

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de RELIZANE
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences Biologiques



POLYCOPIÉ DE COURS

Destiné aux étudiants de tronc commun des Sciences Biologiques,
des Sciences Agronomiques et Pharmacie

Intitulé

La Botanique

Des Cyanophytes aux Angiospermes

Elaboré par :

Dr. OUIS Miryam

Année universitaire

2018-2019



Avant-propos

Ce polycopié retrace la grande aventure des végétaux, des Cyanophytes aux Angiospermes. Conçu dans un but pédagogique, il représente le programme de botanique et s'adresse aux étudiants des Sciences Biologiques, des Sciences Agronomiques, Pharmacie et à tous ceux qui s'intéressent aux plantes et à leur organisation, ce module représente le code de référence fondamental, et un véritable passage obligé pour aborder les différents domaines de biologie végétale.

La botanique moderne représente l'aboutissement de plusieurs siècles de recherche et demeure toujours très vivantes puisque ses concepts, ses outils et sa démarche ne sont pas figés mais sont en constante évolution. Confrontée aux récents progrès de la physiologie, de la biochimie et de l'écologie végétale, la présentation des grands groupes végétaux dans ce polycopié suit la nouvelle classification phylogénétique des plantes.

Différents embranchements sont illustré par de nombreuses figures représentant les caractères morphologiques et de reproduction de chaque groupe : les Cyanophytes, les Phycophytes, les Mycophycophytes, les Bryophytes, les Ptéridophytes et les Spermaphytes (Gymnospermes, Chlamydospermes et Angiospermes).

Dr. OUIS Miryam

Table des matières

Avant-propos

1	Généralités sur l'organisation des végétaux.....	01
2	Systematique des végétaux.....	06
3	Embranchement des Cyanophytes.....	10
4	Embranchement des Phycophytes.....	15
5	Embranchement des Mycophycophytes.....	31
6	Embranchement des Bryophytes.....	38
7	Embranchement des Ptéridophytes.....	43
8	Embranchement des Préspermaphytes.....	47
9	Embranchement des Spermaphytes.....	50
9.1	Sous embranchement des Gymnospermes.....	51
9.2	Sous embranchement des Chlamydospermes.....	57
9.3	Sous embranchement des Angiospermes.....	59
	Références des ouvrages utilisés	83

1 Généralité sur l'organisation des végétaux

Un végétal est un être vivant pluricellulaire, organisé, croît, se nourrit et se reproduit.

- ✓ Il est organisé, c'est-à-dire qu'il est formé d'unités distinctes : les cellules
- ✓ Il croît, c'est-à-dire qu'il naît d'un germe minuscule, grandit et se développe jusqu'à produire un organisme adulte qui finalement meurt. Contrairement à l'animal, le végétal vit tout en poursuivant sa croissance.
- ✓ Il se nourrit, c'est-à-dire qu'il puise à l'extérieur des matériaux qu'il transforme chimiquement jusqu'à en faire sa propre substance.
- ✓ Il se reproduit, c'est-à-dire qu'il peut produire d'autres individus qui lui ressemblent.

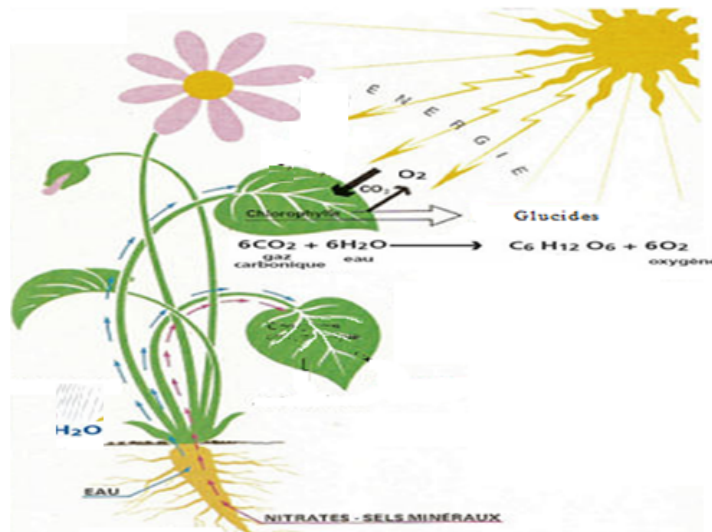


Figure 1- Schéma d'une plante à fleurs.

Les végétaux sont des organismes autotrophes (*autos* = soi-même, *trophé* = nourriture), c'est-à-dire qu'ils produisent leur propre matière organique en particulier les glucides à partir de sels minéraux puisés dans le sol, le dioxyde de carbone, assimilé par les feuilles et l'énergie solaire : c'est le mécanisme de photosynthèse (*phōs* = lumière et *synthesis* = composition).

La photosynthèse se traduit au niveau des feuilles dans les chloroplastes et elle est rendue possible par la présence des pigments assimilateurs : les chlorophylles, la couleur verte de l'ensemble des végétaux leur est due.

La cellule végétale, structure générale et caractéristiques

- Tout organisme vivant est formé d'unités appelées cellules. La cellule renferme le protoplasme, constitué de deux parties fondamentales : cytoplasme et noyau.

- Le cytoplasme renferme le cytosol où plusieurs organites se trouvent (mitochondries, plastes, ribosomes, appareil de Golgi, ribosomes..... etc.
- La membrane plasmique limite le cytoplasme.
- Présence d'une paroi squelettique cellulosique : cette enveloppe rigide de cellulose empêche la cellule végétale de se déformer : il en résulte l'immobilité et la fixation au sol.

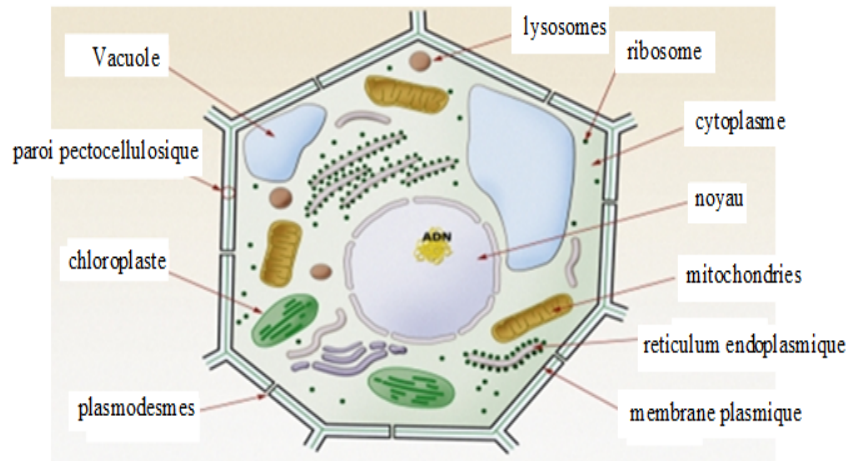


Figure 2- la cellule végétale

✓ L'immobilisme

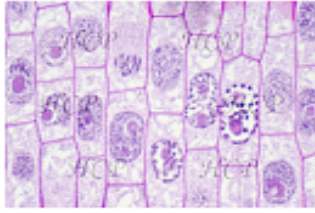
Les végétaux ne se déplacent pas, mais ils sont capables de coloniser de très grandes surfaces grâce :

- Dispersion par fragmentation de l'appareil végétatif : multiplication végétative.
- Dispersion des graines : Spermaphytes.
- Dispersion des fruits : Angiospermes.
- Dispersion des spores : Bryophytes et ptéridophytes.
- Colonisation par rhizomes (tiges souterraines) ou par stolon (tige rampantes s'enracinant, exemple: fraisier).

✓ Les tissus végétaux

Les tissus végétaux proviennent tous d'un type unique de tissu : le tissu méristématique, composé de cellules jeunes, indifférenciées qui subissent des divisions permanentes par mitose.

- Le méristème primaire : responsable de la croissance en longueur et la structure primaire.
- Le méristème secondaire : responsable de la croissance en largeur et la structure secondaire.



spécialisation → Tissus de protection (épiderme et suber)
 et → Tissus de soutien (collenchyme et sclérenchyme)
 et → Tissus conducteurs (xylème et phloème, liber et bois)
 différenciation → Tissus de sécrétion (latex, essence ou huiles essentielles)

Multiplication des cellules méristématique par mitose

✓ **La multiplication végétative : non sexuée**

Les végétaux se caractérisent par la facilité de régénération, qui se traduit par le fait qu'un fragment de tige, feuilles ou racines est capable de redonner un nouvel individu par le phénomène de la totipotence qui est une possibilité de multiplication identique.

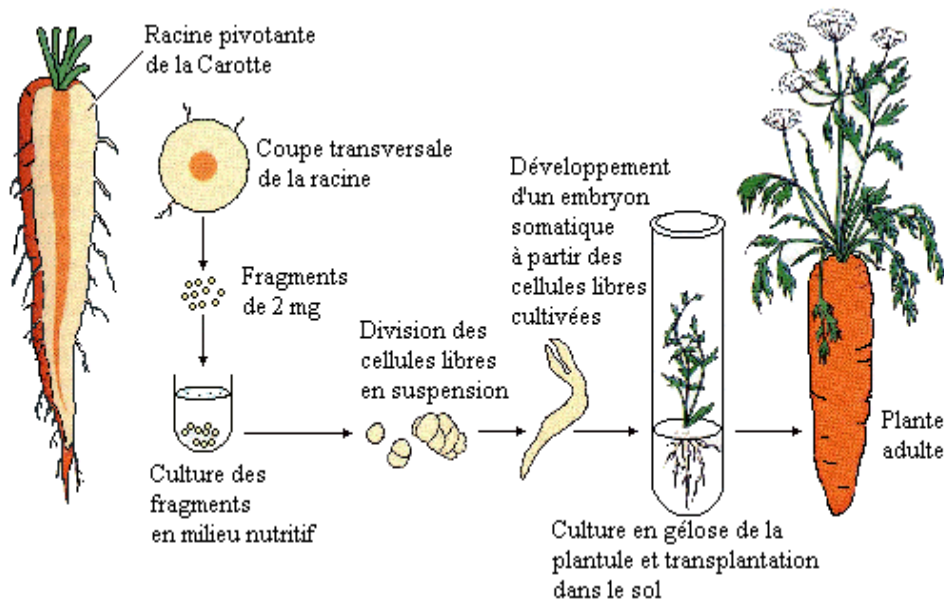


Figure 3- Schéma illustrant la facilité de régénération chez les plantes.

La botanique (grec βοτάνη « herbe, plante ») est la science consacrée à l'étude des végétaux. Elle renferme diverses disciplines complémentaires qui décrivent et classent les végétaux selon divers aspects :

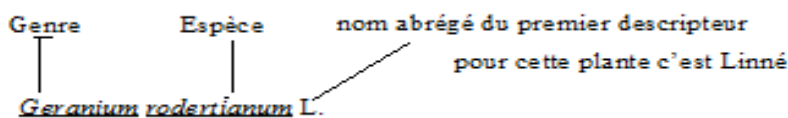
- ✓ L'aspect morphologique des végétaux : la morphologie.
- ✓ L'aspect anatomique et structural des végétaux : l'anatomie, l'histologie et la cytologie.
- ✓ L'aspect biologique et physiologique des végétaux : la physiologie et la biochimie.
- ✓ L'aspect génétique des végétaux : la génétique...etc.

Les origines de la botanique remontent à l'antiquité gréco-romaine, elle fut longtemps une annexe de la médecine puisque l'étude des plantes étant surtout motivée par leurs propriétés médicinales voire magiques.

Par la suite, au 18^e siècle **Charles Linné** (1707–1778) se consacra essentiellement à la classification des plantes et crée la base du système moderne de la classification scientifique, par la mise au point de la nomenclature botanique binomiale où toutes les espèces sont nommées par un binôme composé de deux termes : genre et espèce.

- ✓ Le binôme est toujours latinisé.
- ✓ Le binôme est toujours suivi du nom abrégé du premier descripteur.
- ✓ Genre avec une majuscule.
- ✓ Espèce toujours en minuscule.
- ✓ Les deux termes en italique.

Exemple :



L'**espèce** (*species*, « type » ou « apparence ») est considérée comme l'unité systématique de base dans la nomenclature botanique : ainsi l'espèce regroupe tous les individus à caractère héréditaire semblable.

La comparaison des espèces entre elles conduit à constater que certains groupes d'espèces possèdent en commun un ensemble de trait portant sur des caractères importants en particulier la structure des organes floraux. Cette similitude dénote un lien de parenté et ces espèces sont réunies dans un même **genre**. L'ensemble des genres forment des **familles**.

Celles-ci sont regroupées en **ordre**, les ordres en **classes** et les classe en **embranchements**.

L'ensemble des embranchements de végétaux constitue **le règne végétal**.

Le monde vivant a été longtemps divisé en deux règnes : le règne végétal et le règne animal, actuellement avec la nouvelle classification des êtres vivants on envisage deux empires avec cinq règnes :

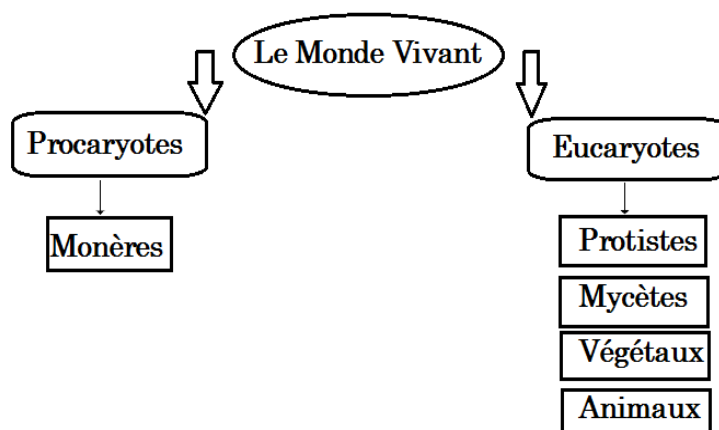


Figure 4- les grandes subdivisions du Monde Vivant.

- **Empire des Procaryotes**, regroupent les organismes sans noyau véritable.
- **Empire Eucaryotes**, regroupent les organismes à noyau véritable.
- **Les Monères**, regroupent l'ensemble des organismes procaryotes (les bactéries, cyanophytes), sont constitués d'une cellule sans noyau.
- **Les Protistes**, regroupent des organismes eucaryotes en majorité unicellulaire. Leurs cellules possèdent un noyau (protozoaires, levures, protophytes).
- **Les Mycètes**, regroupent les organismes eucaryotes hétérotrophes (les champignons).
- **Les Végétaux**, regroupent les organismes eucaryotes autotrophes.
- **Les Animaux**, regroupent les organismes eucaryotes hétérotrophes.

Systematique des végétaux

Les grandes subdivisions du règne végétal

Le règne végétal est l'ensemble d'organismes photosynthétiques. Il est formé de sept grands embranchements :

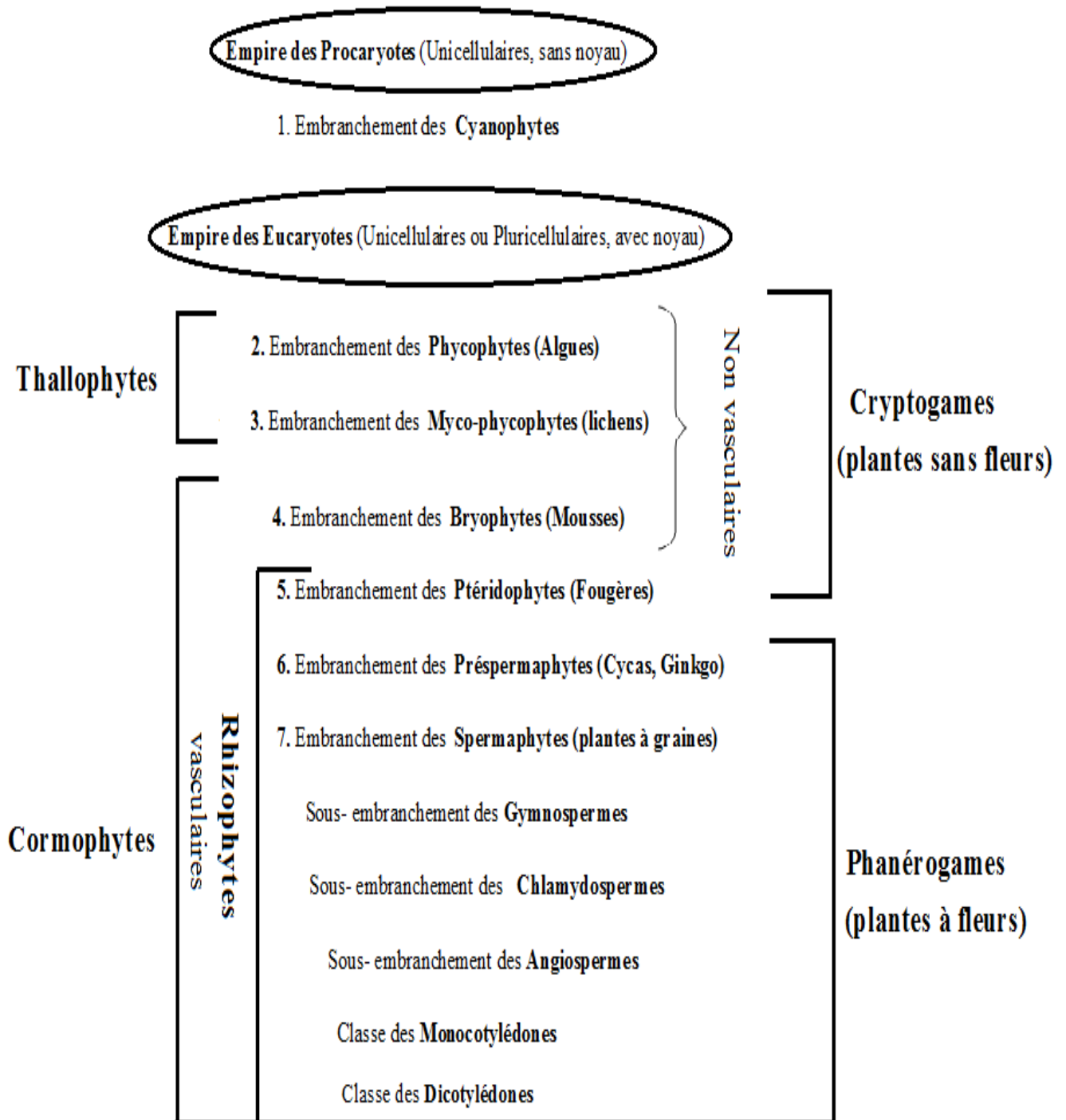


Figure 5- les grandes subdivisions du règne végétal

Le règne végétal est traditionnellement subdivisé en deux grands groupes (Super-embranchement) en fonction de l'organisation structurale du végétal :

- **les Thallophytes** : constituent le groupe les plus simples parmi les végétaux, caractérisées par l'absence de racines, tiges et feuilles et la présence d'un appareil végétatif appelé *thalle* (*thallos=pousse*), les Thallophytes comprennent les algues chlorophylliennes, les champignons et les lichens.

- **Les Cormophytes** : Caractérisés par la présence d'un appareil végétatif : *cormus*, c'est-à-dire un axe plus ou moins ramifié prolongé souvent par des feuilles et des racines, constitué à la suite du fonctionnement de points végétatifs apicaux mettant en place les divers tissus. Ce groupe comporte plusieurs embranchements :

- **Les Bryophytes**

Forment l'embranchement le plus simple (*bryon*=mousse ; *phyton*=plantes) et sont les premières plantes vraiment adaptées au milieu terrestre malgré l'absence de racines ou de vaisseaux conduisant la sève. L'appareil végétatif est généralement formé d'une tige et de feuilles, ne comporte pas de véritables racines mais des rhizoïdes : ayant la forme de filament. Ces organismes n'ont pas un appareil conducteur différencié. Les bryophytes comprennent les Mousses et les Hépatiques.

- ✓ Les Thallophytes et les Bryophytes sont des Cryptogames (*cryptos*= caché ; *gamos*=mariage) : leurs organes reproducteurs sont cachés.

- **Les Ptéridophytes**

De *ptéris* qui signifie fougère, les ptéridophytes sont des végétaux qui comportent des tiges, des feuilles et des racines ainsi qu'un appareil conducteur différencié. Leur mode de reproduction est différent des autres plantes vasculaires : les fougères ne forment ni fleurs ni graines. Tout comme les Thallophytes et les Bryophytes, les Ptéridophytes se reproduisent par des spores.

- ✓ Les Ptéridophytes sont des Cryptogames Vasculaires.

- **Les Spermaphytes**

Forment l'embranchement des plantes supérieures à graines (*sperma*= graines) où les organes reproducteurs sont visibles : c'est des Phanérogames. Les Spermaphytes comportent deux sous embranchements :

- **Les Gymnospermes** (*gymnos*=nu), l'ovule et la graine sont nus comme le pin (*Pinus*).
- **Les Angiospermes** (*anggeion*=récipient), l'ovule et la graine sont inclus dans un fruit.

Le sous-embranchement des Angiospermes comprend deux classes qui se distinguent d'après le nombre des premières feuilles de l'embryon ou cotylédons :

- **Les Dicotylédones** (*Magnoliopsides*), à deux cotylédons, comme pomme de terre.....etc.
- **Les Monocotylédones** (*Liliopsides*), à un cotylédon, comme le blé, l'avoine.....etc.

Les Ptéridophytes et les **Spermaphytes** constituent les **Rhizophytes** (*rhizos* = racine) car toutes possèdent des racines. Ce sont aussi des plantes **Vasculaires**.

Evolution du règne végétal : La sortie des eaux

L'invasion végétale du milieu terrestre est une adaptation évolutive remarquable, cette adaptation a nécessité un nouveau mode de reproduction : les gamètes ne sont plus libérés dans l'eau mais doivent transporter par le milieu aérien. Toutes les plantes porteuses d'embryon ont acquis ces caractéristiques. Les Embryophytes regroupent les Bryophytes, les ptéridophytes et les gymnospermes et les Angiospermes.

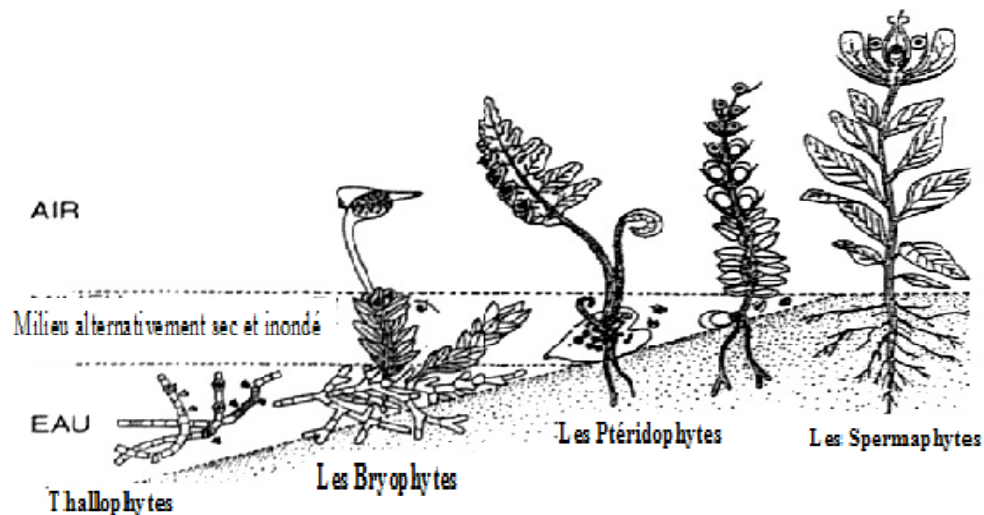


Figure 6- La sortie des eaux par les plantes (Wettstein, 1901).

Toutes les plantes Embryophytes, dériveraient d'un ancêtre algaire unique. Cette algue verte a engendré les Bryophytes non vasculaires et les plantes vasculaires, c'est-à-dire les Ptéridophytes et les spermaphytes. Sans racines, ni tiges, ni feuilles, les algues se sont développées dans l'eau. Puis les Bryophytes se sont progressivement émancipées du milieu liquide pour s'adapter à un milieu alternativement sec et humide. Pour cela les Ptéridophytes, les Gymnospermes et les Angiospermes, ont développé des racines et des tissus conducteurs de sève pour irriguer les parties aériennes. Les algues, les mousses et les fougères ont besoin d'eau pour se reproduire. Les gamètes mâles doivent nager pour aller féconder les gamètes femelles. Les conifères et les plantes à fleurs sont totalement aériens: la pollinisation et la fécondation ont lieu dans un cône ou une fleur aérienne.

