

Chapitre I : La Biodiversité

Plan

- **Introduction**
- **Histoire du concept de « Biodiversité »**
- **Définitions de la Biodiversité**
- **Niveaux de la Biodiversité**
- **Valeurs de la Biodiversité**

1. Introduction

La Terre est un véritable théâtre de la vie, où des millions d'espèces cohabitent et interagissent dans une diversité impressionnante. Cette variété, qu'il s'agisse des formes de vie animales, végétales ou microbiennes, est essentielle à l'équilibre de notre planète. Mais qu'est-ce qui permet à cette diversité d'exister et de se maintenir depuis des millions d'années ? Ce phénomène, que l'on appelle la biodiversité, englobe bien plus que la simple existence de différentes espèces. Il inclut également la diversité génétique au sein de chaque espèce, la variété des écosystèmes et les systèmes complexes d'interactions entre les êtres vivants et leur environnement.

En fait, la biodiversité désigne l'ensemble des formes de vie : la diversité génétique (variations génétiques au sein des espèces), la diversité des espèces (diversité des espèces végétales et animales) et la diversité de l'écosystème (variété des écosystèmes tels que les forêts, les océans et les déserts présents sur notre planète). Cette diversité biologique est la condition sine qua non de la résilience des écosystèmes et formes de vie et de leur capacité à se prémunir et à se défendre contre les catastrophes et les conditions défavorables. La biodiversité constitue, en effet, un réseau interconnecté, où chaque élément joue un rôle crucial dans le maintien de la vie sur Terre. Elle représente donc un paramètre écologique essentiel et son maintien à un niveau optimal apparaît comme une nécessité.

Cependant, la biodiversité a toujours pâti des pressions anthropiques. L'exploitation massive des ressources à des fins spéculatives, engendrent une dégradation des milieux naturels. C'est le cas en particulier pour les milieux tropicaux où la transformation de paysages, et la destruction de certains biomes, ont pour conséquence la disparition de très

nombreuses espèces végétales et animales. Cette situation qui a prévalu pendant de nombreuses années dans l'indifférence quasi générale, suscite depuis quelque temps de nombreuses réactions. Certains y voient la destruction irrémédiable d'un patrimoine naturel résultat de l'évolution biologique, qui s'est constitué au cours de millions d'années. D'autres y voient également la perte de ressources potentielles et jusqu'ici inexploitées ou tout simplement inconnues. D'autres encore se pose la question des conséquences éventuelle d'une réduction de la diversité biologique sur le fonctionnement des écosystèmes et plus généralement sur les phénomènes régulateurs de la biosphère.

2. Histoire du concept de « Biodiversité »

L'émergence du concept de biodiversité est étroitement liée à l'histoire mondiale de la protection de la nature et à l'évolution des idées concernant ce que l'on appelait auparavant plus volontiers la « nature ». Dès l'Antiquité, la diversité du monde vivant a fasciné les esprits, mais il faut attendre le XVIII^e siècle et le XIX^e siècle pour que l'idée de protéger la nature n'apparaisse véritablement dans le monde occidental avec les progrès des sciences naturelles et les prémices de l'écologie, qui modifient la perception qu'a l'humain du monde vivant.

C'est en **1980** que le terme « diversité biologique » est apparu dans les écrits de **Thomas E. Lovejoy**. Ce biologiste américain a en effet découvert que la destruction de l'habitat, la pollution et le réchauffement climatique tuaient des espèces dans le monde entier. La contraction en « biodiversité » est créée en **1985** par **Walter G. Rosen**, également biologiste américain, dans le cadre de la préparation du premier forum américain sur la diversité biologique.

C'est **Edward O. Wilson** (entomologiste et professeur à l'Université d'Harvard) qui a repris et popularisé le terme, jugé plus efficace pour communiquer sur le sujet. Le terme se retrouve alors publié dans le compte rendu du colloque sous l'égide d'Edward O. Wilson, qu'on nomme aussi le « père de la biodiversité », sous le titre de BioDiversity en **1988**.

Ce terme a ensuite été officialisé lors de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, en 1992 à Rio de Janeiro (plus connu sous le nom de Sommet de la Terre), qui a marqué l'entrée en force sur la scène internationale de préoccupations et de convoitises vis-à-vis de la diversité du monde vivant.

Le Sommet de la terre à Rio de Janeiro a retenu une première définition du terme diversité biologique dans la convention sur la diversité biologique (CDB), première convention internationale, ratifiée par 190 pays à ce jour.

3. Définitions de la Biodiversité

Comme tout concept scientifique médiatisé, la biodiversité a été définie puis interprétée de diverses façons selon les utilisateurs. Une définition est proposée en **1988**, lors de la XVIII^e assemblée générale de l'Union internationale de conservation de la nature (**UICN**) au Costa Rica : « La diversité biologique ou biodiversité est la variété et la variabilité de tous les organismes vivants. Ceci inclut la variabilité génétique à l'intérieur des espèces et de leurs populations, la variabilité des espèces et de leurs formes de vie, la diversité des complexes d'espèces associées et de leurs interactions, et celle des processus écologiques qu'ils influencent ou dont ils sont les acteurs ».

Mais, la définition la plus courante de la diversité biologique est celle donnée par la Convention sur la diversité biologique (**CDB**) en **1992**. Selon le texte de la **CDB**, la biodiversité comprend « la variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes ». Cette définition considère ainsi trois niveaux de l'organisation du monde vivant ou de la biodiversité : la diversité des espèces, la diversité génétique et la diversité des écosystèmes.

4. Niveaux de la Biodiversité

Les trois niveaux de la biodiversité sont essentiels pour comprendre la complexité des systèmes écologiques :

✓ La diversité des espèces (spécifique) :

La diversité spécifique fait référence à la diversité des espèces présentes dans un écosystème ou une région donnée. Elle inclut toutes les formes de vie, qu'il s'agisse de plantes, d'animaux, de champignons, de bactéries, etc.

Les espèces peuvent être regroupées en fonction de différents critères, comme la forme de vie ou l'habitat. Ce niveau de biodiversité permet à un écosystème de maintenir un équilibre et de remplir diverses fonctions écologiques. Il peut être mesuré de deux façons :

Richesse spécifique : le nombre d'espèces présentes dans un écosystème ou une région.

Abondance spécifique : le nombre d'individus de chaque espèce. Exemple, dans une forêt tropicale, on peut trouver une grande variété d'espèces d'arbres, de plantes, d'animaux (insectes, oiseaux, mammifères) et de micro-organismes.

✓ **La diversité génétique :**

Ce niveau fait référence à la diversité des gènes au sein d'une espèce. Chaque espèce possède des variations génétiques, qui permettent une adaptation à différents environnements et conditions. La biodiversité génétique comprend :

Les variations génétiques au sein d'une population : cela concerne les différences génétiques entre les individus d'une même espèce. Ces variations peuvent être liées à des caractéristiques physiques (comme la couleur ou la taille), des comportements ou des capacités de résistance aux maladies.

Les sous-espèces : certaines espèces peuvent être divisées en sous-groupes génétiquement distincts, qui peuvent évoluer dans des environnements spécifiques ou avoir des comportements différents.

Adaptation et évolution : une grande diversité génétique augmente la capacité d'une population à s'adapter à des changements environnementaux ou à lutter contre les maladies. Exemple, La diversité génétique au sein des populations de chiens, qui permet de sélectionner des caractéristiques comme la taille, la couleur, ou la résistance à certaines maladies.

✓ **La diversité des écosystèmes :**

Ce niveau concerne la diversité des écosystèmes eux-mêmes, c'est-à-dire les différents types d'environnements dans lesquels les espèces vivent. Chaque écosystème (forêt, océan, prairie, désert, marais, etc.) présente des caractéristiques spécifiques liées à son climat, ses ressources et ses interactions biologiques. La biodiversité des écosystèmes inclut :

La variété des habitats : les écosystèmes peuvent être terrestres (forêts, prairies) ou aquatiques (océans, lacs, rivières).

Les interactions entre les espèces : les relations entre les différentes espèces, qu'elles soient de prédation, de mutualisme (symbiose), de compétition, etc., sont essentielles pour le bon fonctionnement de l'écosystème.

Les services écosystémiques : la diversité des écosystèmes permet de fournir des services vitaux tels que la purification de l'air et de l'eau, la régulation du climat, la fertilité des sols, et bien d'autres encore. Exemple : Un récif corallien, avec sa diversité d'espèces marines, ses interactions écologiques complexes et ses services pour la protection des côtes et la nutrition des populations locales.

En résumé :

- **Diversité spécifique** : diversité des espèces présentes dans un environnement.
- **Diversité génétique** : variations des gènes au sein des espèces.
- **Diversité des écosystèmes** : diversité des types d'écosystèmes et des interactions écologiques.

Chacun de ces niveaux est interconnecté, et une perte de biodiversité à l'un de ces niveaux peut avoir des conséquences sur les autres. La protection de la biodiversité dans son ensemble est donc essentielle pour maintenir l'équilibre et la résilience des écosystèmes.

5. Valeurs de la Biodiversité

La biodiversité possède des valeurs (ou intérêts) dont chacune pourrait à elle seule justifier la conservation de cette richesse biologique :

5.1. Valeur écologique : la biodiversité est essentielle pour le maintien des écosystèmes et des processus écologiques. Cela inclut :

- Régulation des cycles biogéochimiques : par exemple, les cycles de l'azote et du carbone sont régulés par des interactions entre différentes espèces.
- Pollinisation : de nombreuses plantes dépendent des pollinisateurs (insectes, oiseaux) pour leur reproduction.
- Purification de l'eau et de l'air : les écosystèmes naturels filtrent et décomposent les polluants.
- Régulation climatique : la biodiversité aide à stabiliser les climats locaux et globaux.

