



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur

et de la Recherche Scientifique

Université Badji Mokhtar, Annaba

Faculté des Sciences

Département de Biologie



Diversité du Monde Végétal

Licence Biologie et Physiologie Végétale

2022-2023

Dr. Ziane H.

INTRODUCTION GENERALE	1
LA BIODIVERSITE ET LA CLASSIFICATION	
DES PLANTES	2
1 La biodiversité	2
2 La diversité végétale	3
3 Apparition chronologique des groupes végétaux sur terre	4
4 Classification et nomenclature des plantes	5
LES GROUPES DU REGNE VEGETAL	9
Introduction	9
1 Les algues (Phycohytes)	9
1.1 Habitat et mode de vie	9
1.2 Reproduction des algues	10
2 Les Embryophytes	10
2.1 Les Bryophytes (au sens large)	10
2.1.1 Caractères généraux	10
2.1.2 Habitat	11
2.1.3 Classification	11
2.1.4 Reproduction des Bryophytes	12
2.2 Les trachéophytes	13
2.2.1 Les Ptéridophytes (au sens large)	13
2.2.1.1 Caractères généraux	13
2.2.1.2 Classification	13
2.2.1.3 Reproduction des Ptéridophytes	14
2.2.2 Les Spermatophytes	15
2.2.2.1 Les Gymnospermes	16
2.2.2.2 Les Angiospermes	18
ADAPTATIONS DES PLANTES	22
Introduction	22
1 Adaptations morphologiques	22
2 Adaptations physiologiques	24
3 Les interactions avec les autres organismes	26
CONSERVATION DES ESPECES VEGETALES	27
Introduction	27
1 Etat actuel de la diversité végétale	27
2 Causes de la perte de diversité végétale	27
3 Conservation	27
4 L'agriculture durable	28
5 Liste rouge de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN)	29
6 Sensibilisation du public	29
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	30

INTRODUCTION GENERALE

Il existe sur terre au total environ 1,7 million d'espèces ayant été décrites et nommées scientifiquement et de nombreuses espèces restent encore à découvrir. Notre planète est encore largement inexplorée. La biodiversité est un concept clé dans la compréhension de la vie sur Terre. C'est la variété des formes de vie et des écosystèmes qui coexistent sur notre planète, fruit d'une longue évolution du vivant, donnant une complexité et une richesse inestimable.

Chez les plantes, on compte environ 350.000 espèces, représentant une diversité considérable. Il y a environ 20.000 espèces de mousses et hépatiques, 10.000 espèces de fougères, 1000 espèces de gymnospermes et 300.000 espèces d'angiospermes. Etant apparues sur terre il y a approximativement 470 millions d'années, les plantes affichent aujourd'hui une grande diversité dans leurs modes de fonctionnement, de reproduction et d'adaptation ; c'est la suite d'une évolution de 3.5 milliards d'années. Ce processus évolutif complexe a ainsi conduit à l'apparition de différents groupes de plantes ; reflétant une diversité liée aux besoins et aux adaptations écologiques des plantes.

La diversité végétale est essentielle pour la survie de l'humanité. En effet, les plantes apportent de nombreux services directs et indirects aux humains, sans lesquels leur survie est improbable. De plus, elles fournissent de nombreux services écosystémiques comme la production d'oxygène. Néanmoins, au vu des altérations que subit la diversité végétale à cause des activités anthropiques comme la déforestation, l'expansion de l'agriculture industrielle, l'utilisation excessive d'engrais chimiques, de pesticides et d'herbicides, la pollution, les changements climatiques, la surexploitation des ressources naturelles et l'introduction d'espèces invasives, cette diversité est très menacée.

Cette perte de diversité végétale pourrait avoir des conséquences pour la survie de l'humanité et des écosystèmes et il est donc impératif de trouver des solutions de sa protection et de sa préservation.

Ainsi, la compréhension de cette diversité est essentielle pour mieux intervenir, ainsi que pour créer des stratégies efficaces pour sa conservation.

L'objectif du cours « Diversité du Monde Végétal » est de démontrer la diversité des caractères généraux et reproductifs des groupes du règne végétal dans un sens évolutif, avec leurs adaptations et l'importance de leur conservation.

Le cours comprend ainsi une introduction générale, un premier chapitre mettant la lumière sur la biodiversité et la classification des végétaux, un deuxième chapitre démontre les différents groupes du règne végétal dans un ordre chronologique, un troisième chapitre explique les différents modes d'adaptation des plantes et un quatrième chapitre concerne la conservation des espèces.

CHAPITRE 1

LA BIODIVERSITE ET LA CLASSIFICATION DES PLANTES

Ce chapitre traite du concept de biodiversité, la diversité végétale, l'apparition chronologique des plantes ainsi que de la manière dont elles ont été classées et organisées en différents groupes au fil du temps.

1 La biodiversité

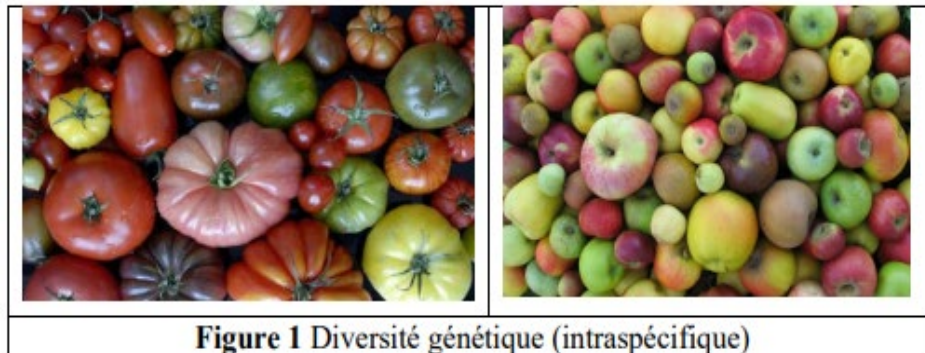
« Biodiversité » est le terme abrégé de diversité biologique. Le sommet des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement tenu à Rio de Janeiro en 1992 (Sommet de la Terre ou Sommet de Rio) a largement fait connaître ce terme.

Il indique la variété et le nombre des espèces vivantes qui occupent la biosphère. La biodiversité est un large concept qui va jusqu'à la vie de l'homme et l'impact de ses activités.

On parle de biodiversité des gènes, d'espèces et d'écosystèmes. La diversité au sein d'une espèce est la diversité génétique, la diversité entre espèces est la diversité spécifique et la diversité au niveau de l'habitat est la diversité écosystémique (ou diversité écologique).

1.1 La diversité génétique (ou diversité intraspécifique)

La diversité génétique est l'ensemble des variations des gènes dans une même espèce (fig.1). C'est la variété des gènes d'un individu à l'autre, chacun ayant ses propres caractéristiques génétiques. La diversité génétique apparaît suite à différentes modifications des gènes et cela va permettre aux espèces de s'adapter aux variations de leur environnement



1.2 La diversité spécifique (ou diversité interspécifique)

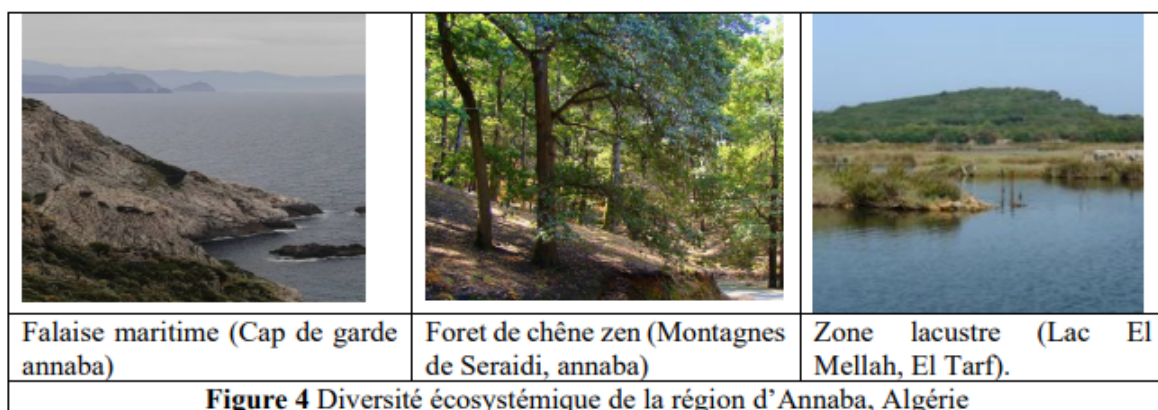
C'est la diversité entre les différentes espèces (animales, végétales ou microbiennes) occupant une zone donnée, ou entre les différentes catégories d'êtres vivants (fig.2 et 3). C'est la variété de différentes espèces présentes dans un écosystème donné. La présence de nombreuses espèces différentes dans un

écosystème est souvent considérée comme un signe de bonne santé et de stabilité écologique. Cela reflète la capacité des espèces à coexister et à interagir de manière complexe au sein de l'écosystème.



1.3 La diversité écosystémique

C'est la diversité des écosystèmes présents sur terre (fig.4), des interactions des populations naturelles avec leurs habitats. Elle concerne à la fois les espèces et leur environnement. La diversité écosystémique englobe la variété des écosystèmes présents dans une région, tels que les forêts, les prairies, les lacs, les rivières et les zones humides, ainsi que les différents processus et interactions écologiques qui se produisent au sein de chaque écosystème.



2 La diversité végétale

La diversité végétale (ou biodiversité végétale) est la variété des plantes présentes sur notre planète. Cette diversité permet de préserver l'équilibre écologique et donne aux êtres humains des ressources dont il a besoin pour survivre. Environ 350 000 espèces de plantes sont décrites, avec une variété allant des plus petites mousses aux plus grands arbres et plantes à fleurs. La diversité végétale est influencée

par de nombreux facteurs, tels que le climat, le sol, l'altitude, l'exposition au soleil, etc. Les plantes ont également évolué et se sont adaptées à différents environnements au fil du temps, ce qui a conduit à une grande variété de formes et de structures.