L'évolution végétale au cours des temps géologiques est démontrée dans la figure 7, où le monde végétal est réduit en algue au cambrien. Son explosion n'aura lieu qu'au Silurien par la conquête du milieu terrestre.

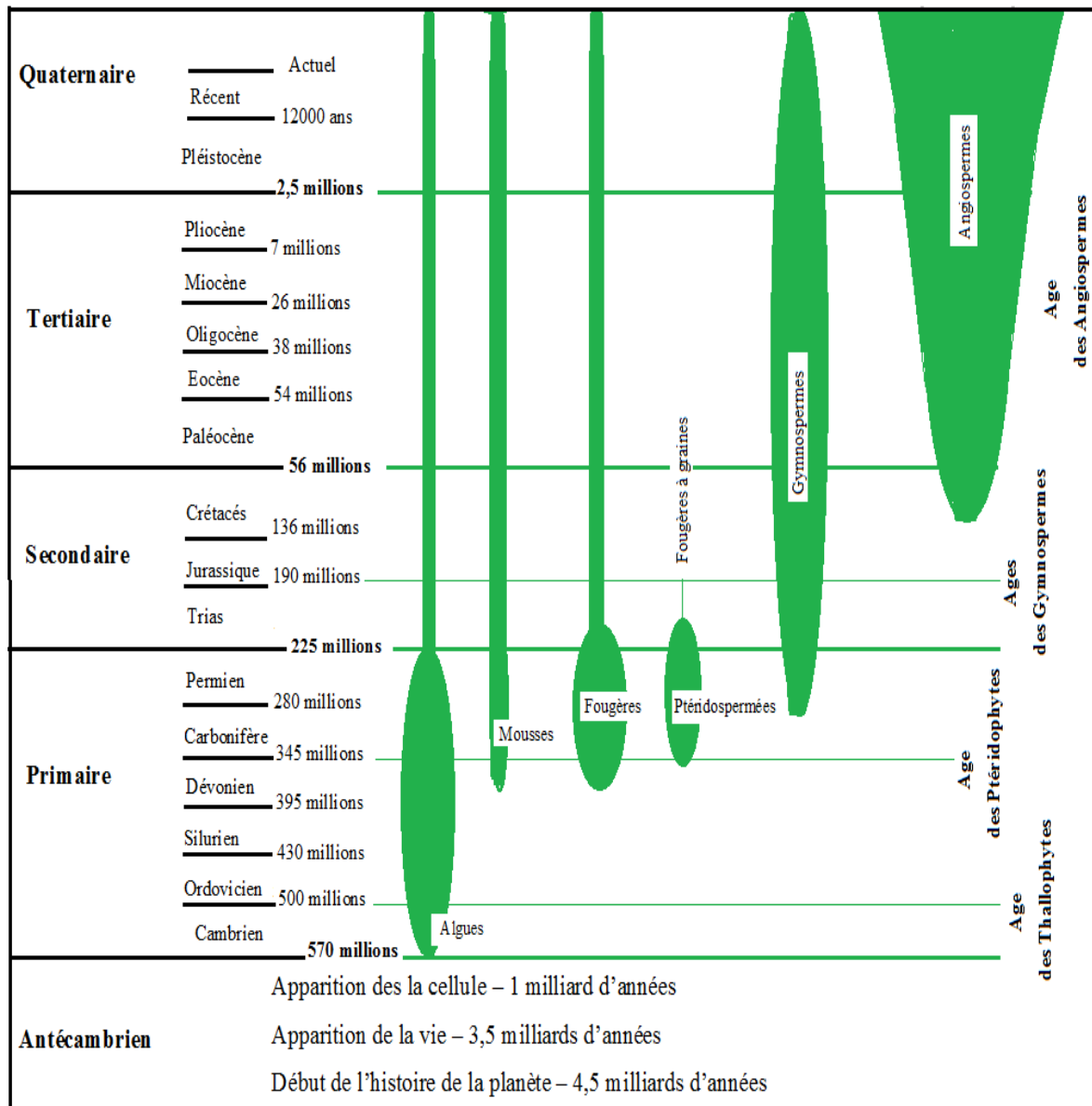


Figure 7- L'évolution végétale au cours des temps géologiques.

3 Embranchement des Cyanophytes

Les cyanophytes sont très certainement les premiers êtres vivants chlorophylliens, apparus il y a plus de 3 milliards d'années, les cyanophytes forment l'organisme photosynthétique marin le plus abondant sur terre (jusqu'à 100 millions de cellules /L, jusqu'à 150m de profondeur).

Bien que les cyanophytes soient des procaryotes classées dans le même groupe que les bactéries et considérées maintenant comme des bactéries photosynthétiques oxygéniques, elles possèdent d'importantes caractéristiques communes avec les algues :

- La présence des pigments dans leurs cellules, ce qui leurs permet de faire la photosynthèse
- Elles partagent les mêmes habitats que les algues et les concurrents pour les mêmes ressources.
- Elles contribuent à la production primaire des écosystèmes aquatiques.

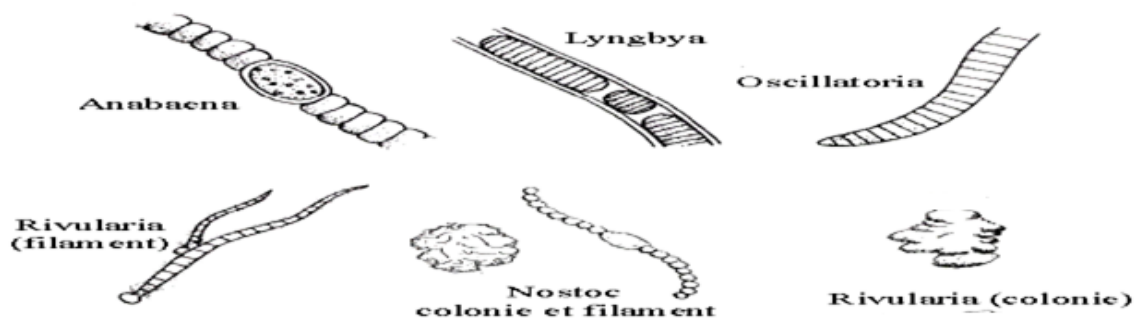


Figure 8- Diversité morphologiques des cyanophytes.

Les cyanophytes prolifèrent généralement en présence d'oxygène, bien qu'elles soient capables de vivre temporairement en son absence. Elles ne nécessitent que de l'eau, du dioxyde de carbone, des nutriments et de la lumière pour faire la photosynthèse. Toutefois, certaines espèces peuvent survivre à des conditions d'obscurité totale durant de longues périodes ; on dit qu'elles entrent en dormance. Grâce à leur grande capacité d'adaptation, les cyanophytes colonisent la plupart des écosystèmes tant aquatiques que terrestres.

Certaines espèces sont adaptées à des conditions extrêmes, proliférant même dans la glace, les sources thermales et à des pH extrêmes.

Caractères cytologiques

La cellule est de structure procaryote, ni chloroplaste ni noyau visible et comprend deux parties :

- L'appareil chromatique possédant un brin d'ADN circulaire.
- L'appareil chlorophyllien, composé de thylakoïdes (non entourés d'une membrane), qui comportent les pigments assimilateurs. Bien qu'étant des procaryotes, les cyanophytes ont un système photosynthétique proche des végétaux chlorophylliens. les pigments assimilateurs sont formés de la chlorophylle A, de caroténoïdes et des pigments accessoires : les phycobilisomes. Les cyanophytes étaient appelées autrefois « algues bleu vert ». L'appellation « bleu-vert » est attribuable à leurs pigments bleus (phycocyanine) et verts (chlorophylle) qui dominent chez la plupart des espèces. Certaines sont rouges ou brunes à cause de la présence du pigment rouge : la phycoérythrine.

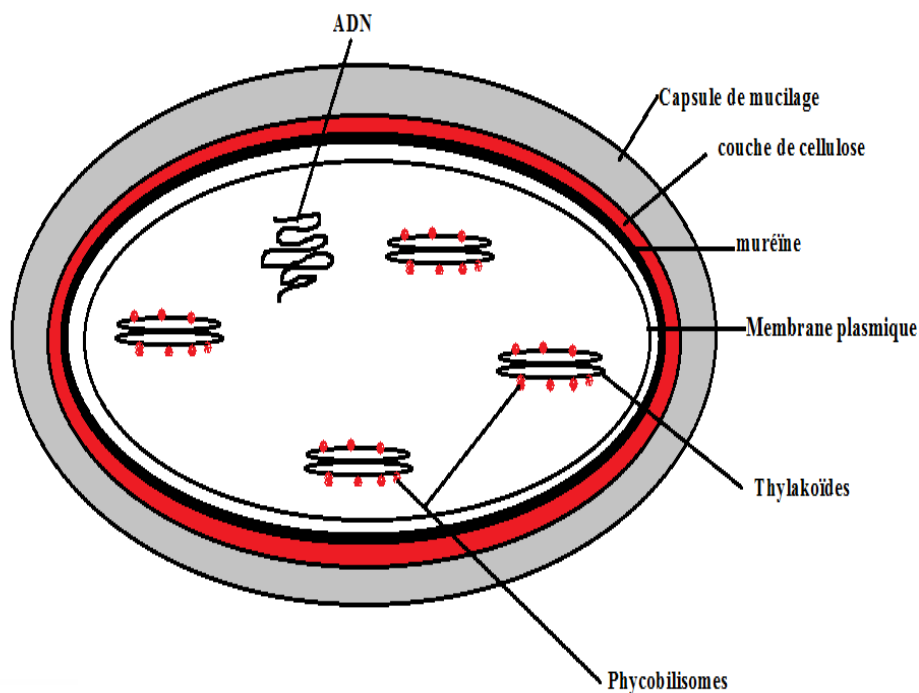
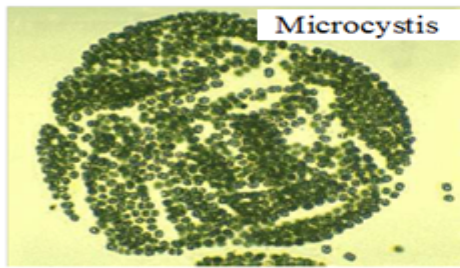


Figure 9- Schéma illustrant l'enveloppe cellulaire d'une Cyanophyte.

L'enveloppe cellulaire, complexe comprend une membrane cytoplasmique et une paroi pectocellulosique, celle-ci est tapissée du côté interne d'une assise de muréine qui est une glycoprotéine analogue à ceux de la paroi de certaines bactéries. Du côté externe la paroi est revêtue le plus souvent d'une couche mucilagineuse visqueuse.

Structure des Cyanophytes

Chez les cyanophytes pluricellulaires, on observe deux grands types de structures coloniales : une non filamenteuse et l'autre filamenteuse regroupé en cellules alignées : trichomes.



Structure coloniale non filamenteuse



Structure coloniale filamenteuse

Différentes structures des cyanophytes.

Reproduction des Cyanophytes

- Multiplication par scissiparité soit les nouvelles cellules produites se séparent et forment de nouvelles colonies ou par fragmentation d'une colonie non filamenteuse ou filamenteuse et chaque fragment donne une nouvelle colonie
- Par l'hormogonie, qui est un fragment de filaments dans les colonies filamenteuses, accumulent de la nourriture, l'hormogonie se détache du filament pour se reproduire
- Par les Akinètes, des cellules du filament dont les parois s'épaississent et accumulent beaucoup de réserves (polypeptides, amidon). On la capacité de survie en conditions défavorables (sécheresse, froid, disparition des aliments) et de régénérer de nouvelles individus.

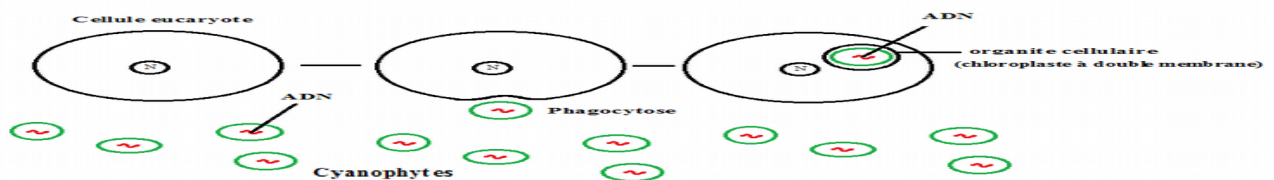


Figure 10- Schéma illustrant la théorie d'endosymbiose.

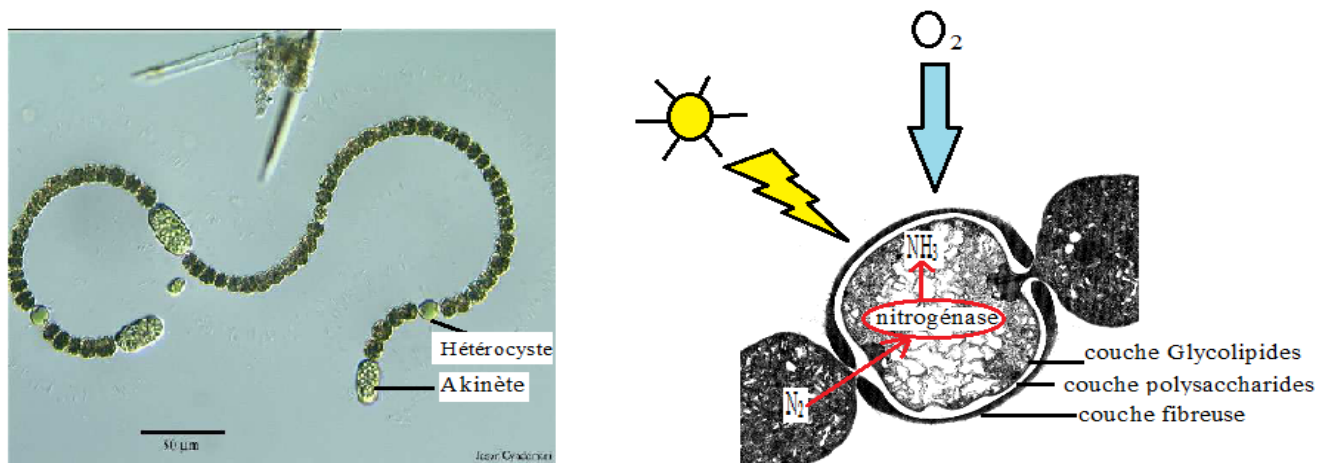
Théorie endosymbiotique

Les chloroplastes auraient pour origine des cyanophytes "phagocytées" par des cellules eucaryotes ancestrales : on parle d'endosymbiose primaire (même théorie pour les mitochondries mais les bactéries sont phagocytées). L'endosymbiose de cyanophytes par des cellules eucaryotes aurait donné naissance à la "Lignée Verte".

La Fixation d'azote par les Cyanobactéries

Beaucoup de cyanophytes formant des trichomes ou des filaments (*Anabaena*, *Nostoc*, *Nodularia*) peuvent fixer l'azote atmosphérique grâce à des cellules spécialisées appelées **hétérocystes**, cellules élargies interconnectées avec les autres cellules végétatives du filament.

Leur paroi cellulaire épaisse (empêche la diffusion d'O₂) est composée de Glycolipides, polysaccharides et couche fibreuse. Les Hétérocystes forment le lieu de la nitrogénase : grâce à cet enzyme spécifique aux procaryotes : Nitrogénase, le N₂ est Transformé en NH₃.



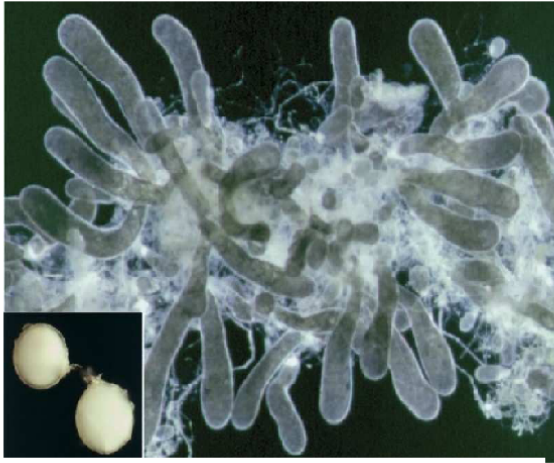
Structure d'hétérocyste chez *Anabaena*.

Les principaux ordres de cyanobactéries

Ordre	Forme générale	Hétérocystes	Genres
Chroococcales	Bacilles ou coques, agrégats non filamenteux, presque toujours immobiles.	Non	<i>Chamaesiphon</i> , <i>Gloeobacter</i> , <i>Synechococcus</i>
Pleurocapsales	Bacilles ou coques, peuvent former des agrégats.	Non	<i>Pleurocapsa</i> , <i>Dermocarpa</i>
Oscillatoria	les Filaments, trichomes non ramifiés, généralement mobiles.	Non	<i>Lyngbya</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Spirulina</i>
Nostocales	Filaments, trichomes non ramifiés. Souvent mobiles ; peuvent produire des akinètes (cellules à paroi épaisse, résistantes à la dessiccation).	Oui	<i>Anabaena</i> , <i>Nostoc</i> , <i>Calothrix</i>
Stigonématales	Trichomes filamenteux ramifiés , peuvent produire des akinètes.	Oui	<i>Fischerella</i> , <i>Stigonema</i> , <i>Geitleria</i>

Intérêt des cyanobactéries

- Très riches en protéines (65 à 70% du poids sec), on les cultive parfois pour l'alimentation animale et humaine.
- Libération d'oxygène.
- Participation des cyanophytes à hétérocystes a des symbioses : de nombreuses espèces vivent en symbiose avec d'autres espèces appartenant à des embranchements différents:
 - cyanophytes+ avec des champignons : lichens.
 - cyanophytes+ avec des végétaux supérieurs.



Geosiphon pyriformis : champignon : coenocytique
endosymbiotiques de Nostoc



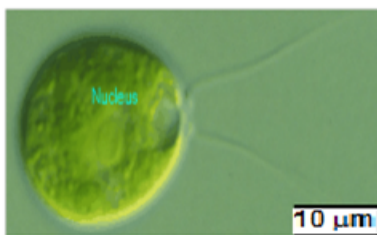
Lichens bleu

Lichen: Association symbiotique entre un
champignon et une cyanophyte

- **Différentes associations des lichens.**

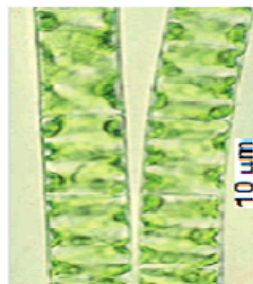
Embranchement des Phycophytes

Les Phycophytes (*phukos* = algue, *phuton* = plante) ou les Algues sont tous autotrophes, Thallophytes et Cryptogames. Pluricellulaires ou unicellulaires, elles sont considérées comme les ancêtres des plantes supérieures. Ils se caractérisent par la présence d'un noyau, de plastes et présentent des aspects extrêmement variés :



Chlamydomonas

algue unicellulaire mobile avec flagelles



Spirogyre

cellule d'algue avec un seul chloroplaste en hélice



Caulerpa

Algue macroscopique

Algues microscopiques

- Diversité morphologie des Phycophytes.

- **Leurs habitats sont variés** : c'est des organismes typiquement aquatique, se trouvent dans les mers et les océans, elles sont fréquentes aussi en eau douce (lacs, mares et ruisseau) mais elles sont plus rares en milieu aérien (terre humide).
- **Leur morphologie est diversifiée** à l'extrême : Ils peuvent être unicellulaires et mobiles grâce à des cils; d'autres ont des tissus ou des organes différenciés.
- **Les chloroplastes ont des formes variées**, ils présentent tous les types de chlorophylle connus.
- **Les cycles de vie et de reproduction** expriment toute une gamme de variations dans l'alternance des générations (haploïde ou diploïde).

Morphologie et développement des thalles

Les Algues présentent des sociétés cellulaires et développent des systèmes d'échanges, des signaux de reconnaissance intercellulaire et une structuration spécifique : des thalles, qui existent sous diverses formes :

- ✓ **Les thalles filamenteux**

C'est une construction pluricellulaire simple fréquente chez les algues. Elle résulte du fait que chez ces structures, les cellules issues d'une division, ne se séparent pas et que les plans de mitoses sont toujours orientés dans la même direction. La capacité de division se restreint à certaines cellules, les cellules initiales, localisées à l'apex du thalle. Exemple : l'*Ulothrix*, produit des spores flagellées qui nagent puis se fixent au substrat par des divisions successives, régulièrement perpendiculaire à l'axe. Il se forme une file de cellules pourvues chacune d'un chloroplaste unique.

✓ **Les thalles membraneux**

Certains thalles d'algues ont l'aspect d'une fine membrane qui dérive directement d'une structure filamenteuse. Le filament commence par se développer en longueur puis les cellules se divisent en largeur pour former une lame ou un éventail. La lame peut n'avoir qu'une ou deux cellules d'épaisseur. Ce type de division est fréquent chez la laitue de mer, les laminaires et *Prasiola*.

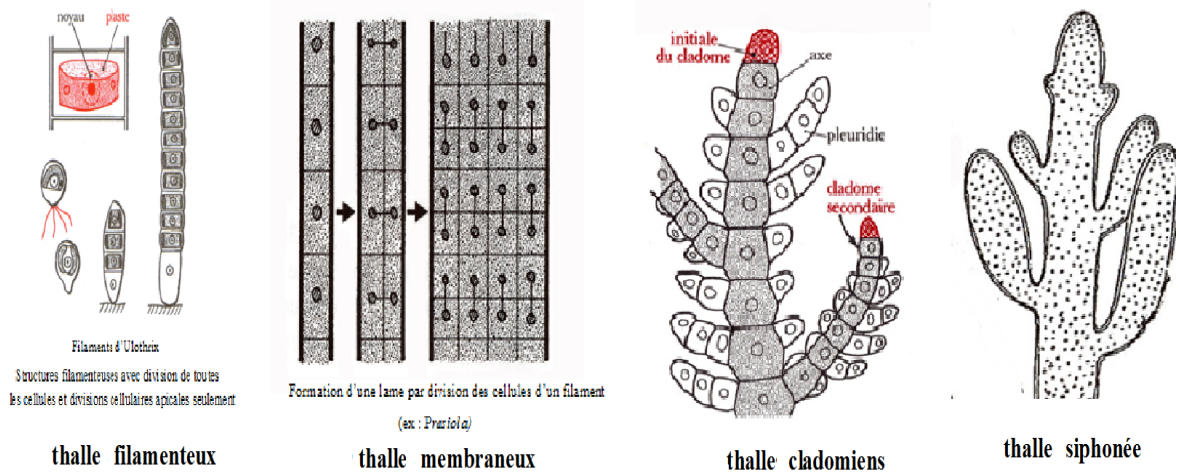


Figure 11 - Différents types de thalles chez les Phycophytes.

✓ **Les thalles cladomiens**

Un degré plus élevé de l'évolution est représenté par une structure très caractéristique des algues, Le cladome. Un cladome constitué par un axe primaire non chlorophyllien. Cet axe primaire peut se ramifier en cladome II et III. Ces cladomes portent des rameaux courts, ramifiés à croissance limitée et sont toujours chlorophylliens : ce sont les pleuridies, formées de cellules riches en plastes. Les pleuridies ont une croissance limitée. Elles sont plus développées lorsqu'elles sont loin de l'apex des axes. Sur le cladome primaire, des cladomes secondaires, puis tertiaires peuvent se développer. L'organisation cladomienne donne des formes élégantes et très découpées, bien représentées chez les algues rouges.

✓ **Les thalles siphonnés ou coenocytique**

Certaines algues sont formées de tubes continus ou siphons contenant un cytoplasme continu, non-cloisonnée dans lequel sont dispersés les noyaux. Cette structure se rencontre souvent chez une lignée d'algues vertes, les Siphonales.

