cas,  $r = 0,02$ . Chaque population peut être caractérisée par une valeur spécifique de  $r$ .

Si l'on appelle  $dN$ , un petit accroissement de population et  $dt$ , un petit accroissement de temps, on peut alors écrire  $r$  de la façon suivante :

$$r = \frac{\frac{dN}{dt}}{N}$$

La résolution de cette équation différentielle permet d'aboutir à la relation suivante, où  $N_0$  est la densité initiale de la population (au temps  $t_0$ ).

$$N = N_0 \cdot e^{rt}$$

Ainsi, on a une *croissance exponentielle* des populations. Cela signifie donc qu'avec un taux constant d'accroissement  $r$ , la population voit son effectif grandir sans fin.

### 3.2. La capacité limite du milieu $K$

L'hypothèse de croissance indéfinie des populations présentée ci-dessus n'est pas réellement satisfaisante. Certes, elle peut être vérifiée lorsque des populations sont nouvellement introduites, en petite quantité, sur un milieu vierge, mais on conçoit aisément que lorsque la population a colonisé le milieu, elle s'accroît beaucoup moins (effets de la prédation, de la concurrence pour la nourriture, des parasites, ...).

On définit ainsi une valeur  $r_m$  qui est maximale. C'est le taux intrinsèque d'accroissement quand la population peut connaître une expansion libre. On peut supposer qu'il existe une régulation de ce taux liée à la densité de population. Ainsi, plus la population grandit et plus le taux intrinsèque d'accroissement chute. La relation la plus simple qu'on puisse trouver entre  $r$  et  $N$  est une relation linéaire (Fig. 16).

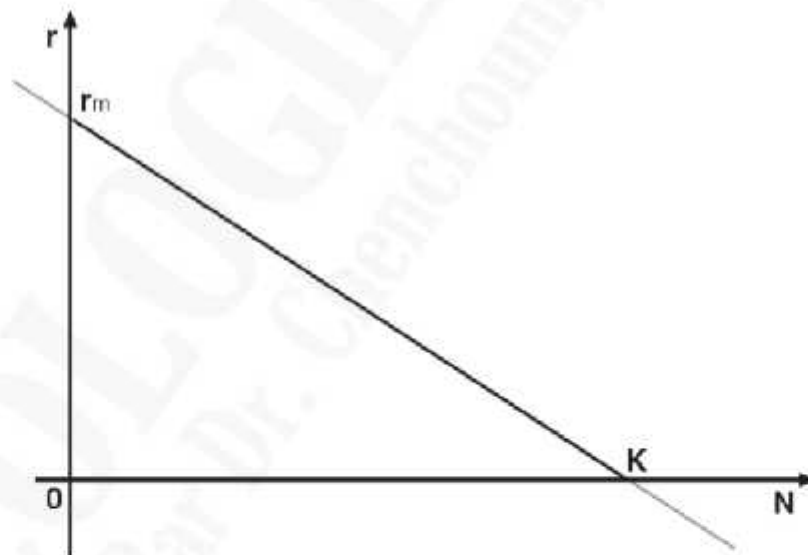


Fig. 16. Relation entre le taux intrinsèque d'accroissement ( $r$ ) et le nombre d'effectifs d'une population

Les conditions réelles induisent certaines limites pour la droite tracée :

- $N > 0$

En effet, la population doit avoir au moins un individu pour exister !

On voit donc que  $r$  ne peut dépasser une valeur limite  $r_m$  telle qu'on l'a définie auparavant.

- $r \geq 0$

Le taux d'accroissement ne peut pas devenir négatif (sinon la population diminuerait). On constate donc qu'il existe une valeur maximale de densité nommée  $K$  à partir de laquelle la population ne peut plus croître.  $K$  s'appelle la *capacité limite du milieu* ou la *charge biotique du milieu*. Elle traduit le fait que le milieu est saturé et ne peut plus supporter d'individus supplémentaires (manque de ressources, compétition trop forte, auto-inhibition de la reproduction...). Ainsi, lorsque la densité arrive à la valeur  $K$ , la population ne peut plus que stagner ou régresser.

### 3.3. Évolution des effectifs avec les hypothèses retenues

On peut chercher à exprimer  $r$  en fonction de  $N$  et  $K$ . Pour cela, on utilise l'équation de la droite présentée ci-dessus. On peut en effet écrire :

$$r = -\frac{r_m}{K} \cdot N + r_m$$

Cela donne donc l'équation différentielle suivante :

$$\frac{dN}{dt} = r \cdot N = r_m \cdot N \cdot \frac{K-N}{K}$$

La résolution des deux équations différentielles précédentes permet l'obtention de deux courbes différentes (Fig. 17). Elles traduisent l'évolution des effectifs d'une population en tenant compte des différentes hypothèses retenues.

La première courbe traduit une croissance exponentielle qui est irréaliste dans la majorité des cas. La seconde traduit une croissance dite logistique (syn. sigmoïdale ou de forme S) pour laquelle  $r$  est dépendant de la densité (d'où le facteur correctif  $(K-N)/K$ ). On vérifie bien pour cette seconde courbe qu'on ne dépasse jamais la capacité limite du milieu,  $K$ . Si  $N_0 = K \rightarrow r = 0 \rightarrow dN/dt = 0$  (pas de nouveaux individus)  $\rightarrow$  la population maintient une certaine stagnation.

L'espace entre les deux courbes peut être appelé la *résistance du milieu*. Plus on s'approche de  $K$ , plus cette résistance est importante. Cela traduit le fait que plus la population croît, plus le milieu devient inhospitalier pour elle et moins elle peut croître rapidement.

Même si la seconde équation différentielle n'est qu'une modélisation assez simple de la réalité (on suppose notamment que la relation entre  $N$  et  $r$  est linéaire ce qui est assez simpliste), elle traduit de manière assez satisfaisante la courbe de croissance de certaines populations. Par exemple, la première courbe dans la Fig. 15 (population de graminées) est assez proche de celle obtenue ici.

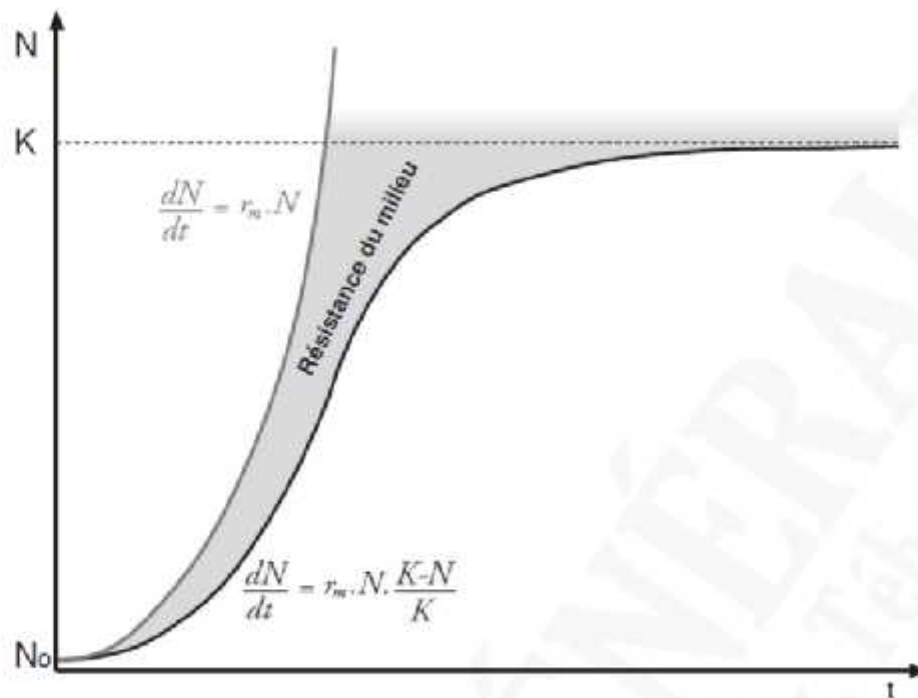


Fig. 17. Deux modèles "équations différentielles" représentant une croissance exponentielle (à gauche) et une croissance logistique (à droite) des effectifs d'une population en fonction du temps

Toutefois, on constate le plus souvent que  $r$  et  $K$  varient en fonction des conditions de milieu, mais également en fonction d'un certain déterminisme génétique. Par exemple, la valeur de  $K$  peut changer en fonction de la capacité alimentaire d'un milieu. Par exemple, certains milieux peuvent accueillir une forte population d'une espèce sans trop de problèmes alors que la même population peut ne pas survivre sur un autre milieu moins riche.

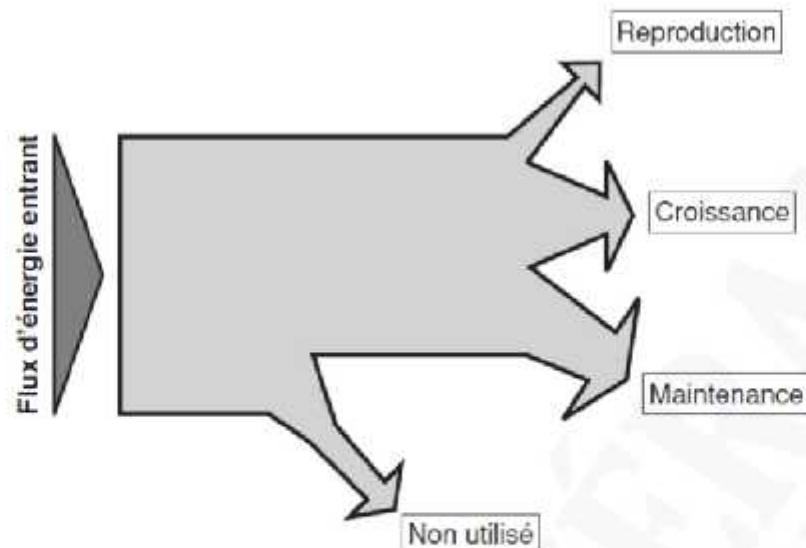
On classe les facteurs limitant les populations en deux grandes catégories : facteurs indépendants de la densité et facteurs dépendants de la densité (Dajoz, 2006) :

- **Facteurs dépendants de la densité :**
  - la compétition,
  - la prédation,
  - les maladies et parasites
- **Facteurs indépendants de la densité :**
  - le climat,
  - le sol,
  - les relations phytophages-plante hôte,
  - le comportement territorial,
  - l'alimentation.

#### 4. Stratégies adaptatives

##### 4.1. Le concept de stratégie

Le schéma suivant représente un individu donné, comme système d'acquisition de transformation et d'allocation de ressources (Fig. 18). On constate donc qu'un organisme donné n'alloue pas nécessairement la même quantité de ressources à chacune de ses activités. Il peut par exemple favoriser la croissance par rapport à la reproduction.



**Fig. 18.** Stratégie de transformations et d'allocations des ressources énergétiques pour assurer les différentes fonctions vitales (d'après Gaudin, 1997)

Dans une situation donnée (compétition inter- et intra-spécifique, prédation et quantité de ressources fixées), un être vivant se trouve devant un certain nombre de choix possibles. Il peut en effet, privilégier certaines de ses fonctions (reproduction, croissance, défense...) face aux contraintes relatives à son environnement. Une stratégie est donc un type de réponse parmi les diverses solutions envisageables.

Elle résulte souvent d'adaptations longues et complexes, fruits de l'évolution du génome. Par exemple, face à une forte intensité de prédation, une population peut tout aussi bien favoriser la défense ou favoriser la reproduction. Dans un cas comme dans l'autre, il peut y avoir survie de l'espèce, mais les deux stratégies sont différentes.

Donc une stratégie adaptative est une caractéristique propre au type d'adaptation d'une population ou d'une communauté vivante à des conditions environnementales particulières. Chez les populations, on parlera de stratégies démographiques et chez les biocénoses de stratégies cœnotiques.

#### 4.2. Stratégies démographiques

On distingue celles de type  $r$ , propres à des populations d'espèces vivant dans les communautés juvéniles, en début de succession écologique, à l'opposé, celles de type  $K$  concernent les populations d'espèces propres aux biocénoses climaciques. L'écologiste Mac Arthur a essayé de rendre compte des deux grands types de stratégie (Fig. 19) :

- la **sélection  $r$**  : qui s'exerce sur les populations à basse densité et qui induit un fort taux de multiplication (*maximisation de  $r$* ),
- la **sélection  $K$**  : qui a lieu aux densités élevées de population et qui induit une meilleure compétitivité (*maximisation de  $K$* ).



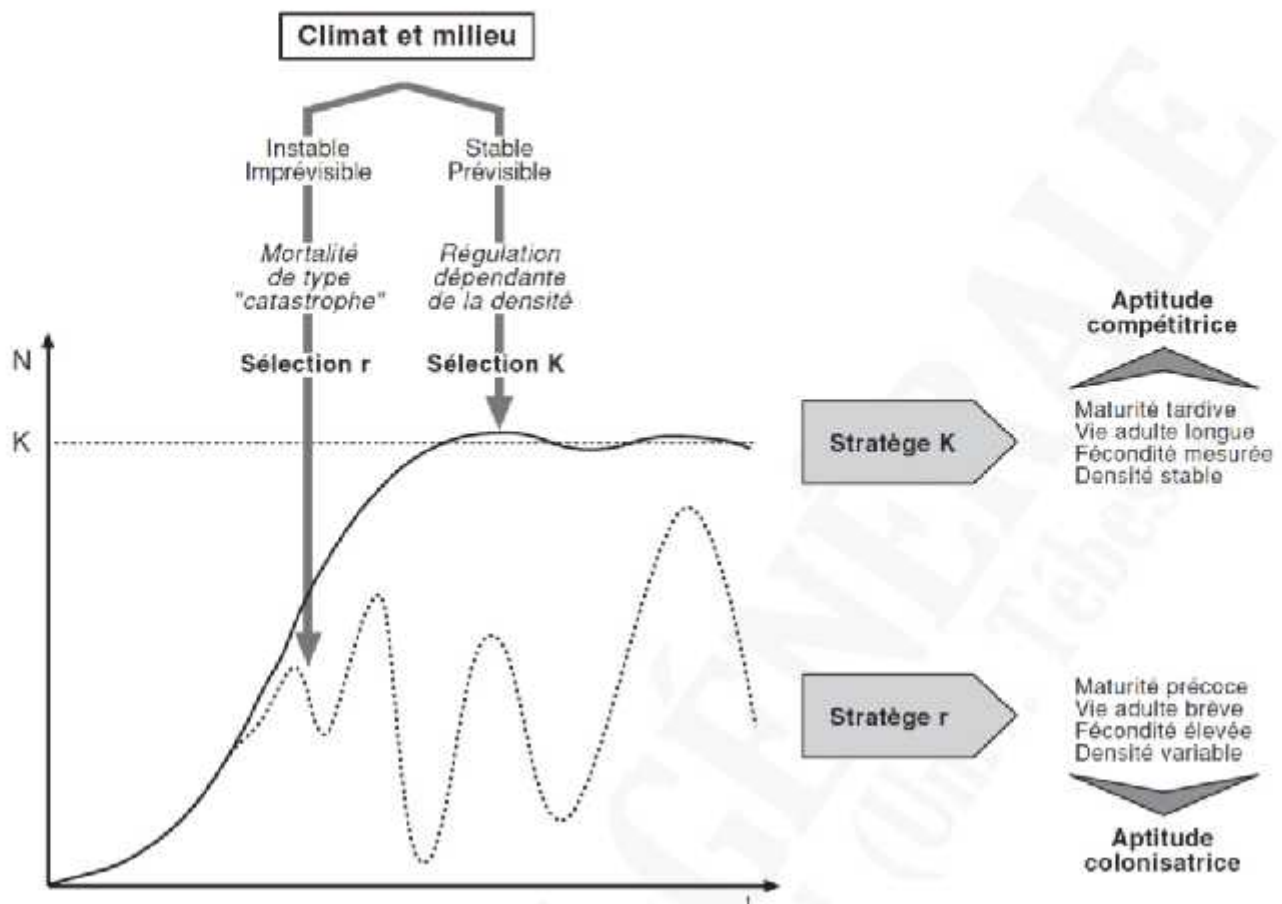


Fig. 19. Caractéristiques des deux stratégies démographiques  $r$  et  $K$  (d'après Barbault, 2000)

- **Sélection ou stratège  $r$**  : Type de stratégie démographique propre à des populations d'espèces vivant dans des communautés juvéniles peuplant des biotopes en début de succession écologique. Elle est le fait d'espèces généralement de petite taille, ayant un fort potentiel biotique, semelpares, de faible longévité (rongeurs par exemple chez les vertébrés, souvent des thérophytes ou des espèces herbacées bisannuelles chez les végétaux), enfin par des stratégies énergétiques qui privilégient la reproduction au détriment de la stabilité de la population donc du développement.
- **Sélection  $K$**  : terme dérivant de  $K$ , symbole de la capacité limite du milieu. Cette sélection favorise la taille maximale de la population et en conséquence les classes d'âge adultes et post-reproductives au détriment des juvéniles. Elle donne *ipso facto* l'avantage dans la compétition aux espèces de grande taille, de forte longévité et de faible fécondité. Elle privilégie donc une biomasse et une biodiversité maximales au détriment de la reproduction.