3 Apparition chronologique des groupes végétaux sur terre

Notre planète a environ 4,5 milliards d'années. Il y a 3,5 milliards d'années (fig.5), les toutes premières formes de vie étaient les cyanobactéries unicellulaires et microscopiques, apparues dans les océans. Elles ont été suivies par les algues vertes, apparues au Cambrien (-540 millions d'années) (fig.5). Leur apparition est considérée comme un événement majeur dans l'histoire de la vie sur Terre.

Les algues vertes étaient parmi les premiers organismes photosynthétiques complexes à évoluer dans les océans. Leur apparition a eu un impact significatif sur l'environnement, en enrichissant l'atmosphère de la terre grâce à une photosynthèse améliorée. La couche d'ozone s'est alors formée, constituant une considérable protection contre les rayonnements dangereux du soleil, ce qui a permis le développement de formes de vie plus complexes.

Cette étape qui a pris une très longue période a permis aux algues vertes de sortir de l'océan car elles ont développé la capacité de vivre sur la terre ferme, il y a environ 450 millions d'années. Les algues ont donc évolué en mousses (bryophytes), qui sont des plantes non-vasculaires ayant une petite taille et pas de racines.

A la période du Dévonien (environ -360 millions d'années) (fig.5), elles ont évolué en plantes vasculaires ; les premières fougères (ptéridophytes), qui ont connu leur apogée dans le Carbonifère. Les thalles ont progressivement développé des structures plus complexes comme les racines. Cette adaptation leur a permis de coloniser des environnements plus arides et donc plus de terres.

Ensuite les gymnospermes (plantes à graines nues), sont apparues au début du Carbonifère et ont atteint leur apogée au Jurassique. Ces plantes ont développé des adaptations leur permettant de survivre dans des environnements difficiles.

Puis, les phanérogames angiospermes apparaissent au Crétacé (-140 Millions d'années) (fig.5). Les premières angiospermes étaient simples, puis elles ont rapidement évolué en arbres et des arbustes. Leur diversité en formes et couleurs a bouleversé le paysage sur terre. Aujourd'hui, les angiospermes représentent la grande majorité des plantes terrestres et jouent un rôle crucial dans les écosystèmes terrestres.

L'endosymbiose : L'évolution des groupes de plantes a eu lieu grâce à des endosymbioses. C'est un processus où deux cellules s'unissent pour former une cellule composite. Par exemple, l'endosymbiose a permis aux plantes d'acquérir des organelles tels que les chloroplastes et les mitochondries.

Cette symbiose entre différents organismes a résulté par l'apparition de nouvelles formes de vie et a diversifié la biodiversité végétale actuelle.

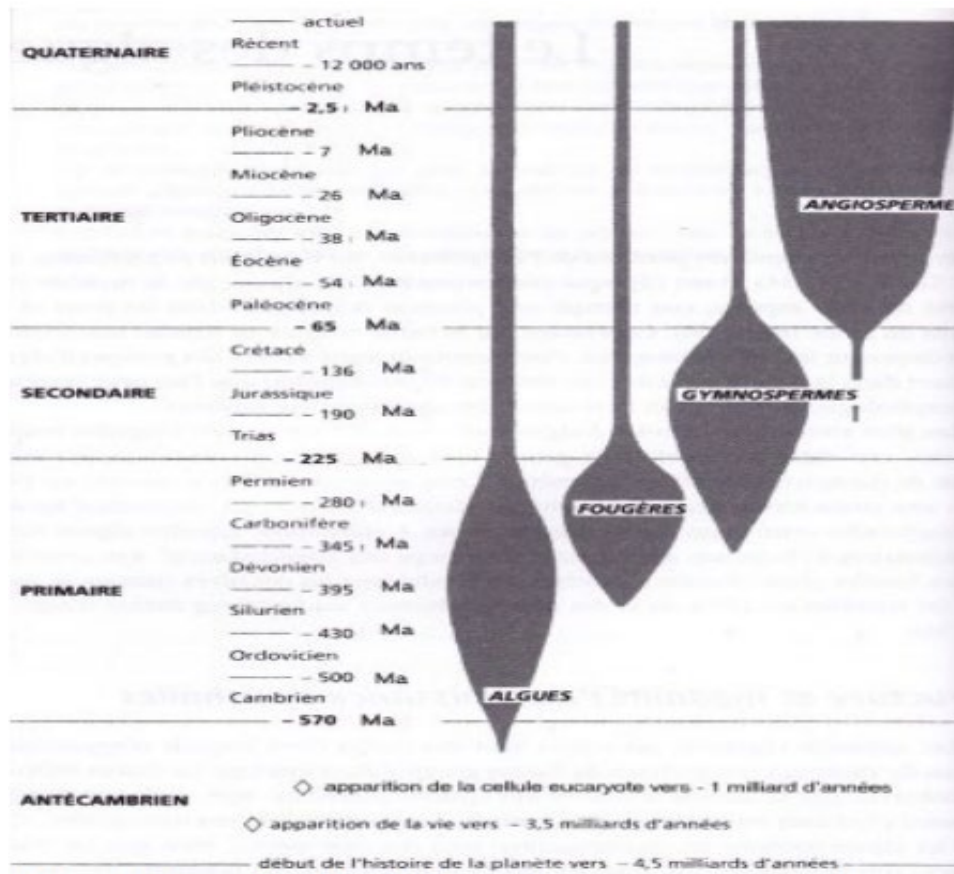


Figure 5 Apparition chronologique de quelques groupes végétaux

4 Classification et nomenclature des plantes

4.1 Classification classique

L'homme a toujours essayé de regrouper des êtres vivants qui l'entourent. Les premières classifications portaient sur les caractères morphologiques des organismes. Par exemple, les thallophytes (lichens, algues, champignons) n'ayant pas de structures différenciées, ils étaient opposés aux cormophytes qui eux ont des structures différenciées (racines ou feuilles). Cette classification a été le point de départ de la plupart des classifications du vivant. Carl von Linné (1707- 1778) a mis en avant une classification fixiste où le vivant était classé autour de sept niveaux hiérarchiques à savoir : règne, embranchement, classe, ordre, famille, genre et espèce. Charles Darwin (1809-1882) avait publié en 1859 « L'origine des espèces », suggérant le concept d'évolution des êtres vivants au cours du temps, que les espèces se transforment et transmettent leurs caractères de génération en génération, mettant en doute la validité de la classification classique fixiste.

4.2 Classification phylogénétique

La classification classique a été affinée par l'étude des gènes et la classification à partir des liens de parenté entre les différents organismes vivants et ainsi de retracer leur histoire évolutive. Le principe de base de cette classification mis en place sur la base de la théorie darwinienne est de placer les êtres

vivants à l'intérieur de groupes dits « monophylétiques » qui comprennent tous les descendants d'un ancêtre commun.

Les arbres phylogénétiques sont faits à partir de l'analyse de molécules comme les acides nucléiques (ADN ou ARN) et les protéines. En effet, les différences entre molécules homologues issues de différentes espèces, montrent les modifications que ces molécules ont subi au cours du temps et donc l'histoire évolutive de ces molécules. Par conséquent, plus les molécules analysées se ressemblent et plus le lien de parenté entre les individus portant ces molécules est fort.

Il y a une différence entre généalogie (succession de générations) et phylogénie (apparition de nouvelles espèces et de nouveaux taxons). Contrairement aux arbres généalogiques, un arbre phylogénétique ne met en évidence que des parentés entre groupes. Il ne mentionne aucune relation d'ascendance/descendance, c'est-à-dire aucune relation généalogique entre espèces connues. Les êtres vivants y sont regroupés en lignées, chaque lignée est subdivisée en phylums (embranchements), chaque phylum regroupe des individus ayant un ancêtre commun.

4.3 Place du groupe des végétaux dans le vivant

La classification des êtres vivants est actuellement établie par la systématique cladistique ou la phylogénie, qui utilise des caractéristiques communes héritées pour regrouper les organismes en groupes appelés clades. En effet, des analyses de séquences d'ARN ribosomique ont permis la détermination aujourd'hui de six grands règnes de vivants : *Archaea*, *Animalia*, *Plantae*, *Fungi*, *Bacteria* et *Protista* (archées, animaux, végétaux, champignons, bactéries et protistes).

La classification des êtres vivants reconnaît la lignée verte (fig.6) qui représente le règne végétal (plantes terrestres, algues vertes et algues rouges). Cette lignée est composée des organismes vivants qui sont les descendants directs de l'organisme qui a effectué la première endosymbiose chloroplastique. Les champignons ne sont pas étroitement liés aux algues rouges, mais sont plutôt plus étroitement liés aux animaux qu'aux plantes. Concernant les Lichens, ils sont le résultat d'une symbiose entre une Cyanobactérie ou une algue verte unicellulaire et un champignon.

Exemple de la classification du thym commun :

Classification

Règne : *Plantae*

Sous-règne : *Tracheobionta*

Division : *Magnoliophyta*

Classe : *Magnoliopsida*

Sous-classe : *Asteridae*

Ordre : *Lamiales*

Famille : *Lamiaceae*

Genre : *Thymus*

Espèce : *Thymus vulgaris* L., 1753

CHAPITRE 2

LES GROUPES DU REGNE VEGETAL

Introduction

Le règne végétal, également appelé Plantae, est l'un des six règnes des organismes vivants. Les groupes de la lignée verte, tels que les plantes terrestres, les algues rouges et les algues vertes, ont un point commun important : ils possèdent un chloroplaste à deux membranes qui est le résultat d'une endosymbiose primaire de cyanobactéries. Les végétaux sont classés en plusieurs groupes : les algues, les mousses, les fougères, gymnospermes et angiospermes.

1 Les algues (Phycophytes)

Les Phycophytes, également connues sous le nom d'algues, sont des organismes photosynthétiques chlorophylliens qui ne possèdent ni racines, ni feuilles, ni tissus vasculaires. Les algues sont très variées, allant des unicellulaires aux géantes et peuvent être vertes, brunes ou rouges. Elles sont classées en trois groupes taxonomiques : les Chromophytes (algues brunes), les Chlorophytes (algues vertes) et les Rhodophytes (algues rouges).

1.1 Habitat et mode de vie

Les algues se trouvent dans divers endroits, y compris les océans, les lacs, les rivières et les marais, les plans d'eau douce et même sur les rochers et les arbres.