Reproduction des Phycophytes

- **Par multiplication végétative :**

- **La bipartition cellulaire**, les cellules vont se diviser en deux (exemple : *Chlamydomonas*) et donnent des cellules filles qui assureront la dissémination ou une réunification dans une colonie (exemple : *Diatomées*), Cette bipartition n'existe pas chez les algues rouges.
- **La fragmentation du thalle**, cette fragmentation est fréquente, même chez les pluricellulaires. Celle-ci permet au végétal d'avoir un côté invasif.
- **Différenciation de spores**, formées à l'intérieur du sporocyste par division équationnelle ou mitose, ces spores directes redonnent un individu identique avec le même nombre de chromosomes. Les spores, forment les cellules de reproduction, mais elle donne de nouveau individus sans fécondation

- **Par la reproduction sexuée :**

Chez les algues, les gamètes forment les cellules de reproduction capable de fécondation.

Ils présentent une grande diversité de structure, de comportement et d'origine.

- **Isogamie:** caractéristique des espèces primitives, ils sont morphologiquement identiques.
- **Anisogamie:** les deux cellules sexuelles conservent la même organisation mais sont de taille différente (ex: *Ulve*).
- **La planogamie :** Gamètes flagellés. Gamètes mâles et femelles peuvent avoir la même morphologie (planogamie isogame) ou une morphologie différente (planogamie anisogame).
- **L'oogamie:** La forme la plus achevée de cette évolution ; des spermatozoïdes petits, nageurs, nombreux s'opposent aux oosphères qui est volumineuse (ex: *Dictyota*, *Fucus*, *Laminaires*).
- **Cystogamie** Deux filaments vont fusionner. Tout passe dans un des filaments (ex: *Spirogyra*).
- **Organes reproducteurs**

On appelle **spermatocyste**, l'organe reproducteur mâle et qui ne contient généralement qu'un gamète mâle : la spermatie.

l'oogone est l'organe reproducteur femelle, ne contient qu'un gamète femelle : l'oosphère.

On appelle gamétophyte ou sporophyte, la génération produisant respectivement les gamètes ou les spores.

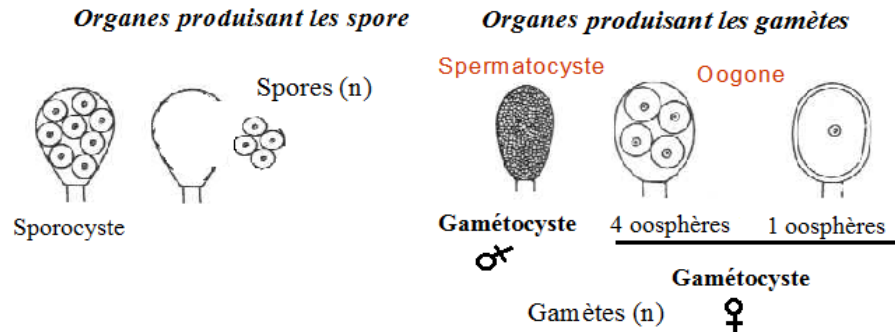
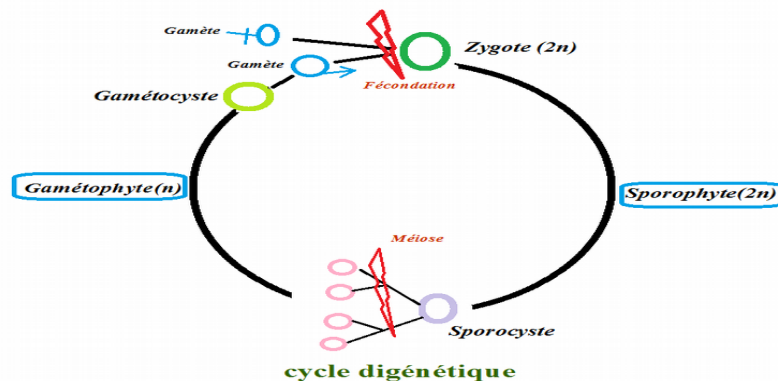


Figure 12- Diversité des organes reproducteurs chez les phycophytes.

Cycles de développement des Phycophytes

La fécondation fait doubler le stocke chromosomique, la méiose est le mécanisme compensateur qui ramène l'équipement nucléaire au niveau initial, il s'établit ainsi un cycle sexué au cours s'alterne une phase haploïde à N chromosome (gamétophyte) et une phase diploïde à 2N chromosomes (sporophyte).

Il existe plusieurs types de cycles définis par l'importance relative des périodes séparant la méiose de la fécondation et la fécondation de la méiose :



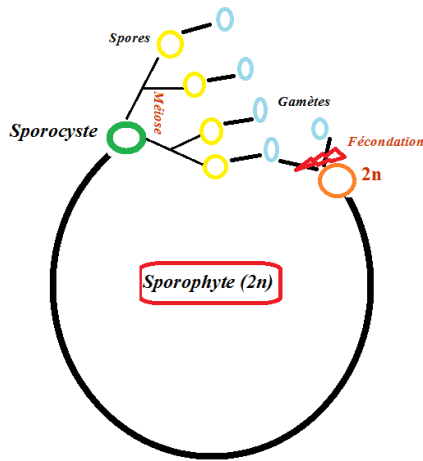
• **Cycle digénétique** : alternance de deux générations, l'une est asexuée représenté par le sporophyte à 2N qui fournit les spores. L'autre sexuée représentée par le gamétophyte à N chromosome, qui fournit les gamètes mâle et femelle. Le végétale qui présente un tel cycle est un **diplo-haplo-phasique**.

Chez les algues la méiose intervient à des moments variés et ne précède pas nécessairement la gamétogénèse et peut avoir une alternance entre deux générations : l'une haploïde et l'autre diploïde.

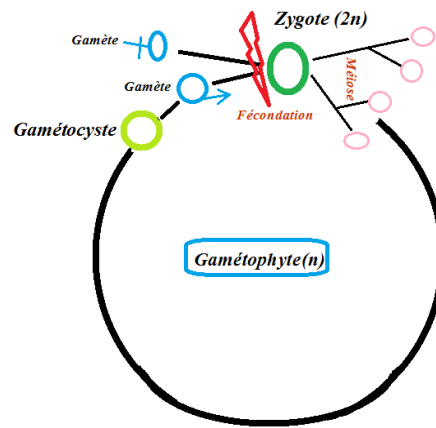
• **Cycles monogénétique** : caractérisé par la disparition de l'une ou l'autre des deux générations, il existe un seul type de thalle qui peut être :

Haploïde à N chromosome : cycle **monogénétique haplo-phasique**.

Diploïde à 2N chromosomes : cycle **monogénétique diplo-phasique**.



Cycle monogénétique diplophasique



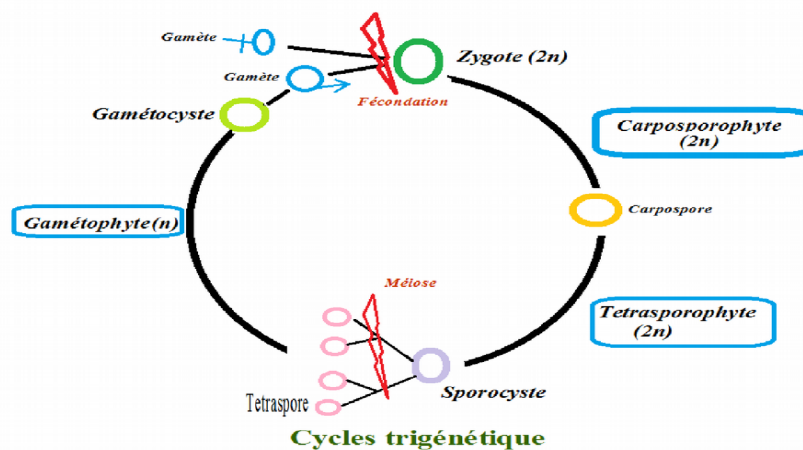
Cycle monogénétique haplophasique

- Les cycles trigénétiques : il y a alternance de trois générations :

1^{ère} génération : gamétophyte haploïde N gamètes N

2^{ème} génération : carposporophyte diploïde 2N spores 2N

3^{ème} génération : sporophyte diploïde 2N spore méiotique N



Cycles trigénétique

- ✓ Sur les thalles femelles, à partir de la cellule coxale d'une pleuridie, naît un rameau particulier : le rameau carpogonal.
- ✓ Sur les thalles mâles, à partir des cellules des pleuridies, naissent des petites ramifications portant de nombreux gamétocystes mâles produisant chacun un gamète unique nu et non flagellé : c'est une spermatie. Les spermaties flottent passivement dans l'eau et se fixent sur le trichogyne du carpogone et le contenu de la cellule de la spermatie passe du trichogyne puis au carpogone.

A ce moment, il y a union des 2 noyaux. Les noyaux se divisent par mitoses successives et forment le carposporophyte. Ce dernier est situé sur le thalle qui lui a donné naissance. Ce qui donne un thalle à 2N, morphologiquement identique à ceux à N chromosomes.

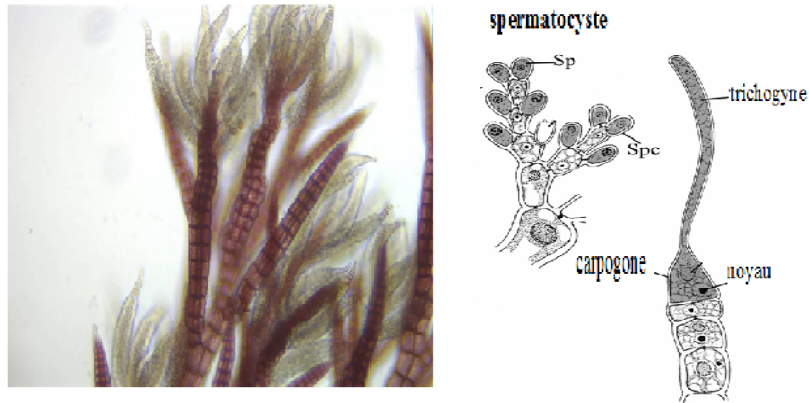


Figure 13- thalle de *Polysiphonia stricta* (algue rouge) portant rameaux fertiles.

- ✓ Ce thalle à 2N constitue le tétrasporophyte. Celui-ci donne naissance à des tétraspores provenant de bleues du spectre et reflète les rouges d'où leur aspect.
- ✓ Sur les thalles mâles, à partir des cellules des pleuridies, naissent des petites ramifications portant de nombreux gamétocystes mâles produisant chacun un gamète unique nu et non flagellé : c'est une spermatie.

Les spermatis flottent passivement dans l'eau et se fixent sur le trichogyne du carpogone et le contenu de la cellule de la spermatie passe du trichogyne puis au carpogone.

Classification des Phycophytes

La classification s'appuie principalement sur la nature des pigments des algues. On distingue 3 grands sous embranchements principaux d'algues eucaryotes : Algues vertes, Algues brunes et Algues rouges. C'est la luminosité en fonction de la profondeur qui détermine les peuplements d'algues.

Les rhodophycées

Les rhodophycées sont des algues marines de petite taille (1 à 4 cm), vivant sur les rochers et se développant sur l'Atlantique Nord et la Méditerranée. C'est une algue annuelle qui fructifie du printemps à l'automne.

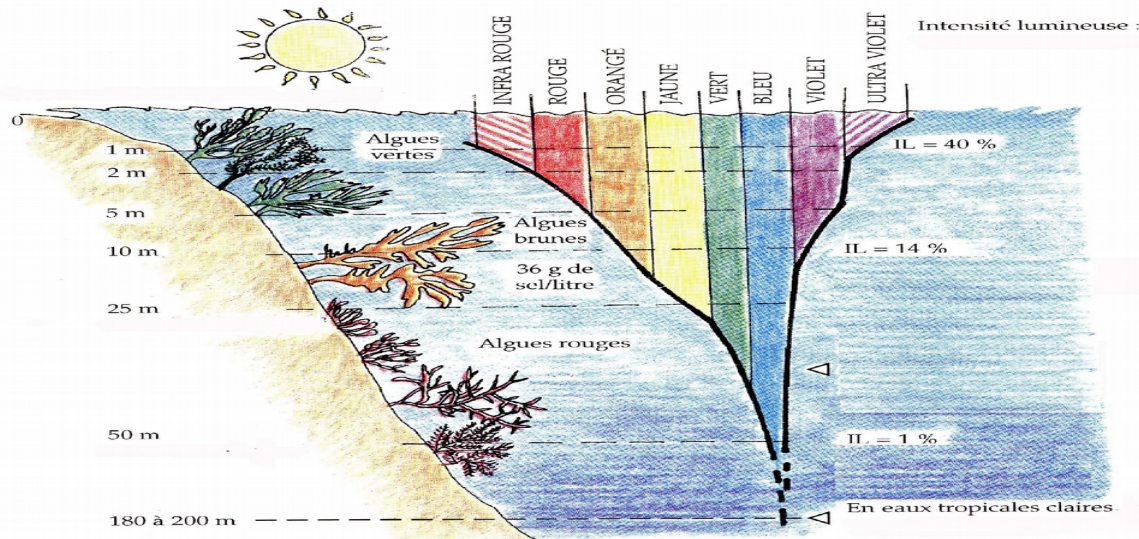


Figure 14- Schéma illustrant les différents types d'algue en fonction de la profondeur.

Caractéristiques des rhodophycées

- ✓ Elles possèdent de la chlorophylle A (bleu-vert), D et des phycobilisomes qui leur permettent de balayer tout le spectre d'absorption de la lumière et effectuer la photosynthèse par l'utilisation de pigments complémentaires, dont le plus important, la phycoérythrine qui absorbe les radiations bleues du spectre et reflète les rouges d'où leur aspect. Cette adaptation leur permet d'utiliser la lumière à de plus grandes profondeurs en mer, et la présence de phycocyanine (couleur rouge, absorbe dans le vert).
- ✓ Elles vivent et se développent en grande profondeur.
- ✓ Leurs morphologie est cladomientes.
- ✓ Leurs reproduction est sexuée sans flagelle.
- ✓ Leur paroi cellulaire ne contient pratiquement pas de cellulose, mais des polymères du galactose, aux propriétés gélifiantes ou épaississantes, très utilisées dans l'agroalimentaire.

Reproduction des rhodophycées

Le cycle est trigénétique (typique des algues rouges, ne se retrouve dans aucun autre végétal), mais toutes les algues rouges n'ont pas de cycle trigénétique, certaines ont un cycle digénétique, pour d'autre, le cycle complet est inconnu.

Sur les thalles femelles, à partir de la cellule coxale d'une pleuridie, naît un rameau particulier : le rameau carpogonal. Sur les thalles mâles, à partir des cellules des pleuridies, naissent des petites ramifications portant de nombreux gamétocystes mâles produisant chacun un gamète unique nu et non flagellé : c'est une spermatie. Les spermaties flottent passivement dans l'eau et se fixent sur le trichogyne du carpogone et le contenu de la cellule de la spermatie passe du trichogyne puis au carpogone.

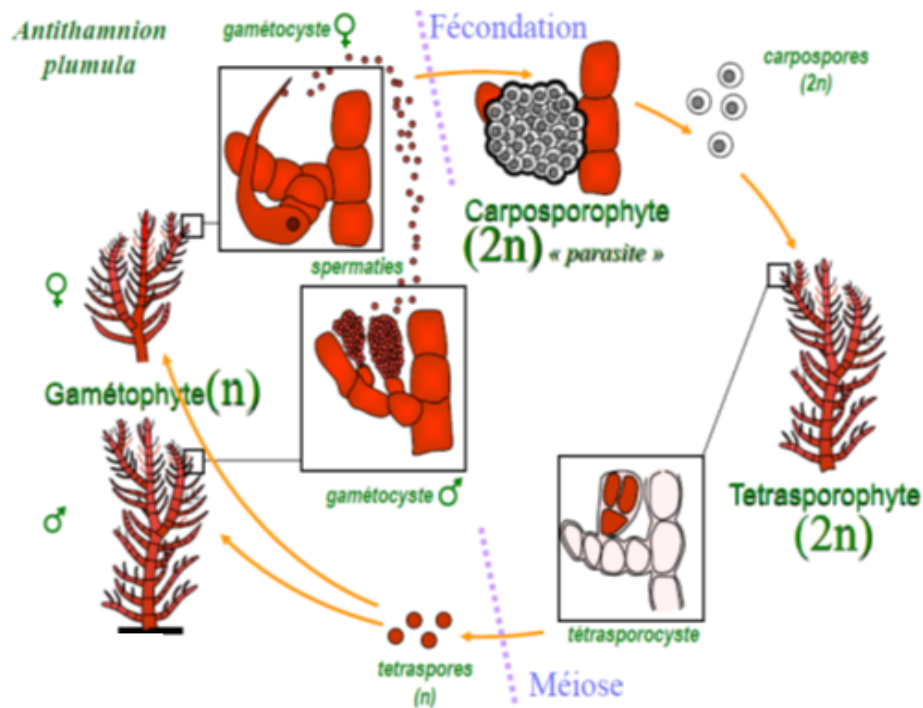


Figure 15- Cycle trigénétique d'*Antithamnion*.

A ce moment, il y a union des 2 noyaux. Le zygote ainsi formé est entouré de la paroi du carpogone surmonté du trichogyne qui flétrit. Les noyaux se divisent par mitoses successives. Ces cellules sont des carposporocystes qui donnent naissance à des carpospores avec un noyau à 2N. L'ensemble carpogone forme le carposporophyte. Ce dernier est situé sur le thalle qui lui a donné naissance. Ce qui donne un thalle à 2N, morphologiquement identique à ceux à N chromosomes. Ce thalle à 2N constitue le tétrasporophyte. Celui-ci donne naissance à des tétraspores provenant de cellules spécialisées : ce sont les tétrasporocystes où a lieu la méiose qui donnera 4 tétraspores à N chromosomes (espèce monoïque). Les rhodophycées ont un cycle haplodiplophasique trigénétique (thalle à N chromosomes donne un gamétophyte qui lui donnera un carposporophyte). Le gamétophyte donne le tétrasporophyte qui libérera les tétraspores.

Les chromophycophytes

Ce sont des algues qui possèdent les chlorophylles A (bleu-vert) et C. Ce sont des algues en général marines. Leur taille et leur abondance leur donne un rôle important dans la végétation marine. De plus, ces algues abritent une faune variée de poissons, crustacés qui y trouvent une nourriture abondante (c'est la chaîne alimentaire des bords de mer). Leurs plastes sont à triple paroi (contrairement aux algues rouges et vertes, à 2 parois), composé de sacs groupés par triades. Par exemple au Japon, certains bords de mer sont exploités pour l'alimentation humaine : ce sont les Kombu. – Ils sont utilisés dans l'industrie alimentaire pour l'extraction des alginates dans : les yaourts, les cosmétiques, la peinture, l'imprimerie... Ils servent d'épaississants ou de gélifiants.

Dans ce groupe, l'anatomie et les modes de reproduction sont variés. Toutefois, les chromophycophytes possèdent une grande homogénéité dans leurs structures cytologiques.

Leurs plastes contiennent de la chlorophylle A et C, et de la fucoxanthine pigments brun-jaune (spécial de coloration noire). Les cellules reproductrices mâles sont toujours biflagellées (un flagelle antérieur et un postérieur). Les flagelles s'insèrent sur le côté de la cellule.

Ce groupe se divise en cinq classes : les Chrysophycées, les Xanthophycées, les Diatomées ou Diatomophycées, les Phéophycées et les Raphidophycées.

Les cycles de reproduction des chromophycophytes

Les cycles de reproduction sont très variés et peuvent être digénétique haplodiplophasique (*Ectocarpus* et *Laminaria*), monogénétique diplophasique (*Fucus*, *Diatomées*)

- **Fucus vésiculeux**

C'est une algue brune très répandue dans les mers tempérées et froides de l'hémisphère Nord. L'algue est fixée sur un rocher grâce à un disque adhésif et peut atteindre quelques décimètres de long. Comme chez les Laminaires, il n'y a pas de multiplication asexuée.

Le thalle est diploïde, c'est un sporophyte, qui porte des gamétophytes regroupés à l'intérieur de conceptacles qui sont à l'extrémité des frondes. Le fucus est une espèce dioïque (une plante mâle et une plante femelle).

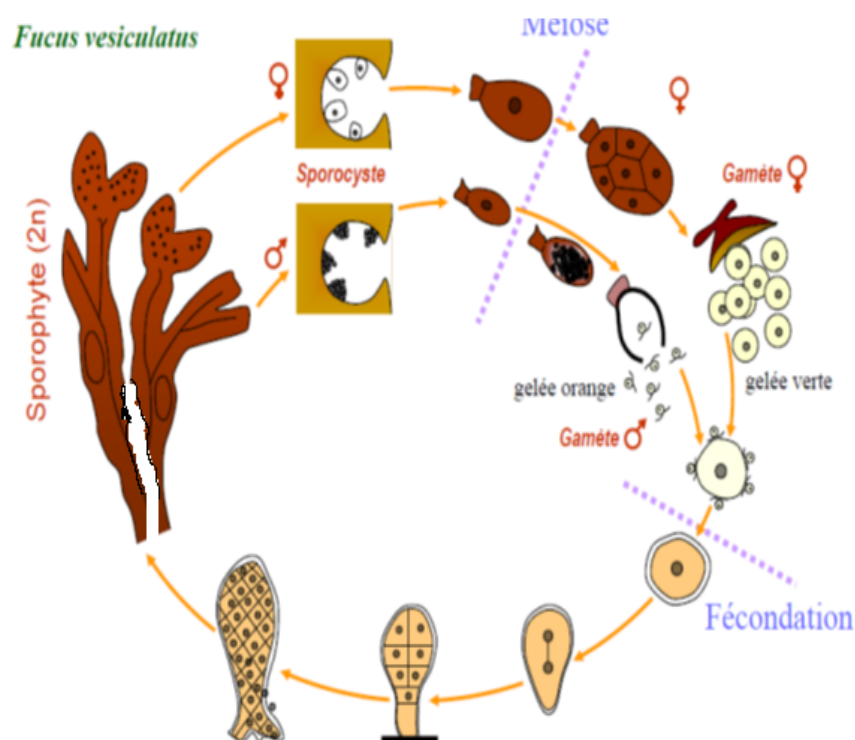


Figure 16- Cycle de reproduction monogénétique diplophasique du *Fucus vésiculeux*.

Le gamétophyte mâle, à son extrémité, il y a des poils non fertiles (les paraphyses), qui sont de petits filaments ramifiés qui portent les gamétocystes.

Chaque gamétocyste subit la méiose et donnent quatre noyaux. Puis, il subit quatre mitoses qui donnent 64 spermatozoïdes biflagellés sur le côté.

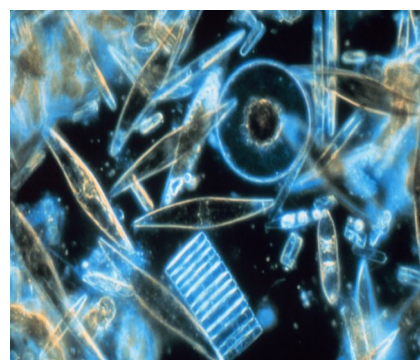
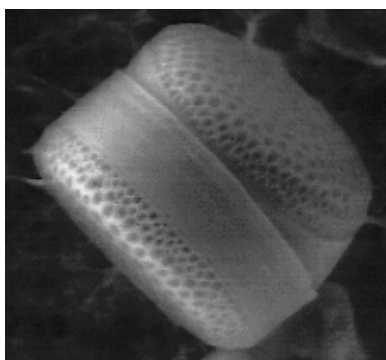
Le gamétophyte femelle, on y trouve des réceptacles mélangés à des paraphyses non ramifiées, ce qui donne un gamétocyste femelle où se réalise la méiose qui va donner quatre cellules, puis huit oosphères non flagellées. Ces dernières sont libérées dans l'eau de mer et attirent les spermatozoïdes. Là, a lieu la fécondation qui donne naissance à un zygote à 2N qui germera en donnant un thalle mâle ou femelle à 2N. C'est une reproduction par oogamie. Le cycle est monogénétique diplophasique.