Les populations à stratégie  $r$  produisent beaucoup de descendants, quitte à gaspiller les ressources du milieu, ce qui est possible car ces populations se trouvent éloignées de la densité maximale  $K$ . En revanche, les populations à stratégie  $K$  allouent moins de ressources à la

reproduction, mais cherchent un meilleur rendement dans celle-ci (par exemple, production de moins de graines, mais ayant plus de chances de germer et de donner un semis). Les espèces à stratégie  $r$  sont souvent ubiquistes et peu spécialisées alors que les espèces à stratégie  $K$  sont souvent très spécialisées et efficaces dans leur adaptation au milieu et à la concurrence (Fig. 19).

Cette théorie est parfois considérée comme une approche bipolaire simpliste (Barbault, 2000), mais elle permet de mieux comprendre et de mieux expliquer la dynamique de certaines populations. Il existe bien entendu des intermédiaires entre les stratégies  $r$  et les stratégies  $K$ .

### 4.3. Stratégies cœnotiques

On en distingue deux types : les stratégies  $i$  et  $S$ .

- ✓ **Les stratégies  $i$**  : caractérisent les biocénoses pionnières, de faible biodiversité, d'organisation spatiale rudimentaire, dont les niches sont eurycciques, le stock d'éléments minéraux extrabiotique, les cycles vitaux courts, leurs espèces sont des stratégies  $r$ , la pression de sélection favorise la quantité. Les cycles biogéochimiques sont imparfaits (ouverts), le taux d'échange des éléments minéraux rapide, le flux de l'énergie est d'un rapport (Productivité/Respiration)  $P/R > 1$ , le rapport  $P/B$  est fort de même que la productivité nette, les réseaux trophiques sont simples, linéaires, la symbiose est faible de même que l'homéostasie générale donc la communauté instable.
- ✓ **Les stratégies  $S$**  : Chez les communautés stratégies  $S$ , à l'opposé à maturité (climaciques), la biodiversité est forte, la stratification très structurée, le stock d'éléments minéraux intrabiotique, les niches très spécialisées (sténocécie), leurs espèces végétales et animales qui les composent de taille moyenne ou grande sont des stratégies  $K$ , les cycles vitaux complexes et longs. La production favorise la qualité plutôt que le nombre, les cycles des éléments sont fermés, le flux de l'énergie est caractérisé par un rapport  $P/R$  tendant vers 1, avec un rapport  $P/B$  et une productivité nette faible voire nulle, des réseaux trophiques complexes, la symbiose interne est très développée, l'homéostasie et la stabilité de la communauté sont fortes.

Tableau comparatif entre les principales caractéristiques adaptatives et écologiques des espèces à stratégie *r* et des espèces à stratégie *K*

	Stratégies <i>r</i>	Stratégies <i>K</i>
Biotopes	Hétérogènes, variables, imprévisibles, contraignants	Stables (ou) prévisibles, peu contraignants
Croissance	Rapide	Lente
Longévité	Faible	Très grande (parfois plusieurs siècles)
Espérance moyenne de vie à la 1 <sup>re</sup> reproduction	Très faible (inférieure à l'année parfois au mois)	Forte (au-delà du siècle pour beaucoup d'arbres)
Nombre de reproductions	Une seule (semelparité), maturité sexuelle précoce	Plusieurs (itéroparité), maturité sexuelle tardive
Densité des populations	Variable, inférieure à la capacité limite	Proche de <i>K</i> , constante
Renouvellement des populations	Rapide	Lent
Fluctuations des populations	Importantes	Très faibles
Régulation des populations	Indépendante de la densité	Dépendante de la densité
Compétition	Faible	Théoriquement intense mais limitée dans les faits pas ajustement des niches
Communautés	Non saturées, recolonisation chaque année	Saturées, recolonisation inutile
Mode de dispersion	Espèces mobiles, vagabondes, variables	Espèces sédentaires, stabilité spatiale
Taille des individus	Faible	Forte
Stratégie énergétique	Flux d'énergie consacré en priorité à la reproduction	Flux d'énergie consacré prioritairement à la biomasse des adultes
Utilisation de l'énergie	Productivité élevée, mauvais rendement	Efficiencie et stabilité
Type de sélection	Normalisant, faible polytypisme	Diversifiant, fort polytypisme

Tableau représentant le modèle de développement d'un écosystème : comparaison des stratégies cœnotiques propres aux stades pionniers (stratégie *i*) et climaciques (stratégie *s*)

Caractère de l'écosystème	Stades pionniers Stratégie <i>i</i>	Stades climaciques Stratégie <i>s</i>
<b>Structure de la communauté</b>		
Richesse spécifique	Faible	Forte
Diversité spécifique	Faible	Forte
Diversité biochimique	Faible	Forte
Stratification, hétérogénéité spatiale	Mal organisée	Bien organisée
Contenu total en matière organique	Faible	Important
Stock des sols minéraux nutritifs	Exobiotique	Intrabiotique
<b>Caractères biologiques</b>		
Spécialisation des niches	Peu accentuée	Très étroite
Tailles des organismes	Faible, variable	Forte, plus constante
Cycles vitaux	Simple et courts	Complexes et longs
<b>Pression de sélection</b>		
Stratégies démographiques	Adaptées, à croissance rapide sélection <i>r</i>	Adaptées au contrôle homéostatique (sélection <i>K</i> )
Production	Quantité	Qualité
<b>Cycles des éléments biogènes</b>		
Cycles biogéochimiques	Ouverts	Fermés
Taux d'échange des sels minéraux nutritifs entre biotope et biocénose	Rapide	Lent
Rôle de la matière organique morte dans le cycle des éléments	Faible	Important
<b>Flux d'énergie</b>		
Rapport production brute/respiration	Supérieur ou inférieur à 1	Tend vers 1
Production brute/biomasse sur pied	Fort	Faible
Biomasse entretenue/énergie circulante	Faible	Fort
Productivité nette	Forte	Faible
Réseaux trophiques	Linéaires, à prédominance herbivore	Ramifiés, à prédominance détritivore
<b>Homéostasie générale</b>		
Symbiose interne	Peu développée	Très développée
Conservation des éléments biogènes	Faible	Forte
Stabilité	Faible	Forte
Entropie	Faible	Forte
Information	Faible	Forte

## CHAPITRE 5 : DÉVELOPPEMENT ET ÉVOLUTION DES ÉCOSYSTÈMES

### 1. 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 exercé par 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.

*Exemple* : Augmentation des ressources en éléments nutritifs (amplification du contrôle bottom-up). Cas de la pollution organique des eaux ou eutrophisation.

*Exemple* : Diminution d'abondance d'un prédateur de haut niveau (amplification du contrôle top-down). Cas de la chasse ou de la pêche.

### 2. Notion de succession écologique

La **succession écologique** est l'ensemble des phénomènes de colonisations d'un milieu par les êtres vivants et de changements de la composition de la flore et de la faune au cours du temps.

La **série** (sère) désigne la séquence complète d'une succession écologique. Elle est caractérisée par une séquence rigoureuse de stades comportant chacun une biocénose particulière.

Les organismes qui s'installent en premier sont appelés : espèces pionnières et les biocénoses qui se succèdent correspondent aux séries. Les successions écologiques se poursuivent pendant des décennies ou des siècles jusqu'à ce qu'elle atteigne son stade ultime d'évolution dénommé : **Climax**.

Le Climax est une association stable d'espèces qui caractérisent qualitativement et quantitativement l'ultime phase de développement d'une biocénose dans une succession écologique.

### 3. Types de successions écologiques

On distingue :

- ✓ **Les successions primaires** : correspondent à l'installation des êtres vivants dans un milieu qui n'a jamais été peuplé.
- ✓ **Les successions secondaires** : apparaissent dans un milieu qui a déjà été peuplé mais dont les êtres vivants ont été éliminés par des modifications climatiques (glaciations, incendies naturels), géologiques (érosion) ou par l'intervention de l'homme.

Et aussi :

- ✓ **Les successions autogéniques (progressives)** : proviennent d'un processus biotique s'exerçant à l'intérieur de l'écosystème (compétition, prédation, parasitisme, ...).
- ✓ **Les successions allogéniques (régressives)** : résultent de l'influence des facteurs perturbateurs d'origine extérieure à l'écosystème (action des facteurs perturbateurs : feu, vent, sécheresse, homme, ...).

### 4. Causes de l'évolution des écosystèmes

On résume les causes de l'évolution des écosystèmes à trois aspects différents (action, réaction, coaction) :

- **L'action** : influence exercée par le biotope sur la biocénose avec induction de phénomènes d'adaptations (morphologiques, physiologiques, éthologiques) et de régulation des abondances des populations (maintien, élimination).
- **La réaction** : Influence exercée par les êtres vivants sur le biotope avec des manifestations destructrices, modificatrices ou edificatrices.
- **La coaction** : Influence des organismes les uns sur les autres (relations biotiques). Relations biocénose–biocénose

On regroupe les causes de l'évolution des écosystèmes en 4 principaux groupes :

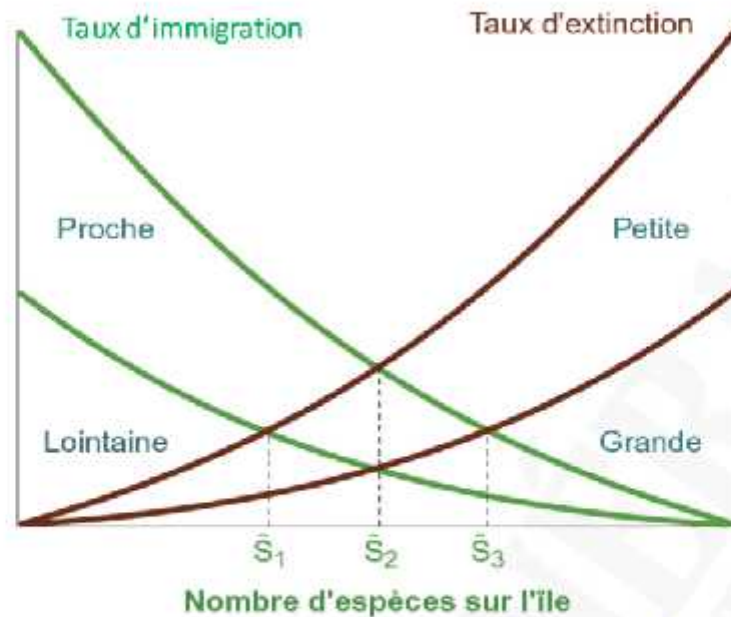
- (i) Facteurs climatiques (changement au cours des ères géologiques et actuels)
- (ii) Facteurs géologiques et édaphiques (érosion, sédimentation, volcanisme, ...)
- (iii) Facteurs biologiques (compétition, parasitisme, prédation, ...)
- (iv) Facteurs anthropiques (pollution, incendies, déforestation, introduction d'espèces ...)

#### **Théorie des équilibres dynamiques des peuplements de MacArthur et Wilson**

Cette théorie est fondée sur deux idées essentielles. La première postule que le peuplement des îles se fait par immigration en provenance du continent voisin, la seconde que les populations insulaires isolées connaissent un taux d'extinction important qui les conduit à disparaître en l'absence de renouvellement par émigration de propagules. La composition spécifique des peuplements insulaires est le point d'équilibre dynamique entre taux d'immigration et taux d'extinction (Fig. 20).

Elle permet de déterminer la vitesse à laquelle s'effectue le peuplement des espèces insulaires et donne une explication de l'augmentation de la richesse spécifique à proximité d'un continent ou en fonction de la surface d'une île.

Enfin, elle s'applique aux "îles" continentales en remplaçant la courbe d'émigration par celle de spéciation. Le point d'équilibre est ici atteint quand vitesses de spéciation et d'extinction seront égales.



**Fig. 20.** Courbes illustrant la théorie de MacArthur et Wilson : relation entre richesse spécifique ( $S$ ), d'un peuplement insulaire, taux d'émigration et taux d'extinction. Le nombre d'espèces peuplant une petite île proche d'un continent et celle d'une île de grande taille qui en est éloignée sont équivalents et de valeur intermédiaire ( $S_2$ ).

### 5. Caractères généraux des successions

- Les écosystèmes les plus proches du stade climax sont plus organisés, plus complexes que les écosystèmes proches du stade pionnier.
- La biomasse augmente au fur et à mesure qu'on s'approche du climax. Elle devient ensuite constante puisque la productivité tend vers zéro.
- La diversité spécifique augmente le long des successions, passant par un maximum avant de décroître légèrement au stade climax.
- L'équitabilité faible au début devient plus élevée.
- Les relations interspécifiques évoluent avec la succession, la symbiose et la compétition deviennent plus fréquentes.
- Les chaînes alimentaires linéaires dominées par les herbivores deviennent des réseaux ramifiés et complexes où les détritivores prennent une place de plus en plus importante.
- Les niches écologiques deviennent de plus en plus étroites et spécialisées à l'approche du climax. Les cycles biologiques s'allongent et se compliquent.
- La mobilité des espèces tend à diminuer dans les milieux climaciques favorisant l'apparition de races géographiques.
- Les espèces pionnières sont souvent opportunistes ayant adapté des stratégies de type  $r$  (espèces possédant un potentiel biotique élevé, une croissance rapide, une faible longévité, des populations se renouvelant vite et soumises à de fortes fluctuations). Les espèces des stades climaciques sont des espèces ayant choisi des stratégies de type  $k$  (utilisant la majeure partie de leur énergie dans la croissance et la maintenance).

**SÉRIES DES TRAVAUX DIRIGÉS (TD)****TD #1 – L'ÉCOLOGIE ET SES DOMAINES D'INTERVENTION**

**PARTIE 1 : Questions à choix multiples.** Cocher la (ou les) proposition(s) vraie(s) ?

1. En écologie, le terme « population » fait référence à :
  - a. Tout individu d'une espèce sur un même territoire.
  - b. Plusieurs individus de plusieurs espèces sur plusieurs territoires.
  - c. Tous les individus d'un territoire donné.
  - d. Tous les individus d'une même espèce sur un même territoire.
2. la science qui étudie les rapports d'une seule espèce avec son milieu :
  - a. L'autoécologie.
  - b. L'écologie des populations.
  - c. La synécologie.
3. Comment appelle-t-on une Vaste formation végétale :
  - a. Biosphère.
  - b. Habitat.
  - c. Biome.
4. La biosphère est :
  - a. Le milieu qu'occupent les êtres vivants.
  - b. L'ensemble des êtres vivants d'un milieu.
  - c. L'ensemble des écosystèmes et de leurs interactions sur la Terre.
5. Le milieu, au sens écologique du terme, est :
  - a. relatif au milieu physico-chimique.
  - b. relatif aux vivants.
  - c. l'environnement biotique et abiotique des êtres vivants.