5.2. Valeur économique : la biodiversité offre de nombreuses ressources et services utiles pour l'économie, tels que :

- Ressources alimentaires : de nombreuses cultures, fruits, légumes, et produits marins sont issus de la biodiversité.
- Médicaments : une grande partie des médicaments provient des plantes, des animaux et des micro-organismes.
- Tourisme : les paysages naturels et les espèces emblématiques (animaux, oiseaux, etc.) attirent des millions de touristes chaque année.
- Agriculture et élevage : une diversité génétique permet aux espèces cultivées ou élevées de mieux résister aux maladies et aux changements climatiques.

5.3. Valeur esthétique et récréative : la biodiversité enrichit nos vies à travers :

- Beauté naturelle : les paysages, les animaux et les plantes offrent un plaisir visuel et un bien-être mental.
- Activités récréatives : la biodiversité permet des loisirs tels que la randonnée, l'observation des oiseaux, la plongée sous-marine, etc.

5.4. Valeur scientifique et éducative : la biodiversité est une source inestimable pour la recherche scientifique, permettant de :

- Découvrir de nouvelles espèces : chaque nouvelle espèce peut potentiellement offrir des connaissances cruciales sur la biologie, l'écologie ou même des applications industrielles.
- Étudier les interactions écologiques : les scientifiques analysent comment les espèces interagissent entre elles et avec leur environnement, ce qui est essentiel pour comprendre le fonctionnement des écosystèmes.

5.5 Valeur culturelle et spirituelle : pour de nombreuses communautés, la biodiversité est liée à des pratiques culturelles et spirituelles :

- Pratiques traditionnelles : certaines espèces sont au cœur des rituels, des mythes et des traditions des peuples autochtones.
- Symbole d'identité : les espèces locales sont souvent des symboles nationaux ou régionaux et sont intégrées dans l'art, la littérature, ou la musique.

5.6. Valeur de résilience : la biodiversité joue un rôle clé dans la résilience des écosystèmes face aux perturbations :

- Adaptation au changement climatique : des écosystèmes plus diversifiés peuvent mieux s'adapter aux changements environnementaux, en permettant aux espèces de trouver de nouvelles niches écologiques.
- Réduction des risques liés aux catastrophes naturelles : les écosystèmes comme les mangroves ou les forêts jouent un rôle protecteur contre les inondations et les tempêtes.

7. Valeur éthique : enfin, la biodiversité a une valeur éthique, car nous avons la responsabilité morale de préserver les autres formes de vie. Beaucoup estiment que toutes les espèces, qu'elles soient utiles ou non à l'humanité, ont une valeur intrinsèque, c'est-à-dire qu'elles méritent de vivre, indépendamment de leur utilité directe pour nous. Chacune de ces valeurs souligne l'importance de la biodiversité, non seulement pour l'environnement, mais aussi pour la société humaine dans son ensemble. Protéger la biodiversité, c'est protéger la vie sur Terre, y compris la nôtre.

Chapitre II : Classification des êtres vivants : systématique

Plan

- **Introduction**
- **Systématique : Définition et Objectifs**
- **Systèmes de classification**
 - ✓ **Système de classification classique**
 - ✓ **Système de classification moderne**
 - ✓ **L'arbre phylogénétique**

1. Introduction

Face à la diversité du monde vivant (environ 1 800 000 espèces décrites, soit 10 ou 100 fois moins que le nombre d'espèces prédites), le besoin de classer les espèces apparaît comme une nécessité pour analyser les relations évolutives entre les organismes et fournir un cadre rigoureux à l'étude de la biodiversité.

De nombreux ouvrages de biologie discutent de la question de la classification des êtres vivants, mais en se limitant généralement à la description de quelques méthodes, périodes de l'histoire ou résultats. À l'inverse, la systématique propose une synthèse complète de l'évolution des idées sur la façon de classer les espèces.

2. Systématique : Définition et Objectifs

La systématique : est une branche de la biologie dédiée à l'étude de la biodiversité, c'est-à-dire comprendre l'histoire de la vie sur Terre et l'évolution des êtres vivants à l'origine de la biodiversité actuelle. Elle a pour but : **1)** d'étudier la diversité des êtres vivants, **2)** de comprendre l'origine de cette diversité et **3)** de les classer de manière rationnelle au travers de leurs ressemblances et de leurs différences et des relations qui existent entre eux.

En fait, la systématique est une discipline capitale pour la préservation de cette biodiversité ; cette dernière ne peut être correctement étudiée et protégée que s'il existe de bonnes connaissances taxonomiques des organismes qui la composent. Cette science est à présent le résultat de plusieurs évolutions dans les connaissances des processus biologiques, dans l'avancée des techniques ainsi que dans les croyances, les codes et les coutumes qui ont influencé le travail des naturalistes selon les époques. Cette science est en perpétuel

mouvement, les groupes, en aucun cas fixés, se font et se défont au gré des nouvelles avancées technologiques et connaissances acquises.

3. Systèmes de classification

Les méthodes employées pour établir la classification des êtres vivants ont changé au cours des siècles, donnant naissance à deux systèmes principaux : système de classification classique et système de classification phylogénétique :

3.1. Système de classification classique

La première classification utilisée de façon internationale prenant en compte les similitudes et les différences morphologiques fut **la classification classique**, plus souvent appelée **classification de Linné**. En fait, le monde vivant, comme le monde inerte, est passé au crible de la description et de la dénomination, et la principale figure de la science des classifications naturalistes fut le savant suédois **Carl von Linné** (1707-1778).

Il est, en effet, indéniable qu'il a marqué l'histoire naturelle par l'ampleur de son œuvre, par le système de classification qu'il est parvenu à imposer en son temps, ainsi que par la méthode de dénomination des espèces qu'il a proposée et qui est toujours en vigueur aujourd'hui.

Au moment de ces avancées, le microscope n'était pas encore très utilisé et pas aussi puissant que les modèles actuels. Carl Linné classa, selon les caractéristiques observables et le travail de ses prédécesseurs, des penseurs populaires tels qu'**Aristote**, tout sur Terre en trois règnes :

- ✓ le règne animal ;
- ✓ le règne végétal (les légumes, que nous appelons à présent les « Plantes ») ;
- ✓ le règne minéral (comprend tout ce qui n'est pas vivant).

La figure 1 montre les règnes proposés par Linné :

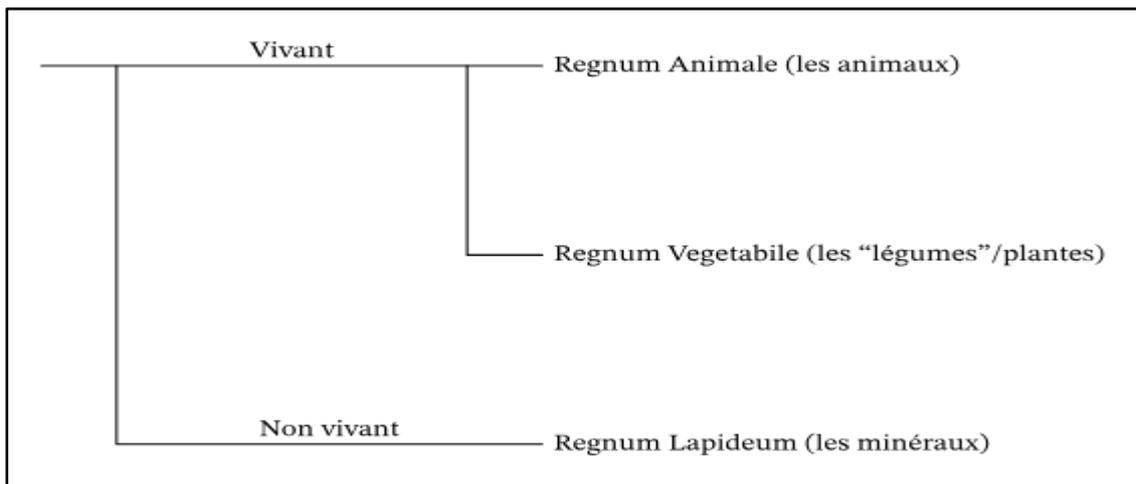


Figure 1 : Diagramme représentant les trois règnes de Linné. « Regnum » est le mot latin pour « règne ».

Linné a également développé le système de **classification hiérarchique** dans lequel les organismes sont divisés en groupes de plus en plus spécifiques. Ces groupes sont appelés des « taxons », et appartiennent à des niveaux taxonomiques qui sont classés de large et général à petit et spécifique. Le **règne** est le plus général de ces niveaux dans le système Linnéen. Le reste des rangs taxonomiques, du plus grand au plus petit, sont l'**embranchement**, la **classe**, l'**ordre**, la **famille**, le **genre** et l'**espèce**. La figure 2 illustre les rangs taxonomiques et leur ordre :

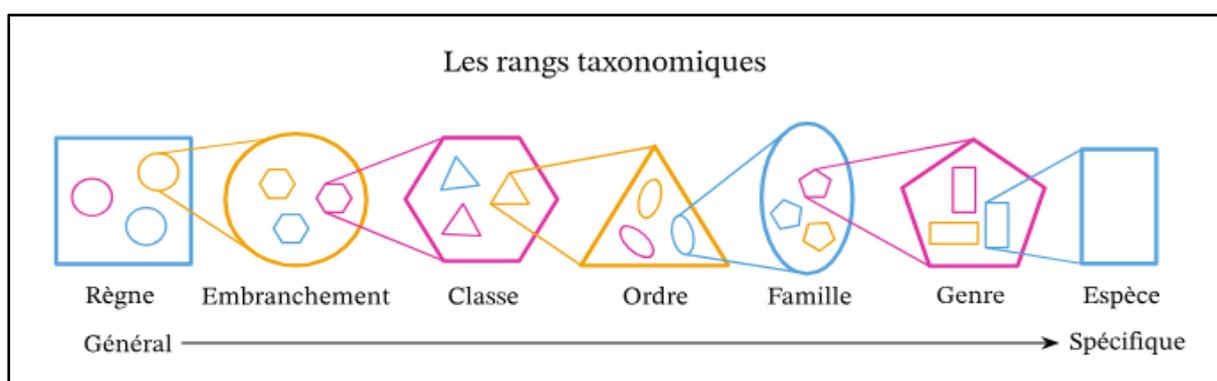


Figure 2 : Diagramme montrant la hiérarchie taxonomique, du règne aux espèces

Ces classifications se basaient sur le choix de **caractères morphologiques** dits « **pertinents** » qui permettaient de subdiviser le vivant en fonction de la présence ou de l'absence de ces caractères. Cette approche a donc permis de classer harmonieusement les organismes vivants à partir d'un ensemble de dichotomies basées sur la présence ou l'absence

d'un caractère et donc de définir une hiérarchie stricte de rangs taxinomiques du règne à l'espèce.