- **Diatomées : *Bacilliarophyceae*.**

Les diatomées présentent un important rôle écologique : elles constituent la base de chaînes écologiques puisqu'elles forment le constituant majeur du phytoplancton et jouent un rôle primordial dans la vie des écosystèmes marins. Elles ont un rôle d'auto-épurateurs dans les rivières et servent d'indicateurs de pollution. Environ 100 000 espèces sont répertoriées, mais elles pourraient être bien plus nombreuses.

Les diatomées sont des algues unicellulaires, autotrophes et utilisent l'énergie de la lumière grâce à la chlorophylle A et la chlorophylle B contenues dans leurs chloroplastes par la photosynthèse. La présence de pigments de carotènes et de xanthophylles (dont la fucoxanthine), les chloroplastes sont jaunes, vert olive ou bruns.

Ces diatomées sont constituées par 2 valves (épivalves et hypoalves). Quand la cellule se divise, il apparaît entre les deux valves, des connectives (ou ceintures ou bandes) qui sont appelées des cingulum. La diatomée est comme une boîte de camembert.



Diatomées actuelles vues au microscope.

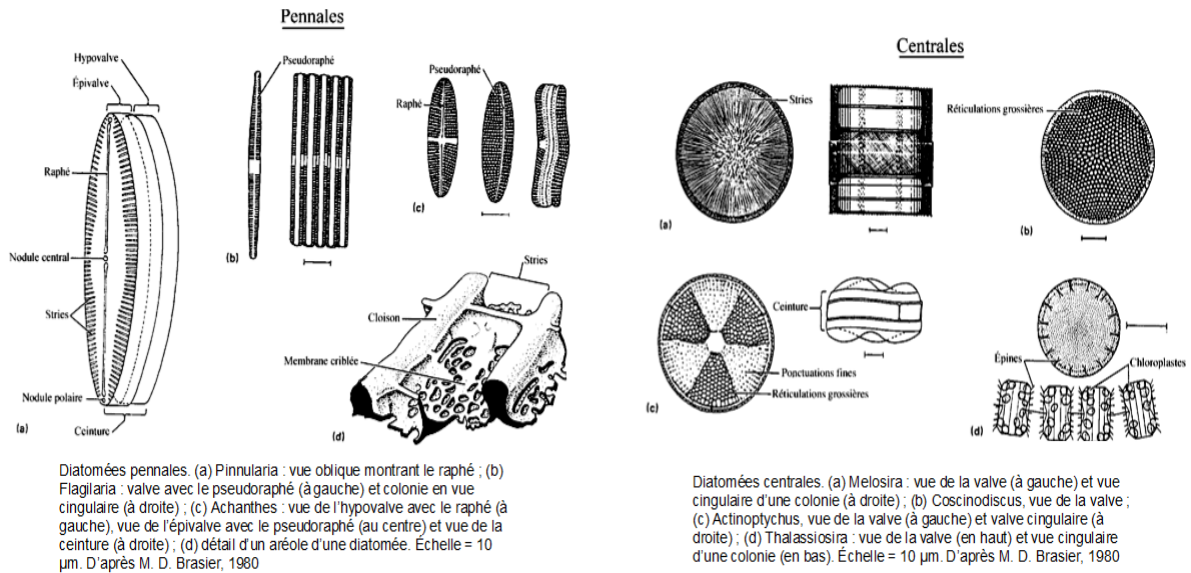


Figure 17- Différents formes de Diatomées.

Reproduction des Diatomées

La multiplication cellulaire végétative est la principale méthode de multiplication des diatomées ; elle ne fait pas intervenir de processus sexué. Lorsque les conditions sont favorables à leur prolifération, les diatomées se multiplient par bipartition (la cellule mère donne deux cellules filles), ce qui peut se faire de manière très rapide. Cette bipartition est particulière : chaque diatomée fille conserve une des valves de la diatomée mère comme épivalve propre, et reconstitue la valve manquante.

Les deux valves n'ayant pas la même taille, les diatomées filles sont de tailles différentes : celle qui est issue de la grande valve a la même taille que la diatomée mère, tandis que celle issue de la petite valve est légèrement plus petite.

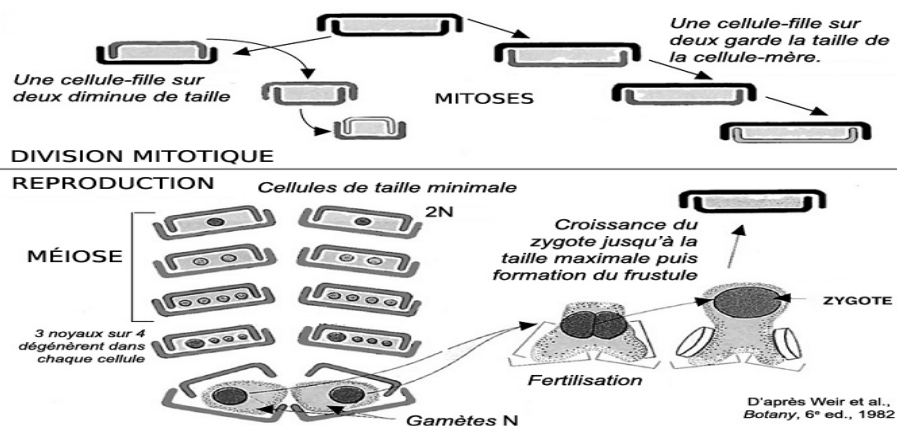


Figure 18- Schéma de la division méiotique et de la reproduction méiotique des Diatomées.

Ce processus se reproduit à chaque cycle. À partir d'une taille minimale (30 % de la taille initiale), la reproduction intervient entre deux diatomées afin de générer des individus de taille normale, trois ou quatre fois, voire huit à dix fois plus grands. Le processus est complexe et diffère chez les diatomées centrales et les pennales.

Chez les diatomées centrales, les cellules se transforment les unes en gamètes femelles, les autres en gamètes mâles. Les gamètes mâles sont munis d'un flagelle avec lequel ils s'introduisent dans les diatomées gamètes femelles. Chez les diatomées pennales, la fécondation se fait par cystogamie : il y a d'abord adhésion des deux diatomées, facilitée par du mucilage. Chacune évolue alors en un ou deux gamètes actifs (mâles, sans flagelle) ou passifs (femelles) qui fusionnent ensuite par divers moyens.

Les chlorophycophytes

Ce sont des algues qui possèdent des plastides d'un vert franc contenant de la chlorophylle A (bleu-vert) et les B (vert-jaune), associée à des carotènes et des xanthophylles identiques à celles des plantes supérieures. Les formes nageuses possèdent en général deux ou quatre flagelles de même taille.

Les Chlorophycées regroupent environ six cents genres et plus de huit mille espèces dont les quatre cinquièmes environ vivent en eau douce. Elles sont regroupées en quatre classes : les Chlorophycées, les Prasinophycées, les Zygochloales et les Charophycées.

On trouve, dans ces quatre classes, tous types d'algues : unicellulaires, flagellées, filamenteuses, ramifiées, en siphon. Dans la classe des chlorophycées, on trouve par exemple l'ordre des volvocales, et comme type de chlorophycées flagellées, on a le genre *Chlamydomonas*.

Cycle de *Chlamydomonas*

C'est une espèce dioïque. Les cellules normales peuvent donner des sporocystes qui donneront des *Chlamydomonas*.

Le gamétocyste : il est obtenu grâce à une réunification des parties antérieures (là où sont les flagelles). Il donne un pré-zygote à quatre flagelles (pendant peu de temps). Ce planogamète perd ses flagelles et donne un zygote avec une membrane épaisse, qui peut servir de forme de résistance. Dans le zygote, il y a la réduction chromatique qui donne les méiospores qui redonneront un nouveau *Chlamydomonas*. Cette espèce a un cycle monogénétique haplophasique.

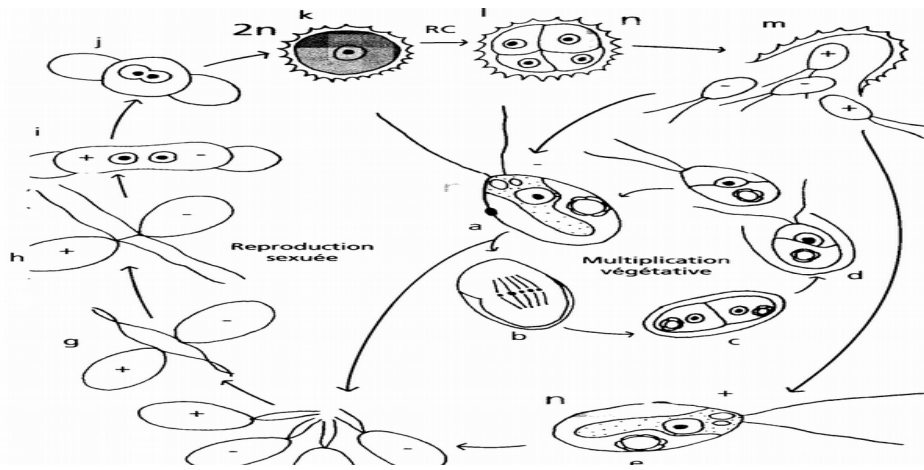


Figure 19- Cycle de reproduction monogénétique haplophasique de *Chlamydomonas*.

Cycle de reproduction de l'Ulve (*Ulva lactuca*)

- L'Ulve fait partie de l'Ordre des **Ulvales**. Le thalle est en forme de lame avec deux couches cellulaires. Il se reproduit à grande vitesse à cause de l'eutrophisation des côtes (les eaux marines sont trop riches en phosphore). Ces algues sont bien étudiées pour de multiples raisons : Elles n'ont pas de multiplication asexuée et leur reproduction sexuée est celle d'une espèce dioïque.

Les deux types de gamétophytes sont identiques morphologiquement. Les cellules qui bordent ces thalles deviennent des gamétocystes et libèrent des gamètes biflagellés (de 16 à 32 gamètes pour le mâle et de 8 à 16 pour la femelle). Les gamètes femelles sont aussi biflagellés mais bien plus grosses.

La copulation donne un œuf planozygote à quatre flagelles. Il se fixe et donne un thalle diploïde, morphologiquement identique aux thalles haploïdes des deux sexes.

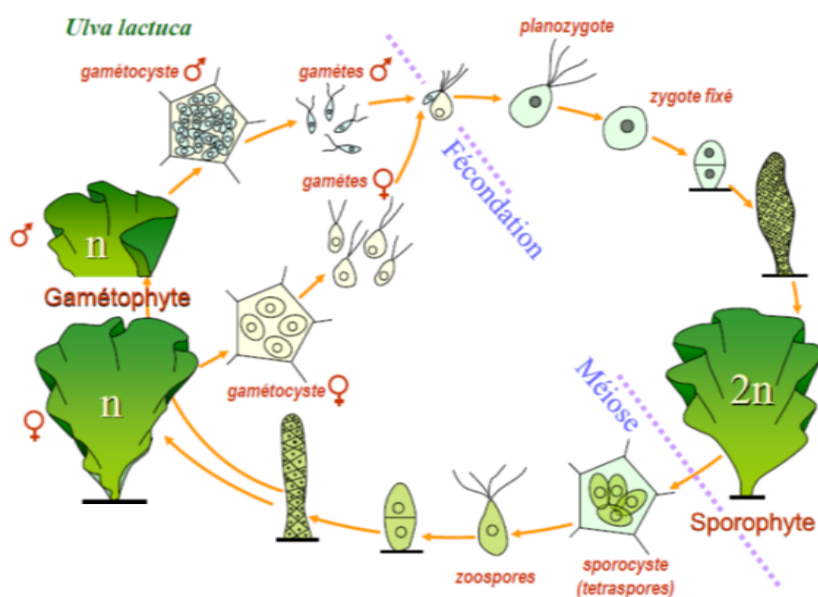


Figure 20- Cycle de reproduction d'*Ulva* (digénétique haplodiplontique).

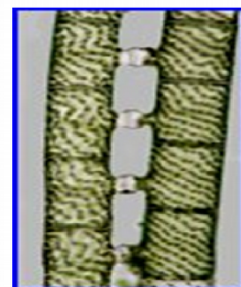
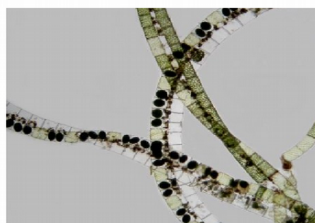
Les cellules en bordure de ce thalle diploïde (ou sporophyte) donnent des sporocystes à l'intérieur desquels il y a réduction chromatique et formation de quatre méiospores quadriflagellées. Ceux-ci se fixent et redonnent des thalles haploïdes. Dans chaque sporocyste, on a deux méiospores mâles et deux femelles. Le Cycle de reproduction est digénétique haplodiplophasique.

Cycle de reproduction de *Spirogyra*

La spirogyre est une algue verte filamenteuse commune dans les fossés et les mares d'eau suffisamment pure. Longue de plusieurs décimètres, elle est formée par un filament non ramifié de 50 à 100 mm de longueur, fait d'un enchaînement linéaire de cellules rectangulaires pourvues chacune d'un ou de plusieurs chloroplastes en forme de ruban spiralé. Ces longs filaments ondulent très lentement dans l'eau, ce qui permet le rapprochement des individus, nécessaire à la reproduction sexuée.

Le thalle de la spirogyre ne cesse de s'allonger par division cellulaire pendant l'été. A la fin de la belle saison, lorsque les conditions climatiques deviennent moins favorables, apparaît la reproduction sexuée: deux filaments distincts s'étant rapprochés, les parois des cellules haploïdes se faisant face se déforment, émettent des prolongements qui vont à la rencontre l'un de l'autre et finissent par s'unir, créant un couloir de communication entre les deux enveloppes.

L'une des deux cellules quitte son enveloppe et, par reptation dans ce couloir, va s'unir à la cellule opposée qui s'est contractée pour lui faire place. Chacune de ces cellules haploïdes est donc un gamète, le gamète mâle correspondant à la cellule qui s'est déplacée et le gamète femelle à celle qui est restée en place.



Formes de la spirogyre.

Leur union (= la **conjugaison**) forme un zygote diploïde qui s'enkyste dans une enveloppe résistante. Les zygotes tombent au fond de l'eau, où ils demeurent comme œufs de résistance jusqu'au printemps. Au printemps, le zygote subit la méiose, et chaque noyau ainsi formé s'individualise dans un peu de cytoplasme pourvu des divers organites cellulaires, formant chacun une nouvelle cellule haploïde à la base d'une nouvelle algue filamenteuse.

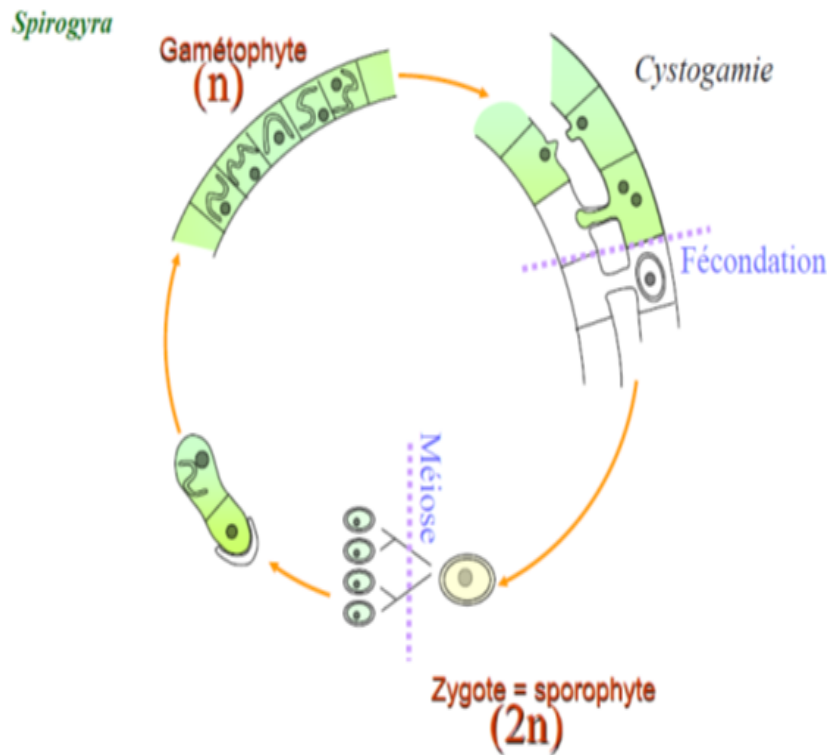


Figure 21- Cycle de reproduction monogénétique haploïde de *Spirogyra*.

Utilisations des algues :

- **Alimentation humaine**

- Comme aliment direct, les algues sont une sorte de légume, comme la laitue de mer : *Ulva lactuca*. Contenant généralement protéines, sels minéraux et vitamines
- On les utilisait autrefois, pour engraisser les champs (grosses algues brunes sur les plages après les tempêtes) ou pour apporter du calcaire à partir de petites algues calcifiées draguées sur les fonds.

- **Alimentation animale**

- Fabrication de farines et tourteaux incorporés dans les aliments composés, pour volailles.

- **Usages industriels**

- Certaines substances tirées des algues, notamment l'alginate, sont utilisées comme gélifiants, épaississant, émulsifiants, dans de nombreuses industries : pharmacie, cosmétiques, matières plastiques, peintures...
- L'agar-agar sert de base pour la fabrication des milieux de culture bactériologique.
- *Phymatolithon calcareum* fournit un calcaire poreux utilisé pour la filtration de l'eau. La capacité des algues à filtrer l'eau en concentrant ses constituants est également utilisable dans des stations d'épuration des eaux usées (villes) ou des eaux sortant d'installations industrielles (industrie chimique notamment).

5

Embranchement des Mycophycophytes

Depuis le milieu du XIX^e siècle les lichens ne forment plus une unité systématique particulière, mais correspondent à un ensemble de végétaux où doivent rentrer tous les Champignons vivant en société avec les Algues. En effet les lichens sont des organismes à structure autonome résultant de l'association symbiotique entre deux catégories de partenaires :

- **Le partenaire fongique**, hétérotrophe, est pratiquement toujours un champignon, qui représente plus de 90 % de la biomasse lichéneuse, dont les hyphes microscopiques enchevêtrées emprisonnent,
- **le partenaire chlorophyllien**, autotrophe, est une algue verte ou une cyanobactérie.

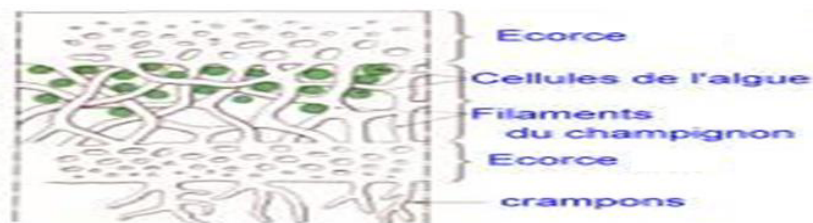


Figure 22- Structure des lichens

La symbiose apparaît comme l'association de partenaires avec bénéfices réciproques. Il y a transfert de nourriture photosynthétisée vers le champignon et, en échange, transfert de l'eau, de substances dissoutes et de certaines substances organiques vers l'algue.

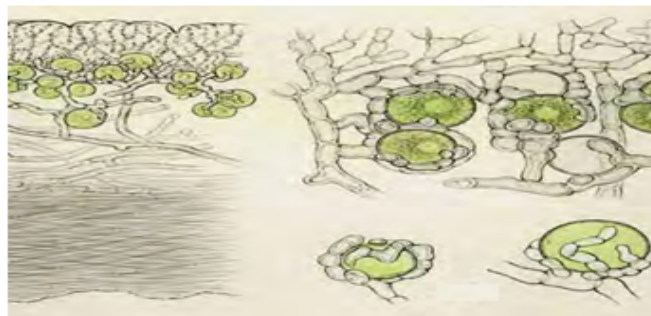


Figure 23- Association des hyphes du champignon (en gris) avec les cellules algales (en vert), chez *Cladonia furcata*.

La répartition des cellules d'algues parmi les hyphes du champignon peut se faire de deux façons et former soit :

- **un lichen homéomère**, les cellules d'algue réparties de façon homogène,
- **un lichen hétéromère**, les cellules d'algues sont groupées dans une couche déterminée.

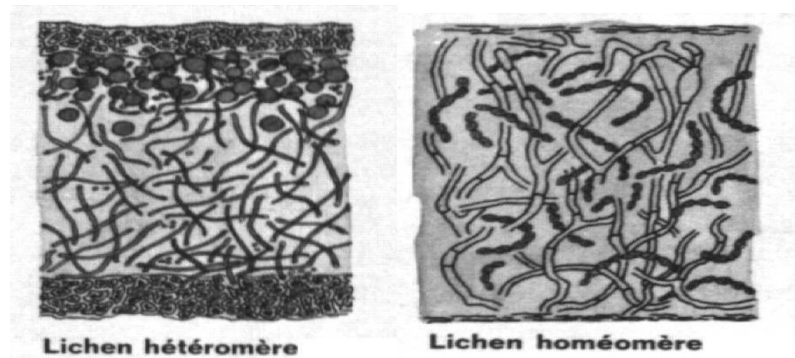
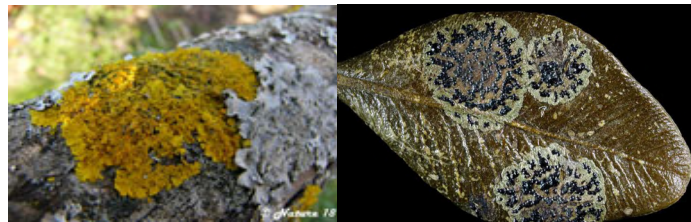


Figure 24- Différents types de lichens

Les lichens se rencontrent dans les milieux les plus divers et sur les substrats les plus variés. Leur résistance aux basses températures permet leur abondance dans les régions nordiques et dans les montagnes. Selon la nature du substrat on parle de :



- **Lichens corticoles** : sur les écorces des troncs et des branches des arbres de nos villes et de nos forêts (parfois sur feuilles : lichens folicoles ; sur bois nu : lignicoles...). Corticoles, folicoles, lignicoles forment les lichens épiphytes.



- **Lichens saxicoles** : sur les rochers calcaires, siliceux nus, siliceux moussus, siliceux immergés, vieux murs, toits, avec des variations dans les groupements en fonction de la luminosité.

- **Lichens terricoles et humicoles** : dans des pelouses, landes, bois clairs... Un certain nombre d'entre eux vivent en saprophytes aux dépens de la matière organique présente dans le sol.



La classification des lichens

Le thalle des lichens est formé par l'enchevêtrement d'hyphes du champignon (Un **hyphe** est un filament plus ou moins ramifié, qui peut mesurer plusieurs centimètres). Les différences dans l'aspect du thalle permettent la classification des lichens en sept grands groupes morphologiques.

- **Thalles lépreux** : association de granules constitués chacun d'un groupe hyphes.



- **Thalles crustacés** : ils forment une croûte fortement adhérente au substrat, la plupart d'entre eux sont souvent appelés les microlichens.



- **Thalles squamuleux** : formés de petites écailles qui se chevauchent partiellement. La partie de l'écaille décollée du substrat commence à différencier un cortex inférieur. Ces thalles sont intermédiaires entre les thalles crustacés et les thalles foliacés. Ex : *Normandina pulchella*.



- **Thalles foliacés** : donnent des lames lobées facilement séparables du substrat auquel ils sont parfois fixés par des rhizines. Certains thalles foliacés n'adhèrent au substrat que par une petite zone (crampon) souvent située au centre de la face inférieure, et la face supérieure présente une légère dépression (ombilic) ; ce sont les thalles foliacés ombiliqués. Ex : les *Umbilicaria*.



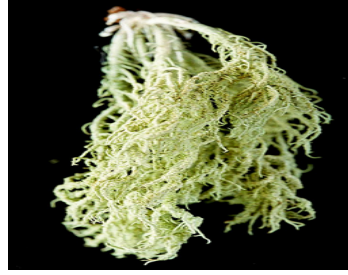
- **Thalles composites** : ils présentent un thalle primaire foliacé-squamuleux, adhérent au substrat, et un thalle secondaire dressé, plus ou moins ramifié, développé dans un second temps sur le thalle primaire. Ex : les *Cladonia Stereocaulon*...