**PARTIE 2 : Questions à réponse simple.** Répondez par vrai ou faux et rectifiez si c'est nécessaire ?

1. Chaque élément d'un écosystème peut vivre sans les autres éléments.
2. L'écologie apporte les connaissances nécessaires pour cerner les problèmes environnementaux, les comprendre et les résoudre.
3. Les écosystèmes sont en perpétuelle évolution.



4. Le peuplement ; est l'ensemble des d'individus de plusieurs espèces de différent taxon occupant une aire géographique définie à un moment précis.
5. Une communauté est un assemblage de diverses populations qui partagent le même milieu.
6. L'étude de l'écologie se fait à plusieurs niveaux, des organismes individuels en passant par les populations et les communautés jusqu'aux écosystèmes.
7. Un biotope est une aire géographique correspondant à un groupement d'êtres vivants soumis à des conditions dont les dominants sont homogènes.
8. La Synécologie étudie de la répartition des êtres vivants dans les divers écosystèmes continentaux et océaniques.
9. Les écosystèmes terrestres sont associés dans les océans.
10. Les biomes sont les communautés d'être vivant qui peuplent les micro-écosystèmes.
11. Le biome est conditionné par la nature de la zoocénose qui le constitue.
12. Les écosystèmes limniques appartiennent aux écosystèmes terrestres.

### **PARTIE 3 : Questions directes**

1. À quoi sert l'écologie ?
2. Quels sont les niveaux d'organisation des organismes ?
3. Quel est le principal objectif de l'écologie des communautés et écologie des populations ?
4. Que signifie le terme interactions en écologie ?
5. Quel sont les types d'interactions en écologie, présenter à l'aide des exemples ?
6. Définissez les termes suivants : environnement, taxon, biome, écotone, espèce, faune, flore.

**CORRIGÉ-TYPE DU TD #1****PARTIE 1 : QCM.** Cocher la (ou les) proposition(s) vraie(s)

1. En écologie, le terme « population » fait référence à :  
✓ **d. Tous les individus d'une même espèce sur un même territoire.**
2. la science qui étudie les rapports d'une seule espèce avec son milieu :  
✓ **L'autoécologie.**
3. Comment appelle-t-on une Vaste formation végétale ;  
✓ **c. Biome.**
4. La biosphère ;  
✓ **c. L'ensemble des écosystèmes et de leurs interactions sur la Terre.**
5. Le milieu, au sens écologique du terme ;  
✓ **c. L'environnement biotique et abiotique des êtres vivants.**

**PARTIE 2**

1. Chaque élément d'un écosystème peut vivre sans les autres éléments. **FAUX**

**Correction :** Chaque élément d'un écosystème **ne peut pas** vivre sans les autres éléments.

2. L'écologie apporte les connaissances nécessaires pour cerner les problèmes environnementaux, les comprendre et les résoudre. **VRAI**

3. Les écosystèmes sont en perpétuelle évolution. **VRAI**

4. Le peuplement : est l'ensemble des d'individus de plusieurs espèces de différent taxon occupant une aire géographique définie à un moment précis. **FAUX**

**Correction :** Le peuplement : est l'ensemble des d'individus de plusieurs espèces d'un **même** taxon occupant une aire géographique définie à un moment précis.

*Rappel : C'est un peu philosophique, mais selon l'échelle ou le niveau de ce taxon, on peut différencier par exemple le peuplement des mammifères (le taxon ici = Classe), le peuplement des arthropodes (le taxon ici = Embranchement), le peuplement des coccinelles (le taxon ici = famille), le peuplement des rongeurs (le taxon ici = ordre) ...*

5. une communauté est un assemblage de diverses populations qui partagent le même milieu. **VRAI**

6. L'étude de l'écologie se fait à plusieurs niveaux, des organismes individuels en passant par les populations et les communautés jusqu'aux écosystèmes. **VRAI**

7. Un biotope est une aire géographique correspondant à un groupement d'êtres vivants soumis à des conditions dont les dominants sont homogènes. **VRAI**

8. La Synécologie étudie de la répartition des êtres vivants dans les divers écosystèmes continentaux et océaniques. **FAUX**

**Correction :** La Synécologie étudie les conditions d'existence des peuplements

9. les écosystèmes terrestres sont associés dans les océans. **FAUX**

**Correction :** Les écosystèmes terrestres sont associés dans les continents.

10. les biomes sont les communautés d'être vivant qui peuplent les micro-écosystèmes. **FAUX**

**Correction :** Les biomes sont les communautés d'être vivant qui peuplent les macro-écosystèmes.

11. Le biome est conditionné par la nature de la zoocénose qui le constitue. **FAUX**

**Correction :** Le biome est conditionné par la nature de la biocénose qui le constitue.

12. les écosystèmes limniques appartiennent aux écosystèmes terrestres. **FAUX**

**Correction :** Les écosystèmes limniques appartiennent aux écosystèmes aquatiques.

### PARTIE 3

#### 1. À quoi sert l'écologie ?

Aujourd'hui, de nombreux écosystèmes sont perturbés à cause des activités humaines sur la terre. De nombreuses espèces de plantes et d'animaux sont menacées de disparition. Par exemple, de nombreux pesticides sont répandus dans les champs pour se débarrasser des rongeurs qui s'en prennent aux cultures. Or, les rongeurs constituent l'alimentation de nombreux rapaces. Ceux-ci, trouvant plus difficilement à manger, se raréfient. De plus, les sols traités sont pollués, ce qui a encore des effets néfastes sur de nombreux êtres vivants (dont l'homme).

L'écologie, en expliquant les mécanismes complexes de la nature, peut permettre de trouver des solutions pour contrer les menaces qui pèsent sur les écosystèmes.

C'est en effet en comprenant les relations de dépendance entre les êtres vivants que l'homme peut espérer éviter des catastrophes irréparables, comme la disparition de certaines espèces. C'est sans doute là le rôle principal de l'écologie : aider les hommes à préserver la nature, et donc aider les hommes à se préserver eux-mêmes.

#### 2. Quels sont les niveaux d'organisation des organismes ?

Les niveaux d'organisation des organismes sont : individu, population et communauté.

#### 3. Quel est le principal objectif de l'écologie des communautés et l'écologie des populations ?

- L'écologie des communautés : Comprendre ce qui détermine la richesse d'une communauté en nombre et en densité d'espèces.

- Écologie des populations : Elle traite des aspects liés à la taille et à la dynamique des populations.

#### 4. Que signifie le terme interactions en écologie ?

Interactions en écologie : Influences réciproques entre les organismes entre eux et entre les organismes et leur milieu.

5. Quel sont les types d'interactions en écologie et présenter à l'aide des exemples ?

- Interaction directe : Exemple : Les gros arbres diminuent la quantité de lumière au sol disponible pour les autres plantes.
- Interaction indirecte : Exemple : Les excréments des animaux s'incorporent graduellement au sol avec l'aide des bactéries et contribuent ainsi à l'enrichissement du sol afin que les plantes en profitent.
- Interaction immédiate : Exemple : Un renard qui mange un rongeur.
- Interaction différée : Exemple : Les faucons influencent le patrimoine génétique des mulots et en conséquence leur évolution car, ils restreignent le succès reproductif de certains individus.

6. Définissez les termes suivants :

- **Environnement** : Désigne tout ce qui entoure une entité spatiale abiotique ou vivante (notion de lieu, de cadre de vie. Par exemple, le lieu de vie d'une espèce et les différents facteurs biotiques et abiotiques qui l'entoure).
- **Taxon** : Groupe systématique de rang varié constitué par l'ensemble des entités qui répondent à des caractéristiques communes
- **Biome** : Communauté vivante qui se rencontre sur de vastes surfaces en milieu continental. Il s'agit en fait des principaux milieux rencontrés sur la planète (Forêt, savanes, déserts, ensemble des eaux douces...).
- **Écotone** : Zone de transition entre deux écosystèmes, les écotones renferme souvent une diversité et une richesse spécifique élevée du fait de la spécificité des caractères écologique cette zone de transition.
- **Espèce** : Groupe d'individus pouvant se reproduire entre eux.
- **Faune** : Ensemble des espèces animales présentes dans un espace géographique ou un écosystème donné.
- **Flore** : Ensemble des espèces végétales présentes dans un espace géographique ou un écosystème donné.

## TD #2 — CYCLE BIOGÉOCHIMIQUE DE L'EAU

### 1. 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 :

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

### 2. CYCLE DE L'EAU

Le cycle de l'eau (ou cycle hydrologique) est un modèle représentant le parcours entre les grands réservoirs d'eau liquide, solide ou de vapeur d'eau sur Terre : les océans, l'atmosphère, les lacs, les cours d'eau, les nappes d'eaux souterraines et les glaciers. Le « moteur » de ce cycle est l'énergie solaire qui, en favorisant l'évaporation de l'eau, entraîne tous les autres échanges.

#### L'évaporation (15)

L'effet du soleil (6) et du vent (10) l'eau des océans (18), des mers (et de toutes les réserves d'eau liquide à l'air libre) subit une **vaporisation (15)**. La vapeur d'eau, invisible à l'œil nu s'élève dans l'atmosphère (7 et 9).

En altitude, au contact d'une couche d'air froid, la vapeur d'eau se liquéfie et forme des nuages (5) constitués de minuscules gouttelettes d'eau.

#### Les évapotranspirations (11)

Enfin, la transpiration des végétaux intervient, on parle d'évapotranspiration.

#### Les précipitations (4)

**Les nuages (1)** sont formés de minuscules gouttes d'eau. Lors des pluies, la totalité de la lame d'eau tombe sur les océans (pour 7/9) et les continents (pour 2/9). À des altitudes élevées, les températures peuvent devenir très basses. Les gouttelettes qui constituent les nuages se **solidifient** pour former des **cristaux de glace (3)**. Lorsque les cristaux de glace s'agglutinent pour former des flocons trop lourds ces derniers tombent et forment **la neige (2)**. Si la neige tombe sur des sommets assez élevés elle peut alimenter un glacier ou former un manteau neigeux. Les lacs se forment souvent en montagne alimentés par **les précipitations**, les **cours d'eau (8)** et la **fonte des neiges**.

### Le ruissellement (12) et (13)

Le ruissellement désigne en hydrologie le phénomène d'écoulement des eaux à la surface des sols. Les lacs se forment souvent en montagne alimentés par les précipitations, les cours d'eau et la fonte des neiges.

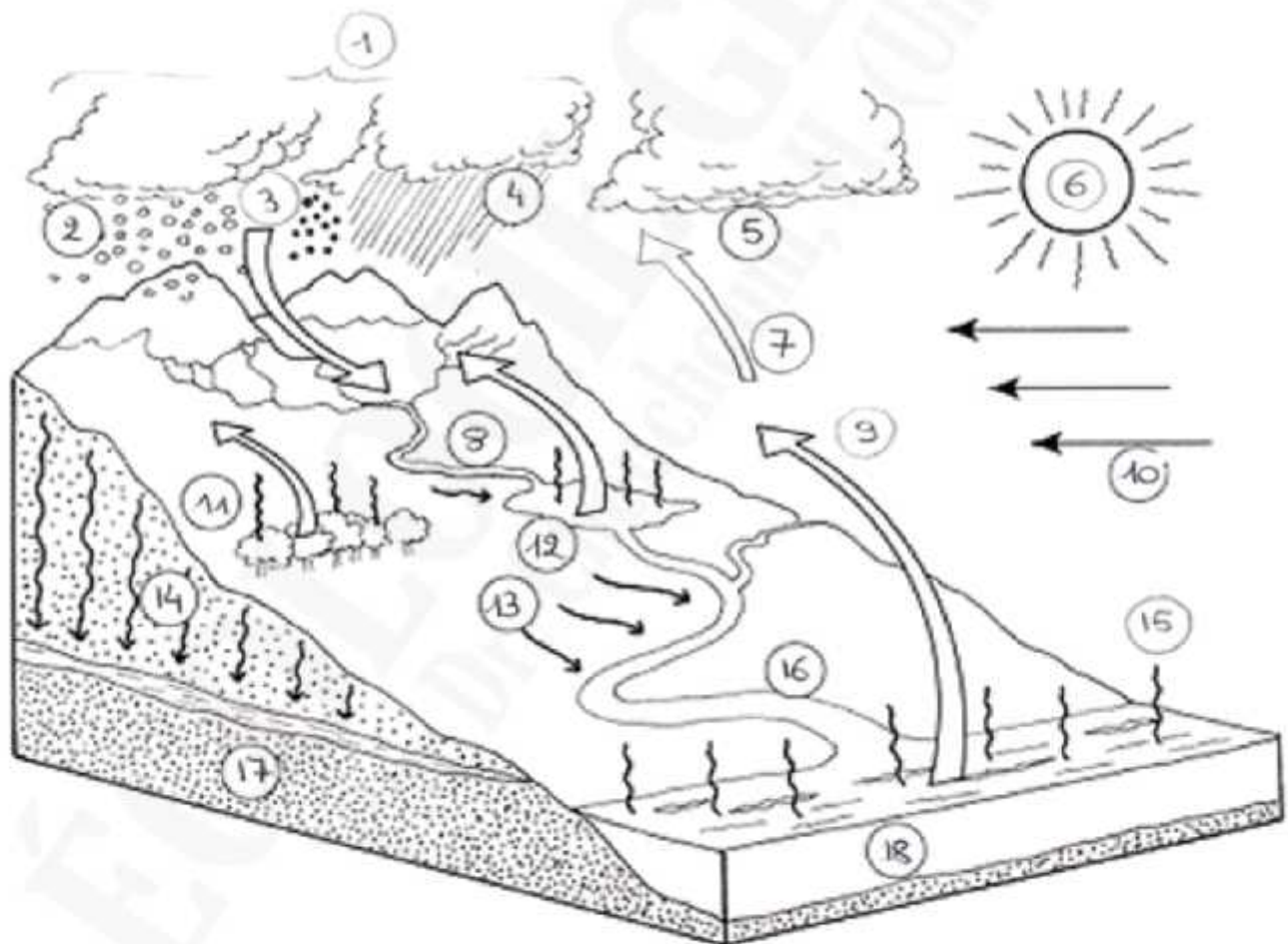
Les rivières (12 et 13) se forment grâce à des sources d'eau souterraines et sont alimentées par les ruissellements (8).

Les fleuves (16) reçoivent l'eau des rivières (12 et 13) et se jettent dans la mer (18). Ils ramènent donc dans les mers et océans l'eau qu'ils avaient perdue par évaporation.

La recharge des nappes souterraines (14) et (17) se fait par :

- L'infiltration, à travers les fissures naturelles des sols et des roches (14) ;
- La percolation, en migrant lentement à travers les sols (17).

Plus le processus est lent plus les eaux ont le temps d'interagir chimiquement avec le milieu. Plus le processus est rapide plus les phénomènes d'érosion seront marqués. À travers l'infiltration et la percolation dans le sol, l'eau alimente les nappes phréatiques (souterraines).