-Les algues rouges ou Rhodobiontes (fig.7) sont caractérisées par la présence de la phycoérythrine, un pigment qui leur donne leur couleur rouge caractéristique, de la chlorophylle a et d, caroténoïdes et de l'amidon dans leur cytoplasme.

-Les chlorobiontes (algues vertes et plantes terrestres) possèdent la chlorophylle a et b, caroténoïdes et ont de l'amidon au niveau du chloroplaste.

-La formation de la lignée brune (algues brunes ou Chromophytes) a résulté d'une endosymbiose secondaire. La couleur brune caractéristique de cette lignée est due à la présence du pigment fucoxanthine dans les chloroplastes, possèdent des chlorophylles a et c, carotène et xanthophylles (fig.7). Elles ne fabriquent pas d'amidon. Ces algues ne font pas partie de la lignée verte et donc du règne végétal.

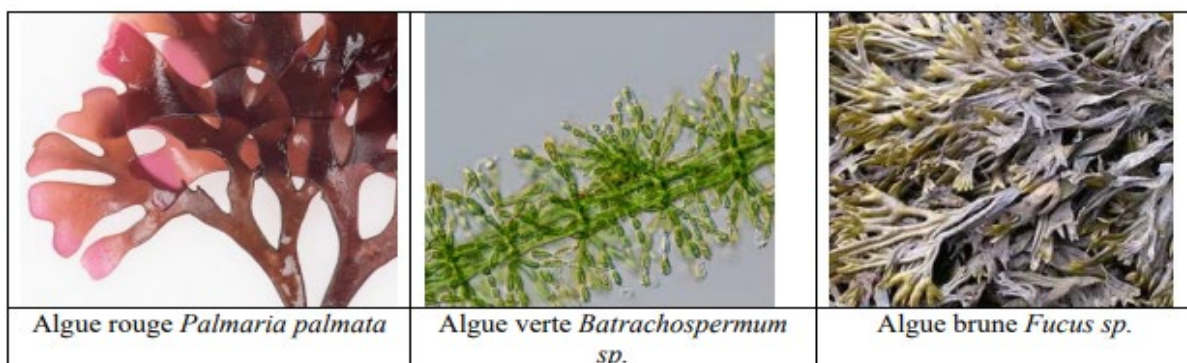


Figure 7 Quelques algues

1.2 Reproduction des algues

Les algues se reproduisent par divers moyens, y compris la reproduction sexuée et asexuée (multiplication végétative) (fig.8).

Multiplication végétative : se fait par fragmentation de thalles, chaque fragment va reconstituer nouveau thalle complet, ou par spores qui vont donner un individu identique avec le même nombre de chromosomes.

Reproduction asexuée: Production de spores

Reproduction sexuée : La reproduction sexuée se fait par la formation de gamètes, qui sont des cellules reproductrices spécialisées. Les gamètes mâles et femelles fusionnent pour former un zygote, qui se développe ensuite en une nouvelle algue.

Chez certaines espèces d'algues, la reproduction se produit de manière alternée entre les formes sexuées et asexuées.

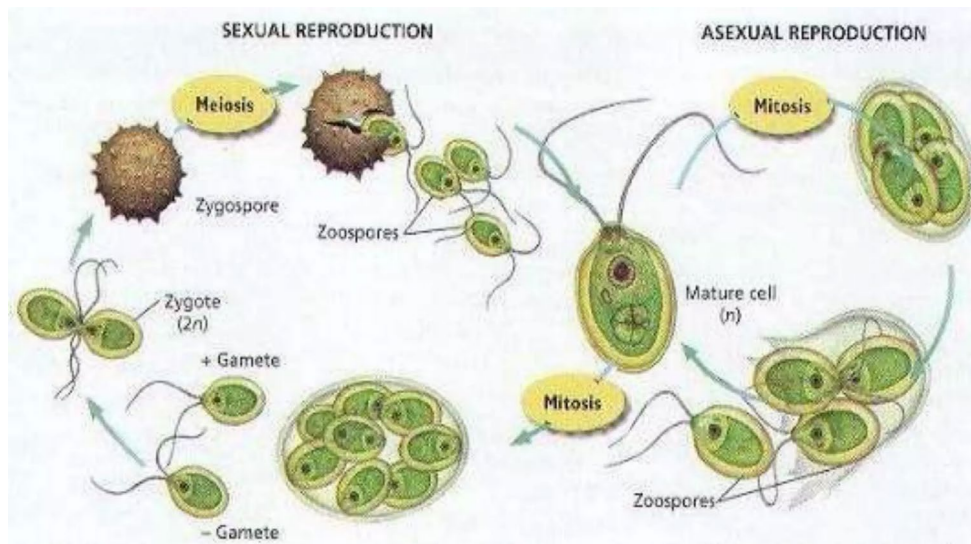


Figure 8 Cycle de vie d'une algue verte *Chlamydomonas sp.*

2 Les Embryophytes

Les embryophytes, également appelés plantes à graines, comprennent les plantes vasculaires telles que les fougères, les gymnospermes et les angiospermes, et non vasculaires telles que les mousses.

Les embryophytes ont évolué pour coloniser la terre en développant des adaptations.

2.1 Les Bryophytes (au sens large)

2.1.1 Caractères généraux

Bryophytes vient du grec *Bruon*, mousse et *Phuton*, plante. Ils sont caractérisés par l'absence de véritables racines et feuilles, leur petite taille. Les deux principaux groupes de bryophytes sont :

- Les Mousses (fig.9), Polytrics et Sphaignes ;
- Les Hépatiques et les Anthocérotes (fig.9).

Environ 25 000 espèces de bryophytes sont décrites.

- Les bryophytes sont les plantes terrestres les plus simples
- Ils sont le résultat de l'évolution des algues,
- La reproduction est dépendante de l'eau
- Le corps végétal principal est haploïde et appelé gamétophyte (produit gamètes mâle ou femelle) (fig.10).

2.1.2 Habitat

On les trouve dans un large éventail d'habitats, y compris les zones humides, les tourbières, les forêts, les déserts et les montagnes. Ils constituent des tapis plus ou moins continus et ils représentent la « strate végétale basse » ou « strate muscinale ». On les trouve également sur les murs, les rochers ou les troncs d'arbres. On ne les trouve pas dans le milieu marin.

Une mousse connue, la Funaire hygrométrique, son nom vient du fait que son appareil reproducteur est sensible aux variations du degré hygrométrique.

2.1.3 Classification

Aujourd'hui les bryophytes sont divisées en trois embranchements ; Marchantiophyta, Anthocerotophyta et Bryophyta « les bryophytes au sens stricte ».

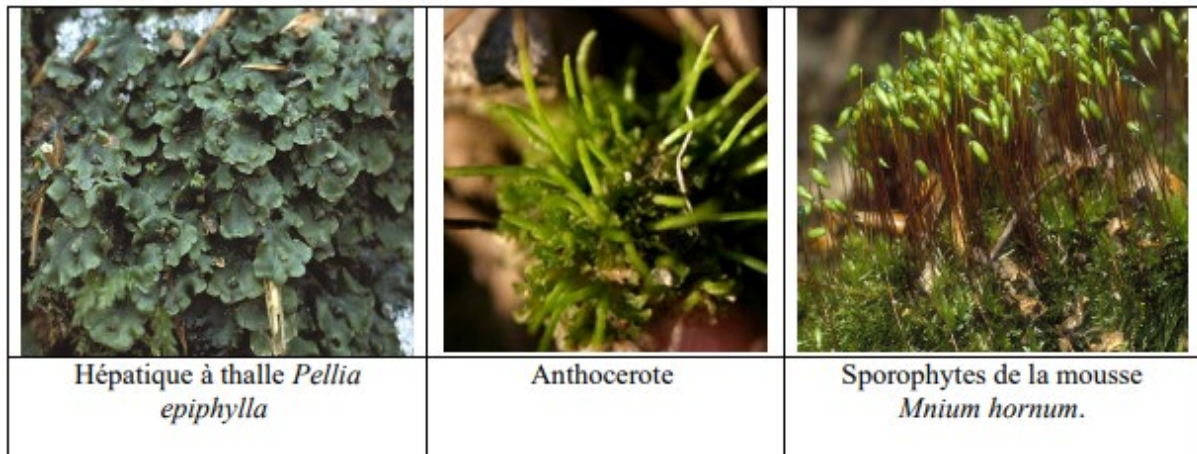


Figure 9 Quelques Bryophytes

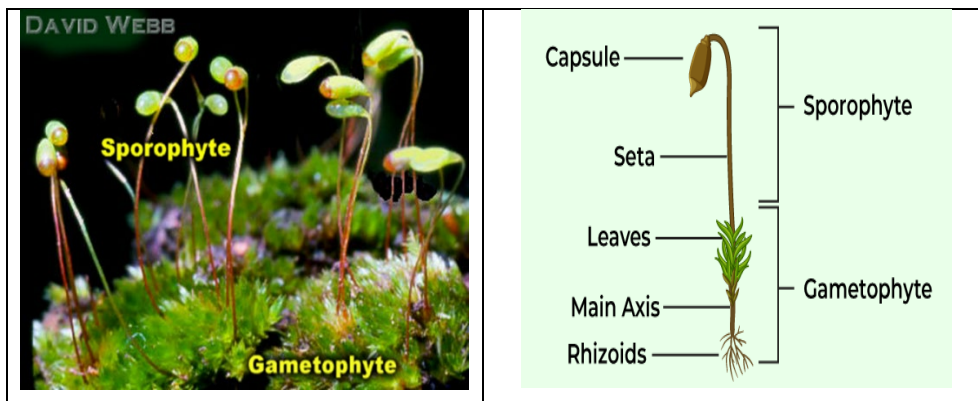


Figure 10 Gamétophyte et sporophyte des mousses

2.1.4 Reproduction des Bryophytes

Leur reproduction se fait soit de manière asexuée par fragmentation du gamétophyte ou bien de manière sexuée par les spores.