- **Thalles gélatineux** : ils contiennent des cyanobactéries réparties dans toute l'épaisseur du thalle. A l'état sec ils sont noirs, coriaces et friables. En présence d'eau ils gonflent pour donner des masses gélatineuses. Ex : les *Collema*, *Ephebe*, *Leptogium*, *Lichina*...



- **Lichen fruticuleux**: buissonnant de couleur verdâtre fixé en un seul point. La section des filaments est ronde et, en les étirant, ils laissent apparaître un cordon axial blanc, coriace. Ex: genre *Ramalina*.



La reproduction des lichens

- **Par dissémination du lichen**

Les lichens sont des organismes reviviscents. Capable de subsister longtemps à l'état sec, ils deviennent cassants ; leurs fragments dispersés par le vent où les animaux peuvent engendrer de nouveaux individus. Des structures plus organisées peuvent également se former : les soralies, les isidies ... Elles contiennent toujours l'algue et le champignon.

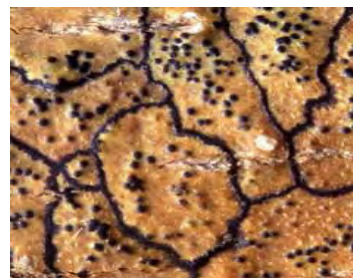
✓ **des soralies** : masses farineuses ou granuleuses produisant des sorédies, amas de cellules algales entourées d'hyphes bien individualisées. les sorédies sont légères, elles sont facilement transportées par le vent, la pluie, les insectes et permettent une dissémination de l'espèce.

✓ **Isidies** : à sa surface, le thalle émet de petits bourgeons (sphériques, cylindriques, ramifiés...) contenant les algues et les hyphes. Recouverts par le cortex, ils sont en général de la même couleur que le thalle. Ces isidies, plus lourdes que les soralies, ne peuvent être transportées aussi loin, elles assurent plutôt une colonisation du substrat.

- **Par production de spores par le champignon**

Deux hyphes fongiques sexuellement différenciées fusionnent et donnent, à la surface du thalle, des structures en forme de boutons (les apothécies), ou de coupes plus ou moins fermées (les périthèces), dans lesquelles des cellules particulières (les asques) vont élaborer les ascospores, en général 8 spores par asque mais le nombre peut varier, et des mitoses permettent d'obtenir dans certains cas 32, 64 ascospores, ou beaucoup moins si certaines cellules méiotiques avortent. Après leur libération, ces spores issues d'une reproduction sexuée, germent et donnent des hyphes qui capturent des algues pour pouvoir redonner un nouveau thalle lichéneux.

Entre les asques se trouvent des cellules stériles : les paraphyses, dont les extrémités renflées peuvent contenir des pigments responsables de la couleur de l'hyménium.



Apothécie d'une physcie : *Physcia leptalea*

Périthèces de *Pyrenula chlorospila*

Usages des lichens

✓ Usages médicaux

Certains lichens sont utilisés en homéopathie pour la fabrication de sirops, pastilles... d'autres sont capables de nous donner des antibiotiques particulièrement actifs à des doses très faibles (1/20 000 des doses habituelles) contre les bactéries GRAM+. Ex : Certains *Ramalina*, *Alectonia*, *Usnea* sont riches en acide usnique ; toxiques par voie parentérale ils donnent d'excellents résultats en usage externe. En 1989 des propriétés anti tumorales et inhibitrices de la réplication du virus du SIDA ont été découvertes.

✓ Usages alimentaires

Certains lichens contiennent des macromolécules de lichénine dégradées en glucose au cours de la digestion. Ils peuvent être utilisés pour l'alimentation des animaux. Ex : dans les déserts asiatiques : le *Rhizoplaca esculenta* ou "manne du désert", qui aurait sauvé les Hébreux de la famine.

✓ Usages industriels

Extraction industrielle de produits pour la parfumerie surtout à partir de 2 lichens récoltés sur les arbres : *Evernia prunastri* (la mousse du chêne) et *Pseudevernia furfuracea* (mousse des arbres). On en récolte chaque année entre 8 000 et 9 000 tonnes pour les parfums à odeur de "Chypre", de "cuir de Russie" ... Fabrication artisanale de matières colorantes.

✓ Bio-indication

Ils permettent dans certaines conditions d'évaluer :

- la chimie et la stabilité des sols,
- la hauteur moyenne de l'enneigement,
- le degré de pureté de l'atmosphère,
- le type de gestion forestière,
- la quantité de polluants (plomb, fluor, radioéléments...) présents dans un milieu donné.

Embranchement des Bryophytes

Parmi le règne végétal, les bryophytes représentent le second groupe le plus large après les plantes à fleurs (350 000 espèces). C'est des cormophytes « primitif », apparus avant les plantes à fleurs. L'absorption de l'eau et des sels minéraux se réalise au niveau de l'ensemble de l'individu. Chez la plupart des espèces, les vaisseaux sont absents et les rhizoïdes ("pseudo-racines") ont un rôle unique de fixation au support et non de conduction.

Ce sont des végétaux anciens, assez discrets et méconnus, faisant la transition évolutive entre les algues (toutes à thalle) et les végétaux vasculaires ou supérieurs (tous à tige typique). Les bryophytes ne sont que partiellement émancipés du milieu aquatique. Ce sont des cryptogames, se reproduisant grâce à des spores libérées et disséminées par le vent et possédant un cycle à deux générations séparées.

Pris au sens large, c'est-à-dire celui des classifications traditionnelles, le terme Bryophyte s'applique aux trois embranchements de plantes terrestres qui ne possèdent pas de vrai système vasculaire :

- les **Marchantiophytes ou Hépatiques**
- les **Anthocérophytes ou Anthocérotes**
- les **Bryophytes ou Mousses**

L'origine des bryophytes doit remonter au dévonien supérieur, il y a environ 350 millions d'années. Mais on suppose que l'apparition des hépatiques est antérieure à celle des mousses qui ne seraient apparues qu'au Carbonifère.

• Morphologie des Bryophytes



Les Bryophytes, Hépatites et Anthocérotes sont des petites plantes des milieux humides, dépassant rarement 20 cm de long et souvent beaucoup plus petites.

Les Mousses ont des axes portant des feuilles, les Anthocérotes ont des thalles sans tiges ni feuilles cependant les Hépatites peuvent avoir soit un axe feuillé ou un thalle.

Les Bryophytes sont constituées de tissus différenciés, mais sans appareil vasculaire vrai, il n'y a donc pas de vraies racines, mais seulement des rhizoïdes filamenteux, et l'absence de vrais

vaisseaux conducteurs. Les bryophytes doivent donc absorber l'eau et les sels minéraux directement par imbibition et diffusion à travers les thalles, les feuilles ou les tiges.

La forme de la feuille varie beaucoup et le tissu foliaire diffère suivant les familles et les genres. La nervure peut manquer ou bien elle apparaît simple ou double. La forme des feuilles, le nombre et la longueur des nervures sont des caractères utilisés pour la détermination des genres et des espèces.

- **Cycle de reproduction des Bryophytes**

- **Reproduction sexuée**

Le cycle de reproduction des Bryophytes est haplodiplophasique à haplophase dominante, représentant par le gamétophyte et une phase diploïde constituant le sporophyte.

La tige feuillée (ou le thalle) est la génération haploïde qui développe les organes reproducteurs (anthéridies contenant les anthérozoïdes et archégonies contenant l'oosphère).

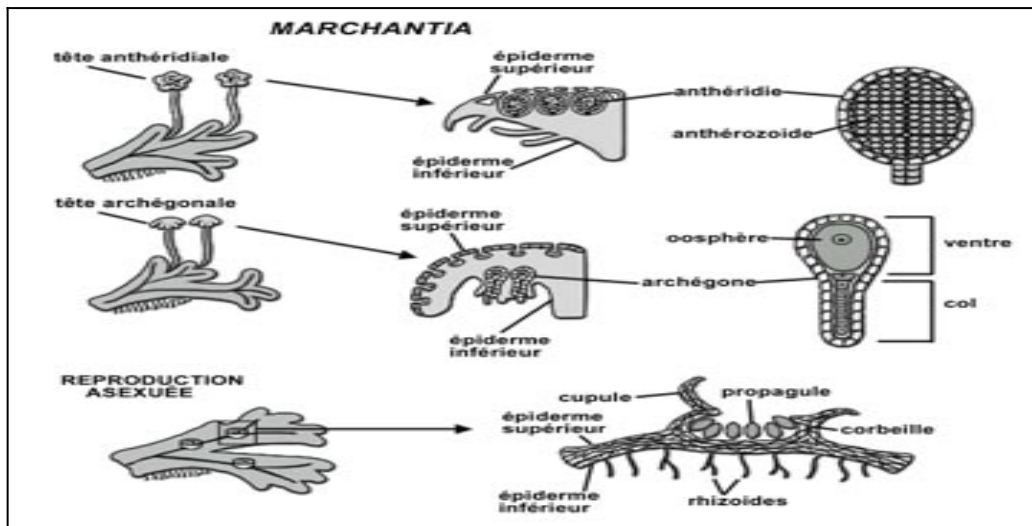


Figure 24- Organes de reproduction femelle et mâle des Bryophytes.

La fécondation, dépendante de l'élément liquide, engendre le développement du sporophyte, la génération diploïde. Le sporophyte est réduit à un axe unique, non chlorophyllien qui se développe en parasite fixé sur le gamétophyte femelle. Ce sporophyte est constitué d'un pied, d'une soie et d'une capsule.

A l'intérieur de la capsule, la réduction chromatique produit les spores haploïdes qui sont, à maturité, lors de la chute de la coiffe puis de l'opercule, libérés et dispersés par le péristome. Dans les conditions favorables, ces spores disséminées germeront et donneront naissance à un filament chlorophyllien, le protonéma, qui engendrera d'autres gamétophytes puis dégénérera le plus souvent.

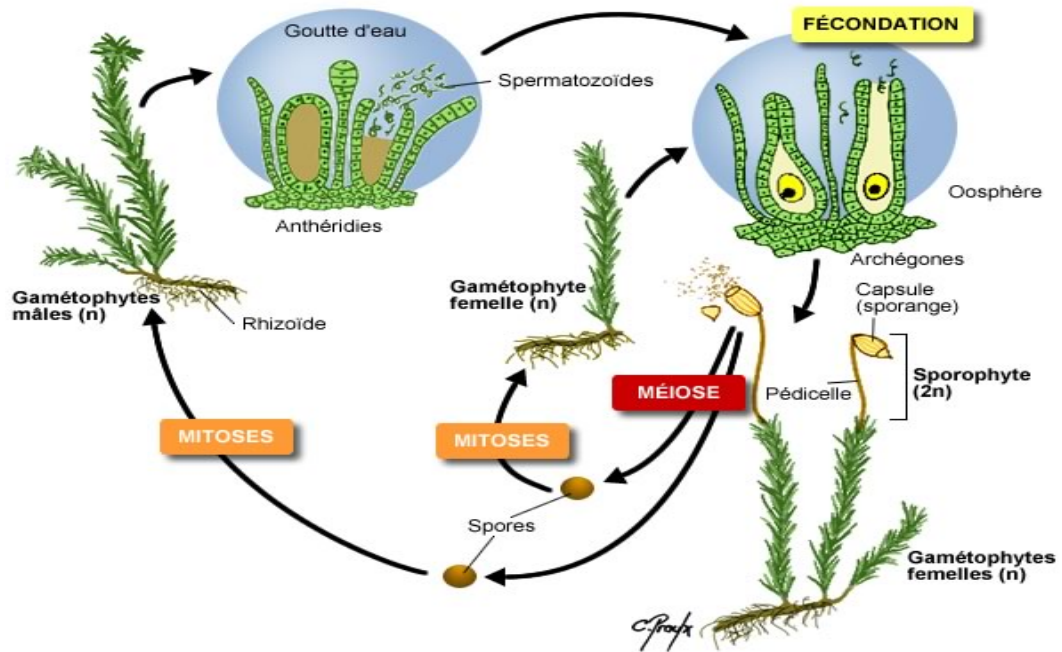


Figure 25- Cycle de développement des mousses: le *polytrich* (D'après Campbell).

➤ Reproduction asexuée

Ce cycle peut être écourté par la création de propagules, des petits massifs cellulaires à l'extrémité des tiges, sur les feuilles, ou dans des structures spécialisées, appelées corbeilles à propagules. A maturité, ces propagules sont disséminées par l'eau et donnent naissance, en se développant, à un nouvel individu gamétophytique, sans passer par la phase diploïde et le protonéma (particulièrement fragile et sensible aux conditions extérieures du fait de ses parois très fines).

• les Marchantiophytes ou Hépatiques

Forment l'embranchement des plantes non vasculaires qui ont conservé le plus de caractères ancestraux. Le plant a l'apparence des lobes de foie d'un animal, d'où vient son nom. Cet embranchement contient deux grandes classes :

- ✓ **Marchantiopsida** (hépatiques à thalle complexe) (32 genres, 700 espèces)
- ✓ **Jungermanniopsida** avec deux sous classe :
 - **Jungermanniidae** : Hépatiques à feuille (125 genres, 8000 espèces)
 - **Metzgériidae** : Hépatiques à thalle simple (17 genres, 550 espèces)

• les Anthocérophytes ou Anthocérotes

Les Anthocérotes sont un embranchement de plantes non vasculaires toujours aux caractères ancestraux. Ce sont des organismes thalloïdes, abondant dans les zones tropicales. Ils ressemblent aux hépatites, mais ils diffèrent par leurs sporophytes dont la capsule s'allonge comme une corne. Cet embranchement comprend l'ordre des Anthocerales qui regroupe 325 d'espèces dans les familles suivantes:

- **Anthocérotales**
- **Codoniaceae**
- **Dendrocérotales**
- **Notothyladaceae**

- **Les Bryophytes**

Les Bryophytes constituent un embranchement très vaste, ils se développent sur tous les substrats et présentent un axe feuillé portant des feuilles simples, disposées de façon hélicoïdale. Cet embranchement est divisé en 3 classes :

-**Sphagnopsida**: les sphaignes ou mousse à tourbe.

-**Andreaeopsida** : les andréales, qui vivent sur les rochers siliceux des régions froides en montagne

-**Bryopsida**: souvent appelées les vraies mousses, comprennent la majorité des espèces de Bryophytes.

- **Les Sphagnopsida**

Les sphaignes sont des bryophytes de grande taille, cosmopolites, constituent des colonies très vastes et forment des tourbières de sphaigne. C'est un groupe homogène qui ne comprend qu'un seul genre : *sphagnum* qui comporte environ 300 espèces.

- **Andreaeopsida**

Ce sont des petites mousses d'un brun noirâtre qui vivent sur les rochers siliceux dans les régions froides et peuvent s'adapter à des conditions extrêmes. C'est un groupe très restreint qui ne comportent que deux genres et 100 espèces.

- **Les Bryopsida**

Ce sont de vraies mousses au sens commun du terme. Elles constituent la classe qui regroupe le plus d'espèces. Ces mousses, sont retrouvées dans des milieux humides (y compris dans l'eau), mais aussi dans des milieux plus secs. Elles possèdent des tiges sans feuille érigées ou couchées. Les spores formées dans les capsules sont libérées et se développent pour donner de nouvelles plantes.

Les *Bryopsida* possèdent une structure plus complexe que les autres classes. On peut les diviser en une quinzaine d'ordres fondés sur le port du gamétophyte, la forme et la disposition des feuilles, la constitution de la capsule et du péristome. Les principaux ordres retenus sont :

-Les polytricales : *Polytrichum*

-Les bryales : *Bryum*

-Les funariales : *Funaria, Tortula*

-Les hypnales : *Hypnum*

- **Les usages des Bryophytes**

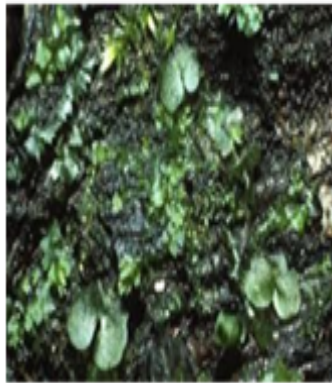
L'importance économique des bryophytes

- Dans le domaine horticole : la mousse de sphaigne sert comme support de culture des orchidées et autres plantes épiphytes, des plantes carnivores, réalisation de montages et de paysages floraux, de maquettes.
- Dans le domaine de la parfumerie : certaines hépatiques, des *Frullania* notamment, sont récoltées en masse dans certains pays étrangers comme fixateur de parfums.
- L'exploitation de la tourbe : aux usages horticoles ou industriels.



7 Embranchement des Ptéridophytes

Les ptéridophytes (du grec *pteron* = aile) sont des végétaux vasculaires : cormophytes, dans lesquelles on reconnaît une racine, une tige, des feuilles; mais ils ne portent pas de fleurs, et par suite ne peuvent pas se reproduire par des graines : ce sont des plantes cryptogames, leur reproduction se fait par des spores.



Stade gamétophyte



Les sores (avec les sporanges)



Stade sporophyte

Les ptéridophytes vivent en général dans les milieux humides, et certains sont aquatiques (*Azolla*). Certaines formes peuvent résister à la sécheresse. On trouve de nombreuses espèces de ptéridophytes fossiles, ce qui est une preuve de leur épanouissement pendant les périodes du Carbonifère et du Permien. On divise les ptéridophytes en quatre classes (genres et espèces le plus souvent fossiles) :

- **Les Psilophytes**
- **Les Lycophytes**
- **Les Équisétinées ou Sphénophytes : les Prêles**
- **Les Filicophytes : les Fougères**

Les 4 classes de ptéridophytes sont les descendants directs des plantes vasculaires sans graines qui couvraient les vastes forêts du Carbonifère. Cette végétation a laissé un combustible fossile : le charbon. La végétation morte ne se décomposait pas complètement dans ces eaux stagnantes, et d'épaisses couches de débris organiques, appelés tourbe, se sont accumulées. Plus tard, la mer a envahi les marais, recouvrant la tourbe de sédiments marins. La chaleur et la pression ont transformé progressivement la tourbe en charbon.

Leur cycle de développement est digénétique haplodiplophasique et consacre la dominance du sporophyte ($2n$) car toujours le gamétophyte demeure discret, il porte le nom de prothalle.

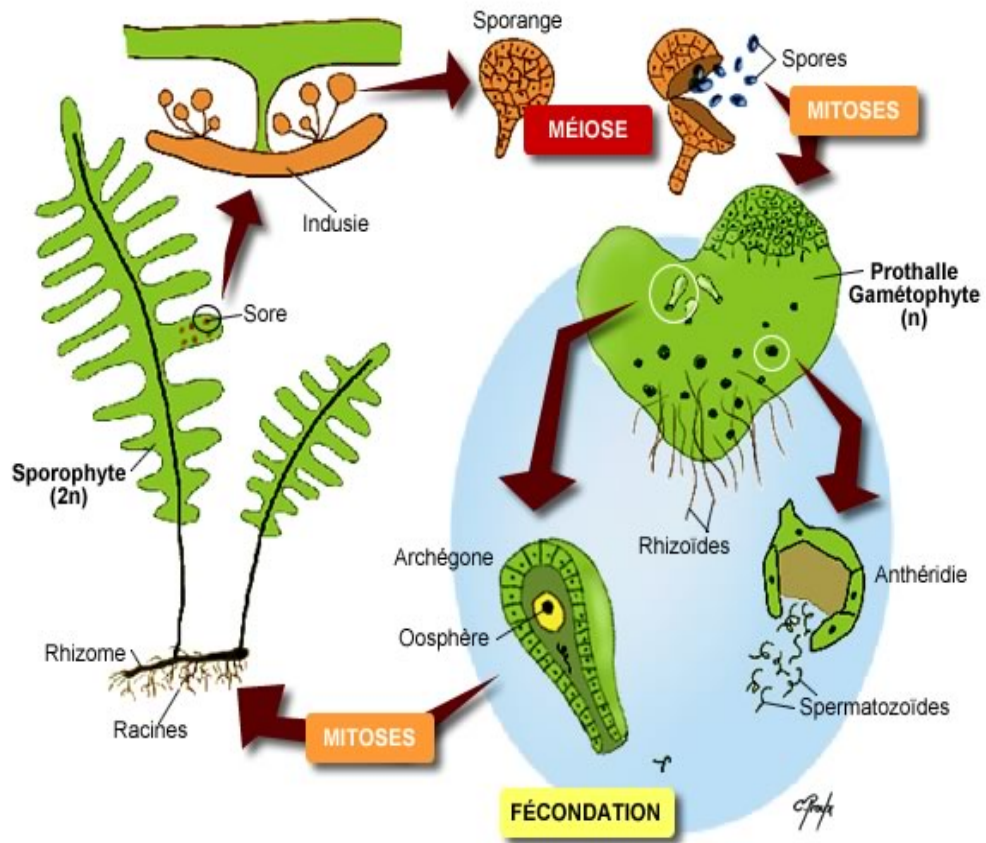


Figure 26- Cycle de développement des Ptéridophytes

- **Morphologie des ptéridophytes.**

D'une manière générale, la différenciation des organes est moins accentuée chez les ptéridophytes que chez les spermatophytes. La plante possède toujours des tiges, racines et feuilles, sauf chez quelques formes primitives qui sont dépourvues de racines.

- **La racine**

Les ptéridophytes n'ont pas de racine principale, la première racine est déjà latérale. Elle meurt rapidement et est remplacée par de nouvelles racines latérales. Chaque racine est protégée par une **coiffe** au bout et elle présente une **zone pilifère** et une **zone subéreuse**.

- **La tige**

La tige est tantôt un axe aérien dressé, tantôt un rhizome souterrain rampant.

On distingue chez les tiges : un épiderme, un tissu sous-jacent appelé écorce ou parenchyme, un cylindre central, la stèle où se trouvent concentrés les éléments conducteurs.

Les éléments conducteurs sont groupés et liés de façon à former soit des colonnes parallèles, soit un réseau de tissu conducteur. Le système vasculaire s'étend de l'extrémité des racines jusqu'aux feuilles.

- **La feuille**

Les feuilles des ptéridophytes présentent une grande variété de port et de structure.

Tantôt les feuilles sont très nombreuses, très petites et ne possèdent qu'une seule nervure non ramifiée comme chez les lycopodes, les prêles, les sélaginelles et les isoètes.

Tantôt, au contraire les feuilles ont une grande taille par rapport à la tige comme chez les filicinées.

➤ **Les différentes classes des Ptéridophytes**

➤ **Les Psilophytes**

C'est un embranchement qui compte les plus anciennes ptéridophytes et des ordres fossiles.

Ce sont les plus simples par leur organisation ; elles n'ont pas de racines, pas de véritables feuilles et ressemblent morphologiquement à des mousses. Cependant ce sont bien des ptéridophytes, car il existe, dans leur tige, des formations ligneuses différenciées.

Dans l'ordre des Psilotales, 2 genres existant actuellement, *Psilotum* et *Tmesipteris*, sont des plantes tropicales.

➤ **Les Lycophytes**

Les Lycophytes ont connu un épanouissement considérable à la fin du Dévonien et au Carbonifère, où elles dominent les formes arborescentes. Il ne subsiste dans la flore actuelle que quelques genres herbacés.

Ce sont des ptéridophytes à petites feuilles; les sporanges sont portés par des feuilles spécialisées, les sporophylles, souvent groupés en épis terminaux. Les Lycophytes se subdivisent en deux taxons :

- Les lycopodiaceae, présentant des spores identiques : isosporées.
- Les Slaginellaceae, présentant des spores différentes : hétérospores.

➤ **Le genre *Lycopodium***

Le genre *Lycopodium* comprend 200 espèces réparties des terres arctiques aux régions tropicales. On les trouve surtout dans les sols riches en matière organique.

➤ **Le genre *Sélaginella***

➤ **Le genre *Sélaginella*** comprend 600 espèces, surtout tropicales.

➤ **Les Sphénophytes : les Prêles**

Les Sphénophytes ou Equisetophytes, forment un groupe homogène caractérisée par un rhizome souterrain d'où surgissent des tiges verticales divisées en articules successifs, cannelées, creuses, portant à chaque nœud des feuilles réduites disposées en cercle (verticillées). L'appareil reproducteur est constitué par un ensemble de sporanges regroupés en épi ou strobiles et portés par un axe appelé sporangiophore.