## TD #3 — CYCLES BIOGÉOCHIMIQUES DU CARBONE ET DE L'OXYGÈNE

### I. CYCLE DU CARBONE

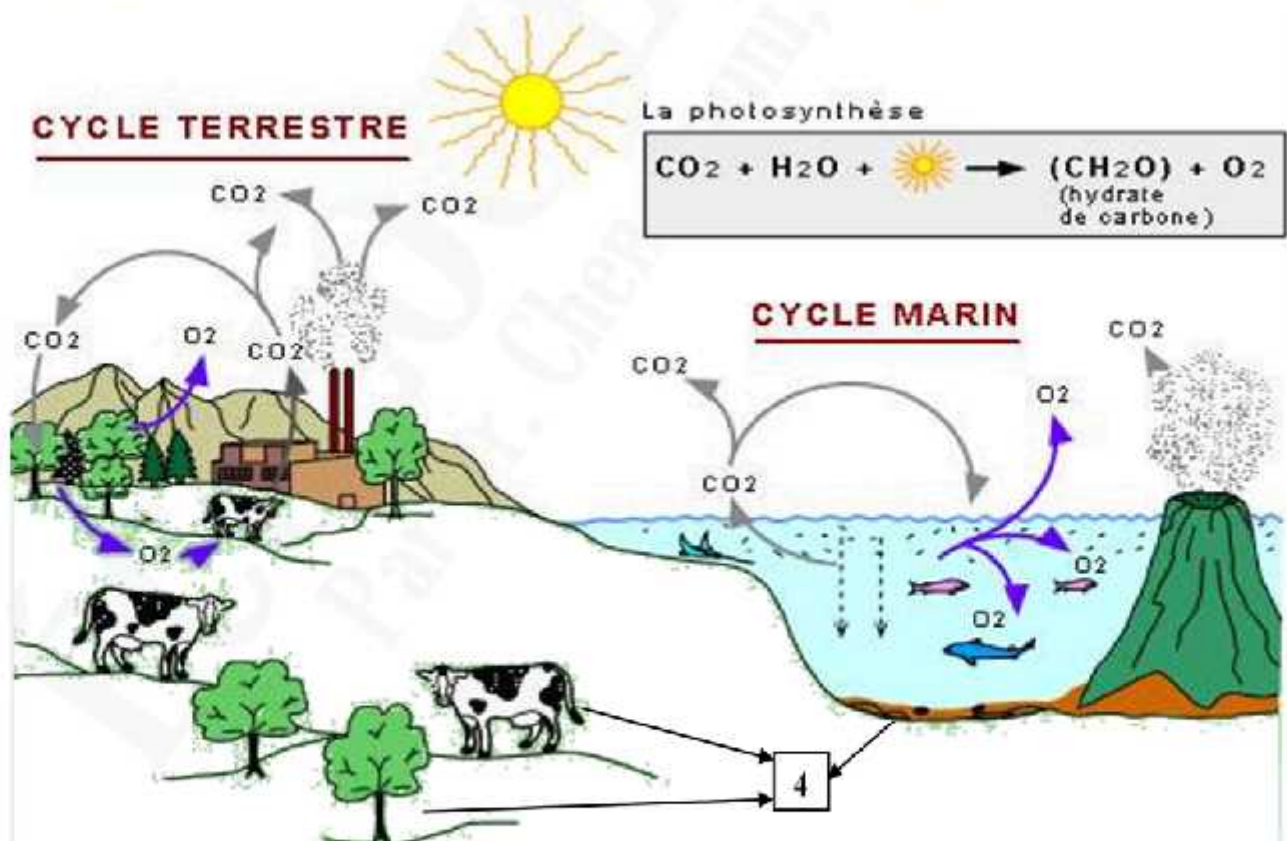
1. Lors de la respiration, les êtres vivants consomment de l'oxygène et rejettent du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) dans l'atmosphère. De même, les industries, les véhicules de transports rejettent du  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère après combustion d'un carburant, en présence d'oxygène.

2. Les éruptions volcaniques sont également considérées comme source naturelle de  $\text{CO}_2$ .

3. Le  $\text{CO}_2$  est absorbé par les plantes (**photosynthèse**) et l'eau (**dissolution**). La photosynthèse et la dissolution sont les phénomènes permettant le recyclage du gaz carbonique.

4. 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  $\text{CO}_2$ .

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

Le dégagement de CO<sub>2</sub> a lieu également au cours des fermentations qui conduisent à une décomposition partielle des substrats dans des conditions anaérobies.

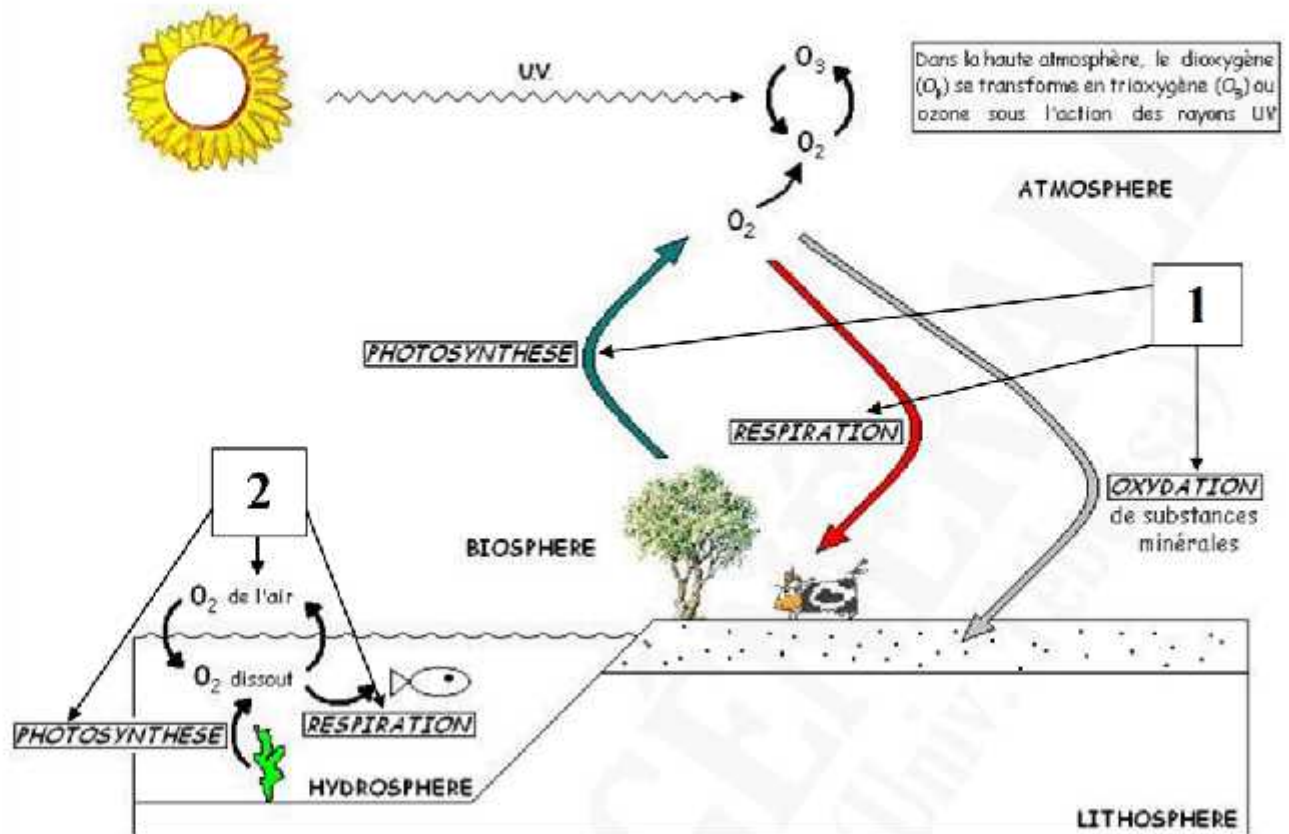
Dans les sols, il se produit souvent un ralentissement du cycle du carbone : les matières organiques ne sont pas entièrement minéralisées mais transformées en un ensemble de composés organiques acides (**les acides humiques**). Dans certains cas les matières organiques ne sont pas entièrement minéralisées 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 CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère augmente et le climat se réchauffe. En effet, le CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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.

## 2. CYCLE DE L'OXYGÈNE

1. Au niveau des **continents**, la végétation, comme par exemple celle des grandes forêts, produit une certaine quantité d'oxygène grâce à l'activité de **photosynthèse** des végétaux. Le bilan net, sur plusieurs années, d'une forêt mature est pratiquement nul. C'est-à-dire qu'elle consomme autant d'oxygène qu'elle en produit, ne fournissant aucune quantité significative supplémentaire d'oxygène à l'**atmosphère** pour la **respiration** des animaux. C'est pourquoi il est faux de qualifier la grande forêt amazonienne de **poumon de la Terre**. Il y a bien d'autres raisons de vouloir protéger la forêt amazonienne, mais pas celle-là. C'est là une donnée importante à considérer lorsqu'on parle de puits de carbone dans la problématique actuelle des émissions de gaz à **effet de serre**.





2. C'est l'**océan** qui pratiquement à lui seul joue le rôle de régulateur de l'**oxygène atmosphérique**. La composante végétale du **plancton**, le **phytoplancton**, produit de l'oxygène grâce à la **photosynthèse**. Comme sur les continents, cet oxygène est utilisé pour la respiration par la composante animale du **plancton**, le **zooplancton**, et par les autres animaux marins, ainsi que pour l'oxydation de la matière organique. Cependant, une partie seulement de la matière organique est oxydée, l'autre partie se dépose au fond de l'océan et est incorporée dans les sédiments où elle est gardée à l'abri de l'oxygène. Comme on l'a vu plus haut, cette matière organique sera éventuellement ramenée à la surface terrestre sous forme de **combustibles fossiles**, pétrole et charbon, ou de kérogènes, beaucoup plus tard dans le cycle géologique. Finalement, une partie de l'oxygène océanique est donc libérée dans l'atmosphère. Celle-ci est utilisée pour la respiration des animaux terrestres et dans les divers processus d'oxydation, comme celui du fer  $Fe^{2+}$ . Dans une grande mesure, c'est donc le taux d'enfouissement du carbone organique, ainsi que celui de l'oxydation des matériaux terrestres qui vont contrôler le taux d'émission et la teneur en  $O_2$  dans l'atmosphère. Le cycle de l'oxygène est donc un cycle court, attaché au cycle court du carbone organique.

## TD #4 — CYCLE BIOGÉOCHIMIQUE DE L'AZOTE

Le cycle de l'azote, ou en simplifié cycle azoté, consiste en une succession de processus naturels qui transforme l'azote N en substances organiques, c'est-à-dire en **ammoniac, ammoniacque, nitrite et nitrate**, puis finalement en **azote gazeux (N<sub>2</sub>)**. Le N de vient du mot **Nitrogène**, le nom scientifique de l'azote et Le principal réservoir de l'azote est l'atmosphère qui en renferme 79% en poids.

Le cycle de l'azote consiste en six étapes simples et cette définition générale ne concerne pas uniquement le cycle azoté en milieu aquatique, mais s'applique à tous les milieux. Parmi les expressions trouvées, on trouvera différentes formes de l'azote incluant **HNO<sub>3</sub>**, l'acide nitrique, **HNO<sub>2</sub>**, l'acide nitreux, **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**, l'ion nitrate, **NO<sub>2</sub><sup>-</sup>**, l'ion nitrite, **NH<sub>4</sub><sup>+</sup>**, l'ion ammonium, **NH<sub>3</sub>**, l'ammoniac, **NH<sub>4</sub>OH**, l'ammoniaque, **N<sub>2</sub>**, le diazote ou azote gazeux. L'azote existe donc sous forme gazeuse, organique (déchets de matière organique), et minérale.

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

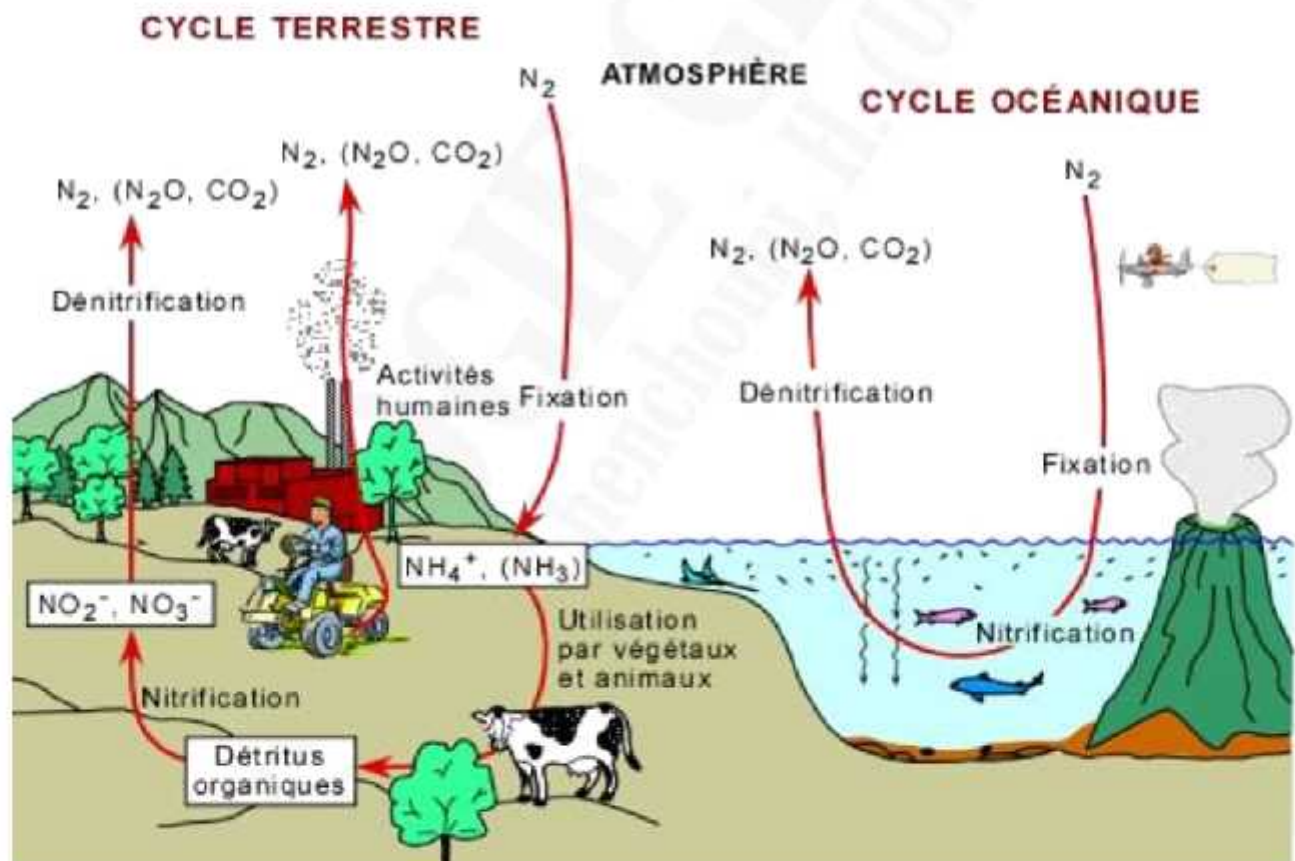
**2. L'assimilation :** L'**azote nitrique** ainsi élaboré par ces nombreux micro-organismes terrestres ou aquatiques est finalement absorbé par les végétaux, amené dans les feuilles et transformé en **ammoniacque**, grâce à une enzyme spécifique, la nitrate-réductase. Ensuite, l'ammoniacque est transformée en **azote aminé** puis en **protéines**.

**3. l'ammonification :** Les protéines et autres formes de **l'azote organique** contenues dans les cadavres, excréta et déchets organiques vont être attaquées par des microorganismes bio-réducteurs (bactéries et champignons) qui produisent l'énergie dont ils ont besoin par la décomposition de cet azote organique qui est ensuite transformé en **ammoniacque**, c'est l'ammonification.

**4. La nitrification :** Une partie de cet **azote ammoniacal** peut être « absorbé directement par les végétaux », mais il peut être aussi utilisé par des *bactéries nitrifiantes* (les Nitrosomonas) pour produire leur énergie métabolique. Celles-ci transforment l'ammoniacque **NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** en **nitrite, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>**, c'est la *nitrification*, puis les Nitrobacter le transforment en **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**, c'est la *nitrification*. « L'ion nitrate **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** est alors absorbé par les végétaux ».