Dans la reproduction sexuée, les bryophytes présentent une alternance de générations, où ils alternent entre les stades gamétophyte (gamétophyte = petite plante feuillée ou thalle) et sporophyte au cours de leur cycle de vie. C'est une alternance de phases haploïde et diploïde (fig.11).

La libération de spores se fait à partir de structures reproductrices appelées sporanges. Les sporanges se développent sur les gamétophytes.

Lorsque les sporanges sont matures, ils s'ouvrent et libèrent les spores dans l'environnement (fig.11).

Les spores sont des structures unicellulaires qui peuvent se disperser sur de longues distances et coloniser de nouveaux habitats. Une fois qu'une spore se pose sur un substrat humide approprié, elle peut germer et se développer en un petit gamétophyte, qui est une plante sans racines. Les gamétophytes produisent ensuite des organes sexuels spécialisés appelés archégonies et anthéridies. Les archégonies produisent des œufs, tandis que les anthéridies produisent des spermatozoïdes. Les spermatozoïdes nagent dans l'eau pour atteindre les œufs et les fertiliser, ce qui conduit à la formation d'un nouvel individu (zygote). Le nouvel individu se développe à partir de l'œuf fertilisé en un petit sporophyte qui reste attaché à la plante mère gamétophyte (fig.11). Le sporophyte produit des spores à l'intérieur de structures appelées sporanges. Une fois matures, les sporanges s'ouvrent pour libérer les spores, ce qui commence le cycle de reproduction des bryophytes à nouveau.

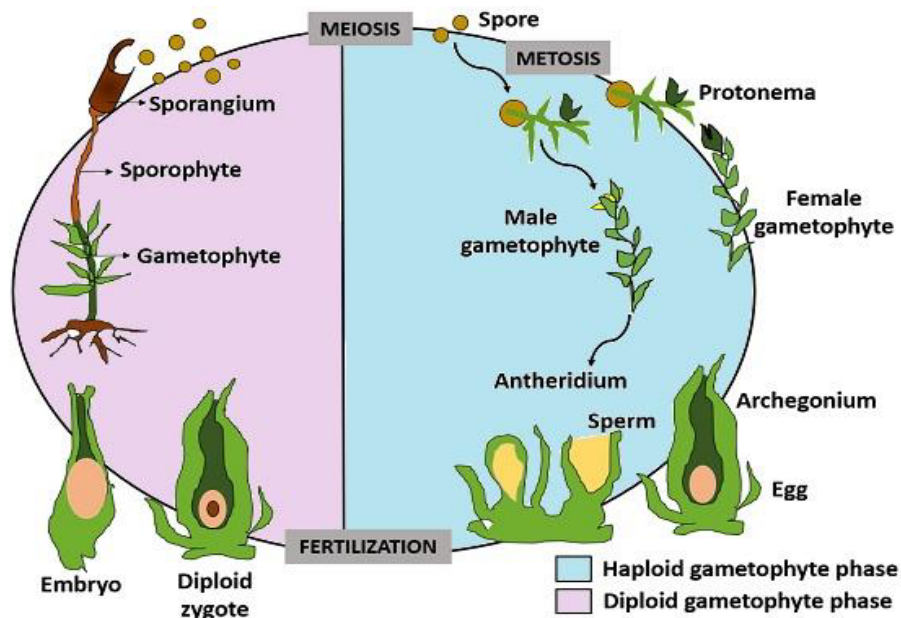


Figure 11 Cycle de vie général des Bryophytes

2.2 Les trachéophytes (plantes vasculaires)

2.2.1 Les Ptéridophytes (au sens large)

2.2.1.1 Caractères généraux

Les ptéridophytes (du grec *Pteris* : Fougère) en comparaison avec les Bryophytes (sens large), possèdent un appareil végétatif plus différencié et adapté à la vie terrestre.

En effet, les Fougères sont les premières trachéophytes (groupe de plantes majeur qui comprend les fougères, gymnospermes et angiospermes et se caractérisent par la présence de tissu vasculaire qui permet le transport de l'eau et des nutriments). Les fougères sont aussi les premiers végétaux à avoir des racines et des stomates.

Ils sont apparus à l'ère primaire au silurien et ont occupé une place importante au Carbonifère. Ils ont développé des formes arborescentes (fig.12) et donc de grandes forêts se sont formées ; il y avait des prèles géantes et des lycopodes de la taille des arbres actuels (il y a 385 à 280 millions d'années).

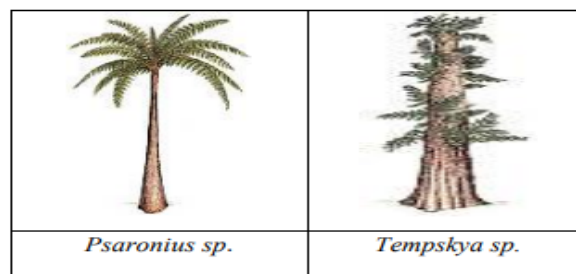


Figure 12 Quelques Ptéridophytes fossiles

Les feuilles des ptéridophytes sont appelées « frondes » (fig.13), représentent le sporophyte diploïde. Elles portent à leur face inférieure les sporanges (organes producteurs de spores). Les ptéridophytes sont des trachéophytes dont l'organisation des tissus conducteurs est en stèle ou pachyte. Ainsi, les formes des ptéridophytes sont très diversifiées et, comme chez les bryophytes, c'est surtout leur cycle de développement qui les caractérise.

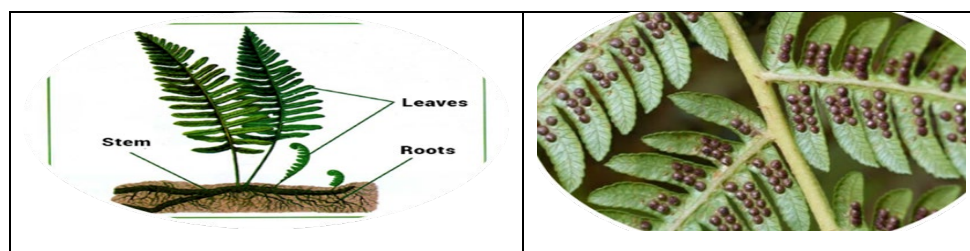


Figure 13 Frondes des fougères

2.2.1.2 Classification

Actuellement, les ptéridophytes sont subdivisées en quatre embranchements :

- Lycophyta ou Lycophytes
- Sphenophyta ou Sphénophytes
- Filicophyta ou Filicophytes.
- Psilophytes



Figure 14 Quelques Ptéridophytes

2.2.1.3 Reproduction des Ptéridophytes

Les fougères se reproduisent au moyen de spores. Leur cycle de vie se compose de deux phases : une phase diploïde appelée sporophyte et une phase haploïde appelée gamétophyte (fig.15).

La plante sporophyte produit des spores dans des structures appelées sporanges, qui sont situées sur la face inférieure de leurs feuilles appelées frondes. Les spores sont libérées dans l'air et peuvent germer et donner naissance à la phase gamétophyte.

La spore germe et donne naissance à la phase gamétophyte (petite plante haploïde) (fig.15). Le gamétophyte mâle produit des spermatozoïdes (gamètes mâles) dans les anthéridies, tandis que le gamétophyte femelle produit des ovules (gamètes femelles) dans les archégones. Ensuite les spermatozoïdes fécondent les ovules, formant un embryon qui deviendra une nouvelle plante sporophyte (fig.15).

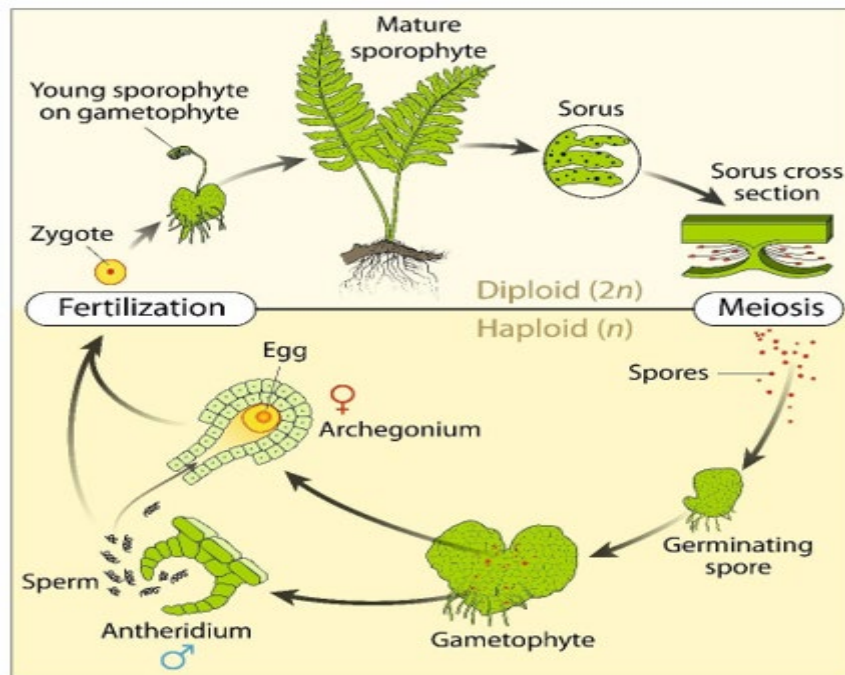


Figure 15 Cycle de vie des Ptéridophytes

2.2.2 Les Spermatophytes (plantes à graines)

Les Spermatophytes sont les plantes vasculaires, qui se subdivisent en Gymnospermes et Angiospermes. Ce groupe était appelé les « Phanérogames », il est caractérisé par la production de graines dans lesquelles il y a des embryons qui se développent en de nouvelles plantes. Les Spermatophytes sont des plantes à ovules.

Les vaisseaux conducteurs de sève sont les trachéides chez les Gymnospermes et de vrais vaisseaux chez les Angiospermes.

La fécondation ne se fait pas dans l'eau.

Les Spermatophytes sont subdivisées en 2 sous embranchements :

- Les Gymnospermes (du grec "*gymnos*", nu et "*sperma*", semence, graine) = plantes à graines nues.
- Les Angiospermes (de "*aggeion*", récipient, enveloppe) = plantes à graines cachées, plantes à fleurs.