Par exemple :

- ✓ les thallophytes (lichens, algues, champignons) étaient caractérisés par l'absence de structures différenciées et étaient opposés aux cormophytes qui eux possédaient des structures différenciées telles que des racines ou des feuilles.
- ✓ pour le classement des plantes Linné utilise l'organisation (nombre, forme, disposition...) des étamines et du pistil qui constituent les organes sexuels de la plante.
- ✓ pour les animaux, il utilise des critères plus variés, notamment les dents chez les mammifères, mais il mobilise également la position et le nombre des mamelles,...ect.

La figure 3 illustre un exemple de la classification de l'une de la Famille des félins : Léopard **Panthera pardus**, selon le système de classification hiérarchique établi par Linné :

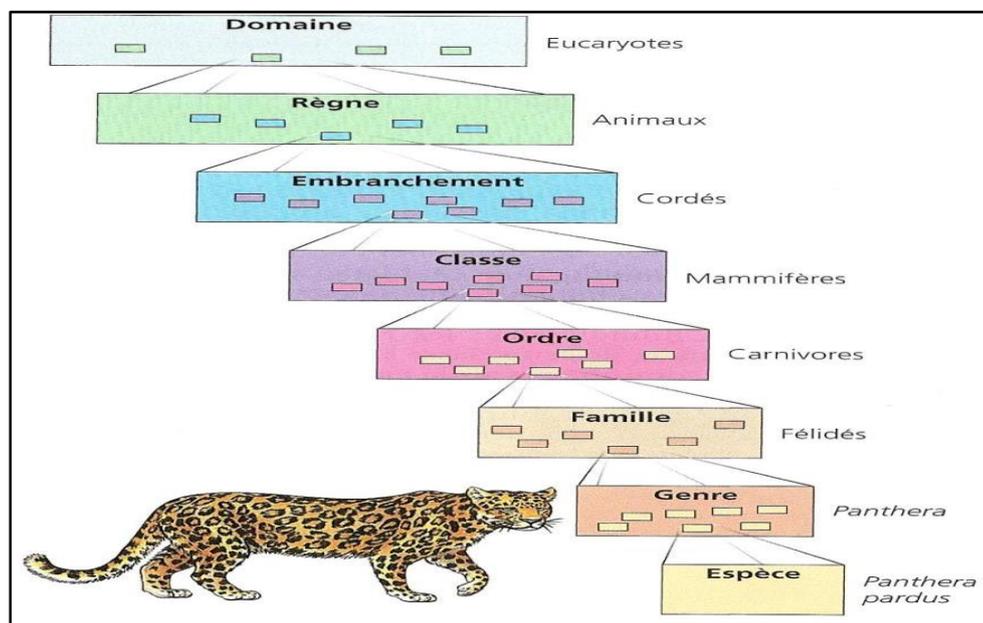


Figure 3 : Classification du Léopard *Panthera pardus*

À peu près à la même période, les progrès de la technologie du microscope, ainsi que son utilisation croissante, ont ouvert la voie à de nouvelles découvertes. Lorsque les organismes microscopiques ont été étudiés et mieux compris, la ligne qui sépare l'animal de la plante est devenue plus floue. Un troisième règne, Protista, a été proposé pour inclure les divers organismes unicellulaires et microscopiques qui ne semblaient être ni des plantes ni des animaux.

Les progrès de la microscopie ont également mis en évidence des différences entre les organismes au niveau cellulaire. Les scientifiques voyaient pour la première fois des structures subcellulaires et des organites, ainsi que de petits organismes unicellulaires comme les bactéries. Ces petits organismes ne possèdent pas de noyau, contrairement aux cellules des plantes, des animaux et des protistes. Par conséquent, un autre règne, Monera, a été créé pour inclure ces organismes, appelés des « procaryotes ».

La classification traditionnelle ou classique divise, en fait, le monde vivant en six règnes :

- les bactéries (procaryotes = unicellulaires dépourvus de noyau) ;
- les archées (procaryotes, souvent extrêmophiles) ;
- les protistes (eucaryotes le plus souvent unicellulaires) ;
- les champignons (eucaryotes multicellulaires hétérotrophes qui décomposent) ;
- les végétaux (eucaryotes multicellulaires, réalisant la photosynthèse) ;
- les animaux (eucaryotes multicellulaires hétérotrophes qui ingèrent des composés carbonés – animaux, végétaux).

Enfin, Linné a proposé d'utiliser **une nomenclature binomiale** pour désigner les espèces (figure 4). Il s'agit donc d'associer le nom latin du genre à un adjectif. L'ensemble des deux mots constituant le nom d'espèce. Les règles de convention pour l'écriture du nom d'une espèce sont :

- le premier mot : correspond au nom du genre, écrit en italique et commençant par une majuscule (**exemple : *Messor***) ;

- le deuxième mot : correspond au nom de l'espèce, écrit en italique et commençant par une minuscule (**exemple : *barbarus***) ;
- le tout est suivi du nom du taxonomiste qui l'a décrit la première fois, ainsi que la date de cette première description. On différencie néanmoins 2 cas :

1) le nom du taxonomiste et la date sont mis entre parenthèses si depuis le nom du genre et/ou de l'espèce a été modifié par d'autres auteurs depuis sa première description **exemple : *Messor barbarus* (Linné, 1767)**, qui était initialement décrite sous le nom de "*Aphaenogaster barbara*".

2) le nom et la date ne sont pas mis entre parenthèses si le nom du genre et/ou de l'espèce n'a pas été modifié depuis sa première description **exemple : *Messor bouvieri* Bondroit, 1918**.



Figure 4 : Système de nomenclature binominale proposé par Linné

La classification de Linné (père du concept de biodiversité par son identification de près de 6 000 espèces végétales et 4 400 animales, s'inscrit dans un contexte historique plurimillénaire. Elle est donc fixiste et constitue le modèle dominant du rapport de proximité anatomique entre les espèces jusqu'au XIX^e siècle.

Il faudra attendre **1950** pour qu'un ouvrage intitulé Fondements d'une théorie de la systématique phylogénétique écrit par le grand entomologiste allemand **Willi Hennig** révèle les incohérences de la classification de Linné, en **1960** cette classification phylogénétique

devient la référence absolue au point même de remplacer la classification de Linné quelques années plus tard :

3.2. Système de classification moderne

La classification moderne, dite **phylogénétique** : est une forme de classification des êtres vivants qui repose sur leur phylogénie. Contrairement à la classification classique, la classification moderne a pour but de classer le vivant à partir des liens de parenté entre les différents organismes vivants et donc de déterminer leur histoire évolutive. Le principe de base de cette classification est de placer les êtres vivants à l'intérieur de groupes dits * **monophylétiques** * qui comprennent tous les descendants d'un ancêtre commun.

En fait, suite à la publication des travaux de Willi Hennig, en 1950, appliquant les principes énoncés par Charles Darwin (1809-1882), il a été établi que les êtres vivants évoluaient au cours du temps, c'est-à-dire que les espèces se transforment et transmettent leurs caractères de génération en génération. Ce mécanisme étant à la base de la diversité des êtres vivants, il en résulte que la classification du vivant doit donc refléter l'évolution des espèces.

La classification phylogénétique permet donc par une approche sans a priori de mettre en évidence les liens de parenté entre les êtres vivants et donc de donner une base évolutive à la classification du vivant. Ainsi, la classification classique de part ses bases fixistes (pas de transformation des espèces vivantes) présente le désavantage majeur de ne pouvoir refléter l'évolution des espèces. De plus, les caractères dits « pertinents » choisis ne reflétaient pas toujours des événements évolutifs clefs.

3.2.1. L'arbre phylogénétique

L'évolution des espèces peut ainsi se représenter sous forme d'un arbre phylogénétique (figure 5). En classification phylogénétique, un arbre phylogénétique est un diagramme qui montre l'histoire évolutive d'un groupe particulier d'espèces biologiques apparentées (ou d'autres taxons). Il représente les relations évolutives entre les organismes.

Les arbres phylogénétiques sont des hypothèses, pas des faits définitifs, ils montrent :

- ✓ le modèle par lequel l'espèce descend d'un ancêtre commun ;
- ✓ Il montre quand certains taxons et lignées sont apparus et ;

- ✓ à quel point ces taxons sont étroitement liés.

Pour construire des arbres précis et significatifs, les scientifiques comparent et analysent souvent de nombreuses caractéristiques des espèces ou d'autres groupes impliqués. Ces caractéristiques peuvent inclure :

- ✓ les séquences d'ADN et de protéines ;
- ✓ la morphologie externe (forme/apparence) ;
- ✓ l'anatomie interne ;
- ✓ les comportements ;
- ✓ les voies biochimiques et même ;
- ✓ les caractéristiques des fossiles.