➤ **Les Filicophytes : les Fougères**

Depuis leur apparition durant le Dévonien, les Filicophytes ont côtoyé les prêles et lycopes géants durant le Carbonifère. Les fougères sont les plus nombreuses plantes sans graines de la flore moderne. Il en existe plus de 12 000 espèces.

Ce sont des ptéridophytes caractérisés par leurs grandes feuilles (frondes), des sporanges petits et nombreux. Les feuilles se divisent souvent en plusieurs folioles appelées pinnules. Les sporanges sont regroupés en sores.

➤ **Usages des fougères**

Beaucoup de fougères sont utilisées pour usages alimentaires, industriels, médicaux ou ornementaux

➤ **Les usages alimentaires**

La Matteucie, plume d'autruches *Matteucia Struttiopteris*, les jeunes pousses appelées têtes de violons sont consommées comme des asperges.

➤ **Les usages médicaux**

Adiantum sp. Galactogène et désintoxiquant. *Asplenium sp.* Expectorant, cholagogue, vulnéraire, *Dryopteris filix-mas* vermifuge, *Osmunda regalis* diurétique, astringent et vulnéraire; avec les frondes, on confectionne des coussins et matelas à action antirhumatismales, *Polypodiun sp.* Laxatif et expectorant.

➤ **Les plantes d'intérieur**

Plusieurs espèces de fougères tropicales sont cultivées comme plantes d'intérieur.

➤ **La rénaturalisation des sites**

De par leur origine phylogénique les fougères sont des plantes colonisatrices et conviennent parfaitement à la rénaturalisation des sites.

8 Embranchement des Préspermaphytes

Embranchement constitué désormais de très peu de représentants, qui se situe entre les Ptéridophytes et les Spermatophytes. Ces plantes produisent un ovule comme les plantes à graines, mais ce ne sont pas encore parfaitement des plantes à graines, car l'ovule est fécondé au sol (comme chez les fougères) et non sur la plante. L'appareil végétatif est apparenté aux fougères tandis que l'appareil reproducteur est comparable à celui des conifères actuels.

➤ Classification

L'embranchement des Préspermaphytes est constitué de plantes « reliques », comme *Ginkgo biloba* (Ginkgophytes) et le *Cycas revoluta* (Cycadophytes). Il existe toutefois d'autres espèces plus rares : le *Zamia* (Zammiacées) et *Stangeria* (Stangeriacées). Les Préspermaphytes sont aussi appelées Préphanérogames.



Ginkgo biloba



Cycas revoluta

➤ Morphologie

Les innovations morphologiques sont faibles. Elles concernent principalement les feuilles. Chez le *Cycas*, celle-ci sont encore fortement découpées et rappelle un peu la fronde des fougères. Toutefois l'allure de l'arbre le rapproche des palmiers. Chez le *Ginkgo* on peut enfin parler de feuilles. Celles-ci sont réduites, aplaties, et disposées tout au long des rameaux.

➤ Reproduction

Comme la plupart des végétaux de l'époque, les Préspermaphytes sont dioïques.

Chez le *Cycas*, l'appareil reproducteur mâle est constitué par un cône apparaissant au milieu de la couronne de feuilles, ce cône est formé de plusieurs centaines d'écailles : microsporophylles qui portent de nombreux sporanges compacts, libérant le pollen.

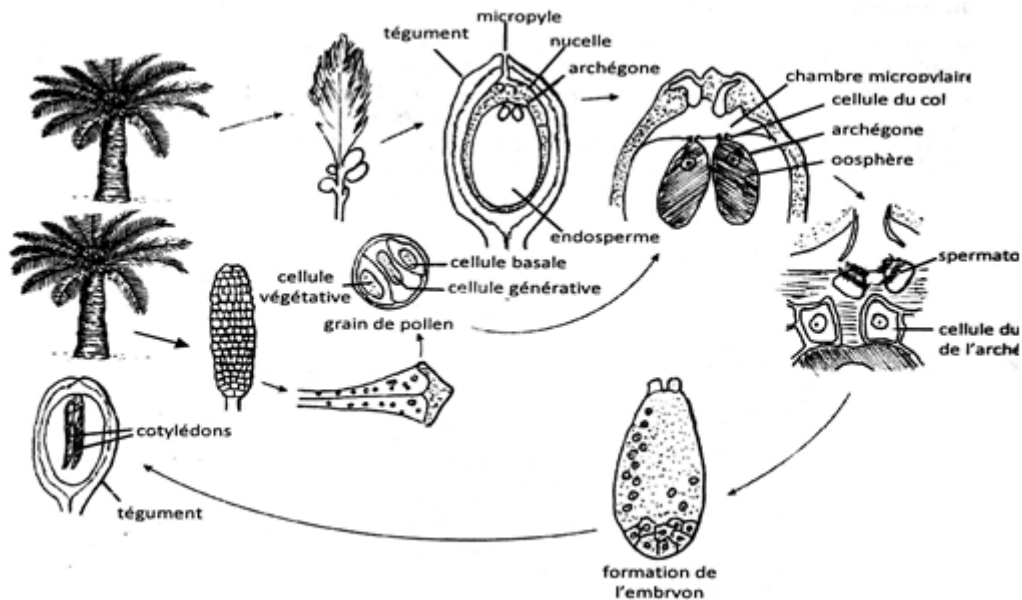
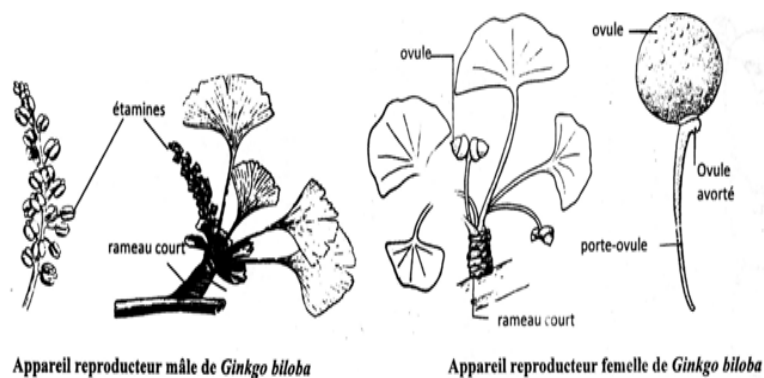


Figure 27- Cycle de reproduction de *Cycas revoluta*

Les microsporophylles est l'homologue d'une étamine, et le cône mâle l'homologue d'une fleur mâle.



Appareil reproducteur mâle de *Ginkgo biloba*

Appareil reproducteur femelle de *Ginkgo biloba*

Chez les *Ginkgo*; le pied mâle porte des grappes d'étamines sur les mésoblastes; le pied femelle porte des ovules groupé par deux. Les modes de pollinisation et fécondation sont identiques à celle de *Cycas*.

Figure 28- Appareils reproducteurs de *Ginkgo biloba*

L'appareil reproducteur femelle et un cône femelle formé de feuilles fertiles : macrosporophylles, leur partie inférieure supporte deux rangées d'ovules.

Chaque ovule est formé de :

- Téguments, composé de 3 couches : sarcotesta charnue, sclérotesta dure et sclérifier ; endotesta mince.
- Micropyle dans l'ovule jeune qui se forme lorsque la pollinisation est effectuée.
- Un nucelle creusé d'une chambre micropylaire dans sa partie apicale.
- Un endosperme ou gaméophyte femelle portant des archégonies dans sa région supérieure.

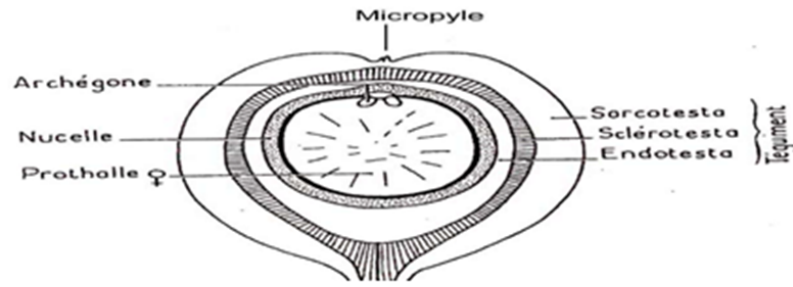


Figure 29- Ovule de *Ginkgo biloba*

C'est la présence d'une gouttelette de liquide au niveau du micropyle qui permet la capture du pollen disséminé par le vent. Ces grains de pollens sont introduits dans la chambre micropylaire qui se ferme. L'ovule reste fixé sur la tige et accumule des réserves dans l'endosperme. Après la fécondation il se détache et évolue au sol vers l'embryon. On ne peut pas parler de graine car il n'y a pas d'arrêts de la croissance de l'embryon, et celui-ci ne résiste pas à une période de déshydratation.

Chez les *Ginkgo* ; le pied mâle porte des grappes d'étamines sur les mésoblastes ; le pied femelle porte des ovules groupé par deux. Les modes de pollinisation et fécondation sont identiques à celle de *Cycas*.

L'étape suivante dans l'évolution des plantes porte principalement sur les modes de reproduction et de dissémination: c'est l'avènement de la graine.

Les spermaphytes sont les plantes qui produisent des graines. On retrouve dans la graine tous les éléments condensés qui permettent aux bryophytes et ptéridophytes de se reproduire, simplement les éléments de dissémination ne sont plus les spores issues du sporophyte, mais directement les gamétophytes :

- gamétophyte mâle immature sous forme de grain de pollen.
- gamétophyte femelle, l'ovule portant après la fécondation un embryon, gamétophyte lui-même contenu dans les téguments, l'ensemble constituant une graine.

Systematiquement, les spermaphytes sont divisés en deux groupes distincts selon que l'ovule est nu ou enfermé dans un organe :

- **Les Gymnospermes** (du grec "*gymnos*" = "nu" et "*sperma*" = "la semence"), l'ovule est nu non enfermé dans un organe clos (embryon entouré de l'albumen et d'un tissu de protection).
- **Les Angiospermes** (du grec "*aggeion*" = "la capsule" et "*sperma*" = "la semence"), l'ovule est enfermé dans la cavité d'un organe clos appelé **carpelle**, développant en plus une double fécondation produisant des tissus nourriciers supplémentaires et protègent leurs graines à l'intérieur de l'ovaire qui donnera le fruit.

9.1 Sous embranchement des Gymnospermes

Les gymnospermes sont des plantes faisant partie d'un sous-embranchement des phanérogames (plante à graines) qui inclut les plantes dont l'ovule est à nu porté par une feuille fertile. Les gymnospermes sont des arbres ou des arbustes, ce ne sont jamais des plantes herbacées, à feuillage toujours vert, à l'exception de quelques genres à feuillage décadu, représentés par les conifères. Peu représentées actuellement à la surface du globe (700 espèces environ), les Gymnospermes constituent le reliquat d'un ensemble autrefois très important qui, à son apogée au Jurassique (environ 150 millions d'années), comptait quelque 20.000 espèces.

Les Gymnospermes peuvent atteindre une grande taille et ont une vie longue, ils sont caractérisés par:

- Les fructifications peuvent être des cônes ou des fruits qui ressemblent à des cerises.
- Les feuilles peuvent prendre la forme d'aiguilles plus ou moins longues, d'écailles ou parfois un limbe ovale sans nervure principale.
- Ils ont des canaux ou poches résinifères (sauf chez les taxacées), d'où le nom de résineux.
- Les fleurs mâles comportent de nombreuses étamines à deux sacs polliniques ou davantage.
- Les fleurs femelles, réunies en général en cône, portent des ovules en nombre variable sur le carpelle.

• Classification

Les Coniférophytes "conifères" forment le groupe principal des Gymnospermes. Ils sont en général des plantes de grande taille à feuilles simples souvent en forme d'aiguilles. On distingue les classes suivantes : Cordaitales et Coniférales.

- **Les Cordaitales**, groupe fossile du Primaire, était répandu à l'ère Primaire et Secondaire. Il s'agissait d'arbres assez grands avec un port différent de celui des conifères avec des feuilles rubanées, minces et allongées. Le diamètre du tronc pouvait atteindre 1,50 m.
- **Les Coniférales** se divisent en trois groupes; **les Pinoïdes**, **les Podocarpines**, et **les Taxines**.
- **Les Pinoïdes** comprennent les familles des **Pinacées**, **Taxodiacées**, **Cupressacées**, **Araucariacées**, et constituent le groupe le plus important. Elles se rencontrent essentiellement dans l'hémisphère boréal.
- **Les Pinacées** comprennent les genres *Pinus*, *Cedrus*, *Larix*, *Abies*, *Picea*, *Pseudotsuga*, *Tsuga*, *Keteleeria* et *Pseudolarix*. Ces arbres à feuillage persistant, sauf chez les mélèzes, peuvent atteindre une grande taille. Ils sont cantonnés dans l'hémisphère nord où ils forment les forêts boréales et subalpines.

- **Les Taxodiaceés** comprennent les genres *Taxodium*, *Sequoia*, *Sciadopitys*, *Cunninghamia*, *Cryptomeria*, *Glyptostrobus*, *Métaséquoia*, *Taiwania*, *Sequoiadendron*, *Atrotaxis*. De nos jours les 10 genres ne totalisent que 15 espèces. La plupart sont originaires de l'hémisphère nord. La plupart ont des feuilles persistantes, dures, pointues et en écailles. Les cônes sont globulaires, pas très gros. Toutes les espèces ont une écorce fibreuse de couleur brun-rouge. Propagés habituellement par semis.
- **Les Cupressaceés** comprennent les genres *Thuja*, *Thuyopsis*, *Fitzroya*, *Calocedrus*, *Libocedrus*, *Cupressus*, *Juniperus*. La famille comprenant des arbres et arbrisseaux à feuilles généralement écailleuses, verticillées par 2 ou par 3, et dont les cônes sont formés d'écailles soudées aux bractées correspondantes.
- **Les Araucariaceés** forment une famille peu nombreuse et ancienne comprenant 2 genres, *Araucaria*, *Agathis* et 40 espèces indigènes de l'hémisphère Sud. Espèces dioïque. Les fleurs naissent en bout de rameaux : les mâles sont des boules impressionnantes, de 10 cm, qui libèrent leur pollen en juillet. Les femelles sont des cônes dressés de 15 cm. Les fruits mûrissent au second automne.
- **Les Podocarpaceés** comprennent les **Saxegothéaceés**, **Phyllocladaceés**, **Phérospharaceés**, **Podocarpaceés**. Elles se cantonnent surtout dans l'hémisphère austral.
- **Les Podocarpaceés** comprennent les genres *Podocarpus*, *Dacrydium*, *Phyllocladus*, *Pherosphaera*, *Microcachrys*, *Acmopyle*, *Saxegothaea*. Les Podocarpaceés sont des arbres, sauf le genre *Microcachrys* qui est un arbrisseau. Ils sont tous de l'hémisphère sud et intertropical.
- **Les Taxines** comprennent la seule famille des taxacées, dans l'hémisphère boréal. Elle est parfois classée dans un ordre des Taxales, distincte des Coniférales. Elles comprennent les genres *Cephalotaxus*, *Taxus*, *Amentotaxus*, *Austrotaxus*, *Nothotaxus*, *Torreya*.

➤ Anatomie des gymnospermes

Le **tronc** d'un arbre est un organe vivant qui assure plusieurs fonctions. Il est parcouru par un double courant de **sève**. **La sève brute** qui circule dans le **bois ou xylème** monte vers les feuilles tandis que **la sève élaborée** descend dans le **liber ou phloème** vers les racines. Le xylème et le phloème sont produits et différenciés par le **cambium** qui est une couche de cellules méristématique. Le cambium produit des cellules de **bois vers l'intérieur** et du **phloème vers l'extérieur**.

Le tronc est recouvert d'une écorce protectrice. Un cambium cortical, externe au premier cambium, produit à l'extérieur une écorce imperméable, isolante et liégeuse dont les cellules

meurent rapidement. Vers l'intérieur, l'écorce interne demeure vivante et toujours métaboliquement active.

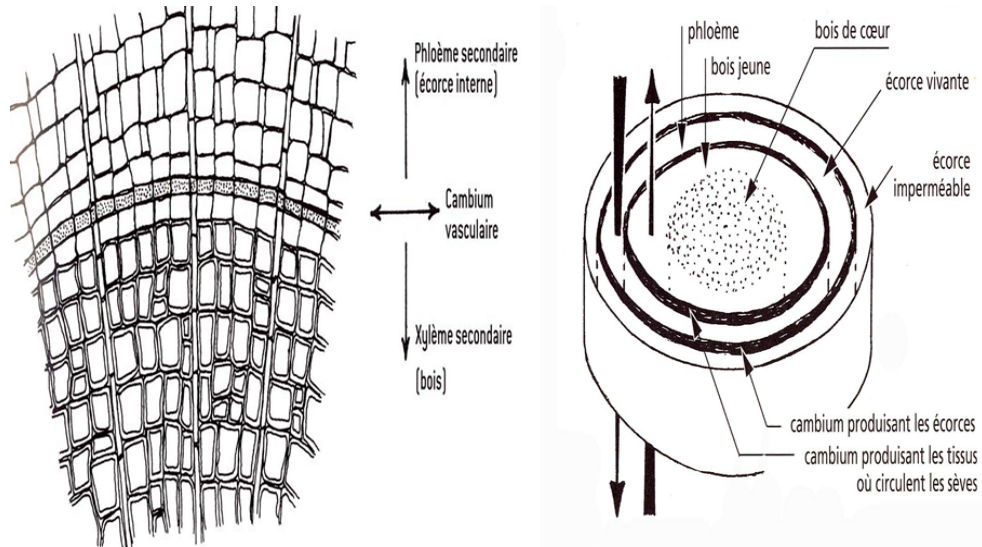


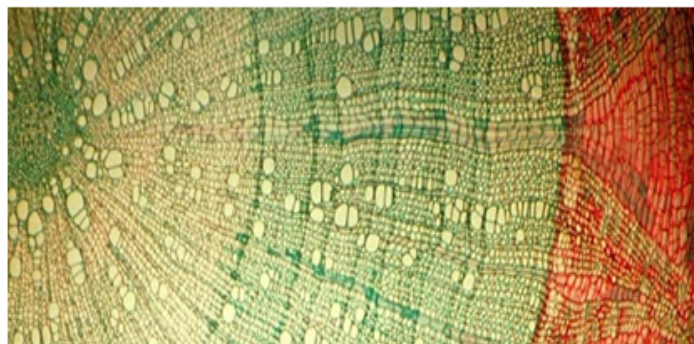
Figure 30- Anatomie d'un tronc d'arbre gymnosperme.

Les deux cambiums concentriques assurent l'épaississement du tronc au fur et à mesure que l'arbre grandit, les réparations et le renouvellement constant des tissus actifs.

Le bois constitue le matériau rigide du tronc et des branches à l'exclusion de l'écorce. C'est un tissu rigide et très différencié qui comprend:

- les vaisseaux ou trachéides
- les tissus de soutien
- les rayons médullaires

La sève brute circule dans des cellules allongées dans le même sens que la tige; ces éléments vasculaires sont appelées trachéides. Les parois imprégnées de ligne imperméable sont perforées pour permettre la circulation de la sève d'une cellule à l'autre. La sève circule de cellule en cellule et non pas dans des tubes continus. Elles n'ont plus de contenu cellulaire, elles sont donc mortes mais très différenciées.



Coupe transversale d'un tronc d'arbre gymnosperme

Les vaisseaux sont entourés d'un tissu de soutien dont les cellules sont également lignifiées pour assurer au bois ses propriétés mécaniques, sa rigidité et sa résistance.

Des anneaux concentriques marquent l'accroissement annuel de l'épaisseur de l'arbre. La partie claire correspond au printemps, lorsque la croissance est plus rapide. La couche plus dense et plus sombre correspond à l'été lorsque la croissance est plus faible.

Seul le bois jeune à l'extérieur est conducteur. Après un certain temps, les vaisseaux se chargent de tanins et de résines, ils n'assurent plus qu'un rôle de soutien mécanique.

➤ La reproduction des Gymnospermes

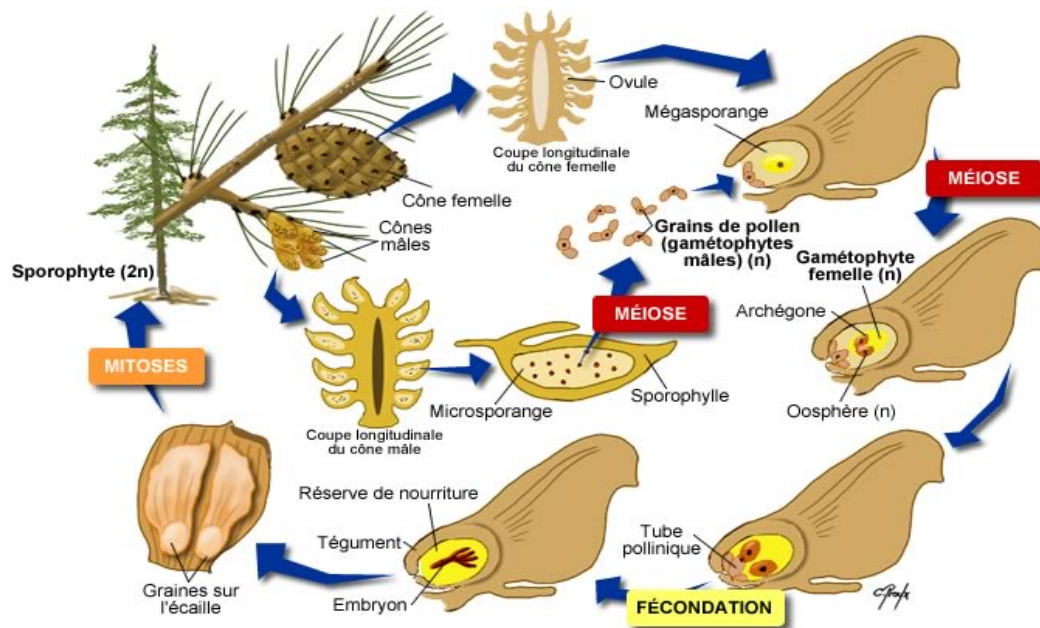


Figure 31- Cycle de développement des Gymnospermes (D'après Campbell).

Chez les conifères le sporophyte est l'arbre qui est fait d'un tronc pourvu de racines, de branches ramifiées en rameaux portant des feuilles transformées en aiguilles ou en écailles, et développant au printemps des strobiles ou cônes. Il existe de petits cônes mâles et de plus grands cônes femelles, c'est-à-dire des strobiles d'étamines et des strobiles d'ovules.



cônes mâles



cônes femelles

Les gymnospermes sont les premiers à présenter un mode de reproduction indépendant de l'eau. Les gamétophytes femelles et mâles sont produits dans des appareils sexuels nus sur des écailles. Le pollen est disséminé par le vent vers les cônes femelles.

Les cônes mâles et femelles sont toujours unisexués. Cependant l'arbre peut être dioïque ou monoïque.

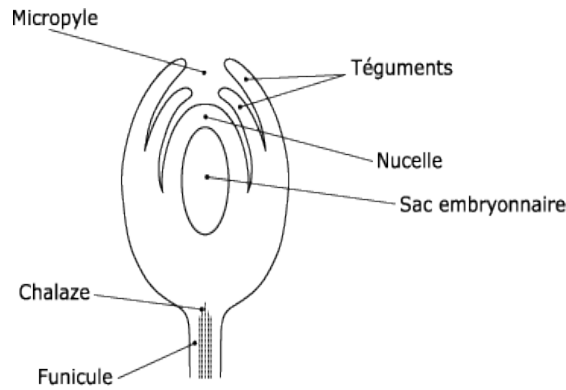


Figure 32- Ovule des gymnospermes

Les grains de pollen portés, transportés par le vent, pénètrent par le micropyle et s'accablent dans la chambre sous-micropylaire. Ils restent en attente que le cône femelle soit prêt à la fécondation. Une lente maturation des gamétophytes mâles et femelles s'édifie côte à côte.