2.2.2.1 Les Gymnospermes (plantes à ovules nus)

Caractères généraux

Les gymnospermes, qui ont remplacé les fougères à la fin de l'ère primaire, sont principalement des conifères. Ces plantes ont développé des adaptations à la sécheresse et ont généralement des feuilles persistantes. Leurs organes reproducteurs sont regroupés en cônes unisexués, avec des chatons mâles et des cônes femelles. Les ovules des gymnospermes sont nus et sont fécondés par des grains de pollen mâles. La fécondation est généralement simple, avec un sac embryonnaire pluricellulaire pour les femelles et un gamétophyte mâle également pluricellulaire. Le cycle de vie des gymnospermes est caractérisé par une phase végétative plus longue que la phase de reproduction.

Les Gymnospermes sont des plantes ligneuses, leur cycle de développement dure plusieurs années. Ils peuvent vivre très longtemps ; par exemple *Pinus longaeva* peut vivre plus de 4 000 ans.

Classification

Les Gymnospermes sont subdivisées en :

- a-Gymnospermes archaïques : les Cycadophytes et Ginkgophytes,
- b-Gymnospermes au sens stricte : les Conifères (Pinophytes)
- c-Gnétophytes : ont trois genres ; Ephédre, Gnétum et Welwitschia.

a-Gymnospermes archaïques

Les premières gymnospermes ont existé depuis le début de l'ère du Carbonifère jusqu'à l'ère du Trias. Ils étaient les premiers représentants des plantes à graines. Aujourd'hui, les Cycas et alliées sont les représentants des Gymnospermes archaïques. Exemple : le *Ginkgo biloba* (fig.16). Il a l'aspect d'un arbre, dont le port est plus ou moins conique suivant que le pied est mâle ou femelle. Il est rencontré en Asie dans les jardins entretenus par les prêtres bouddhistes et il a survécu grâce à la protection de l'homme. Le Ginkgo est un « fossile vivant » appelé aussi espèce relique ou panchronique.

Appareil reproducteur : Les Gymnospermes archaïques sont dioïques ; les appareils reproducteurs mâle et femelle sont portés par des pieds différents



Figure 16 Le Gymnosperme archaïque *Ginkgo biloba*

b- Les Gymnospermes (Pinophytes ou Conifères)

Ce sont un groupe de plantes à graines nues qui se caractérisent par des organes reproducteurs regroupés en cônes. Ils sont apparus il y a environ 300 millions d'années. Généralement, ce sont des plantes ligneuses, arbres en majorité ou arbustes, à port conique (fig.17), racine principale pivotante. Ils sont aussi appelés « résineux » car ils font la sécrétion d'oléorésines.

Leurs feuilles sont, soit en forme d'aiguilles (Pins et Sapins) (fig.18), soit en forme d'écaille, (Cyprés); soit plates et lancéolées (Podocarpus).



Figure 17 Quelques conifères



Figure 18 Cônes mâles et femelles chez *Pinus sp.*

Les Conifères sont des arbres toujours verts, sauf le Mélèze et le Cyprès chauve. Leurs feuilles sont généralement coriaces et vernissées et sont adaptées pour résister à la sécheresse et au gel.

Leurs organes sexuels sont rassemblés en cônes unisexués (cônes mâles ou cônes femelles) (fig.18), généralement portés par un même pied (espèce monoïque).

Pollinisation et fécondation : La pollinisation est anémophile ; le vent disperse les grains de pollen : ils pénètrent dans les cônes femelles, puis dans leurs écailles, et enfin parviennent aux ovules et germent.

c- Gnétophytes (*Ephedra*, *Gnetum* et *Welwitschia*)

Les Gnétophytes sont un groupe de plantes vasculaires à graines qui sont classées comme des gymnospermes. Ils sont considérés comme un groupe frère des conifères, des cycadophytes et des ginkgophytes. Les Gnétophytes, sont également un groupe intermédiaire entre les Gymnospermes et Angiospermes et se limitent à trois genres :

-*Ephedra*

-*Gnetum*

-*Welwitschia* : *Welwitschia mirabilis* (fig.19), vit dans le désert du Namib (Afrique australe).



Figure 19 *Welwitschia mirabilis*

2.3.1.5 Reproduction des Gymnospermes

Dans la reproduction des gymnospermes, il y a la formation de gamètes mâles et femelles, qui se combinent pour former une graine. Les gymnospermes ont des organes reproducteurs appelés cônes, qui contiennent les gamètes mâles et femelles. Les cônes mâles, appelés chatons, qui produisent du pollen. Le pollen est constitué de cellules haploïdes appelées grains de pollen, qui contiennent les gamètes mâles. Les grains de pollen sont transportés par le vent jusqu'aux cônes femelles. Les cônes femelles, qui contiennent les ovules nus. Les gymnospermes se reproduisent grâce à la fécondation des ovules par le pollen, formant une graine nue (fig.20). Les graines peuvent être transportées par le vent ou les animaux, et restent viables pendant longtemps, permettant une dispersion sur de grandes distances. Le cycle de vie des gymnospermes implique une phase végétative qui dure plus longtemps que la phase de reproduction. Chez les conifères, par exemple, les jeunes plants peuvent prendre plusieurs années avant de produire des cônes et de se reproduire.

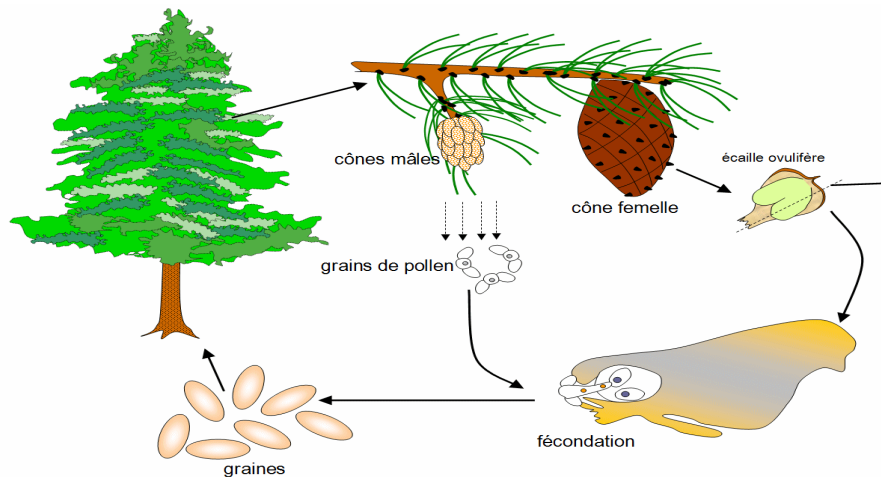


Figure 20 Fécondation chez les Gymnospermes

2.2.2.2 Les Angiospermes (plantes à fleurs)

Caractères généraux

Les angiospermes sont les à fleurs, contenant les organes reproducteurs qui donneront des fruits après fécondation. Contrairement aux gymnospermes, les ovules des angiospermes sont enveloppés et cachés dans un carpelle.

Les angiospermes sont le groupe le plus diversifié de la flore actuelle, avec environ 300 000 espèces appartenant à 416 familles. Ces plantes ont développé des adaptations grâce à leurs appareils végétatifs et reproducteurs, ce qui leur permet de vivre dans une grande variété d'environnements.

La morphologie des angiospermes est la plus diversifiée. Les angiospermes ont évolué en même temps que les insectes et les vertébrés, qui jouent un rôle clé dans la pollinisation et la dispersion du pollen des fleurs.

Les angiospermes se différencient des gymnospermes par trois caractéristiques fondamentales :

- Leurs fleurs sont hermaphrodites, c'est-à-dire qu'elles possèdent à la fois les organes reproducteurs mâles et femelles.
- Les écailles ovulifères (carpelles) des angiospermes forment un ovaire qui enveloppe les ovules. Après la fécondation, cet ovaire se développe en un fruit.
- L'ovule des angiospermes contient un sac embryonnaire, dans lequel se produit la double fécondation, où les deux gamètes mâles fécondent deux cellules différentes du gamétophyte femelle.

Appareil végétatif des Angiospermes

Il est perfectionné, très diversifié et peut prendre différentes formes et tailles selon les espèces. Des plantes bulbeuses, cactiformes, en coussinets, des troncs de plus de 115 m (*Sequoia sempervirens*), des lianes de plus de 300 m de long, des herbes, plantes flottantes, plantes grimpantes, etc, toutes les variétés sont trouvées chez les Angiospermes.

Appareil reproducteur et double fécondation

C'est la structure de la reproduction sexuée des plantes qui produisent des graines. Elle est constituée par les organes reproducteurs (les pistils femelles et les étamines mâles). Avec l'appareil reproducteur, on trouve aussi dans la fleur des pièces stériles (le périanthe) et de pièces fertiles (les étamines, pistils, anthères et carpelles) (fig.21).

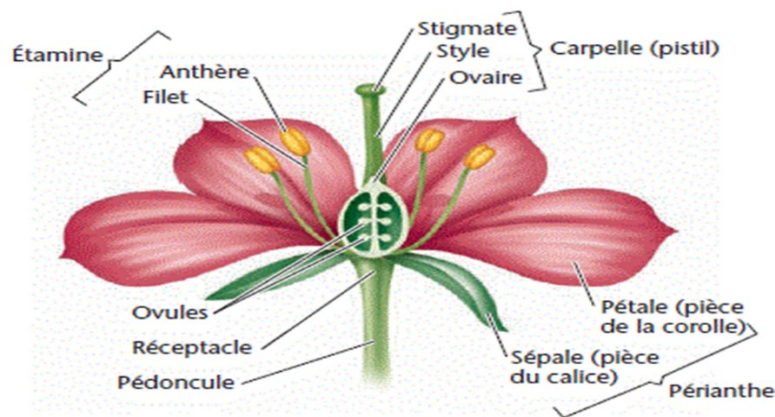


Figure 21 Schéma d'une fleur typique

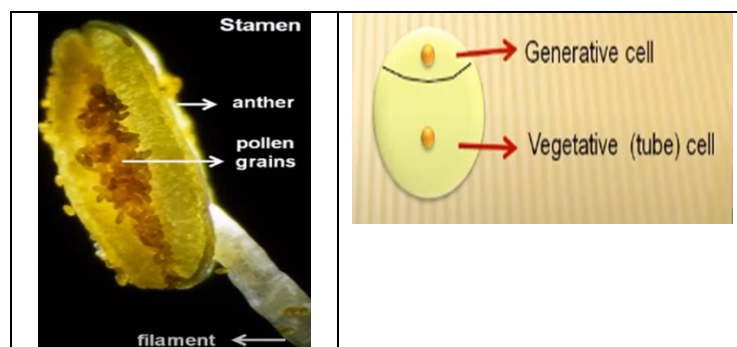


Figure 22 Etamine et cellules du grain de pollen

La double fécondation :

Elle est réalisée en trois étapes ; pollinisation, germination et décharge du tube pollinique (fig.23).-

Pollinisation : C'est la fécondation nécessaire à la reproduction sexuée des angiospermes. Le pollen produit dans les anthères est transporté vers le stigmate d'un pistil. La pollinisation est assurée par le vent, certains animaux comme les rongeurs, oiseaux, mais particulièrement des insectes.