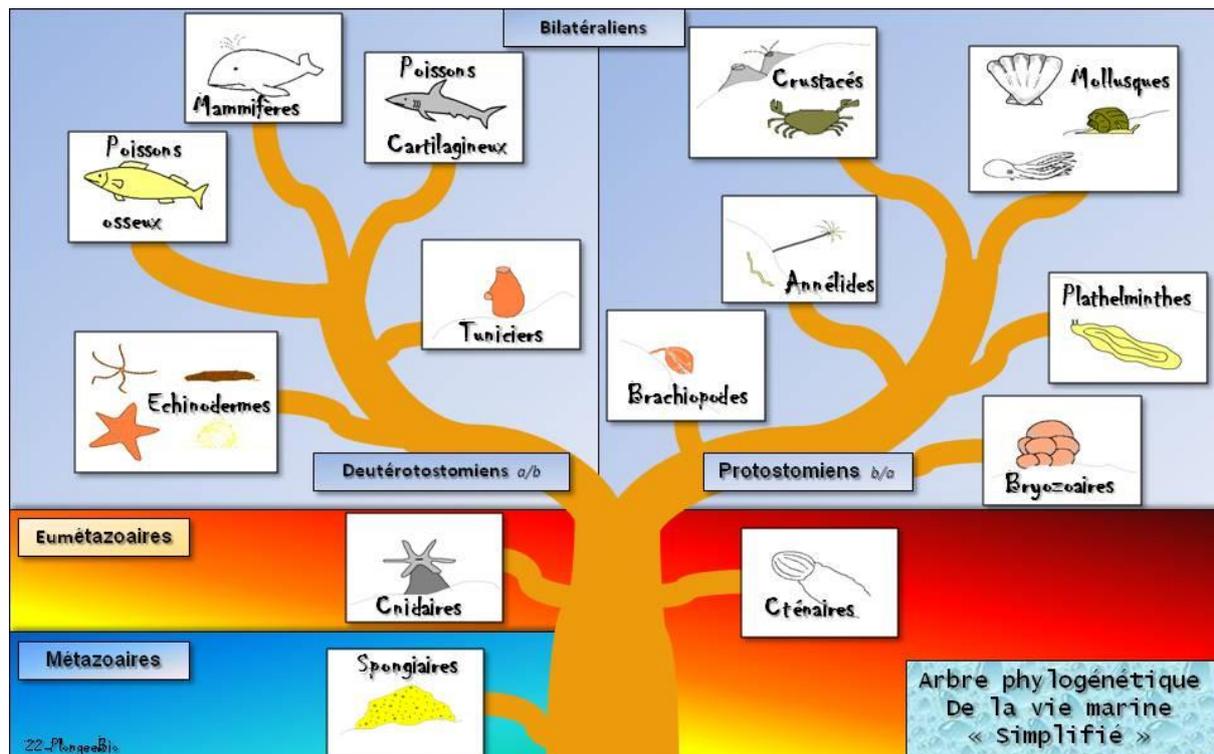


Figure 5 : Arbre phylogénétique de la vie marine 'simplifié

Chapitre III : La biodiversité au niveau des trois compartiments de la biosphère (Eau, sol, air)

I. La biodiversité au niveau des trois compartiments de la biosphère (Eau, sol, air)

1. Introduction

La biosphère est l'ensemble des organismes vivants et leurs milieux de vie, donc la totalité des écosystèmes présents que ce soit dans la lithosphère (la couche solide de la Terre), l'hydrosphère (les océans et les eaux) et l'atmosphère (l'air) où la vie s'est développée.

Au sens littéral, la biosphère représente la sphère de la vie, c'est-à-dire le volume dans lequel évoluent les êtres vivants. Elle englobe, en effet, tous les espaces de la planète où se développe la biodiversité.

2. La biodiversité des sols (Biodiversité terrestre)

2.1. Introduction

Le sol, un compartiment majeur des écosystèmes terrestres, représente un écosystème très particulier puisqu'il constitue un des réservoirs de biodiversité les plus importants de la planète. Il sert d'habitat ponctuel ou permanent à un grand nombre d'organismes vivants : des bactéries, des végétaux, des champignons, des invertébrés, voire des mammifères.

Cette richesse biologique très hétérogène est à l'origine même du fonctionnement du sol et de tous les services écosystémiques qu'il rend à l'Homme, comme notre alimentation, notre espace de vie ou notre climat. Mieux le caractériser, mieux le comprendre, ne pourra que nous aider à mieux le gérer pour le sauvegarder et pérenniser le trésor qu'il constitue pour les futures générations.

2.2. Le sol : un réservoir de biodiversité

Le sol est un des principaux réservoirs de biodiversité, puisqu'il héberge environ un quart (1/4) de la biodiversité (diversité taxonomique) totale de la planète. Le niveau d'abondance et de diversité biologique peut varier très largement d'un sol à l'autre, selon divers facteurs, dont la teneur en matière organique, la composition minérale du sol (la texture notamment), le pH et les pratiques de gestion du sol.

Cette biodiversité n'est pas seulement très élevée en nombre, elle peut également être fonctionnelle. En effet, les organismes du sol entretiennent des relations complexes entre eux, mais influent aussi sur les écosystèmes tout entiers en contrôlant notamment la circulation des matières essentielles à la vie des plantes (carbone, azote, phosphore, potassium...).

2.3. Les organismes du sol

Les organismes du sol sont généralement classés en quatre groupes selon la taille des individus : micro-organismes (ou microflore), microfaune, mésofaune et macrofaune). Cette classification reflète notamment la capacité des différents organismes à circuler dans les pores du sol (figure 6). De plus, la flore supérieure (arbres, arbustes, plantes herbacées) intervient par sa partie racinaire, qui représente une biomasse importante et assure d'importantes fonctions dans le sol.

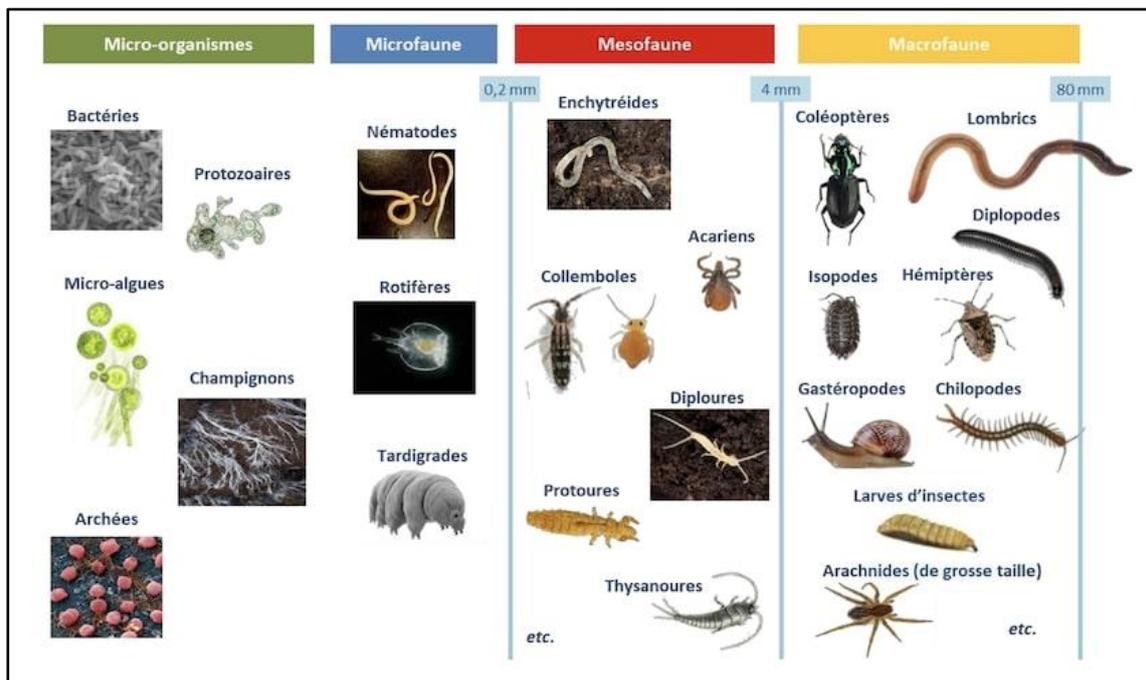


Figure 6 : Schéma des différents groupes de la biodiversité du sol

2.3.1. Les micro-organismes du sol (microflore)

Les micro-organismes du sol sont extrêmement abondants et d'une grande diversité taxonomique et fonctionnelle. Ils comprennent des bactéries, des champignons, des microalgues, des archées et des protistes. Le fonctionnement biologique des sols est fortement lié à l'activité microbienne, ce qui confère à ces micro-organismes un rôle majeur dans de nombreuses fonctions du sol.

✓ Les bactéries

Les bactéries sont de loin les microorganismes du sol les plus nombreux et les plus divers. Elles présentent une grande variété de formes et de tailles (majoritairement inférieures

à 2 µm). On estime qu'un gramme de sol renferme environ un milliard de bactéries et entre 2000 et 10000 espèces bactériennes selon leur état de santé.

Les bactéries du sol sont considérées comme les ingénieurs chimiques du sol. Elles réalisent un très grand nombre de fonctions impliquées par exemple dans :

- ✓ la minéralisation des matières organiques ;
- ✓ le cycle de l'azote ;
- ✓ la disponibilité du phosphore ou encore la dégradation de molécules phytosanitaires ;

De plus, certaines bactéries, notamment celles dites PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria, des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes), ont la capacité de développer des symbioses avec les plantes, qui leur permettent d'augmenter la mise à disposition d'éléments nutritifs pour leur croissance.