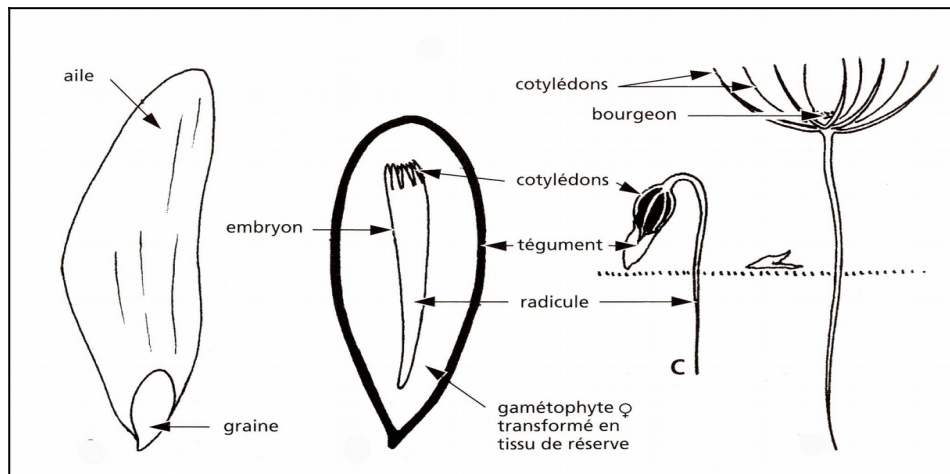


Figure 33- Etapes de germination chez les gymnospermes.

Puis le pollen germe, crée un tube pollinique jusqu'à l'archégone. Les spermatozoïdes empruntent ce tube pour aller fertiliser les archégonies. Les graines matures accumulent des tissus de réserve et développent l'embryon.

9.2 Sous embranchement des Chlamydospermes

Les Chlamydospermes ou Gnetophytes apparaissent seulement au Tertiaire et présentent à la fois des caractères de gymnospermes : graines non enfermées dans un fruit, et des caractères d'Angiospermes : double fécondation et structure florales réduites.

Les Chlamydospermes sont des plantes ligneuses sans canaux résinifères. Les fleurs mâles se rassemblent en inflorescences plus ou moins coniques. Les fleurs femelles sont munies d'écailles formant une ébauche d'ovaire, disposition appelée chlamydosperme, et sont groupées en inflorescence, le tégument de l'ovule se prolonge en un faux stigmate. La fécondation est de type très variable et la graine est embryonnaire quand elle se détache.

➤ Classification

On distingue 3 ordres : Ephedrales ; Welwitschiales et Gnetales

➤ Les Ephedrales

Ils comprennent un seul genre, *Ephédra* avec 35 espèces dans les régions méditerranéenne dont 4 en Algérie.



Les éphédres, forment des buissons bas dont les feuilles ont l'aspect d'écailles. Ils produisent des cônes mâles et femelles semblables à ceux des conifères. La structure de son bois montre une organisation plus évoluée comme celle des Angiospermes.

➤ **Les Gnetales**

Ils comprennent un seul genre : *Gnetum* et 30 espèces vivant en Afrique tropicale. Les gnètes, comprend des plantes qui rappellent un peu des lianes ou des arbres et arbustes. Les feuilles sont ovales à nervation pennée. Le bois est comme celui des conifères. Les cônes ressemblent à des simples fleurs. Les cônes et les graines sont comestibles.

➤ **Les Welwitschiales**

Le Welwitschia est l'unique représentant d'une des plus curieuses familles de plantes qui soient. Elle ne pousse que dans les déserts du sud-ouest africain. Elle possède une courte tige ligneuse, renflée et non ramifiée, épaisse de 10 cm. et qui affecte la forme d'un coussin. Cette tige s'effile en une longue racine pivotante.



Le Welwitschia

Elle n'a que deux feuilles qui persistent pendant toute la vie de la plante, cent ans et plus. Ces feuilles coriaces, sans pétioles, semblent formées d'un large ruban que le vent déchire en longues lanières. La base des feuilles ne cesse de croître. À l'aisselle des feuilles apparaissent de nombreuses inflorescences garnies de cônes.

9.3 Sous embranchement des Angiospermes

Les Angiospermes regroupent les plantes à fleurs, et donc les végétaux qui portent des fruits. Angiosperme signifie « graine dans un récipient » en grec par opposition aux gymnospermes (graine nue). Les Angiospermes comprennent les Dicotylédones et les Monocotylédones. Les Angiospermes auraient fait leur apparition probablement dès le Jurassique, il y a environ 150 millions d'années. On dénombre au moins 250.000 espèces d'Angiospermes qui se sont adaptées à toutes les régions du monde, à l'exception des régions polaires, du sommet des hautes montagnes et de certains déserts. Néanmoins, deux tiers des espèces vivent sous climat tropical.

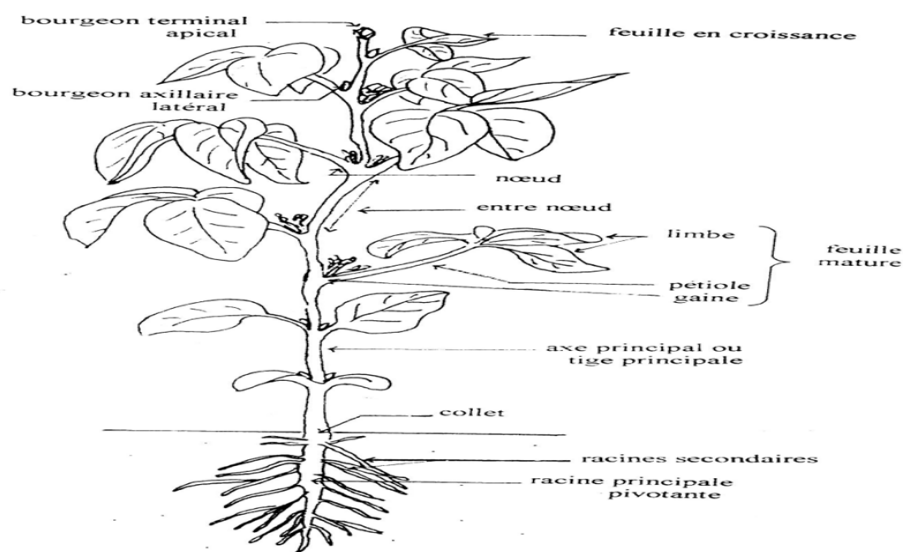


Figure 34- Organisation de l'appareil végétatif des Angiospermes

Les Angiospermes diffèrent cependant des autres plantes à graines par la présence des caractères suivants :

- ✓ la condensation des organes reproducteurs en une fleur.
- ✓ la présence d'un ovaire ou carpelle clos enveloppant les ovules, et qui se développera pour donner un fruit.
- ✓ la double fécondation de l'ovule, qui donnera l'embryon et son tissu nourricier, l'albumen.

➤ Organisation de l'appareil végétatif des Angiospermes

Un végétal typique est constitué de 3 organes différents : racines, tiges et feuilles.

➤ La racine

L'ensemble des racines forme le système racinaire de la plante et permet la fixation du végétal dans le sol ainsi que l'absorption de l'eau et des substances dissoutes nécessaires au développement de la plante. On distingue quatre zones sur une racine en croissance:

✓ **une zone terminale (point végétatif)** formée de petites cellules indifférenciées qui se multiplient activement et qui sont protégées par la **coiffe**. La coiffe protège le méristème racinaire pendant la croissance de la racine en évitant le contact immédiat avec les particules solides du sol. La desquamation continue de la coiffe facilite la progression de la racine dans le sol.

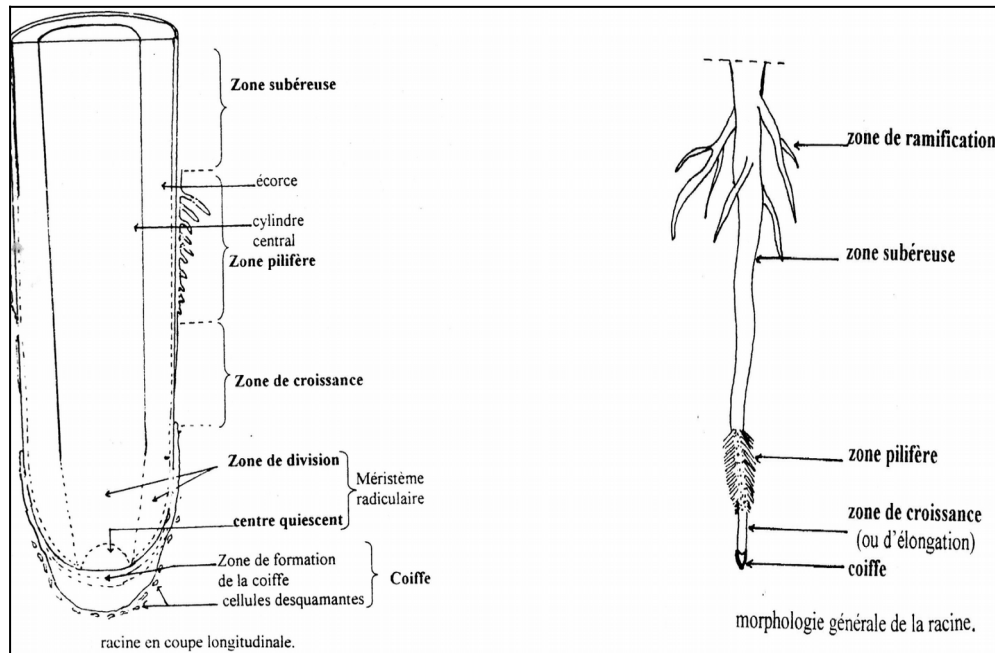
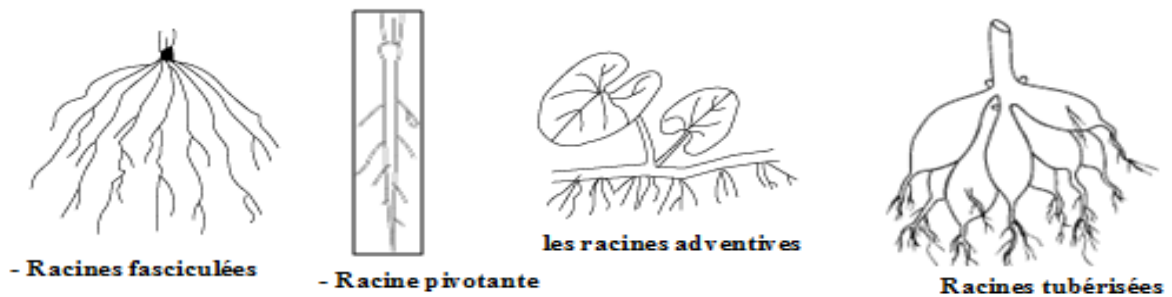


Figure 35- Organisation de l'appareil racinaire des plantes Angiospermes

- ✓ **une zone de croissance** séparant la coiffe de la zone pilifère
- ✓ **une zone pilifère**, garnie de nombreux poils absorbants permettant les échanges entre la racine et le sol.
- ✓ **une zone subéreuse**, dépourvue de poils, mais où apparaissent des ébauches de jeunes racines, les racines secondaires (ramifications).

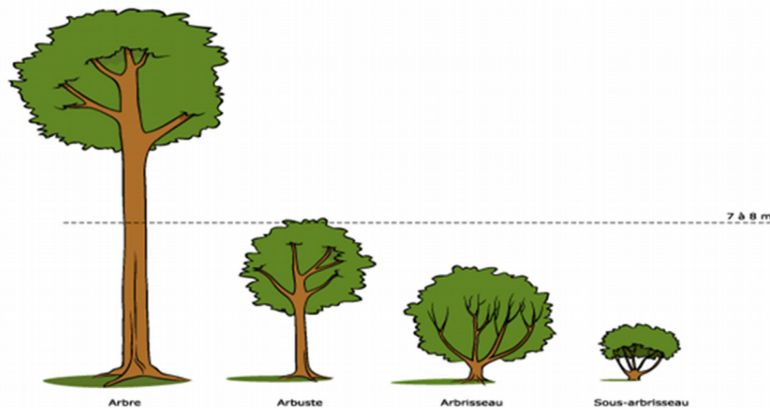
L'organisation du système racinaire se présente sous différentes formes :

- ✓ **la racine pivotante** : racine importante qui se développe et qui forme un pivot central sur lequel viennent se greffer de petites racines secondaires.
- ✓ **les racines fasciculées** : plusieurs racines d'importance égale, disposées en faisceau, portent de nombreuses radicelles.
- ✓ **les racines adventives** : racine prenant naissance sur une tige aérienne ou souterraine ou tout autres parties du végétal (maïs, fraisier, lierre).
- ✓ **les racines tubérisées** : d'autres ce sont spécialisées dans l'accumulation de réserve et développent des racines "**tubérisées**" qui prennent la forme d'une grosse racine pivotante (betterave) ou de tubercules de racines fasciculées.



➤ La tige

Chez les plantes à fleurs la tige est l'axe qui porte les bourgeons et les feuilles. Elle diffère de la racine par la présence de nœuds, par l'absence de coiffe terminale et par sa structure anatomique. La transition entre la tige et la racine se fait dans le collet.



✓ Port de la tige

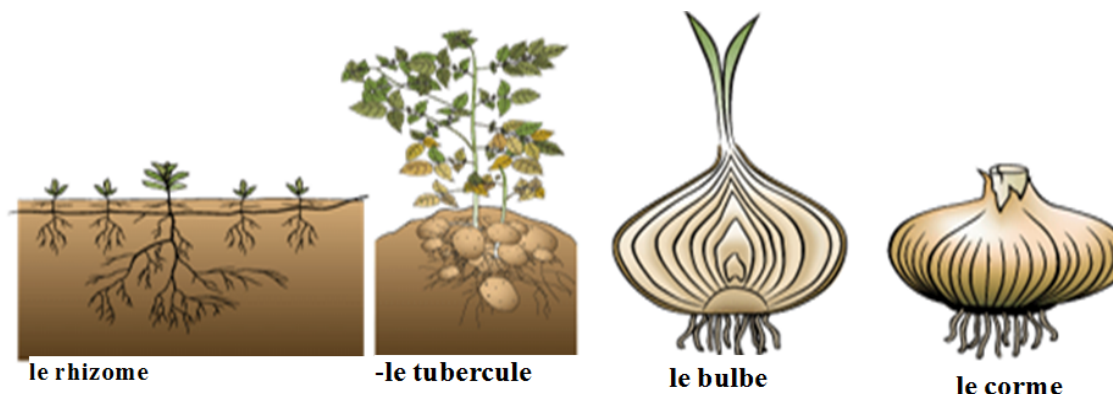
Lorsque la tige croît verticalement, on dit que sa croissance est orthotrope. Lorsque cette croissance est oblique, on parle de croissance plagiotrope. En fonction de la croissance de la tige dans des conditions environnementales normales, on distingue:

- **L'arbre** : tronc bien différencié, dont la ramification apparente débute généralement à partir d'une certaine hauteur, et qui peut dépasser 7m de hauteur à l'état adulte.
- **l'arbuste** : végétal ligneux dont la tige à sa base est nue et non ramifiée (quand il est âgé) mais qui ne dépasse pas 7 à 8m.
- **l'arbrisseau** : végétal ligneux qui se ramifie naturellement dès la base et ne qui ne dépasse pas quelques mètres de hauteur.
- le **sous-arbrisseau** : constitué d'une base ligneuse surmontée de rameaux herbacés qui dépérissent chaque année et ne dépassant habituellement pas les 50 cm.
- la **liane** : plante grimpante à tige ligneuse.

L'organisation de la tige se présente sous différentes formes :

- ✓ **Tige souterraine** : Il existe néanmoins des tiges souterraines comme il existe des racines aériennes, toutes d'origines adventives. Ces tiges souterraines se répartissent en 4 catégories:

-le **rhizome** : tige souterraine et horizontale, émettant des rameaux aériens et des racines adventives.



-le **tubercule**: tige ou portion de tige renflée (pomme de terre).

-le **bulbe**: tige courte, télescopée en forme de plateau charnu et qui porte les feuilles serrées les unes contre les autres et entièrement écailleuses ou uniquement écailleuses à la base (oignons). Le bulbe est également composé d'un bourgeon plus ou moins central, également porté par le plateau.

- le **corme** ou **cormus** : organe de réserve souterrain ayant l'aspect extérieur d'un bulbe mais formé d'une tige renflée entourée d'écailles. C'est en fait une sorte particulière de rhizome.

- **Un cas particulier : le stipe**

Il s'agit d'un "faux tronc" ou tige ligneuse non ramifiée ayant perdu ses feuilles. Le stipe n'a pas de cambium mais présente un aspect ligneux. On le retrouve chez certaines plantes arborescentes comme les palmiers et certaines fougères.

✓ **Bourgeons et croissance de la tige**

Les bourgeons assurent la croissance de la plante et permettent la ramification des tiges. Le bourgeon terminal est situé à l'extrémité de la tige et les bourgeons axillaires sont situés à l'aisselle des feuilles.

Il n'y a généralement qu'un bourgeon axillaire par feuille mais exceptionnellement quelques espèces peuvent présenter des bourgeons axillaires à l'aisselle de la même feuille (bourgeons axillaires multiples).

En fonction de l'activité méristématique, différentes plantes peuvent être distinguées :

- **Annuelles** : l'activité du méristème apical est déterminée, la croissance végétative est finie après la transition florale et l'ensemble du cycle (de la germination de la graine à la production de graines) se fait en une saison de végétation.

- **Bisannuelles** : l'activité du méristème apical est déterminée, la croissance végétative s'effectue la première saison de végétation, la transition florale a lieu pendant la phase de repos végétatif et la reproduction la saison suivante.

- **Pérennes** ou **vivaces** : l'activité du méristème apical est indéterminée, la croissance végétative est "infinie". Seuls certains méristèmes axillaires subissent la transition florale.

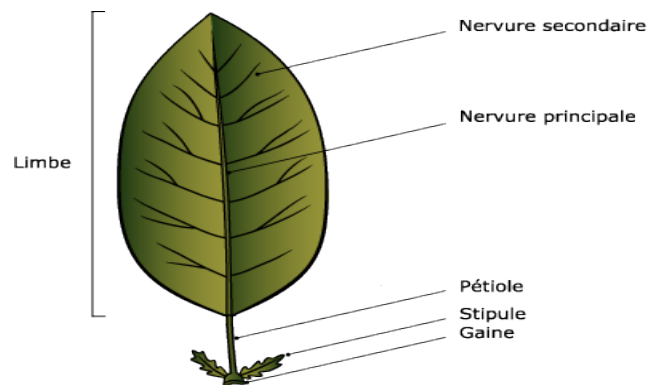


Figure 36- Feuilles d'angiospermes.

➤ La feuille

La feuille est généralement constituée, en partant de la tige, d'une base dilatée (gaine) entourant plus ou moins la tige. La gaine se prolonge en un axe étroit appelée "pétiole" qui, à sa base, peut porter des appendices foliacés, les stipules (les stipules sont parfois directement insérées sur la tige). Le corps de la feuille (partie généralement aplatie et élargie) prolongeant le pétiole est le limbe. Le limbe est parcouru de nervures qui correspondent au prolongement et à la ramification du pétiole.

Certaines feuilles présentent deux petites glandes ou nectaires à la base du limbe. L'une des faces du limbe est habituellement tournée vers le haut de la tige : face supérieure ou face ventrale l'autre vers la base de la tige : face inférieure ou dorsale.

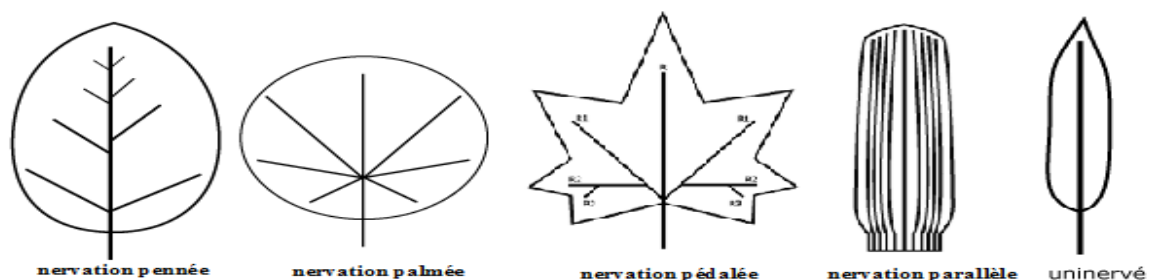


Figure 37- Formes de nervations des feuilles d'Angiospermes

✓ Le limbe

Le limbe est la partie élargie de la feuille surmontant le pétiole. Il peut prendre des formes très variables. La diversité des limbes est due principalement à la diversité des modes de nervation et ensuite au plus ou moins grand découpage du limbe dans chaque type de nervation.

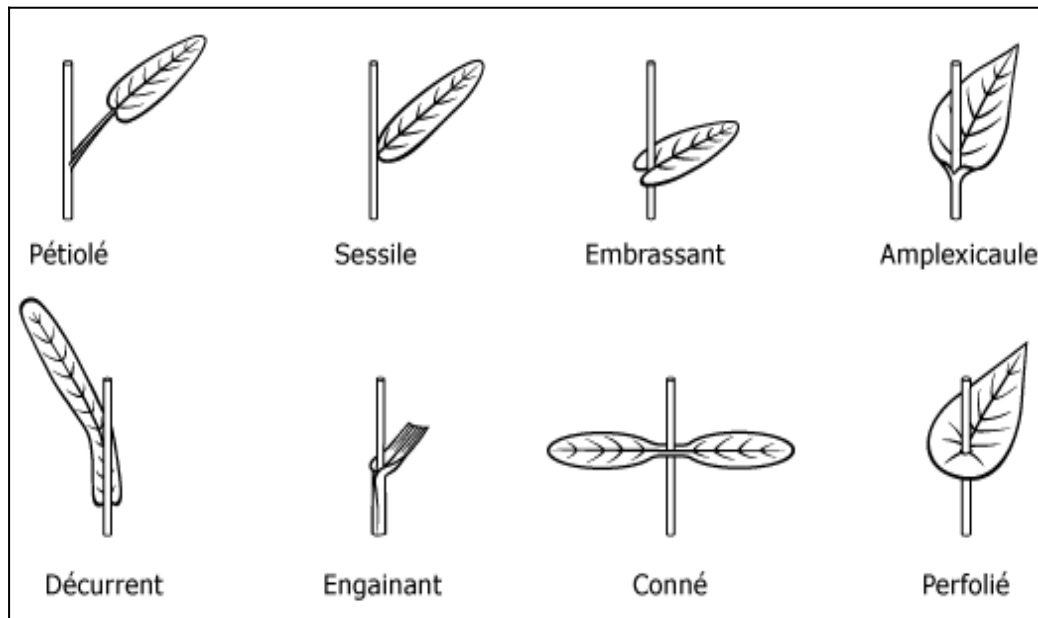


Figure 38- Modes d'insertion des feuilles.

Le limbe est dit simple s'il est entier, ou composé s'il est découpé en plusieurs petites feuilles ou folioles.

Les monocotylédones présentent des feuilles presque toujours entières à nervation parallèle avec une gaine très développée. Le limbe est souvent directement prolongé par la gaine et le pétiole peut manquer dans de nombreux cas. Certaines espèces, comme le riz ou le maïs, présentent à l'articulation de la gaine et du limbe, une ligule ou sorte de petite languette membraneuse.