-Germination : Le grain de pollen germe au niveau du stigmate et émet un long tube pollinique qui sort par une ouverture (fig.23). Il va pénétrer dans l'ovule puis dans le sac embryonnaire (dans lequel il y a les synergides et l'oosphère).

-Décharge du tube pollinique : le contenu du tube pollinique (2 gamètes male et un noyau végétatif) est déchargé dans le sac embryonnaire (dans une des deux synergides) pour assurer la double fécondation (fig.23). Le noyau végétatif dégénère. L'un des 2 gamètes male va ensuite migrer vers l'oosphère et l'autre vers les noyaux polaires, puis les synergides dégénèrent.

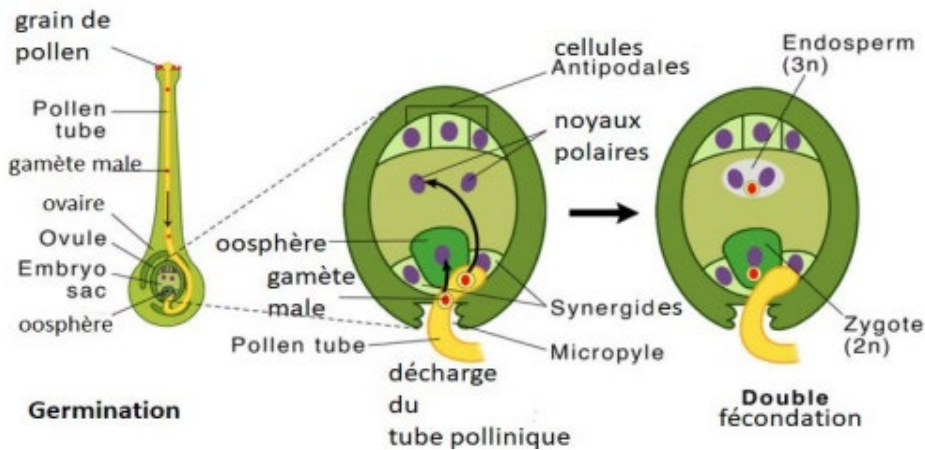


Figure 23 Etapes de la double fécondation

Classification des Angiospermes

Il y a plusieurs classifications des Angiospermes. Celles traditionnelles proposent 2 classes : les Monocotylédones (ont 1 seul cotylédon) et les Dicotylédones (en ont deux) (fig.24). Ce caractère a toujours été utilisé principalement dans tous les systèmes anciens et contemporains.

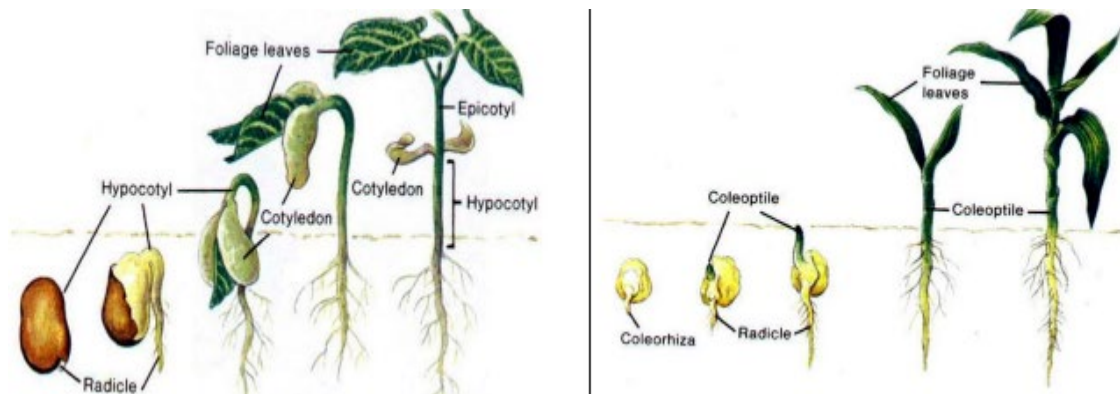


Figure 24 Dicotylédones et Monocotylédones

a-Les monocotylédones

Les Monocotylédones se distinguent par leur singularité à n'avoir qu'une seule feuille embryonnaire, la présence de racines adventives (racines qui poussent à partir de la tige ou des feuilles) (fig.24 et 25), une organisation florale souvent en multiples de trois et la présence de nervures parallèles dans les feuilles. La famille de monocot la plus connue est la famille des *Poaceae*.

b-Les dicotylédones

Les Dicotylédones se distinguent par la présence de deux feuilles embryonnaires, des racines pivotantes (fig.24 et 25), des fleurs souvent disposées en multiples de quatre ou cinq et des nervures ramifiées dans les feuilles. Cette catégorie rassemble la majorité des plantes à fleurs.

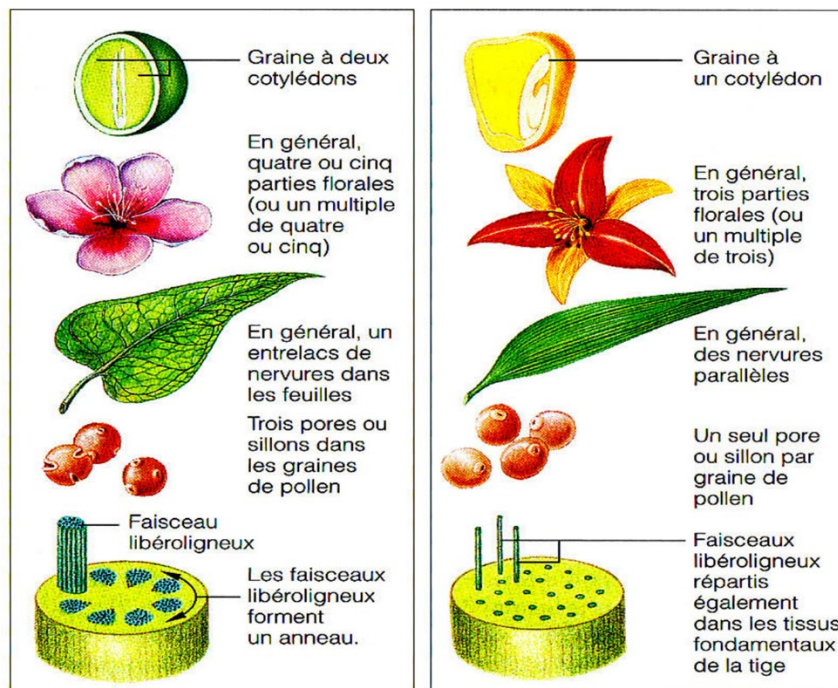


Figure 25 Différences entre Dicots et Monocots

Nouvelle classification des angiospermes

Le système APG, basé sur des données moléculaires, a conduit à une nouvelle classification des Angiospermes, qui prend en compte le nombre d'ouvertures du grain de pollen plutôt que le nombre de cotylédons (Monocotylédones /Dicotylédones). Cette classification est désormais largement acceptée.

Les espèces d'Angiospermes sont regroupées en trois grands groupes monophylétiques : les Magnoliidées (environ 10 000 espèces ayant 1 ouverture et 2 cotylédons), les Monocotylédones (environ 60 000 espèces avec 1 ouverture et 1 cotylédon) et les Eudicotylédones (environ 200 000 espèces ayant 3 ouvertures et 2 cotylédons).

CHAPITRE 3

ADAPTATIONS DES PLANTES

Introduction

Les plantes colonisent une grande partie des continents sur terre, y compris les environnements où il est difficile de vivre comme les déserts, sous l'eau ou dans les endroits très froids. Les espèces végétales sont distribuées sur terre non pas au hasard, mais surtout selon les conditions climatiques. Ainsi, il y a par exemple des cactus dans les régions arides et des plantes aquatiques dans les milieux humides.

La classification des climats en différents types selon la classification de W. Köppen de 1936 est une illustration de cette adaptation des plantes aux conditions climatiques. Les plantes des régions tropicales se sont adaptées pour résister à la chaleur et à l'humidité, les plantes des régions tempérées aux hivers rigoureux et aux étés chauds et secs, etc.

On appelle adaptation la capacité que possède un être vivant de vivre et d'évoluer dans un milieu donné. Ainsi, les plantes ont développé les différentes stratégies d'adaptation : Morphologiques, physiologiques, interactions avec les autres organismes et adaptations évolutives.

1 Adaptations morphologiques

Les plantes modifient leur forme, leur taille, leur couleur ou leur texture pour s'adapter aux différents environnements. Il y a les adaptations au niveau des racines, des tiges, des feuilles, des fleurs et des fruits, les strates végétales, la position des bourgeons par rapport au sol, en hiver.

1.1 Strates végétales

C'est la répartition des plantes en fonction de leur hauteur (fig.26). Cela permet aux plantes d'avoir plus d'accès aux ressources (la lumière, l'eau et les nutriments).

-Strate muscinale (0-5cm)

Il s'agit de bryophytes (mousses et hépatiques), de lichens et de diverses plantes à port nain. Il y a aussi les lianes (plantes grimpantes).