Les bactéries peuvent également favoriser la dépollution des sols contaminés par des métaux lourds (on parle d'éléments traces métalliques ou ETM), en modifiant leur disponibilité mais interviennent surtout dans la dépollution des composés organiques tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) en les minéralisant au moins partiellement.

✓ **Les champignons**

Les champignons sont communément classés en deux groupes : les levures unicellulaires, les champignons : pluricellulaires, qui forment des ramifications appelées hyphes.

Les champignons (ex : mycorhiziens) forment des associations symbiotiques avec les racines des plantes. Ces symbioses plante-champignon sont extrêmement répandues et concernent 80 à 90% des espèces végétales. Dans cette relation à bénéfice réciproque, le champignon reçoit de la plante des éléments nécessaires à sa croissance comme les sucres et les vitamines. Il absorbe de son côté divers éléments du sol, dont le phosphore, qu'il transfère en retour à la plante et accroît ainsi considérablement le volume de sol exploré par les plantes pour leur croissance.

2.3.2. La faune du sol

La faune du sol est définie : comme l'ensemble des animaux qui ont au moins une partie de leur cycle biologique dans le sol. Cette faune représente près d'un quart (23%) de la diversité totale des organismes vivants décrite à ce jour et elle se localise principalement dans les 10 à 20 premiers centimètres du sol et ses annexes (litière, bois mort etc.).

On peut diviser la faune du sol en 4 groupes : la microfaune, la mésofaune, la macrofaune et la mégafaune :

✓ **la microfaune**

Invisible à l'œil nu, la microfaune est constituée d'individus généralement plus petits que 200 µm qui peuvent donc vivre dans la porosité capillaire du sol. Les protozoaires et les nématodes constituent l'essentiel de la microfaune, avec comme groupes secondaires : les rotifères, les tardigrades, les gastrotriches et certains petits turbellariés. Ces organismes jouent un rôle important dans les cycles biogéochimiques, car ils se nourrissent en partie de matière organique en décomposition, mais aussi des bactéries et des champignons qui y sont présents, contrôlant leur abondance.

✓ **La mésofaune**

La mésofaune (ou micro-arthropodes ou encore méso-invertébrés) est constituée d'animaux ayant une taille entre 0,2 à 4 mm environ. Les collemboles et les acariens sont les deux principaux représentants de ce groupe. Les protoures, diploures, thysanoures, les enchytréides, et les myriapodes symphiles, font également partie de la mésofaune mais leur abondance est bien plus faible.

Les collemboles : sont probablement le groupe d'hexapode le plus abondant sur Terre (jusqu'à 200'000 individus au m⁻² dans des sols bruns) et avec une forte diversité (environ 8000 espèces connues. Les collemboles sont essentiellement **1**) décomposeurs, se nourrissant d'hyphes mycéliens et de matières organiques, ils se retrouvent donc surtout dans le sol et les litières (feuilles et bois morts). **2**) Ils ont ainsi un rôle majeur dans les processus de décomposition de la litière par micro-fragmentation et brassage de la matière organique.

Avec plus de 48 000 espèces déjà décrites, **les acariens** colonisent de nombreux habitats notamment ceux riches en matières organiques (tourbe, bois en décomposition, litières etc). Comme les collemboles, la plupart des acariens contribuent à **1**) fragmenté la matière organique en produisant des boulettes fécales et, **2**) régulent ainsi, de façon indirecte, les communautés microbiennes.

✓ **La macrofaune**

La macrofaune comprend des animaux d'environ 4 à 80 mm. Il s'agit de vers de terre, d'insectes larvaires et adultes (hyménoptères, coléoptères et diptères (larves) majoritairement), de myriapodes, d'araignées, de mollusques, de crustacés. Ces animaux sont

aussi groupés selon leur mode de nutrition ; les prédateurs, les décomposeurs, les géophages (se nourrissent de terre) et les phytophages (figure 7) :

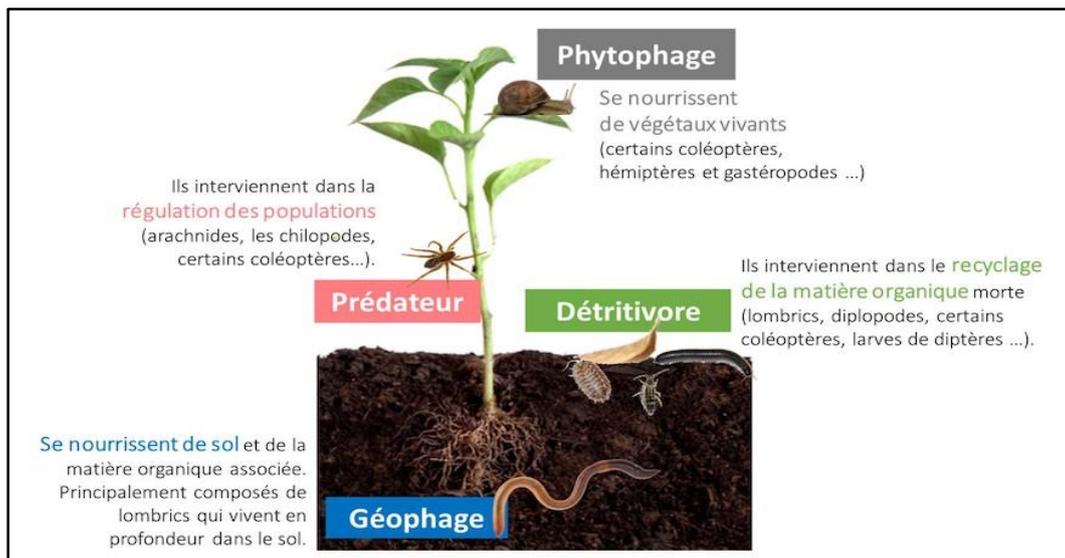


Figure 7 : Les quatre groupes écologiques de la macrofaune

Enfin :

✓ **la mégafaune**

La mégafaune du sol (> 8 cm) : comprend des petits vertébrés tels que les taupes et de nombreux rongeurs (mulot, campagnol, hamster, etc.).

La faune du sol, dans son ensemble, joue un rôle de vecteur de dispersion et d'activation de la microflore dans le sol et également dans la rhizosphère. En effet, les micro-organismes étant peu mobiles et peu actifs dans le sol, ils attendent d'autres organismes tels que la faune et les végétaux, qui les mettront en présence de substrats organiques. Ce phénomène est connu sous le nom du « **paradoxe de la Belle au Bois Dormant** ».

Ainsi, certains organismes de la microfaune et de la mésofaune des sols sont utilisés comme bioindicateurs (ex : Vers de terre, nématodes, Collemboles).

3. La biodiversité de l'eau (Biodiversité aquatiques)

3.1. Définition et importance

La biodiversité aquatique fait référence à la variété des organismes vivants qui habitent les écosystèmes aquatiques tels que les océans, les lacs, les rivières et les marais. Elle englobe une vaste gamme d'espèces, allant des poissons et des mammifères marins aux plantes aquatiques et aux micro-organismes.

La biodiversité aquatique joue un rôle crucial dans le maintien de l'équilibre des écosystèmes aquatiques. Les différentes espèces qui composent la biodiversité aquatique interagissent les unes avec les autres et avec leur environnement, contribuant ainsi à la stabilité et à la résilience des écosystèmes.

Les espèces aquatiques, telles que les poissons, les crustacés et les mollusques, sont souvent au sommet de la chaîne alimentaire, régulant ainsi les populations d'autres espèces et maintenant l'équilibre écologique. Les plantes aquatiques, comme la Pontédérie, fournissent de l'oxygène, absorbent les nutriments et offrent un habitat à de nombreuses espèces aquatiques.

De plus, la biodiversité aquatique contribue à la purification de l'eau en éliminant les substances nocives et en maintenant la qualité de l'eau. Elle joue également un rôle essentiel dans la régulation du climat en absorbant le dioxyde de carbone et en produisant de l'oxygène.

Par ailleurs, la biodiversité aquatique est une source importante de nourriture, de médicaments et de ressources économiques pour de nombreuses communautés à travers le monde. Elle offre également des opportunités récréatives et esthétiques, en permettant aux gens de profiter de la beauté et de la diversité des écosystèmes aquatiques.

3.2. Organismes aquatiques

Il existe tout un ensemble d'organismes adaptés à la vie aquatique. Ces êtres constituent la flore et la faune des eaux. Ils jouent chacun leur rôle dans l'équilibre complexe qui régit les biotopes aquatiques :

3.2.1. Flore aquatique

La flore aquatique est l'ensemble des végétaux vivants dans les milieux aquatiques (eaux douces ou salées). Elle inclut généralement :

✓ Les plantes aquatiques

Les plantes aquatiques, souvent appelées macrophytes, sont des plantes visibles à l'œil nu, poussant dans l'eau, totalement ou partiellement. Elles comprennent (figure 8) :

- **Les plantes aquatiques émergentes** : sont enracinées aux sédiments et certaines de leurs parties, telles les feuilles et les fleurs, poussent à l'extérieur de l'eau. On les retrouve dans les endroits peu profonds près de la rive.

- **Les plantes aquatiques à feuilles flottantes** : ont des racines ancrées aux sédiments, mais leurs feuilles et leurs fleurs flottent à la surface de l'eau.

- **Les plantes aquatiques submergées** : sont enracinées aux sédiments et croissent entièrement sous la surface de l'eau. Cette catégorie de plantes regroupe toutes les espèces dont les feuilles se développent sous l'eau.