**5. La dénitrification :** L'azote retourne constamment à l'air sous l'action des bactéries **dénitrifiantes** (*Pseudomonas*) qui sont capables de **décomposer** l'ion  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{N}_2$  qui se volatilise et retourne à l'air ; mais le rôle de ces bactéries est **heureusement peu important** parce que la dénitrification retourne l'azote à l'atmosphère sous sa forme moléculaire  $\text{N}_2$ , avec comme produit secondaire du  $\text{CO}_2$  et de l'oxyde d'azote  $\text{N}_2\text{O}$ , un gaz à effet de serre qui contribue à **détruire la couche d'ozone** dans la stratosphère. Il s'agit d'une réaction de réduction de  $\text{NO}_3^-$  par l'intermédiaire de bactéries transformant la matière organique et effectué grâce à des bactéries dénitrifiantes (*Azotobacter, Bacillus,...*).

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



**TD #5 — FACTEURS ÉCOLOGIQUES ABIOTIQUES****PARTIE 1**

1. Quelle est la différence entre un facteur biotique et un facteur abiotique ?
2. Les facteurs abiotiques varient dans l'espace dans le temps, expliquer ?
3. Quels sont les deux facteurs abiotiques qui conditionnent, plus que les autres, la distribution des organismes vivants ?
4. Êtes-vous un ectotherme ou un endotherme ? Expliquez ?
5. Nommez deux animaux endothermes et deux animaux ectothermes ?
6. Qu'arrive-t-il de la température corporelle d'un endotherme lorsqu'il est au soleil ?
7. Qu'arrive-t-il de la température corporelle d'un ectotherme lorsqu'il est au soleil ?
8. Complétez l'expression suivante : (Un organisme ne peut survivre dans son habitat que s'il en tolère la totalité des facteurs ..... pour faire face à ceux-ci, les organismes ont développé.....types d'adaptations qui sont ....., ..... et .....) )

**PARTIE 2 : Répondez par vrai ou faux et rectifiez si c'est nécessaire ?**

1. Les facteurs climatiques se sont des facteurs aperiodiques et dependants de la densité des populations.
2. La capacité des espèces à occuper des milieux caractérisés par des variations  $\pm$  grandes, est appelée amplitude écologique.
3. Les facteurs abiotiques tels que la température, l'humidité, la composition des sols, contrôle la présence des espèces et la structure des communautés végétales et animales.
4. Dans les milieux où les facteurs écologiques présentent de grandes variations d'un facteur (eaux saumâtres par exemple), seules subsistent les espèces à faible amplitude écologique.
5. De manière générale, l'amplitude écologique des espèces réduit avec l'évolution.
6. Plus les facteurs abiotiques sont favorables, plus les organismes sont nombreux et variés, et vice versa.
7. Sténothermes : êtres vivants présentant un intervalle de tolérance élevée aux variations de température.
8. Loi du minimum : si une espèce présente une amplitude étroite vis-à-vis d'un facteur, celui-ci risque fort d'être un facteur limitant pour cette espèce
9. Euryhalin : Êtres vivants présentant un intervalle de tolérance faible pour le degré de salinité.
10. La température : c'est un facteur qui contrôle la vitesse des réactions biochimiques et par là il conditionne directement la vie.
11. Les espèces hydrophiles supportent alternation de périodes sèches et humides : organismes terrestres des régions tempérées.
12. La thermorégulation est un ensemble de phénomènes écologiques permettant pertes importantes du poids corporel suite à l'oxydation des graisses, variation de la température corporelle, ...

**PARTIE 3 :** Selon les données de températures moyennes ( $T$ ) et précipitations ( $P$ ) du tableau.

- Calculer l'indice d'aridité annuelle De Martone ( $I = P / (T + 10)$ ) pour les trois localités suivantes ?
- Selon l'indice d'aridité de De Martone, déterminer les caractères climatiques de chaque localité ? Sachant que :

$I < 5$  : climat hyperaride,  
 $5 < I < 10$  : climat aride,  
 $10 < I < 20$  : climat semi-aride,  
 $20 < I < 28$  : climat sub-humide,  
 $28 < I < 35$  : climat humide,  
 $I > 35$  : climat très humide.

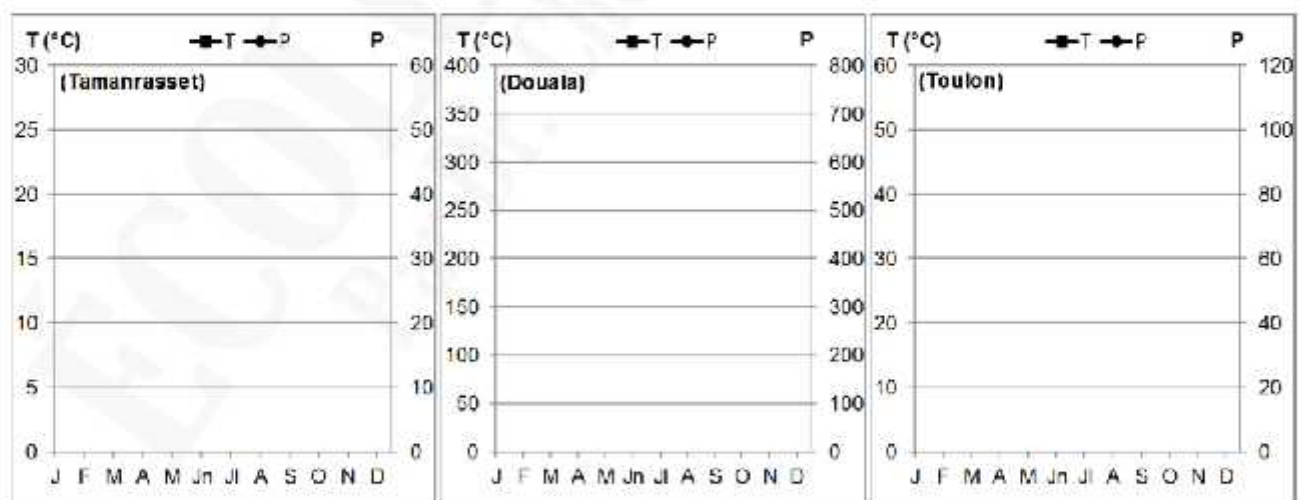
- Apprêter et interpréter le diagramme ombrothermique de Tamanrasset, Douala, Toulon ?

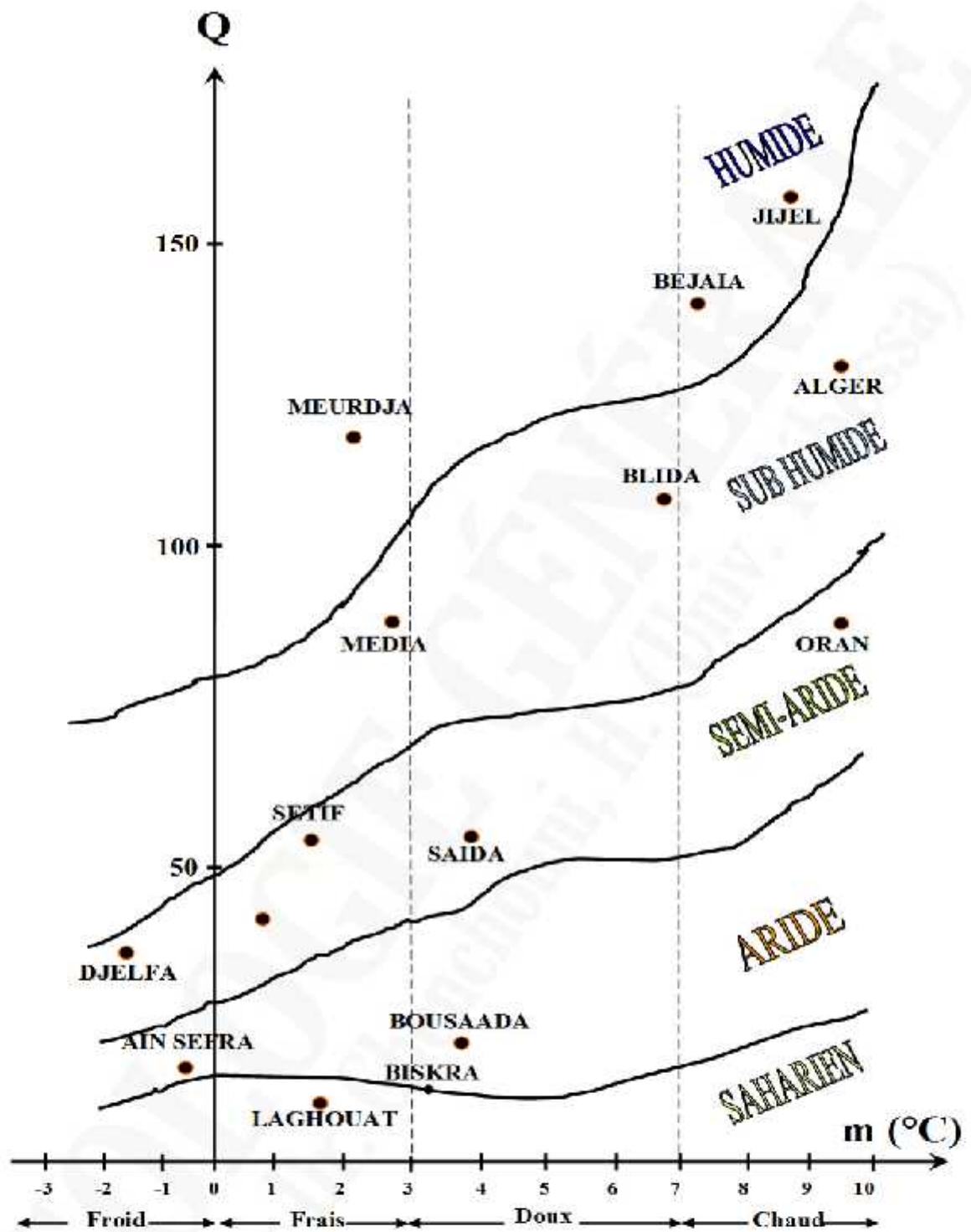
Localités		J	F	M	A	M	Jn	Jl	A	S	O	N	D	Tot/Moy
Tamanrasset (Algérie)	$P$	3	1	1	6	6	3	12	10	2	2	2	2	51
	$T$	12.3	14.7	18.3	22.5	22.6	29.0	28.9	28.3	26.7	23.0	18.2	13.6	21.8
Douala (Cameroun)	$P$	61	88	226	240	353	472	710	726	628	399	146	60	4109
	$T$	27.1	27.4	27.4	27.3	26.9	26.1	24.8	24.7	25.4	25.9	26.5	27.0	26.4
Toulon (France)	$P$	71	64	82	60	49	30	9	18	59	114	93	84	733
	$T$	8.0	8.9	10.9	13.5	16.9	20.6	23.1	22.9	20.4	16.2	12.2	9.3	15.2

- Calculer la valeur du quotient d'Emberger et classer la région de Thlidjène sur le climagramme d'Emberger en utilisant les données météorologiques de la période 1990-2007 :

Traits	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
$m$ (°C)	1.4	2.4	4.8	7	12	16	18.4	18.5	16	11.7	6.6	3.1	Moy=9.8
$M$ (°C)	11.9	13.7	16.8	19.7	25.9	31.4	34.4	33.9	28.9	23.5	17.6	13.5	Moy=22.6
$P$ (mm)	23.98	14.47	22.87	38	25.6	19.63	8.25	11.7	41.75	26.28	24.32	26.75	Tot=283.6

- Sachant que le quotient d'Emberger ( $Q_2$ ), s'exprime sous la formule :  $Q_2 = 3,42 \times P / (M - m)$  avec :  $P$  : pluviométrie totale annuelle,  $M$  : moyenne des températures maxima du mois le plus chaud,  $m$  : moyenne des températures minima du mois le plus froid,





Climagramme d'Emberger

**CORRIGÉ-TYPE DU TD #5****PARTIE 1**

1. Quelle est la différence entre un facteur biotique et un facteur abiotique ?

**Facteurs biotiques** : Facteurs relatifs aux vivants. Relations entre les individus de la même espèce (intraspécifiques) et entre individus d'espèces différentes (interspécifiques).

**Facteurs abiotiques** : Facteurs relatifs au milieu physico-chimique (Température, eau, lumière, vent et sol).

2. Les facteurs abiotiques varient dans l'espace dans le temps ; expliquer ?

**Réponse** : Les facteurs abiotiques varient d'une région à l'autre (dans l'espace) ex : Équateur chaud et humide versus Pôles froids et secs, et d'une saison à l'autre (dans le temps) ex : Été vs. Hiver, Saison des pluies versus saison sèche.

3. Quels sont les deux facteurs abiotiques qui conditionnent, plus que les autres, la distribution des organismes ? (**Réponse** : Eau et température).

4. Vous êtes un ectotherme ou un endotherme ? Expliquez ?

**Réponse** : Endotherme : Maintient leur température corporelle à un niveau constant, tel que 37 °C pour ; ils sont dits à sang chaud.

5. Nommez ; deux animaux endothermes et deux animaux ectothermes ?

**Animaux endothermes** : chien, canard, singe, cigogne, baleine, ... (Mammifères et oiseaux).

**Animaux ectothermes** : grenouille, serpent, poisson, ver de terre (amphibiens reptiles, invertébrés, ...)

6. Qu'arrive-t-il de la température d'un endotherme lorsqu'il est au soleil ?

**Réponse** : se maintient

7. Qu'arrive-t-il de la température d'un ectotherme lorsqu'il est au soleil ?

**Réponse** : augmente

8. Complétez : Un organisme ne peut survivre dans son habitat que s'il en tolère la totalité des facteurs abiotiques pour faire face à ceux-ci, les organismes ont développé trois types d'adaptations qui sont : morphologiques, physiologiques et comportementales.

**PARTIE 2**

1. Les facteurs climatiques ce sont des facteurs apériodiques et dépendants de la densité. **Faux**  
**Correction** : Les facteurs climatiques ce sont des facteurs **périodiques** et **indépendants** de la densité des pop.

2. La capacité des espèces à occuper des milieux caractérisés par des variations  $\pm$  grandes, est appelée amplitude écologique. **Vrai** (syn. amplitude ou valence écologique)

3. Les facteurs abiotiques tels que la température, l'humidité, la composition des sols, contrôle la présence des espèces et la structure des communautés végétales et animales. **Vrai**

4. Dans les milieux où les facteurs écologiques présentent de grandes variations d'un facteur (eaux saumâtres p.ex.), seules subsistent les espèces à faible amplitude écologique. **Faux**  
**Correction :** Dans les milieux où les facteurs écologiques présentent de grandes variations d'un facteur (eaux saumâtres des estuaires p.ex.), seules subsistent les espèces à **grande** amplitude écologique.
5. De manière générale, l'amplitude des espèces se réduit avec l'évolution. **Faux**  
**Correction :** De manière générale, l'amplitude des espèces **augmente** avec l'évolution.
6. Plus les facteurs abiotiques sont favorables, plus les organismes sont nombreux et variés, et vice versa. **Vrai**
7. Sténotherme ; êtres vivants présentant un intervalle de tolérance élevée aux variations de température. **Faux**  
**Correction :** **Eurytherme** ; êtres vivants présentant un intervalle de tolérance élevée aux variations de température. *ou* Sténotherme ; êtres vivants présentant un intervalle de tolérance **faible** aux variations de Température.
8. Loi du minimum : si une espèce présente une amplitude étroite vis-à-vis d'un facteur, celui-ci risque fort d'être un facteur limitant pour cette espèce. **Vrai**
9. Euryhalin ; Êtres vivants présentant un intervalle de tolérance faible pour le degré de salinité des eaux. **Faux**  
**Correction :** **Sténohalin** ; Êtres vivants présentant un intervalle de tolérance faible pour le degré de salinité des eaux. (ou bien Euryhalin..... tolérances **grande (large)**.....)
10. La température : est un facteur qui contrôle la vitesse des réactions biochimiques et par là il conditionne directement la vie. **Vrai**
11. Les espèces hydrophiles supportent l'alternation de périodes sèches et humides : organismes terrestres des régions tempérées. **Faux**  
**Correction :** **Espèces mésophiles** supportent alternation ..... des régions tempérées.
12. La thermorégulation est un ensemble ..... la température corporelle..... **Faux**  
**Correction :** La thermorégulation est un ensemble de phénomènes **éco-physiologiques** permettant des pertes importantes du poids corporel suite à l'oxydation des graisses, variation de la température corporelle, ...