-Strate herbacée (5-80cm)

Ce sont les végétaux herbacés, plantes ou tiges tendres, non ligneuses.

-Strate arbustive (1m-8m)

On y trouve soit les végétaux ligneux qui ne dépassent pas 8m (L'olivier, pistachier, néflier, ...), soit les jeunes arbres.

-Strate arborescente (plus de 8m)

Les grands arbres (chênes) et arbres adultes appartiennent à la strate arborescente ou arborée.

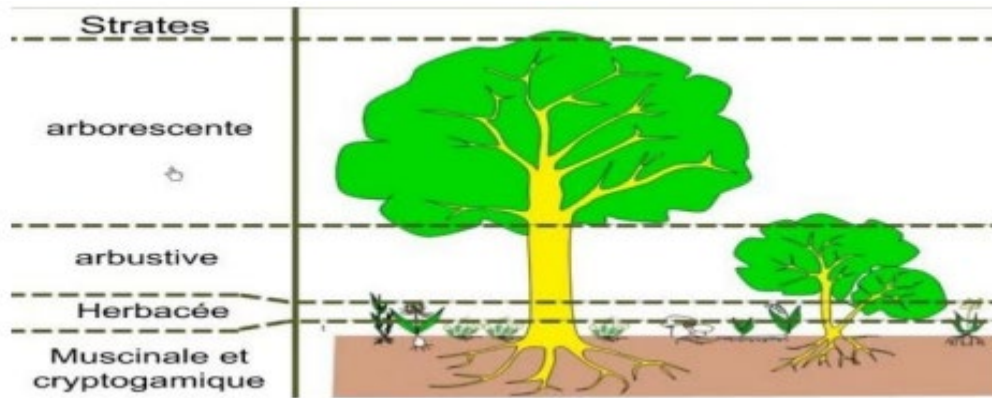


Figure 26 Strates végétales

1.2 Types biologiques (position des bourgeons par rapport au sol, en hiver)

La position des bourgeons par rapport au sol en hiver est une adaptation morphologique qui permet aux plantes de se développer lorsque les conditions sont plus favorables. Le botaniste danois Raunkiaer (1934) a classé les végétaux en types biologiques, basé sur la position des bourgeons par rapport au sol, en hiver (fig.27).

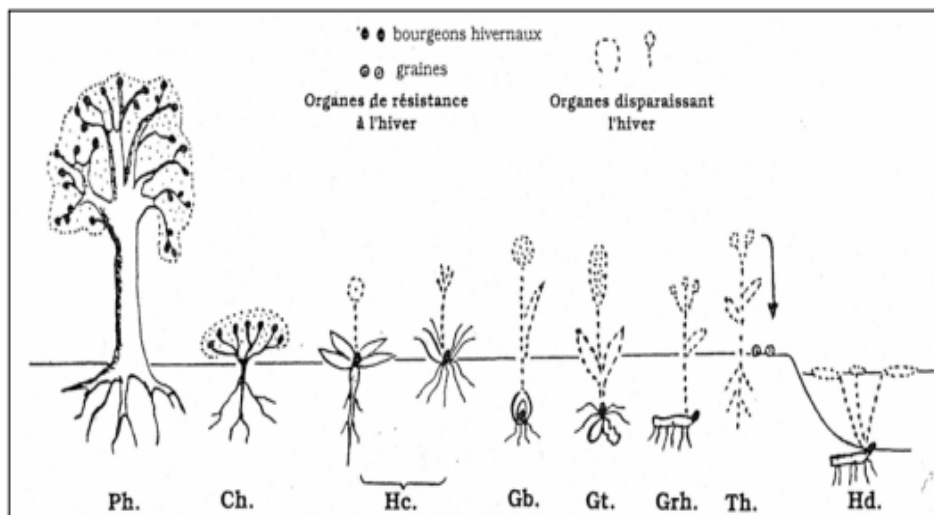


Figure 27 Principaux types biologiques des plantes adaptées aux régions froides

- Les phanérophytes sont des plantes vivaces, des arbres ou arbustes ligneux, leurs bourgeons se trouvent à plus de 25 ou 30 cm au-dessus du sol.
- Les chaméphytes sont des arbustes (Rosmarinus) leurs organes végétatifs sont à moins de 25 à 30 cm du sol,
- Les hémicryptophytes gardent les bourgeons au ras du sol cachés dans des rosettes de feuilles en hiver (Pâquerette, iris).
- Les géophytes (ou cryptophytes) ont des bourgeons souterrains ; bulbe (Oignon, Tulipe...), rhizome (Muguet) et tubercule (pomme de terre).

- Les thérophytes sont des plantes annuelles herbacées qui passent l'hiver sous forme de graines pour et repoussent au printemps.

-Les hydrophytes dont les réserves sont sous l'eau.

2 Adaptations physiologiques

Les plantes modifient leur métabolisme, leur croissance et leur reproduction pour s'adapter aux conditions environnementales.

Plusieurs exemples d'adaptations physiologiques sont représentés par les plantes xérophytes, halophytes, hydrophytes, Plantes des hautes altitudes, carnivores, etc.

2.1 Plantes xérophytes

Ce sont les plantes adaptées à la sécheresse, tel que le figuier de barbarie (fig.28). Les végétaux de ces régions pour survivre, devaient développer des mécanismes et stratégies afin de gérer mieux utiliser l'eau qui peut être très rare. Parmi ces stratégies :

-Stockage d'eau et aliments (sucres) durant de longues périodes dans des bulbes ou rhizomes.

-Réduction de l'ouverture de leurs stomates ou leur fermeture totale durant la journée (dans le but de réduire l'évapotranspiration).



Figure 28 Le figuier de barbarie *Opuntia ficus-indica* L. est une plante xérophyte

2.2 Plantes halophytes

Il s'agit des plantes adaptées aux milieux salins. Ces plantes doivent à la fois contrôler le taux de sel et garder le maximum d'eau. Pour cela, elles ont développé des adaptations anatomiques et physiologiques :

-Accumulation des solutés organiques compatibles dans leurs cellules pour maintenir l'équilibre osmotique face à la présence de sel dans leur environnement. Les solutés organiques compatibles, tels que les acides aminés, les sucres, ce qui leur permet de maintenir leur turgescence cellulaire et leur métabolisme.

-Contrôle de l'entrée des sels : sélectivité de la perméabilité membranaire,

- Sécrétion du sel excédentaire : dans l'épiderme il y a des glandes qui excrètent les sels, ou bien ils sont stockés dans des vacuoles,
- Chute d'organes.

Exemple : *Cakile maritima* et *Ammophila arenaria* (fig.29).



Figure 29 Plantes halophytes *Cakile maritima* et *Ammophila arenaria*

2.3 Plantes hydrophytes

Les hydrophytes tel que le nénuphar blanc (*Nymphaea alba*) (fig.30), sont des plantes adaptées aux milieux aquatiques dont l'appareil végétatif est en contact avec l'eau. Pour survivre dans ces conditions, ces plantes ont développé des mécanismes pour acquérir de l'oxygène, qui est moins concentré dans l'eau que dans l'air. L'une de ces adaptations est la présence de tissus parenchymateux qui contiennent des espaces intercellulaires remplis d'air. Ces espaces permettent le transport de l'oxygène des parties hors de l'eau vers les parties immergées sous l'eau, permettant ainsi à la plante de respirer et de maintenir un métabolisme actif même en présence d'une faible concentration d'oxygène dans l'eau.



Figure 30 Plante hydrophyte le nénuphar blanc (*Nymphaea alba*)

2.4 Plantes adaptées à des hautes altitudes

Ces plantes étant exposées aux U.V, au froid à la sécheresse. Pour survivre dans ces conditions, les plantes adaptées aux hautes altitudes ont développé plusieurs caractéristiques physiologiques, telles que :

- Fermeture des stomates pour réduire la perte d'eau

- Augmentation de la concentration de pigments photosynthétiques pour absorber plus efficacement la lumière
- Réduction de leur taille, (nanisme) (*Prunus prostata*) ;
- Prennent la forme de coussinets (fig.31).
- Développement des épines défensives.



Figure 31 Plante en coussinet *Androsace helvetica*

2.5 Les plantes carnivores

Ces plantes vivent sur des sols très pauvres en nutriments, ce qui les carence en nutriments tels que l'azote, le phosphore et le potassium. Pour cela, elles ont évolué des structures spécialisées, telles que des feuilles modifiées en forme de pièges, des glandes collantes pour piéger les insectes, et des enzymes digestives pour décomposer les tissus des proies.

Exemple : *Drosera rotundifolia* dans les sols siliceux (fig.32).



Figure 32 Plante carnivore *Drosera rotundifolia*

3 Les interactions avec les autres organismes

Les plantes peuvent vivre en symbiose ou entrer en compétitions avec les autres espèces végétales, animales ou fongiques. Le mutualisme ou symbiose permet à la plante d'absorber les nutriments du sol en échange de sucres. Par ailleurs, la pollinisation des plantes se fait grâce à l'association avec les pollinisateurs, tels que les abeilles.

Les plantes peuvent également entrer en compétition avec d'autres plantes pour les ressources limitées, comme la lumière, l'eau et les nutriments. Les plantes peuvent avoir développé des adaptations pour maximiser leur utilisation des ressources disponibles, telles que des racines profondes pour absorber l'eau, des feuilles plus grandes pour capter plus de lumière.

CHAPITRE 4

CONSERVATION DES ESPECES VEGETALES

Introduction

Les plantes fournissent des services écosystémiques essentiels tels que la pollinisation et la régulation du climat. Cependant, les activités anthropiques, le changement climatique, les phytopathologies ont menacé de nombreuses espèces végétales de disparition. Ainsi, la conservation des espèces végétales est nécessaire pour préserver l'environnement.

1 Etat actuel de la diversité végétale

La WWF (World Wildlife Fund), organisation leader dans la conservation de la faune et des espèces menacées, dans son rapport « Planète Vivante 2020 », a déclaré que « La diversité végétale est en grave déclin ».

L'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) dans sa liste rouge mondiale a seulement évalué 10% des végétaux, principalement les arbres et les espèces menacées.