- **Les plantes aquatiques flottantes** : ont des feuilles qui flottent à la surface de l'eau mais, contrairement aux autres plantes aquatiques, elles circulent librement dans l'eau, car leurs racines ne sont pas ancrées aux sédiments. On les retrouve généralement dans les endroits où il y a peu de courant et où les concentrations en nutriments sont élevées.

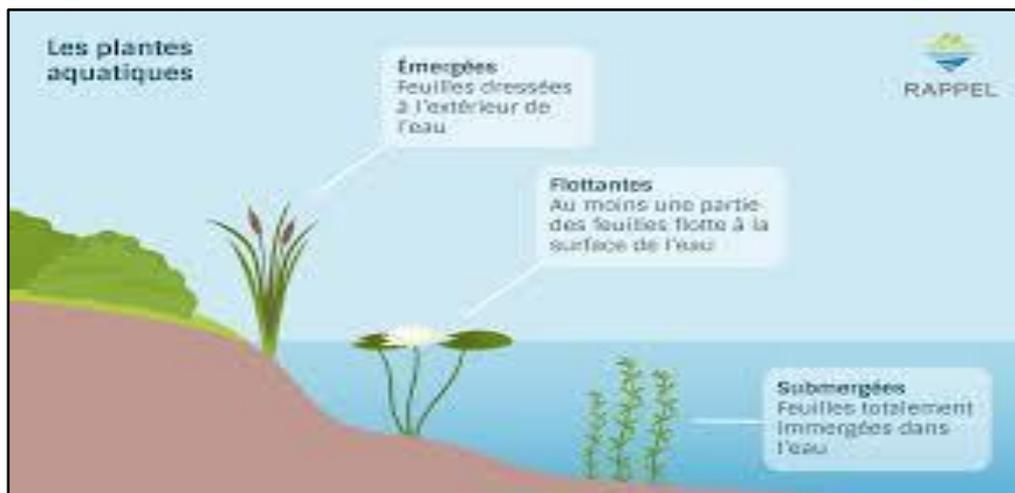


Figure 8 : Les plantes aquatiques

L'activité photosynthétique des plantes aquatiques implique une consommation de gaz carbonique ainsi qu'une production d'oxygène et de matière organique essentielles à la vie des lacs et des cours d'eau. Elles jouent un rôle primordial de filtre en retenant les particules en suspension et en absorbant les éléments dissous. Les plantes aquatiques constituent par ailleurs un habitat naturel pour la faune en lui offrant abris, nourriture et sites de reproductions.

✓ **Les algues**

Les algues aquatiques (figure 9) sont des organismes végétaux, généralement photosynthétiques, qui vivent dans les milieux aquatiques (eau douce ou eau salée). Elles peuvent être microscopiques (comme le phytoplancton) ou macroscopiques (comme les algues brunes, rouges ou vertes visibles à l'œil nu). Contrairement aux plantes, elles n'ont pas de racines, tiges ou feuilles véritables.

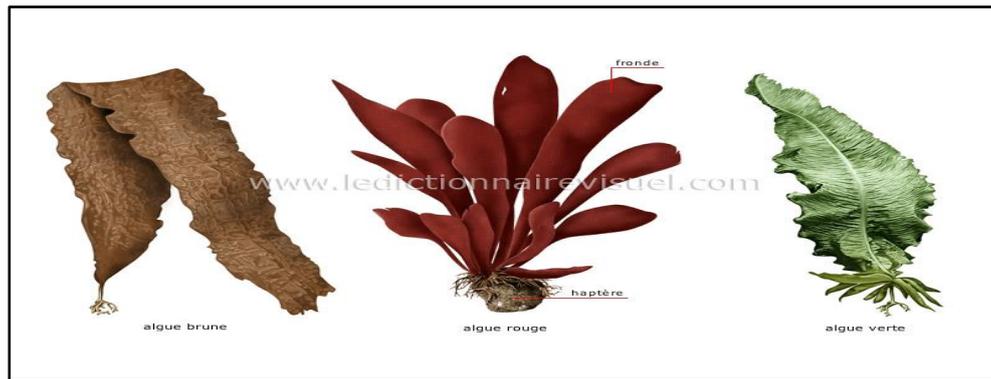


Figure 9 : Exemples d'algues

Les algues jouent un rôle essentiel dans les écosystèmes aquatiques. Elles assurent les fonctions suivantes :

- **Producteurs primaires :**

Les algues réalisent la photosynthèse, produisent de l'oxygène et constituent la base de la chaîne alimentaire aquatique.

- **Habitat :**

Les algues fournissent un abri et des zones de reproduction pour de nombreuses espèces aquatiques (poissons, invertébrés...).

- **Épuration de l'eau :**

Certaines algues absorbent des nutriments et des polluants, aidant à purifier l'eau (utilisées en phytoremédiation).

- **Régulation du carbone :**

Les algues absorbent le dioxyde de carbone (CO_2) et jouent un rôle important dans le cycle du carbone.

La vie aquatique est fortement dépendante de la présence ou de l'absence de cette végétation, et selon le type de végétation rencontrée, elle peut être un bon indicateur de la qualité de l'eau.

3.2.2. Faune aquatique

La faune aquatique se compose de deux grands groupes : les invertébrés et les vertébrés :

3.2.2.1. Invertébrés aquatiques

Les invertébrés aquatiques constituent la majeure fraction de la diversité aquatique, où ils sont indispensables au bon fonctionnement de l'écosystème (niveaux inférieurs du réseau trophique, recyclage de la matière organique, etc.). Les invertébrés désignent les animaux qui

n'ont pas de colonne vertébrale, ils regroupent les insectes, crustacés, mollusques et autres invertébrés visibles à l'œil nu (taille > 0,5 mm) et dont au moins une partie du cycle de vie se déroule dans le milieu aquatique :

✓ **Insectes aquatiques**

Les insectes aquatiques (figure 10) ou insectes de l'eau vivent une partie ou la totalité de leur cycle de vie dans l'eau. La majorité des insectes aquatiques, dont les libellules, les dytiques et les phryganes, vivent en eau douce. Dans ce milieu, leur diversité et leur nombre surpassent de 12 fois celle des autres animaux y habitant, dont les poissons, les amphibiens et les crustacés.



Figure 10 : Insectes aquatiques

Les insectes aquatiques ont une influence majeure sur la qualité des eaux et la dynamique écologique des habitats dans lesquels ils vivent :

- **Recyclage des matières organiques** : de nombreuses larves comme celles des éphémères et des chironomes participent à la décomposition des matières organiques, favorisant ainsi le renouvellement des nutriments essentiels à la vie aquatique.
- **Chaînon alimentaire essentiel** : ils constituent une source de nourriture fondamentale pour de nombreux animaux, notamment les poissons, les amphibiens et les oiseaux.
- **Régulation des populations** : les espèces prédatrices, comme les larves de libellules ou les dytiques, aident à limiter les populations d'autres organismes aquatiques.

- **Indicateurs de la qualité de l'eau** : certaines espèces sont très sensibles à la pollution et permettent de mesurer l'état écologique des milieux aquatiques. Les éphémères, par exemple, sont souvent des bio-indicateurs de la pureté de l'eau.

✓ Crustacés

Les crustacés font partie de la classe d'animaux aquatiques du phylum Arthropoda (figure 11), composant un important groupe d'organismes invertébrés. La plupart des espèces sont aquatiques (marines ou dulçaquicoles), quelques-unes mènent une vie partiellement ou totalement terrestre (comme les cloportes, des isopodes).



Figure 11 : Crustacés : invertébrés arthropodes

Comme les insectes aquatiques, les crustacés jouent un rôle clé dans l'équilibre écologique. Ils sont à la base de la chaîne alimentaire et soutiennent une grande diversité d'animaux aquatiques en leur servant de nourriture. Plusieurs espèces vivent en colonies qui peuvent servir d'abri à d'autres espèces, créant ainsi des micro-habitats. Les crustacés nettoient également l'eau en filtrant le phytoplancton ou les particules organiques, ce qui aide à maintenir la qualité de l'eau.

✓ Mollusques

Molluque : animal invertébré des milieux aquatiques ou humides, à morphologie très variable, dont le corps mou est souvent protégé par une coquille calcaire. L'embranchement des mollusques (du latin molluscus, mou) comprend 100.000 espèces vivantes dont 99% appartiennent aux bivalves et aux gastéropodes.

Les mollusques jouent un rôle conséquent dans le fonctionnement des écosystèmes ; les mollusques aquatiques sont la proie de nombreux prédateurs Invertébrés (Sangsues, Ecrevisses) et Vertébrés (Poissons, Oiseaux, Mammifères). Ainsi que Les fèces de

Gastéropodes, riches en mucoprotéines, constituent également une nourriture facilement assimilable par la faune détritivore (se nourrissent de débris animaux, végétaux ou fongiques) ; sont aussi d'excellents bioindicateurs de la qualité de l'eau ; ont la capacité de mettre en évidence des signes précurseurs d'altération du milieu naturel dans lequel ils vivent.



Figure 12 : Les mollusques

3.2.2.2. Vertébrés aquatiques

Les vertébrés aquatiques sont des animaux caractérisés par la présence d'un squelette interne composé d'une colonne vertébrale. Les vertébrés aquatiques forment un groupe très diversifié, ils appartiennent, en effet, à des classes très différentes, avec des caractéristiques biologiques adaptées à la vie en eau douce ou salée. Parmi les vertébrés aquatiques, on compte notamment les poissons, les tortues, ou encore les mammifères marins :

✓ Les poissons

Avec plus de 33 000 espèces décrites, les poissons (figure 13) présentent une diversité spécifique plus importante que n'importe quel autre groupe de vertébrés aquatiques. Ce sont des animaux à branchies, pourvus de nageoires et dont le corps est le plus souvent couvert d'écailles. Les poissons sont ovipares, c'est-à-dire qu'ils pondent des œufs. On les trouve aussi bien dans les eaux douces que dans les mers, depuis les sources de montagnes jusqu'au plus profond des océans.