### PARTIE 3

1. Calcul de l'indice d'aridité De Martone et 2. Détermination des caractères climatiques :

Localités	Indice de De Martone	Type de climat
Tamanrasset	1.60	Climat hyperaride
Douala	112.88	Climat très humide
Toulon	29.09	Climat humide

3. Interpréter le diagramme ombrothermique de Tamanrasset, Douala, Toulon

Localités	Période humide	Période sèche
Tamanrasset	0 mois	12 mois
Douala	12 mois	0 mois
Toulon	9 mois (Septembre-Mai)	3 mois (Juin-Août)

4. Le quotient d'Emberger ( $Q_2$ ) de la région de Thlidjène :  $Q_2 = 29.39 ; m = 1.4 \text{ } ^\circ\text{C}$

→ La région de Thlidjène se classe dans l'étage bioclimatique aride supérieur à hiver frais.



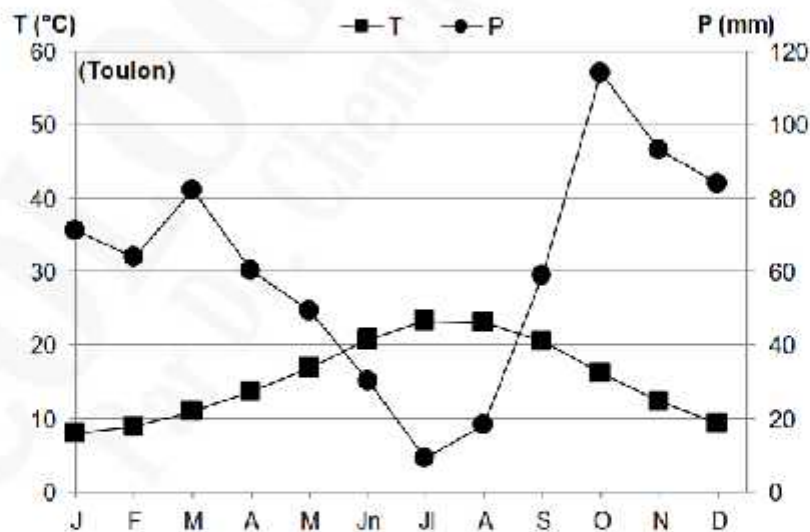
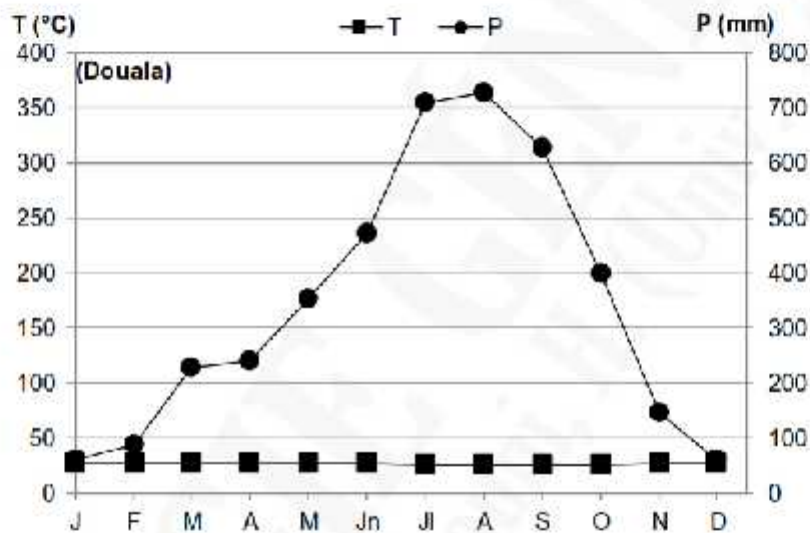
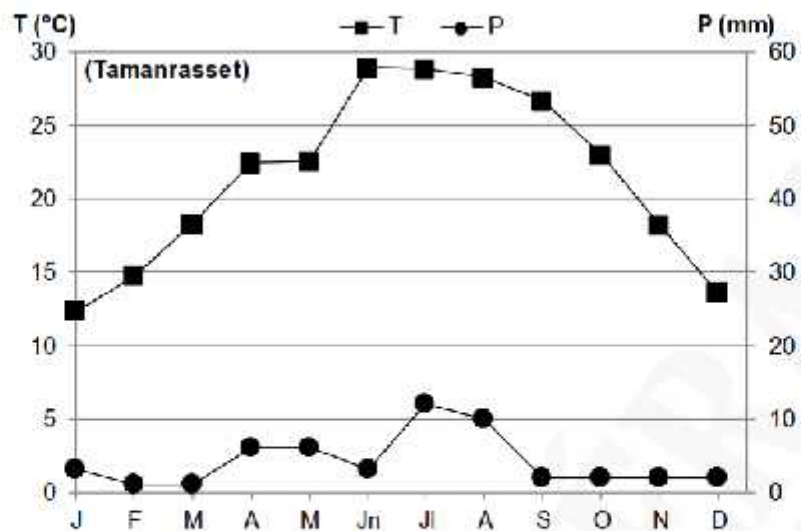


Diagramme de Gaussen pour les régions de Tamanrasset (en haut), Douala (centre), et Toulon (en bas)

## TD #6 — FACTEURS ÉDAPHIQUES

**La texture du sol :** se définit par les proportions relatives de particules de dimensions différentes. La texture peut s'apprécier sur le terrain ou être déduite de l'analyse granulométrique qui permet, précisément, de déterminer les proportions des diverses particules, réparties en classes de dimensions. Elle est la résultante du mélange argile, sable, limon, dont les pourcentages varient d'un sol à l'autre. La connaissance de la texture permet d'indiquer les tendances du sol quant à ses qualités physiques notamment sa perméabilité.

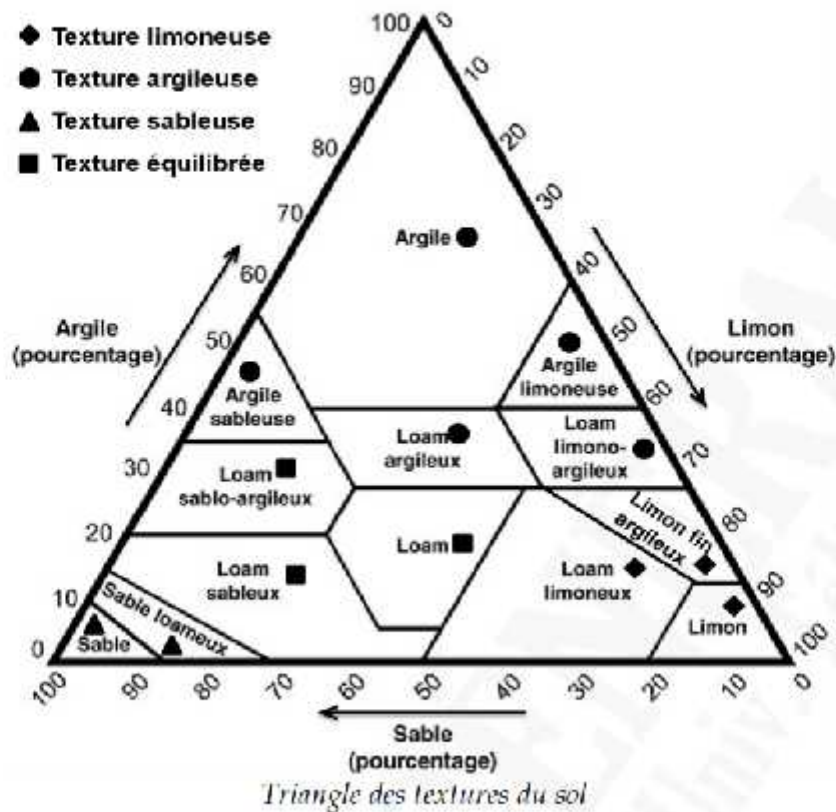
**Le triangle de texture** est un triangle équilatéral, dont les côtés représentent les teneurs en argile, limons et sable, chaque axe étant gradué de 0 à 100%. En fonction de la proportion des différentes fractions granulométriques, on détermine les textures suivantes :

- **Textures fines :** comportent un taux élevé d'argile (>40%) et correspondent à des sols dits "lourds", difficiles à travailler, mais qui présentent un optimum de rétention d'eau.
- **Textures sableuses ou grossières :** elles caractérisent les sols légers manquant de cohésion et qui ont tendance à s'assécher saisonnièrement.
- **Textures moyennes :** on distingue deux types :
  - \* **Les limons argilo-sableux** qui ne contiennent pas plus de 30 à 35% de limons, qui ont une texture parfaitement équilibrée et qui correspond aux meilleures 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).

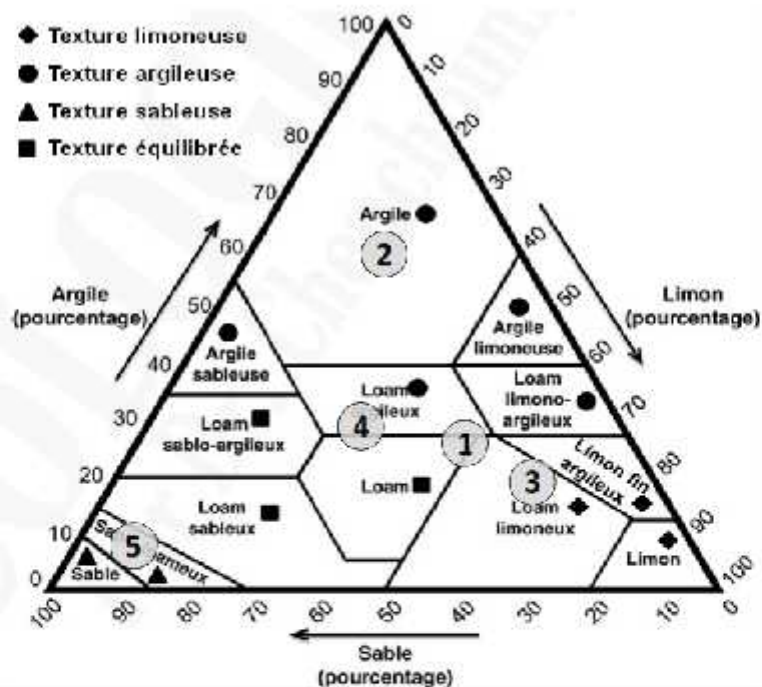
### Travail à réaliser

Déterminer le type de la texture dans le triangle textural pour chaque échantillon de sol dont les analyses granulométriques sont comme suit :

Granulométrie	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4	Sol 5
Argile (%)	25	60	20	30	10
Limon (%)	50	20	60	35	10
Sable (%)	25	20	20	35	80

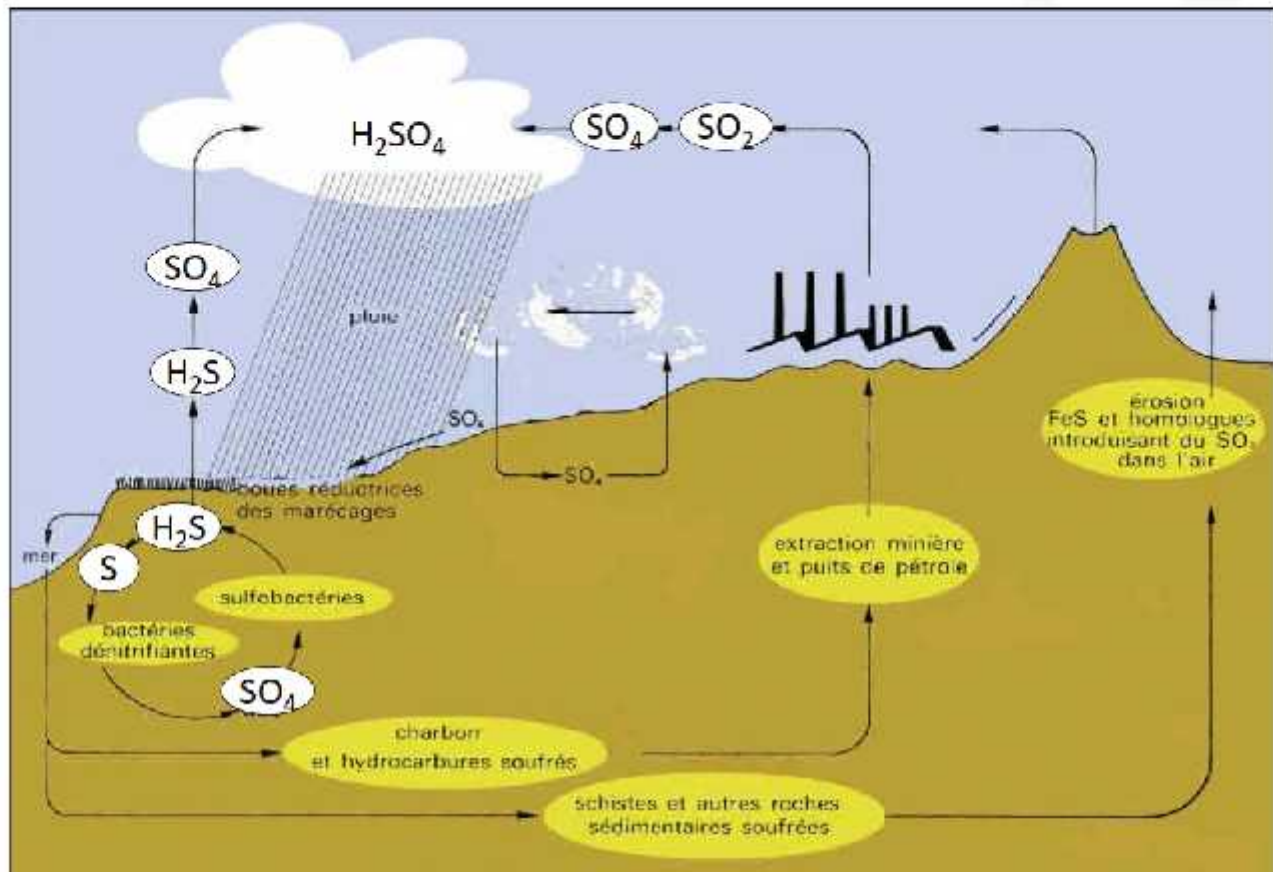


**CORRIGÉ-TYPE DU TD #5**



Échantillon	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4	Sol 5
Type de texture	Loam	Argileuse	Loam limoneuse	Loam argileuse	Sable loameuse

## TD #7 — CYCLE BIOGÉOCHIMIQUE DU SOUFRE



Malgré l'existence de divers composés gazeux du soufre, tels l'hydrogène sulfuré ( $H_2S$ ) et l'anhydride sulfureux ( $SO_2$ ), la majeure partie du cycle de cet élément est de nature sédimentaire et d'effectue dans les eaux et les sols. Le cycle du soufre est considéré comme équilibré en l'absence d'action humaine c'est-à-dire que les stocks et les flux sont sensiblement constants dans et entre les divers compartiments de la biosphère. En particulier, il existe une équivalence entre les quantités dissoutes dans les eaux courantes ou rejetées dans l'atmosphère d'une part et celles qui retournent à la surface du sol et sont sédimentées dans les écosystèmes aquatiques continentaux ou océaniques de l'autre.