Néanmoins, un échantillon de milliers d'espèces représentant la diversité végétale mondiale a été évalué. Les résultats ont indiqué qu'une espèce sur cinq (22 %) est menacée d'extinction, dont la majorité se localise dans les tropiques.

Le risque d'extinction (disparition totale d'une espèce ou d'un groupe de taxons, et donc réduction de la biodiversité) des plantes est similaire à celui des mammifères et est plus élevé que celui des oiseaux.

Le nombre d'espèces de plantes disparues est le double de celui des mammifères, oiseaux et amphibiens réunis.

En se basant sur les extinctions confirmées des végétaux, les plantes à graines disparaissent à une vitesse jusqu'à 500 fois plus rapide qu'à l'époque préindustrielle.

2 Causes de la perte de diversité végétale

Selon les évaluations de la Liste Rouge de l'UICN, la destruction des habitats due à l'urbanisation et à l'agriculture est l'une des principales causes d'extinction des plantes.

- Le changement climatique et les phénomènes météorologiques violents.
- La surexploitation des ressources végétales.
- La dispersion incontrôlée d'espèces exotiques, également connue sous le nom d'invasions biologiques, constitue une autre menace pour la conservation des espèces végétales.

3 Conservation

La but de la conservation est de préserver les espèces végétales, animales et leur habitat. Elle assure la survie de ces espèces avec également un objectif éducatif, sur la manière de vivre en harmonie avec les autres espèces.

La perte de diversité végétale est une menace pour les plantes et leurs écosystèmes, mais aussi une menace pour les grands services que les végétaux procurent aux humains et à la terre.

3.2 Conservation *in situ* et *ex situ*

La conservation des espèces végétales peut être réalisée *in situ*, les espèces sont conservées dans leur habitat naturel, ou *ex situ*, en dehors de leur habitat naturel, par exemple dans des jardins botaniques, ou des banques de graines.

3.2.1 Conservation *in situ*

La conservation *in situ*, qui vise à préserver les organismes vivants dans leur environnement naturel, est une approche permet aux communautés animales et végétales d'évoluer naturellement.

L'UICN a défini les aires protégées comme étant des « zones de terre ou de mer particulièrement consacrées à la protection de la biodiversité et des ressources naturelles et culturelles qui lui sont associées, et gérées selon des lois ou d'autres moyens efficaces ».

L'aire protégée est donc tout type d'espace consacré à la protection de la nature, qu'il soit réglementé par un État, privé ou géré de manière collective. Elle représente le principal outil de la conservation.

Il existe les parcs nationaux (P.N.) qui sont des territoires à très haute valeur écologique, où une haute protection est exigée pour éviter leur dégradation. En Algérie, il existe onze parcs nationaux dans lesquels la faune et flore et les sites spéléologiques sont protégés.

3.2.2 Conservation *ex situ*

La conservation *in situ* n'est pas toujours réalisable en raison de la dégradation ou de la perte des habitats naturels. Dans de tels cas, la conservation *ex situ* est mise en place pour préserver les espèces en dehors de leur habitat naturel. Cette approche permet de prévenir l'extinction des plantes et de restaurer leurs populations dans la nature.

Des jardins botaniques et des parcs zoologiques sont utilisés lors de la conservation *ex situ*, et il existe également les banques de gènes.

4 L'agriculture durable

Les pratiques agricoles durables telles que l'agriculture biologique, l'agroforesterie et la gestion intégrée des cultures peuvent jouer un rôle important dans la conservation des espèces végétales. L'agriculture biologique utilise des pratiques respectueuses de l'environnement, telles que la rotation des cultures, la gestion de l'eau et la conservation des sols, qui aident à maintenir la biodiversité des plantes dans les champs. L'agroforesterie, qui consiste à cultiver des arbres et des cultures ensemble, peut également contribuer à préserver la diversité des espèces végétales et à protéger les sols et les habitats.

5 Liste rouge de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN)

Les listes rouges de l'UICN ont pour objectif d'évaluer les risques d'extinction et les taux de déclin des espèces en utilisant des critères quantitatifs. Les listes rouges ont plusieurs objectifs, notamment : classer les espèces selon leur risque d'extinction, fournir un cadre de référence pour surveiller l'évolution de leur situation, sensibiliser le public aux enjeux liés à la biodiversité, fournir des bases solides pour orienter les politiques publiques et identifier les priorités de conservation.

L'UICN se base sur le classement de chaque espèce ou sous-espèce dans l'une des 11 catégories (fig.33) de la Liste rouge en fonction de son risque de disparition de la région considérée.

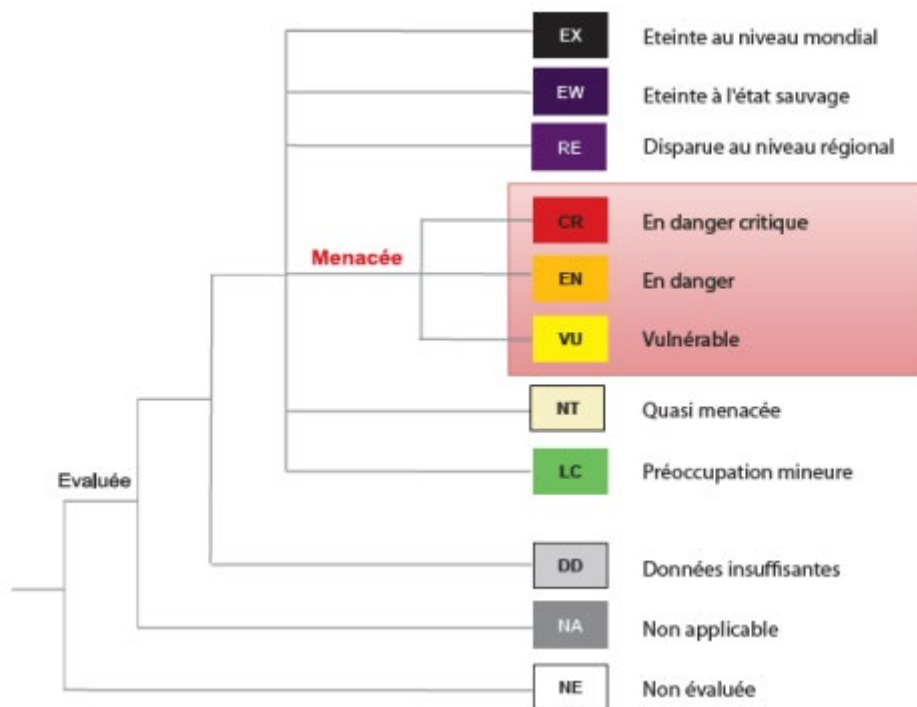


Figure 33 Catégories de l'UICN utilisées à une échelle régionale (d'après les Guides UICN, 2003 & 2019)

6 Sensibilisation du public

La sensibilisation du public aux enjeux de la conservation de la biodiversité végétale est nécessaire pour susciter l'engagement et la participation des citoyens à la protection de la nature. En comprenant les problématiques liées à la perte de la biodiversité végétale, le public peut prendre conscience de son rôle et de son impact sur l'environnement. La sensibilisation peut aider à promouvoir des pratiques durables telles que l'utilisation de produits biologiques, la réduction des déchets et la préservation des habitats naturels.

Références bibliographiques

Amirouche N., Bouguedoura N., & Hadj-Arab H. (2010). Botanique les Embryophytes. Office des Publications Universitaires.

Dupont F. & Guignard J.L. (2007). Abrégés Botanique Systématique moléculaire. Elsevier Masson SAS.

Terreaux P, Philippe J, & Brahic E. (2009). Évaluation économique de la biodiversité : Méthodes et exemples pour les forêts tempérées. Editions Quae, 200 p

WWF. (2020). Living Planet Report -2020: Bending the curve of biodiversity loss. Almond, R.E.A., Grooten M. & Petersen, T. (Eds). WWF, Gland, Suisse.

Largier G. & Malengreau D. (2008). Enjeux et stratégies de conservation de la flore. Acta Bot. Gallica, 2008, 155 (2), 249-261

Webographie

<https://www.universalis.fr/>

<https://uicn.fr/listerougmondiale>

Illustration

<https://www.jardinsdefrance.org/caracteriser-la-diversite-des-varietes-anciennes-de-pommier-conservees-en-france/>

<https://rsis.ramsar.org/fr/ris/1424?language=fr>

<https://mapio.net/pic/p-14239408/>

<https://www.aquaportail.com/definition-817-gametophyte.html>

<http://www.afblum.be/bioafb/cyclbryo/cyclbryo.htm>

<https://www.ebben.nl/nl/treeebb/pisylves-pinus-sylvestris/>

www.tela-botanica.org

<https://biology4isc.weebly.com/e-plant-growth.html>

<https://freesvt.blogspot.com/2018/09/diapositives-techniques-de-terrain-tp.html>

<https://atlas.roslin.pl/plant/6506>

<https://plantsadaptations91155.weebly.com/hydrophytes.html>

<https://www.vdberk.fr/arbres/ginkgo-biloba-saratoga/>

<https://www.sciencefacts.net/double-fertilization.html>

<http://biologie.ens-lyon.fr/ressources/Biodiversite/Images-semaine>

<https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/developpement-durable-semences-creation-nouvelles-varietes-878/page/5/>

<https://biologyreader.com/wp-content/uploads/2020/07/>

<https://www.sciencefacts.net/double-fertilization.html>

https://lacrauenprovence.ffcam.fr/csx/scripts/downloader2.php?filename=T004/fichier/da/d1/fyrkmko_bia3&mime=application%2Fpdf&originalname=La_gazette_des_cimes_Mars_2021.pdf

<https://www.vdberk.fr/arbres/ginkgo-biloba-saratoga/>

<https://ibiologia.com/algae/>

https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Drosera_rotundifolia

Succession des grands groupes végétaux (Source : Aline Raynal-Roques, La botanique redécouverte, 1994)

<https://www.shutterstock.com/fr/search/asexual-spores>

<https://vmkt.s3-ap-southeast->

1.amazonaws.com/Vedantu+Elite/BRYOPHYTES_+Liverworts+and++Mosses+%2B+menti+.pdf

<https://www.sciencephoto.fr/image/11677318-Batrachospermum-alga-filament-LM>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Halophyte>