Les poissons occupent des niches écologiques variées dans les écosystèmes aquatiques, ce qui leur confère plusieurs fonctions écologiques essentielles :

- **Régulation des populations** : en tant que prédateurs (ex. : carnivores comme les thons ou les brochets), ils contrôlent les populations d'autres organismes (insectes aquatiques, petits poissons, crustacés), maintenant ainsi l'équilibre trophique.
- **Chaînon alimentaire clé** : ils servent aussi de proies à de nombreux animaux (oiseaux piscivores, mammifères marins, humains), jouant un rôle central dans les réseaux trophiques aquatiques.
- **Recyclage de la matière organique** : certains poissons, dits détritivores ou nécrophages, se nourrissent de matière en décomposition, contribuant ainsi au recyclage des nutriments et à la propreté des fonds aquatiques.
- **Cycle des nutriments** : par leurs excréments riches en azote et en phosphore, les poissons participent à l'enrichissement des écosystèmes, favorisant la productivité primaire (développement du phytoplancton et des végétaux aquatiques).
- **Bioindicateurs** : la présence, l'abondance ou la disparition de certaines espèces de poissons peut refléter l'état de santé d'un écosystème aquatique (pollution, réchauffement, etc.).



Figure 13 : Les poissons : vertébrés aquatiques

✓ Les tortues aquatiques

Les tortues aquatiques (figure 14) sont des reptiles qui passent une grande partie de leur vie dans l'eau, bien que certaines espèces viennent régulièrement sur terre, notamment pour la reproduction. Les tortues aquatiques sont des reptiles pulmonés, ce qui signifie qu'elles

respirent de l'air grâce à leurs poumons. Elles remontent donc régulièrement à la surface pour respirer, mais peuvent aussi passer de longues périodes sous l'eau en limitant leur consommation d'oxygène.



Figure 14 : Tortues aquatiques

Les écosystèmes aquatiques sont d'une richesse incontestable, et les tortues aquatiques, qu'elles soient des tortues de mer ou des espèces d'eau douce, jouent un rôle essentiel dans la biodiversité de ces habitats :

- **Prédateurs et régulateurs** : En tant que prédateurs, elles régulent les populations de divers organismes aquatiques, notamment les mollusques, les crustacés et les poissons.
- **Impact sur la végétation aquatique** : Certaines tortues aquatiques contribuent à maintenir l'équilibre écologique en consommant certaines plantes aquatiques envahissantes.
- **Bioindicateurs** : Leur présence et leur comportement peuvent être des indicateurs de la qualité de l'eau. Par exemple, une diminution de leur nombre peut signaler une pollution de l'habitat.

✓ Les mammifères marins

Les mammifères marins (figure 15) représentent un groupe d'espèces assez varié qui comprend aussi bien les baleines, les dauphins, les phoques que les otaries. Ils partagent des caractéristiques communes avec les mammifères terrestres, respiration aérienne, régulation de la température corporelle et reproduction vivipare, tout en présentant des adaptations spécifiques à la vie dans aquatique.



Figure 15 : Exemples de mammifères marins

Les mammifères marins sont des acteurs clés des écosystèmes marins :

- **Régulation des populations de proies** : les otaries et phoques, par exemple, sont des prédateurs importants qui régulent les populations de poissons et de mollusques dans leurs habitats respectifs, contribuant à l'équilibre des chaînes alimentaires marines.
- **Contribution à la santé des écosystèmes** : les mammifères marins, comme les baleines, peuvent affecter la productivité marine grâce à un phénomène appelé fertilisation de l'océan, en remontant à la surface pour respirer et en se nourrissant dans les eaux profondes, leurs excréments riches en nutriments favorisent la croissance du phytoplancton, base de la chaîne alimentaire marine.
- **Indicateurs de santé des océans** : étant des espèces hautement sensibles aux changements environnementaux, les mammifères marins sont souvent considérés comme des bioindicateurs de la santé des écosystèmes marins. Leur présence ou absence, ainsi que leur état de santé, peut renseigner sur la qualité de l'eau et l'état général des mers et des océans.

III. Biodiversité de l'air (Biodiversité atmosphériques)

La biodiversité de l'air (ou biodiversité atmosphérique) n'est pas une expression couramment utilisée dans les sciences de la nature, car la biodiversité désigne généralement la diversité du vivant (espèces, gènes, écosystèmes) et l'air ou l'atmosphère est un milieu abiotique (non vivant). Cependant, il peut être compris comme : la diversité biologique présente dans l'air (micro-organismes, spores, pollens, etc.) ; la diversité des espèces utilisant

l'air comme milieu de vie ou de déplacement ; les interactions entre biodiversité et atmosphère :

✓ **Les micro-organismes dans l'air**

L'air contient une diversité biologique microscopique : Bactéries aéroportées, Spores de champignons, Pollens, Virus (ex : aérosols viraux), Protistes ou microalgues en suspension ce qu'on appelle parfois le microbiome de l'air ou aérobiome (une composante vivante réelle et étudiée dans certains domaines comme l'écologie microbienne ou la santé publique).

✓ **Interaction entre biodiversité et qualité de l'air**

Les forêts et plantes influencent la composition de l'air (captation du CO₂, production d'oxygène, émission de composés organiques volatils). À l'inverse, la pollution atmosphérique a un impact sur la biodiversité (acidification, dépérissement, maladies, etc.).

✓ **Espèces volantes et usage de l'atmosphère**

On peut aussi considérer la biodiversité des espèces qui utilisent l'atmosphère : Oiseaux, Insectes volants (abeilles, papillons, etc.), Chauves-souris, Espèces migratrices.

Chapitre IV : Les changements de la biodiversité au cours du temps

1. L'évolution de la Biodiversité

La Terre s'est formée il y a 4,55 milliards d'années et l'apparition de la vie sur Terre est datée d'au moins – 3,5 milliards d'années. L'étude de la biodiversité passée s'appuie sur l'analyse des fossiles (restes ou traces d'êtres vivants conservés dans une roche). Ainsi, les études des fossiles montrent que depuis que la vie existe sur Terre, la biodiversité a évolué à l'échelle des temps géologiques. De grands groupes d'êtres vivants sont apparus, ont évolué et certains d'entre eux ont disparu alors que d'autres groupes d'êtres vivants ont émergé.

On estime qu'en plus de 3,5 milliards d'années d'évolution, environ 99 % des espèces totales ayant vécu ou vivant sur Terre ont disparu, c'est-à-dire que les espèces actuelles ne représentent qu'une infime partie du total des espèces ayant existé depuis les débuts de la vie sur Terre. Ainsi, l'état actuel de la biodiversité correspond à une étape de l'histoire du vivant, c'est-à-dire à une étape de l'évolution.

2. Les crises biologiques modifient la biodiversité

Les crises biologiques sont des événements majeurs qui ont touché à plusieurs reprises l'histoire de la Terre. En fait, les études des fossiles ont mis en évidence que 5 grandes crises biologiques ont affecté la vie depuis son apparition sur Terre. Une crise biologique est une période de l'histoire de la Terre marquée par la disparition plus ou moins brutale de groupes entiers d'organismes. Elle se caractérise par l'extinction de nombreuses espèces. Ces extinctions massives sont suivies de phénomènes de diversification, c'est-à-dire d'apparition de nouvelles espèces, qui occupent les milieux libérés par les espèces disparues lors de la crise.

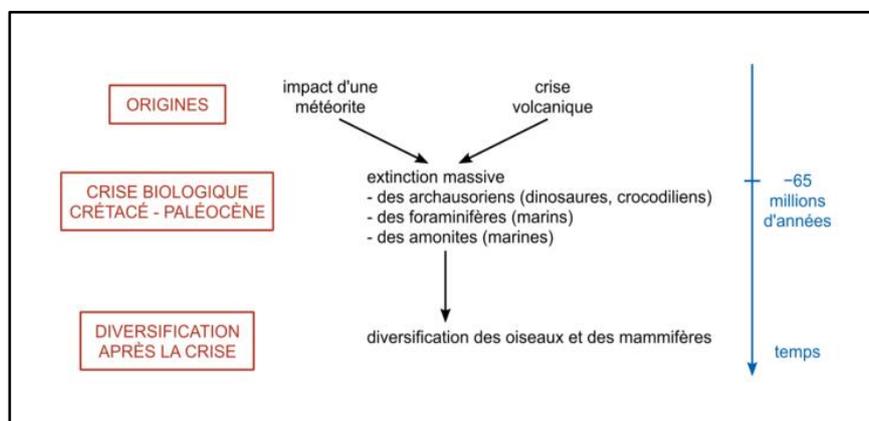


Figure 13 : Un exemple de crise biologique : la crise Crétacée–Paléocène, datée de – 65 millions d'années

Plusieurs hypothèses sont avancées pour expliquer ces crises. On pense actuellement que c'est la conjonction de plusieurs phénomènes géologiques qui est à l'origine de la crise : 1) forte activité volcanique, 2) impact météoritique, 3) Variations climatiques. Actuellement une 6^{ème} crise biologique, conséquence des activités humaines.

3. Une biodiversité bouleversée par l'Homme

Le déclin actuel de la biodiversité se fait à un rythme beaucoup plus rapide que celui d'une crise biologique « normale » telle que celles connues dans le passé géologique de la Terre.