Le Soufre est présent en petite quantité dans les organismes sous forme notamment d'acide aminés méthionine et cystéine. Le Soufre et les liaisons sulfures sont importantes pour le métabolisme fonctionnel de nombreux champignons et être vivants. La principale source de soufre disponible pour les êtres vivants est constitués par les sulfates ( $SO_4$ ). La solubilité dans l'eau de nombreux sulfates en fait l'unique forme de soufre élémentaire, inorganique, disponible pour les écosystèmes.

**1. Apport de dérivés gazeux et/ou inorganique du soufre à l'atmosphère : dans les conditions naturelles,** trois types de phénomènes biogéochimiques introduisent diverses formes de soufre dans l'atmosphère :

**A. La formation d'embruns marins :** lorsque l'océan est agité, il introduit des sulfates dans l'atmosphère.

**B. Le volcanisme :** constitue une autre cause, elle, abiotique, de dégagement de dérivés gazeux du soufre ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) dans l'atmosphère bien que son importance soit cependant inférieur à celles provenant de micro-organismes sulfatoréducteurs, on estime que les volcans dégageraient en moyenne 28 millions de tonnes de soufre, dont 14 en milieu continental, rejetés sous forme de  $\text{SO}_2$  dans l'atmosphère.

**C. Fermentation dans les sols marécageux, dans les vases des zones humides et dans les sédiments marins littoraux et abyssaux :** ces fermentations découlent de processus biogéochimiques complexes. Elles comportent l'intervention de diverses bactéries appartenant en particulier aux genres *Desulfovibrio* et *Desulfatomaculum*.

Les divers déchets organiques provenant des biocoenoses sont décomposés par des bactéries hétérotrophes qui libèrent en dernier lieu de l'hydrogène sulfuré à partir des protéines sulfurées restituées au sol.

Par ailleurs, certaines bactéries du genre *Desulfovibrio* peuvent aussi produire de l'hydrogène sulfuré à partir des sulfates qu'elles réduisent dans des conditions anaérobies, ces bactéries sulfatoréductrices sont des hétérotrophes qui utilisent les sulfates comme accepteurs d'hydrogène pour libérer l'énergie métaboliques dont ils ont besoin.

Dans les eaux profondes, le  $\text{H}_2\text{S}$  produit réagit avec le fer des sédiments et donne des précipités de sulfure ferreux noir. Les vases noires que l'on rencontre dans des conditions naturelles au fond de certaines mers (mer noire par exemple), de lacs et de diverses formations limniques continentales, soit après pollution par l'homme, sont riches en organismes sulforéducteurs capable de vivre dans les conditions entièrement anaérobies, certains genres de bactéries, comme les *Beggiatoa*, sont même capable de réduire l'hydrogène sulfuré en soufre élémentaire :  $2 \text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \Rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{S}$

Inversement, il existe dans les sols et les biotopes aquatiques des bactéries capable de réoxyder l'hydrogène sulfuré en sulfate, ce qui rend à nouveau le soufre disponible pour les producteurs.

Ces bactéries sont nommées chimiosynthétiques, parce qu'elles sont capables d'obtenir toute leur énergie cellulaire non pas de la lumière mais par oxydation d'un composé chimique simple. Les *Thiobacillus* par exemple sont des bactéries autotrophes qui fixent le gaz carbonique en synthétisant toutes les substances biochimiques à partir de l'énergie produite par

l'oxydation de l'hydrogène sulfuré en sulfate dans des milieux où règne une obscurité permanente.

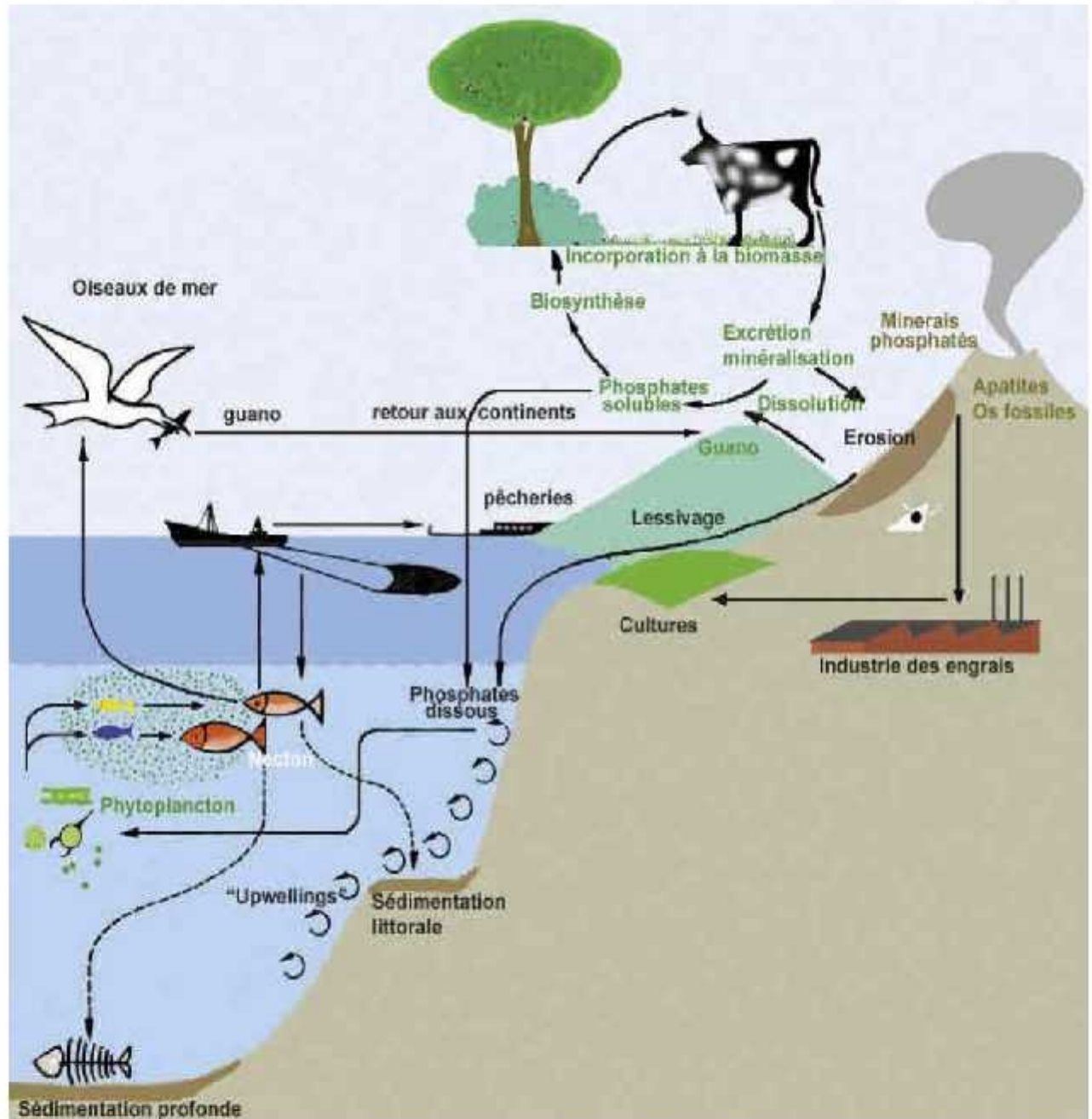
Dans l'atmosphère, ces divers dérivés gazeux sont transformés par oxydation en acide sulfurique puis en sulfates, le retour au sol se fait par les précipitations et on considère que les apports telluriques de sulfates des continents à l'océan par le jeu du cycle de l'eau compensent ceux d'embruns marins et de dérivés gazeux de soufre à l'atmosphère, ce qui équilibre le bilan continent-hydrosphère.

**2. Fixation du soufre dans les sédiments :** La dernière phase du cycle du soufre est entièrement sédimentaire. Elle implique la précipitation de cet élément dans des conditions anaérobies en présence du fer.

Le cycle aboutit finalement à l'accumulation lente et continue de soufre dans les sédiments profonds, la réaction du soufre avec les composés du fer s'accompagne d'une libération du phosphore, qui passe sous forme soluble, ce dernier devenant disponible pour les êtres vivants. En définitive, les sédiments représentent la principale réserve de soufre dans la biosphère, lequel s'y rencontre surtout sous forme de pyrite mais aussi de sulfate.

Malheureusement, l'action de l'homme a profondément dérégulé le cycle biogéochimique du soufre à l'échelle de la biosphère toute entière par suite de l'usage des combustibles fossiles (les fuels lourds industriels peuvent renfermer plus de 5% de soufre) et aussi de l'extraction de métaux non ferreux à partir de pyrites. Une des conséquences écologiques les plus graves de cette perturbation anthropique est le phénomène des pluies acides.

## TD #8 — CYCLE BIOGÉOCHIMIQUE DU PHOSPHORE



Le cycle du phosphore est unique parmi les cycles biogéochimiques majeurs car il ne possède pas de composante gazeuse. Par conséquent, il n'affecte pratiquement pas l'atmosphère. En milieu terrestre, le phosphore est, le plus souvent, sous forme de phosphate c'est-à-dire un atome de phosphore entouré de quatre atomes d'oxygène ( $PO_4$ ). Il est présent sous cette forme notamment comme composant du squelette des êtres vivants mais aussi des

dents des vertébrés. Plus généralement, il est essentiel à la fabrication de nombreuses molécules, comme les protéines et les acides nucléiques : ARN et ADN.

En milieu terrestre, le phosphore est dérivé de l'altération des phosphates de calcium des roches de la surface de la lithosphère, de type volcanique comme l'apatite. Le phosphore est donc un élément limitant dans plusieurs écosystèmes terrestres, à cause de l'absence de réservoir atmosphérique et sa disponibilité est directement liée à l'altération superficielle des roches. Il se distingue aussi des autres cycles par le fait que le transfert du phosphore d'un réservoir à un autre n'est pas contrôlé par des réactions microbiennes.

### **Le phosphore dans le sol**

Le stock de phosphore disponible pour les êtres vivants est entièrement contenu dans la lithosphère. Les principales sources de phosphore inorganique sont constituées par des roches ignées comme les apatites, et des dépôts de phosphates sédimentaires (phosphorite par exemple). Le phosphore minéral est en définitive un élément rare dans la biosphère dont il ne constitue que 1% de la teneur totale en corps simples ; il tend de ce fait à devenir un facteur limitant primordial dans de nombreux écosystèmes dont il conditionne la productivité.

Ce phosphore inorganique est mis en circulation par lessivage et dissolution dans les eaux continentales. Il est ainsi introduit dans les écosystèmes terrestres et absorbés par les végétaux qui 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.

### **Circulation du phosphore dans l'hydrosphère**

Le phosphore inorganique est introduit dans les écosystèmes aquatiques par les eaux de ruissellement. Les fleuves fertilisent sans cesse les océans par déversement perpétuel dans ces derniers, une partie du phosphore est assimilée par le phytoplancton. Ce phytoplancton est ensuite assimilé par le zooplancton, les poissons ou des mollusques. Ces mêmes poissons peuvent être mangés par des oiseaux marins qui permettent au phosphore de revenir en partie sur la terre ferme à travers leurs excréments et leurs cadavres. La faune joue de manière générale un rôle important et longtemps sous-estimé dans le cycle du phosphore. De même la remontée des saumons (qui meurent après la ponte dans le haut des bassins versants) permet de ramener de petites quantités de phosphore à la terre, en quantités faibles à l'échelle des continents mais localement très significatives. La pêche contribue aussi à réintroduire du phosphore à terre.



### En milieu océaniques

Le stock de phosphore est contenu dans les sédiments, la réserve principale de phosphate disponibles pour les êtres vivants s'y trouvent dissoutes dans les eaux profondes, les concentrations en phosphates de ces eaux sont d'une cinquantaine de mg par m<sup>3</sup>, valeur apparemment faible mais qui est tout de même de cinq à dix fois supérieur à celle à laquelle on rencontre ces sels minéraux nutritifs dans les zones euphotiques des eaux marines pélagiques, cela explique l'importance des zones *upwellings* courant verticaux qui ramènent en surface les eaux profondes enrichies en nutriments dans la productivités des écosystèmes marins.

### Apport anthropique et eutrophisation

Le principal problème causé par le phosphore est l'eutrophisation des milieux aquatiques, notamment des lacs.

Un excès d'azote, de phosphore et de carbone rejoint le lac via un cours d'eau ou via son bassin versant. Ce phosphore minéral peut avoir des origines multiples : il peut provenir des amendements, issus de l'agriculture intensive, qui sont ajoutés aux sols pour améliorer la croissance des cultures. Il peut être issu des effluents de STEP (station d'épuration), qui ne subissent pas de déphosphatation. Ce phosphore-là provient notamment des lessives et des rejets humains.

Ces apports en excès de phosphore conduisent à une hyperfertilisation du milieu, qui augmente la production primaire. En effet, on assiste à un bloom phytoplanctonique conduisant à un bloom zooplanctonique. Lors de leur mort, ces organismes tombent et sont minéralisés par les bactéries minéralisatrices. Plus le bloom est important, plus ces bactéries vont se développer, et plus la demande en O<sub>2</sub> sera importante pour les phénomènes de respiration et de minéralisation. De plus, des macrophytes se développent en surface et jouent le rôle de barrière à la lumière pour les cyanobactéries et le phytoplancton. La consommation d'O<sub>2</sub> devient supérieure à la production d'O<sub>2</sub>. Ceci entraîne donc une raréfaction d'O<sub>2</sub> dans les fonds, et à moyen terme l'anoxie du milieu. L'absence d'O<sub>2</sub> engendre la mort de nombreux êtres vivants qui utilisent l'O<sub>2</sub> pour respirer.

## TD #9 — FACTEURS BIOTIQUES — RELATIONS TROPHIQUES — FONCTIONNEMENT DES ÉCOSYSTÈMES

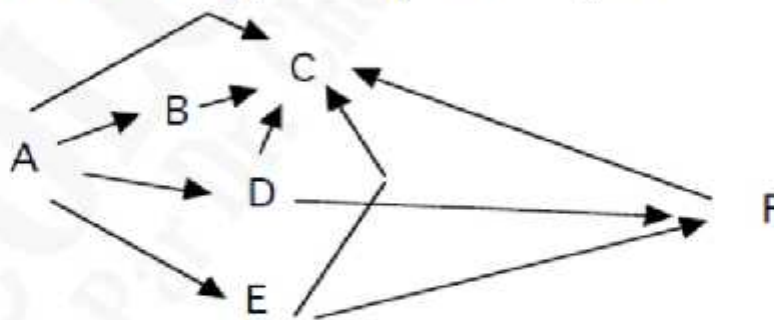
### PARTIE 1 — FACTEURS BIOTIQUES

Voici une liste d'interactions biotiques "coactions". Préciser si elles sont intraspécifique ou interspécifiques et définir la nature de l'interaction (exp. : compétition, parasitisme ...)

	Exemple de la coaction	Types de coactions	Nature de l'interaction
A	Deux moineaux qui convoitent le même nid.	?	?
B	Les manchots confient leurs petits aux célibataires et vont se nourrir.	?	?
C	Le camouflage de la rainette.	?	?
D	Les piquants du porc-épic.	?	?
E	Le jeune lézard qui imite un coléoptère venimeux.	?	?
F	Les gros yeux distrayants du papillon.	?	?
G	Des puces hématophages sur un mammifère.	?	?
H	Coraux : association d'algues (fournissent glucose et O <sub>2</sub> ) et de cnidaires (fournissent déchets azotés et CO <sub>2</sub> )	?	?
I	La projection d'une substance toxique par le coléoptère.	?	?
J	La grenouille voyante qui annonce qu'elle est venimeuse par ses couleurs très vives.	?	?
K	Les remoras qui suivent les requins et se nourrissent des «restes»	?	?
L	Les rats dont la population décline lorsqu'ils sont surpeuplés.	?	?