De nombreux scientifiques considèrent que la Terre est en train de connaître une 6^{ème} crise biologique. Les études de l'évolution de la biodiversité montrent que 2 espèces de vertébrés ont disparu chaque année depuis un siècle en moyenne. Environ 41 % des amphibiens et plus d'un quart des mammifères sont menacés d'extinction. Près de la moitié des récifs coralliens a disparu ces 30 dernières années. Au sein des espèces, un appauvrissement du nombre de populations est observé : les populations de plus de 3 000 espèces de poissons, oiseaux, mammifères, amphibiens et reptiles ont diminué de 60 % en seulement quarante ans depuis 1970. En effet, l'homme, apparu récemment dans l'évolution, peuple l'ensemble des continents et a développé des activités nombreuses et variées ayant des conséquences directes et indirectes sur la biodiversité.

3.1. Causes de la perte de biodiversité

Les cinq principales causes directes de destruction de la biodiversité dans le monde, qui proviennent toutes des activités humaines sont :

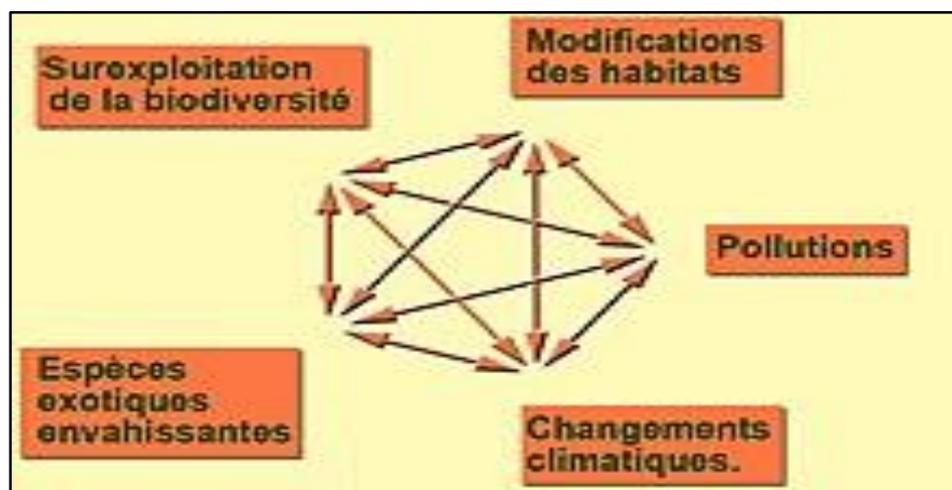


Figure 14 : Les cinq causes majeures d'atteinte à la biodiversité

✓ La destruction et l'artificialisation des milieux naturels

On parle d'artificialisation quand un milieu naturel est fortement transformé par l'homme, jusqu'à perdre ses fonctions écologiques (habitat pour la biodiversité, stockage et filtration de l'eau, stockage de carbone, formation de sols fertiles, etc). Artificialiser un milieu, c'est par exemple construire des infrastructures (un centre commercial, des routes, des parkings, des logements, une mine, un barrage, des rails, etc) à la place d'une forêt ou de terres agricoles. Le rythme d'artificialisation des milieux ne cesse d'augmenter, notamment à cause de l'urbanisation.

✓ La surexploitation des ressources naturelles et le trafic illégal d'espèces

La surexploitation signifie que le rythme d'exploitation ne permet pas aux espèces de reconstituer leur population. Cela concerne surtout les activités de pêche industrielle, d'exploitation forestière et les pratiques illégales de chasse, qui mettent en péril des espèces végétales et animales. Ainsi, le trafic d'espèces sauvages (commerce illicite d'espèces sauvages animales et végétales) relève de la grande criminalité organisée et constitue une menace directe et croissante pour la biodiversité.

✓ Le changement climatique

Tout comme les humains, les espèces animales et végétales subissent déjà les effets du changement climatique. Les sécheresses, incendies, cyclones et autres événements climatiques extrêmes sont de plus en plus fréquents et intenses. De plus, l'augmentation de la température de l'air et de l'eau rend difficile voire impossible la survie de certains écosystèmes. Par exemple, 99% des récifs coraliens, qui abritent plus d'un quart de la biodiversité marine, sont menacés de disparition avec un réchauffement global de 2°C (nous sommes déjà à 1,2°C de réchauffement en moyenne à l'échelle du globe).

✓ Les pollutions diverses

L'eau, l'air et les sols sont affectés par divers types de pollutions, par exemple :

- les pesticides utilisés dans l'agriculture intensive polluent les sols et les cours d'eau
- les procédés industriels et la combustion d'énergies fossiles rejettent des gaz nocifs dans l'atmosphère
- l'extraction minière utilise de nombreux produits chimiques pour extraire les métaux de la croûte terrestre. Les résidus de ces produits (plomb, cyanure, arsenic, cadmium) polluent alors l'eau, le sol et l'air.

Ces pollutions constituent une menace pour la survie de la flore et de la faune.

✓ **Les espèces exotiques envahissantes**

De nombreuses activités humaines (notamment les échanges commerciaux et le tourisme) facilitent le transport, l'introduction, et la propagation d'espèces exotiques envahissantes. Ces espèces peuvent alors bouleverser l'équilibre écologique de l'écosystème dans lequel elles sont introduites.

Par ailleurs, les principaux facteurs indirectement responsables de la perte de biodiversité sont les changements dans la population humaine, l'activité économique et en matière de technologie, ainsi que les facteurs socio-politiques et culturels.

4. La préservation de la biodiversité

Face aux menaces qui pèsent sur la biodiversité, préserver la biodiversité est une nécessité :

4.1. La protection des milieux naturels

- Création d'aires protégées (parcs nationaux, réserves naturelles...)
- Préservation des forêts, zones humides, récifs coralliens, etc.
- Réduction de la fragmentation des habitats (corridors écologiques)

4.2. La restauration des écosystèmes dégradés

- Reboisement, replantation de végétation locale
- Réhabilitation des sols, rivières, et zones polluées
- Réintroduction d'espèces disparues localement

4.3. Des pratiques humaines durables

- Agriculture raisonnée ou biologique, agroécologie
- Pêche durable et quotas de pêche
- Réduction de la pollution (air, eau, sols)

4.4. La lutte contre les espèces invasives

- Prévention de leur introduction
- Contrôle ou éradication des espèces envahissantes

4.5. L'éducation et la sensibilisation

- Informer les citoyens sur l'importance de la biodiversité
- Promouvoir les comportements responsables

4.6. Les politiques et accords internationaux

- Lois et réglementations environnementales
- Accords comme la Convention sur la diversité biologique (CDB)
- Financement de programmes de conservation

5. Mesure de la biodiversité

Face à l'ampleur de la perte de biodiversité et à l'urgence de sa préservation, Il apparaît donc comme nécessaire d'identifier l'état de la biodiversité au fil du temps. Pour mieux comprendre son évolution, il faut l'évaluer ou la mesurer.

La biodiversité peut être mesurée à différentes échelles (génétique, spécifique, écosystémique). Pour évaluer cette diversité, les écologues utilisent des indices et estimateurs qui traduisent la richesse et la répartition des espèces dans un milieu donné.

5.1. Indices de biodiversité (mesures directes)

Les indices sont des outils mathématiques permettant de quantifier la biodiversité dans un échantillon (calculs réalisés à partir des espèces observées dans un échantillon) :

a) La richesse spécifique (S) : c'est le nombre total d'espèces présentes dans un milieu.

Exemple : une forêt avec 5 espèces d'oiseaux : richesse spécifique (S) = 5.

b) L'indice de Shannon (H') : il mesure à la fois le nombre d'espèces et la manière dont les individus sont répartis entre ces espèces. Plus cet indice est élevé, plus le milieu est diversifié.

Exemple : Si toutes les espèces ont presque le même nombre d'individus, l'indice est plus fort. S'il y a une espèce très nombreuse et d'autres très rares, l'indice est plus faible.

Formule :

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

Avec ($p_i = n_i/N$), soit la fréquence relative de l'espèce i dans l'échantillon,

n_i = nombre d'individus de l'espèce i ,

N = nombre total d'individus pour l'ensemble des espèces et

S = nombre d'espèces.

Interprétation : plus H' est élevé, plus les espèces sont nombreuses et équilibrées.

c) **L'indice de Simpson (D)** : mesure la probabilité que deux individus sélectionnés au hasard appartiennent à la même espèce. Plus cette probabilité est faible, plus la biodiversité est grande.

Formule :

$$D = \sum Ni (Ni - 1) / (N - 1)$$

Avec N_i : nombre d'individus de l'espèce donnée.

N : nombre total d'individus.

c) **Indice d'équitabilité de Pielou (J)** : mesure l'uniformité de la distribution des individus entre les espèces. Si toutes les espèces ont presque le même nombre d'individus, c'est équitable. Si une espèce domine, ce n'est pas équitable.

Formule : l'indice de Shannon est souvent accompagné par l'indice d'équitabilité de Pielou

$$J' = H' / H' \text{ max}$$

Avec $H' \text{ max} = \log S$ (S = nombre total d'espèces)

Interprétation : J varie entre 0 et 1. Plus J est proche de 1, plus les espèces sont représentées de manière équitable.

5.2. Les estimateurs (mesures indirectes)

Contrairement aux indices, les estimateurs cherchent à évaluer la diversité réelle d'un milieu à partir de données d'échantillonnage, en tenant compte des espèces non observées.

a) **Estimateur de Chao1** : utilisé en écologie pour estimer le nombre réel d'espèces dans un milieu à partir de celles qui sont rares.

Formule :

$$S_{\text{Chao1}} = S_{\text{obs}} + F_1^2 / 2F_2$$

S_{obs} = nombre d'espèces observées

F_1 = nombre d'espèces vues 1 seule fois

F_2 = nombre d'espèces vues 2 fois

Interprétation : plus il y a d'espèces rares, plus la biodiversité réelle est sans doute plus grande que ce qu'on a observé.