### PARTIE 2 — RÉSEAUX ALIMENTAIRES

Voici un réseau alimentaire où chaque lettre représente un organisme.



- Quelle(s) lettre(s) représente(nt) :  
 Les producteurs..... ? Les herbivores ..... ?  
 Les détritivores ..... ? Les carnivores..... ?
- Combien y a-t-il de niveaux trophiques dans ce réseau ? Justifiez votre réponse ?

### PARTIE 3 – CIRCULATION D'ÉNERGIE ET PRODUCTIVITÉ

1- La quantité d'énergie qui se perd d'un niveau à l'autre de la chaîne trophique est fonction du rendement de consommation des consommateurs de la chaîne. Laquelle de ces deux chaînes alimentaires serait la plus efficace écologiquement ?

- **Chaîne A** : Herbes et arbustes → chevreuils → loups

- **Chaîne B** : Algues vertes et cyanobactéries (phytoplancton) → daphnies et copépodes (Zooplancton) → Harengs (poisson)

Justifiez votre réponse ?

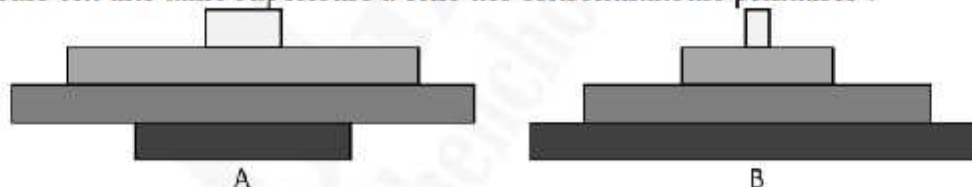
2- Comment appelle-t-on la quantité d'énergie assimilée par les plantes au cours de la photosynthèse ?

- La production primaire nette.
- Une pyramide d'énergie.
- La biomasse mesurable.
- La production primaire brute.
- La productivité secondaire.

3- La quantité d'énergie contenue dans le niveau trophique des herbivores est déterminée par :

- La production primaire brute.
- La production primaire nette.
- La production primaire brute et la production primaire nette.
- Leur efficacité écologique.
- La production primaire nette et leur rendement de consommation.

4- Voici deux pyramides de nombres (A et B). Laquelle représente un écosystème où, les producteurs ont une taille supérieure à celle des consommateurs primaires ?



### PARTIE 4 – ÉVOLUTION FONCTIONNELLE DES ÉCOSYSTÈMES

1- Comparer entre les stratégies 'r' et les stratégies 'K' ?

2- Pourquoi les stratégies 'r' moins compétitifs ne disparaissent-ils pas ?

3- Que signifient les termes suivants :

Climax, successions autogéniques, successions allogéniques.

## CORRIGÉ-TYPE DU TD #9

## PARTIE 1

Exemple de la coaction	Type de l'interactions	Nature de l'interaction
A	<i>Intraspécifique</i>	<i>Compétition</i>
B	<i>Intraspécifique</i>	<i>Coopération</i>
C	<i>Interspécifique</i>	<i>Homochromie</i>
D	<i>Interspécifique</i>	<i>Défense mécanique</i>
E	<i>Interspécifique</i>	<i>Mimétisme batésien</i>
F	<i>Interspécifique</i>	<i>Coloration de diversion</i>
G	<i>Interspécifique</i>	<i>Parasitisme</i>
H	<i>Interspécifique</i>	<i>Mutualisme</i>
I	<i>Interspécifique</i>	<i>Défense chimique</i>
J	<i>Interspécifique</i>	<i>Coloration d'avertissement</i>
K	<i>Interspécifique</i>	<i>Commensalisme</i>
L	<i>Intraspécifique</i>	<i>Effet de masse</i>

## PARTIE 2

- a) Les producteurs = A ; Les détrivores = C ; Les herbivores = B + D + E ; Les carnivores = F.  
 b) Réponse : Ce réseau trophique comprend 3 niveaux.

## PARTIE 3

## 1- Chaîne B.

*Justification* : La dépense d'énergie pour maintenir le métabolisme basal est plus élevée chez le cerf et le loup (des endothermes) que chez le zooplancton et les harengs (des ectothermes).

- 2- Comment appelle-t-on la quantité d'énergie assimilée par les plantes durant la photosynthèse ?  
 ✓ d) La production primaire brute.
- 3- La quantité d'énergie contenue dans le niveau trophique des herbivores est déterminée par :  
 ✓ e) La production primaire nette et leur rendement de consommation.
- 4- la pyramide (A).

## PARTIE 4

- 1- Comparaison entre les stratégies 'r' et les stratégies 'K' (Voir le Tableau de la page 44)
- 2- Les stratégies 'r' moins compétitifs ne disparaissent pas car ils sont opportunistes, maximisent la reproduction, utilisent toutes les ressources du biotope, sans conservation de l'énergie, pour la multiplication, ...
- 3- Définitions :
- **Climax** : lors d'une succession écologique, c'est le stade ultime d'évolution.
  - **Succession autogénique** provient d'un processus biotique s'exerçant à l'intérieur de l'écosystème (compétition, prédation, parasitisme, ...).
  - **Succession allogénique** résulte de l'influence des facteurs perturbateurs d'origine extérieure à l'écosystème (action des facteurs perturbateurs : feu, vent, sécheresse, homme, ...).

## ANNEXE I - GLOSSAIRE DES RÉGIMES ALIMENTAIRES

**Acridophage** : Espèce se nourrissant de criquets.

**Algophage** : (syn. Algivore) Qualifie une espèce herbivore se nourrissant d'algues.

**Apivore** : Désigne le régime alimentaire de certains prédateurs fonde sur la prédation d'abeilles.

**Arénivore** : (syn. Psammivore) Désigne les organismes qui ingèrent du sable.

**Bactériophage** : Organisme qui se nourrit de bactéries.

**Biophage** : Qui consomme ou détruit d'autres êtres vivants. (*Voir Saprophage*).

**Carnivore(s)** : (syn. Zoophage) Animaux prédateurs qui constituent les consommateurs secondaires des réseaux trophiques. On distingue des carnivores primaires (carnivores 1) qui se nourrissent des herbivores, des carnivores secondaires (carnivores 2) dont les proies sont des carnivores 1, etc.

**Carpophage** : Désigne une espèce qui se nourrit de fruits ou de graines.

**Cérophage** : Désigne une espèce qui se nourrit de cire.

**Charognard** : (*Voir Nécrophage, Saprophage*).

**Coprophage** : (syn. Scatophage) Animal qui se nourrit d'excréments.

**Dépositivore** : Organisme aquatique qui se nourrit des particules de matières organiques mortes qui se sont déposées à la surface des sédiments. Divers Invertébrés vasicoles ou qui vivent à l'interface eau-sédiments sont dans ce cas. Ils s'opposent aux suspensivores qui, eux, captent les particules alimentaires en suspension dans l'eau. (*Voir Détritivore, Suspensivore*)

**Détritivore** : (syn. Détritophage) Catégorie d'êtres vivants qui se nourrissent de détritus d'origine végétale ou animale constituant la matière organique morte. Les détritivores se rencontrent dans tous les biotopes terrestres ou aquatiques. On distingue plusieurs catégories de détritivores selon qu'ils consomment de la matière organique en voie de décomposition (Saprophages), des excréments (Coprophages), des cadavres (Nécrophages), ou encore de la matière organique en voie d'humification (Géophages). En milieu aquatique, les détritivores mangeurs de sédiments meubles sont dits limophages et ceux qui se nourrissent de fines particules de matière organique morte soit en suspension dans l'eau (Suspensivores) soit qui se sont déposées à la surface des sédiments (Dépositivores). (*Voir aussi Saprophages, Coprophages, Nécrophages, Géophages, Limophages, Suspensivores, Dépositivores*).

**Endophage** : (syn. Entophage) Caractérise un animal qui se nourrit en dévorant de l'intérieur son hôte, qu'il s'agisse d'une plante ou d'un métazoaire (cas des parasitoïdes).

**Entomophage** : Désigne des espèces vivantes dont le régime alimentaire est strictement fondé sur la consommation d'insectes.

**Érucivore** : Désigne un animal prédateur se nourrissant de chenilles.

**Euryphage** : Désigne un animal ayant un vaste spectre alimentaire.

**Folivore** : (syn. Phyllophage). Désigne les espèces qui se nourrissent de feuille.

**Frugivore** : Désigne une espèce se nourrissant de fruits.

**Fucivore** : Désigne une espèce marine consommatrice d'algues benthiques.

**Fungivore** : Espèce qui se nourrit de champignons.

**Gallivore** : Désigne une espèce qui se nourrit de galles.

**Géophage** : Qualifie une espèce animale qui se nourrit de sol.

**Granivore** : Animaux dont le régime alimentaire est à base de graines.

**Hématophage** : Désigne une espèce qui se nourrit de sang.

**Herbivore** : (syn. Phyllophage) Animal dont l'alimentation est strictement fondée sur la consommation de végétaux, donc situé au second niveau dans les réseaux trophiques de consommateurs. La majorité des herbivores se nourrit des feuilles et des pousses des végétaux (Phyllophage). D'autres mangent les parties ligneuses (Xylophages), sucent la sève (Phytosuccivores), butinent le nectar (Nectarivores), et/ou collectent le pollen (Polliniphages), enfin les Frugivores mangent les fruits.

**Hétérophage** : (Voir Omnivore).

**Ichtyophage** : (Voir Piscivore).

**Insectivore** : (syn. Entomophage) Caractérise un régime alimentaire constitué d'insectes.

**Lignivore** : (Voir Xylophage).

**Limivore** : Désigne une espèce d'Invertébrés aquatiques se nourrissant de limons.

**Limophage** : Espèce se nourrissant de boue.

**Lithophage** : Désigne des animaux, surtout Invertébrés, qui creusent des roches en général afin de construire une galerie pour s'y abriter. Néanmoins, certaines espèces consomment des roches renfermant des matières organiques mortes donc nutritives.

**Malacophage** : Caractérise un régime alimentaire constitué de Mollusques

**Melliphage** : (syn. Mellivore) Désigne une espèce se nourrissant de miel.

**Microphage** : Qui s'alimente de très petites proies ou de particules alimentaires de très faible taille.

**Monophage** : (Syn. Univore) Qui se nourrit aux dépens d'une seule espèce ou d'un seul type d'aliment issu de cette dernière.

**Mycétophage** : (syn. mycophage). Animaux se nourrissant de champignons.

**Mycophage** : (Voir Mycétophage).

**Myrmécophage** : Espèces se nourrissant de fourmis.

**Nécrophage** : (syn. Sarcophage) Animaux se nourrissant de cadavres, vulgairement dénommés charognards.

**Nectarivore** : Désigne un animal qui se nourrit du nectar des fleurs.

**Nucivore** : Désigne un animal qui se nourrit de noix.

**Oligophage** : Désigne une espèce animale ne consomme qu'un tout petit nombre d'espèces végétales ou de proies, donc un régime alimentaire très spécialisé, le cas extrême étant la monophagie (une seule espèce).

**Omnivore** : (syn. Hétérophage) Espèce dont le régime alimentaire est à la fois fondé sur la consommation de végétaux et de proies.

**Oophage** : Espèce qui se nourrit en consommant des œufs.

**Ophidophage** : Désigne une espèce se nourrissant de serpents.

**Ornithophage** : Qui se nourrit d'oiseaux.

**Pélophage** : Désigne les animaux qui se nourrissent des matières organiques contenues dans les sédiments ou déposées à la surface de ces derniers. (Voir Dépositivore, Limophage).

**Périphytophage** : Qui se nourrit de périphyton. (**Périphyton** : organismes aquatiques tant autotrophes "Diatomées par exemple" qu'hétérotrophes "Protistes, petits Invertébrés" vivant fixes à la surface des substrats immergés qu'ils soient biologiques "plantes aquatiques ou amphibies" ou minéraux "rochers lisses").

**Phycophage** : Désigne les animaux qui se nourrissent d'algues.

**Phyllophage** : (syn. Folivore) Désigne une espèce se nourrissant de feuilles.

**Phytophage** : Invertébrés dont le régime alimentaire est de type herbivore.

**Phytosuccivore** : Désigne les animaux qui se nourrissent de la sève des végétaux.

**Piscivore** : (syn. Ichtyophage, Ischtyophage, Pisciphage) Espèce qui se nourrit de poissons.

**Planctonivore** : (syn. Planctonophage) Désigne un animal se nourrissant de plancton.

**Planctonophage** : (Phytoplanktonophage, Zooplanktonophage, Mégaplankton) Désigne un animal prédateur du plancton.

**Pléophage** : (syn. Polyphage) Organisme qui possède une grande variété de régimes alimentaires.

**Polliniphage** : Désigne un animal qui se nourrit de pollen.

**Polyphage** : (syn. Furryphage, Omnivore, Ambivore, Allotrophe) Qui consomme une grande variété d'aliments ou d'espèces servant de nourriture.

**Polytrophe** : (syn. Polyphage) Désigne une espèce qui se nourrit d'aliments de nature très variée.

**Radicivore** : (syn. Rhizophage) Désigne une espèce qui se nourrit des racines des végétaux.

**Rhizophage** : (Voir Radicivore).

**Saprophage** : Désigne les animaux qui se nourrissent de matière organique morte d'origine végétale (Saprophytophages) et animale (Zoosaprophages), y compris les animaux coprophages, détritivores et nécrophages.

**Sarcophage** : (Voir Nécrophage).

**Scatophage** : (Voir Coprophage).

**Sestonophage** : Désigne une espèce animale marine se nourrissant de seston. (**Seston** : Particules de matière organique parfois adsorbée sur un substrat minéral, en suspension dans l'eau de mer).

**Sténophage** : Désigne un animal ayant un spectre alimentaire étroit (*i.e.* alimentation très spécialisée).

**Suspensivore** : Organisme animal sessile, planctonique ou même nectonique qui se nourrit de particules en suspension dans l'eau. (Voir Dépositivores, Détritivores).

**Univore** : (syn. Monophage) Qui ne consomme qu'une seule espèce de proie.

**Xylophage** : (syn. Lignivore) Désigne les espèces animales qui se nourrissent de bois. Certaines se développent à l'intérieur de l'aubier, d'autres entre l'écorce et le bois.

**Zoophage** : (syn. Carnivore).

**Zoosaprophage** : Désigne une espèce se nourrissant d'animaux morts et autres matières organiques fermentescibles animales en décomposition. (Voir Saprophage).

**RÉFÉRENCES**

- Barbault, R. (2000).** *Écologie générale, Structure et fonctionnement de la biosphère.* 5<sup>e</sup> édition, Masson : Paris.
- Blondel, J. (1995).** *Biogéographie, Approche écologique et évolutive.* Masson : Paris.
- Dajoz, R. (2006).** *Précis d'écologie.* 8<sup>ème</sup> édition, Dunod : Paris.
- Frontier, S., Pichod-Viale, D., Leprêtre, A., Davoult, D., Luczak, C. (2008).** *Écosystèmes, Structure-fonctionnement-évolution.* 4<sup>e</sup> édition, Masson : Paris.
- Gaudin, S. (1997).** *Quelques éléments d'écologie utiles au forestier.* BISA Gestion Forestière.
- Mac Arthur, R.H., Wilson, R.O. (1963).** An equilibrium theory of insular biogeography. *Evolution*, 17: 373-87.
- Ramade, F. (2005).** *Éléments d'écologie – Écologie fondamentale.* Dunod : Paris.
- Ramade, F. (2008).** *Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité.* Dunod : Paris.