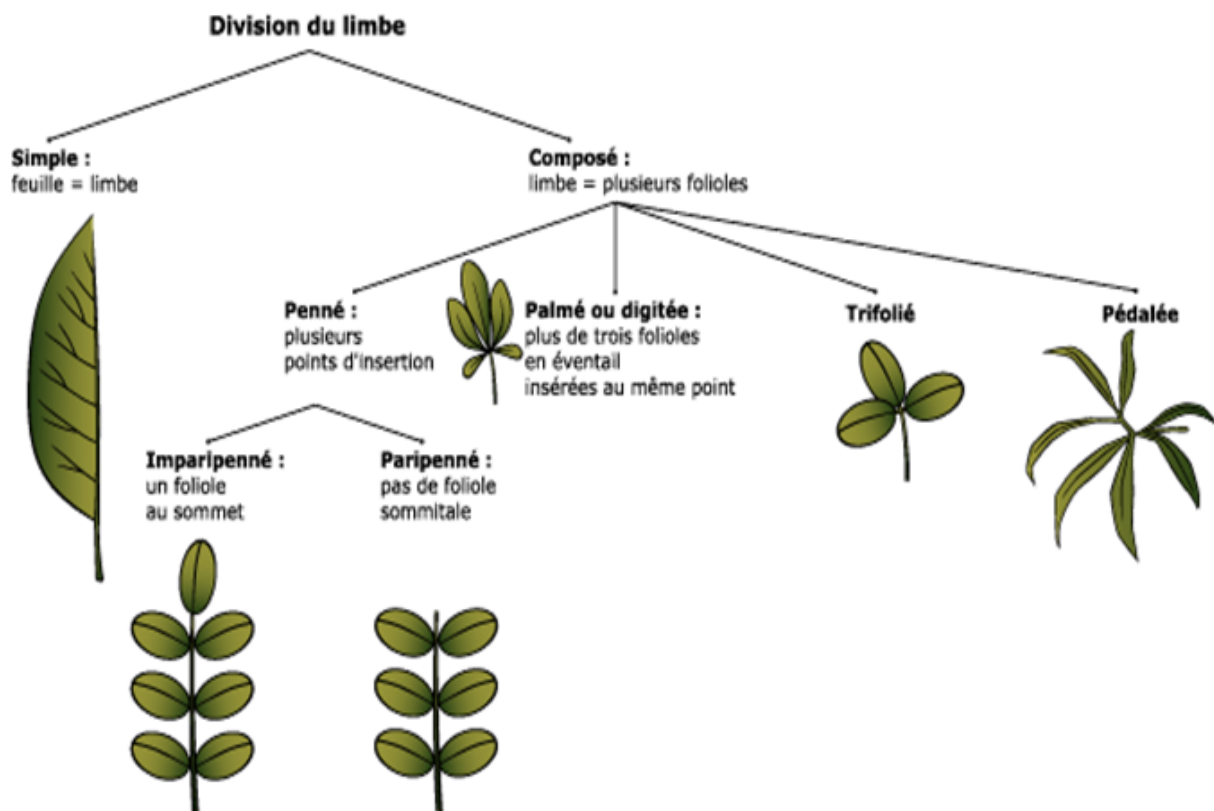


Figure 39- Formes variable du limbe

Autres caractéristiques des feuilles

✓ **Persistance des feuilles**

La chute des feuilles varie en fonction des espèces. On peut généralement classer une espèce parmi les trois catégories suivantes :

-**Persistantes** : qui demeurent attachées et fonctionnelles durant plusieurs années (épicéa, houx).

-**Caduques** : qui tombent à chaque saison défavorable, hiver ou saison sèche.

-**Marcescentes** : persistant sous forme desséchées pendant la saison défavorable et qui tombent au printemps.

✓ **Phyllotaxie**

La **phyllotaxie** est la disposition des feuilles sur la tige. Les feuilles, régulièrement disposées le long de la tige, permettent de définir différents modes de disposition phyllotaxique.

- **Opposée** : Les feuilles sont disposées par deux et insérées à chaque nœud (verticille composé de 2 feuilles) l'une en face de l'autre.

-**Verticillée** : plus de deux feuilles sont insérées simultanément à chaque nœud.

-**Alterne** : Une seule feuille est insérée à chaque nœud.



Figure 40- Disposition des feuilles sur la tige.

➤ **Les organes reproducteurs des Angiospermes**

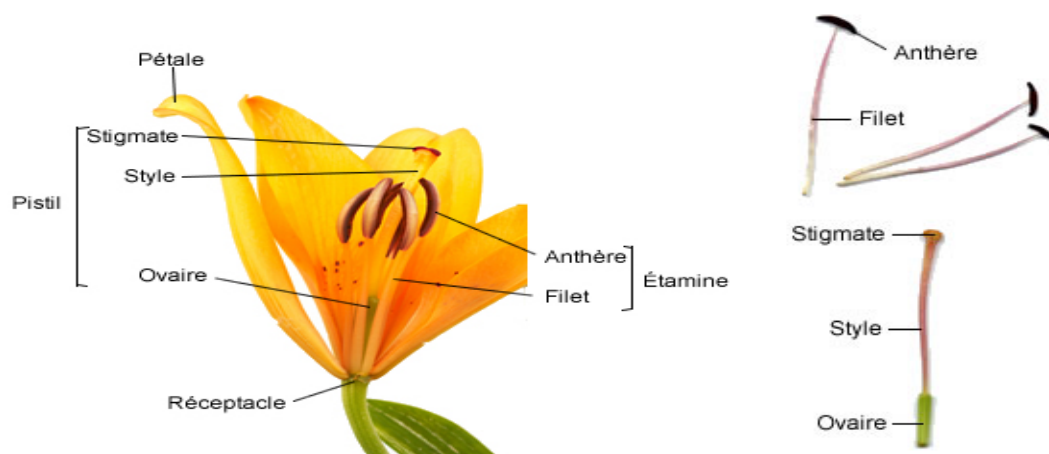


Figure 41- Structure de la fleur.

✓ La fleur

Une fleur est faite d'un ensemble de pièces correspondant à des feuilles très transformées au cours de l'évolution et insérées à l'extrémité d'un pédoncule (ou d'un pédicelle dans le cas d'un groupe de fleurs ou inflorescence) sur un réceptacle.

De l'extérieur vers l'intérieur d'une fleur hermaphrodite, on distingue généralement quatre grands ensembles de pièces florales souvent regroupées en verticilles sur le réceptacle floral :

✓ le **périanthe**, ensemble de pièces stériles, ou enveloppe florale, composé de 2 verticilles :

- **Le calice**, formé par l'ensemble des sépales, pièces souvent verdâtres d'aspect foliacé, situé à la base de la fleur ;

- **La corolle**, formée par l'ensemble des pétales souvent vivement colorés. Les pétales sont situés au-dessus des sépales.

✓ les **organes reproducteurs** ou pièces fertiles directement impliqués dans la reproduction et composés également de 2 verticilles :

✓ **L'androcée**, organe reproducteur mâle de la plante, formé par l'ensemble des **étamines** disposées en spirales ou en verticilles sur le réceptacle.

✓ **Le gynécée ou pistil**, organe reproducteur femelle de la plante, formé par un ou plusieurs carpelles libres ou soudés entre eux.

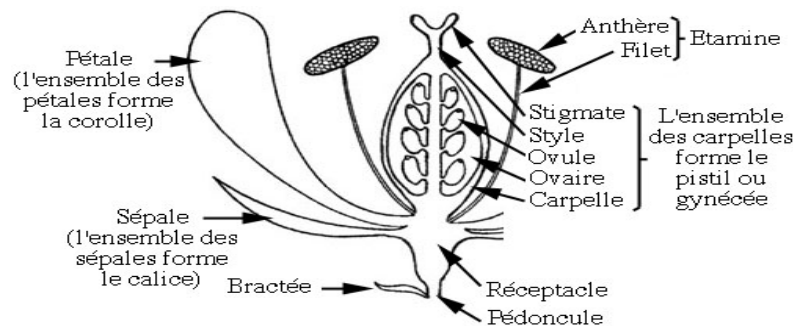


Figure 42- Organisation générale d'une fleur hermaphrodite

Dans la majorité des cas, la fleur possède à la fois un androcée et un gynécée : elle est dite bisexuée ou hermaphrodite. Dans différentes espèces cependant, toutes les fleurs ou certaines d'entre elles sont unisexuées, c'est-à-dire que les unes renferment un gynécée et pas d'androcée (fleurs pistillées), les autres un androcée et pas de gynécée (fleurs staminées).

On peut également rencontrer des fleurs stériles sans étamines ni carpelles occupant une position bien définie dans certaines inflorescences.

Si les fleurs mâles et femelles sont produites sur un même individu, la plante est dite monoïque; si ces fleurs sont produites sur des individus différents, la plante est appelée dioïque.

Un cas rare est celui des plantes trioïques où il existe des individus mâles, des individus femelles et des individus hermaphrodites.

Enfin, il peut arriver qu'une plante porte à la fois des fleurs unisexuées mâles, des fleurs unisexuées femelles et des fleurs hermaphrodites; dans ce cas, la plante est dite polygame.

➤ Le réceptacle et le mode d'insertion des pièces florales

Dans une fleur complète, le réceptacle porte les pièces florales, c'est-à-dire le périanthe composé du calice et de la corolle, l'androcée et le gynécée.

Les pièces florales s'y insèrent en verticilles concentriques (fleur **cyclique**) ou parfois hélicoïdalement (fleur **acyclique** ou spiralée).

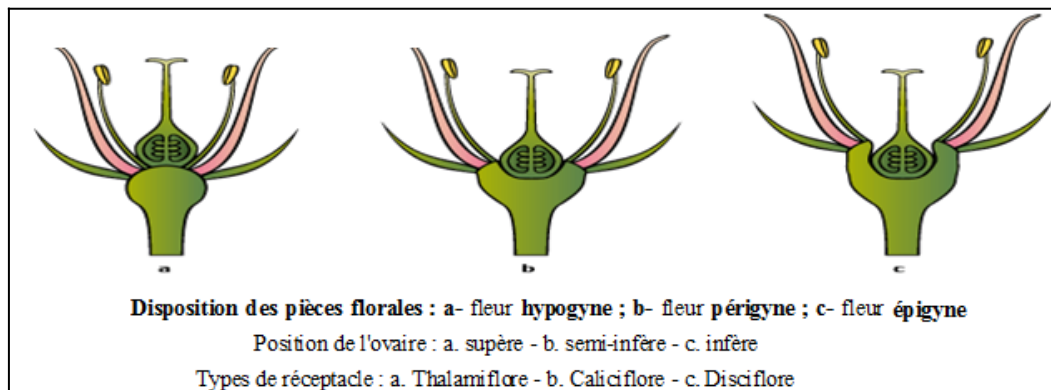


Figure 43- Disposition pièces florales.

Ce réceptacle prend différentes formes. On distingue schématiquement le réceptacle :

- **Thalamiflore** : de forme conique ou convexe.
- **Caliciflore** : en forme de calice (concave ou en coupe).
- **Disciflore**: comprenant un disque nectarifère.

➤ Le périanthe

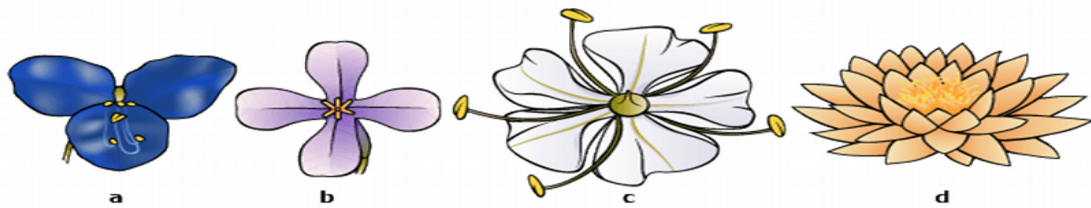
Le périanthe est constitué de deux types de pièces florales : les **sépales**, formant le **calice** et les **pétales**, formant la **corolle**, Il existe néanmoins certains cas particuliers : les fleurs **apérianthées**, dans ce cas elles sont dépourvues d'enveloppe florale (fleurs nues). Le calice et la corolle manquent.

✓ Disposition des pièces florales

La fleur est dite **hypogyne** lorsque le périanthe et les étamines sont insérés plus bas que l'ovaire, ce qui implique un réceptacle cylindrique, conique, convexe ou peu près plan. Elle est **périgyne** lorsque le périanthe et les étamines sont insérés plus haut que le niveau d'insertion de l'ovaire, mais que celui-ci est libre ou partiellement libre du réceptacle; ce-dernier est donc creusé en outre ou en tube.

Enfin, la fleur est dite **épigyne** quand le périanthe et les étamines sont insérées plus haut que l'ovaire et que celui-ci est totalement enfoncé dans le réceptacle.

Le nombre de pièces florales par verticille varie également. On distingue les fleurs trimère, tétramère, pentamère et polymère.



- Nombre de pièces florales par verticille : a. trimère - b. tétramère - c. pentamère - d. polymère

Figure 44- différents type de fleurs selon la disposition des pièces floraux.

✓ Cas particulier : les Astéracées (fleurs composées)

Il ne s'agit pas d'une fleur, mais de plusieurs fleurs regroupées en un **capitule** (inflorescence formée de fleurs sessiles, serrées au niveau du sommet élargi du pédoncule).

On distingue trois types de capitules :

- capitule composé uniquement de fleurs tubulées (chardons).
- capitule composé uniquement de fleurs ligulées (pissenlit).
- capitule composé de fleurs tubulées au centre et de fleurs ligulées en périphérie (marguerite).

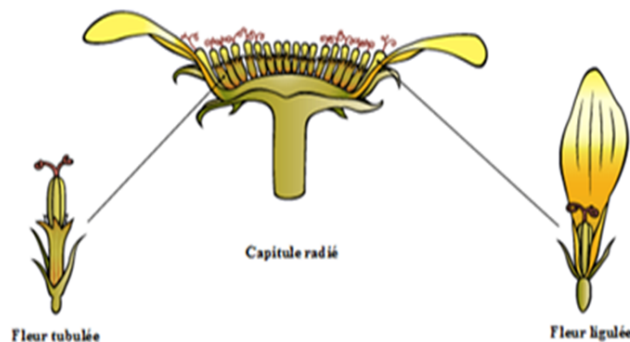


Figure 45 - Fleur composé

✓ Androcée

Pour rappel, les étamines, dont l'ensemble constitue l'androcée, sont les organes mâles de la fleur, dans lesquels se forment les grains de pollen ; tandis que le gynécée en est la partie femelle. Chaque étamine est typiquement constituée d'une partie inférieure le plus souvent cylindrique, grêle et allongée (nommée filet) assurant sa fixation sur le réceptacle et d'une partie supérieure de forme très variable, appelée anthère.

Cette dernière est généralement formée de deux thèques, unies par un connectif (prolongement du filet); chaque thèque renferme habituellement deux sacs polliniques (microsporangés), communiquant entre eux au moment de la libération du pollen - celle-ci se fait par déhiscence des anthères.

Les étamines sont extrêmement variées tant pour leur forme que pour leur couleur, parfois au sein de la même fleur. La surface des grains de pollen est très variable d'une espèce à l'autre.

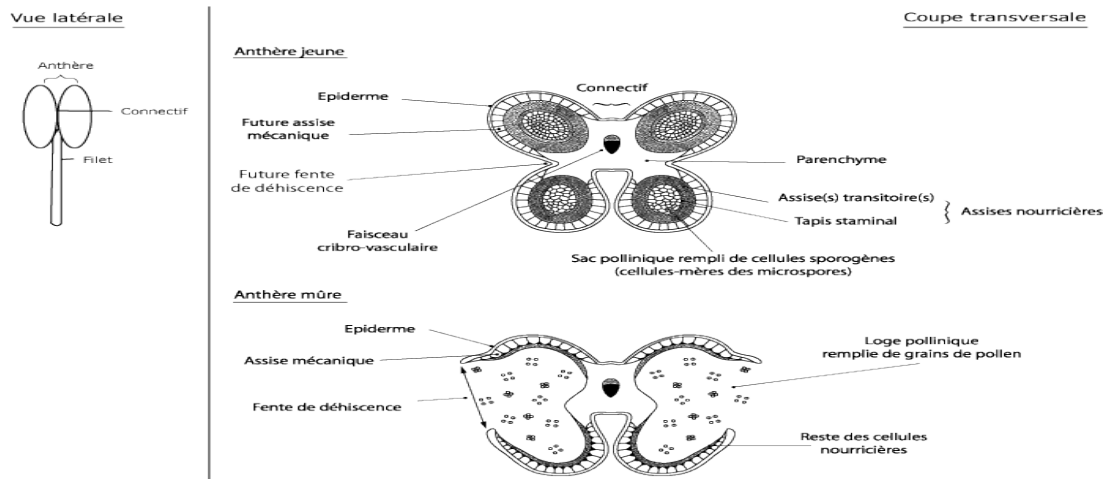
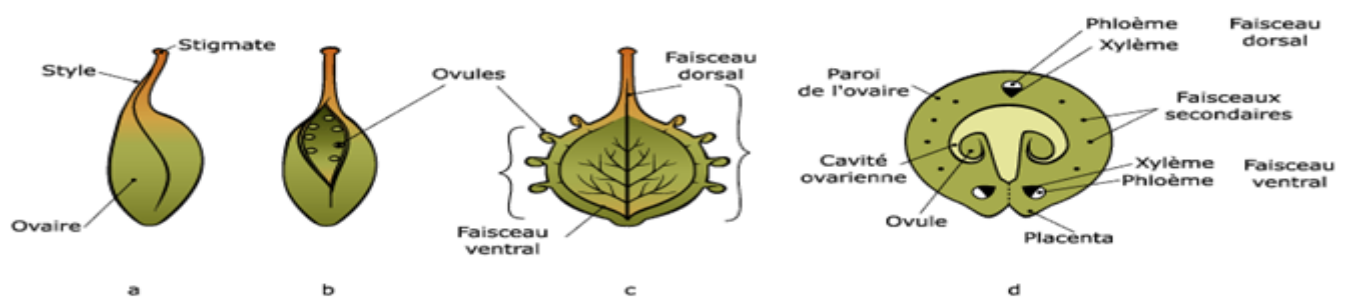


Figure 46- Etamine et coupes transversales d'anthères.

✓ Gynécée ou Pistil

Le gynécée *ou* pistil *ou* organe femelle est l'ensemble des carpelles d'une même fleur. Une partie importante du gynécée persiste après la fécondation et évolue en fruit. Le gynécée est parfois réduit à un seul carpelle. S'ils sont plusieurs, les carpelles sont libres ou soudés entre eux selon différents types d'organisation.



a. vue légèrement de profil - b. vue partiellement ouverte - c. lame carpellaire étalée - d. coupe transversale d'un carpelle fermé.

Figure 47- Organe reproducteur femelle chez les plantes angiospermes : le carpelle.

Le carpelle, généralement vert, comprend typiquement de la base au sommet : une partie basilaire dilatée et creuse, nommée ovaire contenant un ou plusieurs ovules, une partie médiane, le style, et une partie terminale, le stigmate papilleux. Le stigmate est normalement un collecteur de pollen et le style, une voie de passage du tube pollinique vers la cavité de l'ovaire. Le style et le stigmate prennent différentes formes.

➤ Position de l'ovaire

Le réceptacle floral se développe différemment d'une espèce à l'autre et détermine des positions différentes entre le gynécée et les autres pièces florales. L'ovaire est dit semi-infère s'il est partiellement enfoncé et soudé dans le réceptacle; infère, s'il est totalement enfoncé et soudé et supère, s'il ne l'est pas du tout, que le réceptacle soit creusé ou non.

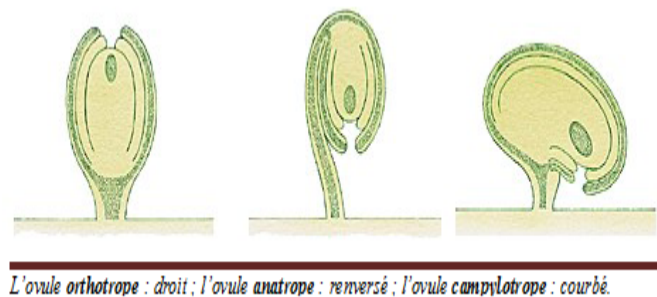
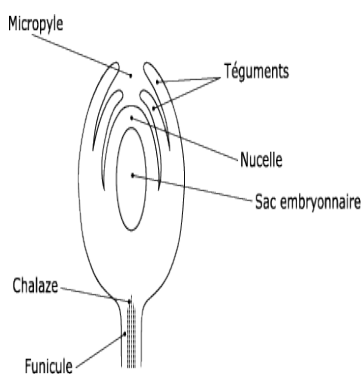


Figure 48- Éléments constitutifs d'un ovule

L'ovule, malgré sa petite taille, présente une organisation relativement complexe.

On distingue :

- ✓ Le funicule : portion inférieure de l'ovule, attachant celui-ci au placenta. Le funicule forme bientôt un petit cordon, plus ou moins allongé suivant les espèces, au bout duquel est fixé ou suspendu l'ovule d'abord, puis la graine ensuite;
- ✓ La chalaze : point où se ramifie le faisceau conducteur de l'ovaire;
- ✓ Le nucelle : partie interne de l'ovule qui contient le sac embryonnaire;
- ✓ Le sac embryonnaire : gamétophyte femelle qui, après fécondation, abritera un embryon diploïde et un albumen triploïde;
- ✓ Les téguments : enveloppes généralement au nombre de deux, un interne et un externe; L'ouverture apicale étroite ménagée par le(s) tégument(s) porte le nom de micropyle.

➤ Placentation

Les ovules sont fixés à l'ovaire au niveau du placenta. Il existe différents types de placentations : placentation pariétale ; axiales et centrales.

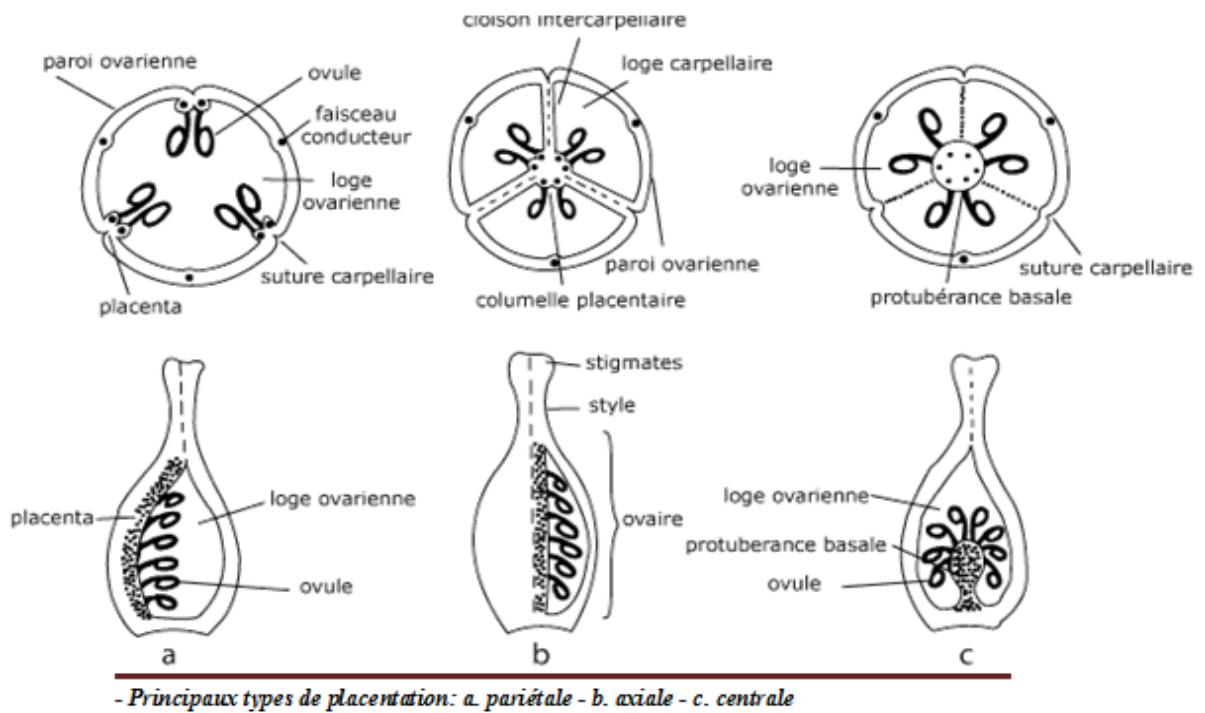


Figure 49- Mode d'insertion des ovules dans l'ovaire.

L'ovule est un organe complexe qui peut être fixé différemment au placenta par le funicule et selon la position de la chalaze par rapport au micropyle, on distingue : l'ovule orthotrope : droit ; l'ovule anatrophe : renversé ; l'ovule campylotrope : courbé (Figure 43).

➤ Cycles de reproduction des Angiospermes

Tout comme chez les Gymnospermes, le gamétophyte réduit est dépendant du sporophyte dominant. On trouve deux types de spores, la microspore qui donnera naissance au grain de pollen (gamétophyte mâle), et la mégaspore qui formera le sac embryonnaire (gamétophyte femelle).

- Les grains de pollen se développent dans les sacs polliniques de l'anthere. Chaque grain de pollen contient une cellule génératrice (gamétophyte mâle) et une cellule végétative.
- Quant à l'oosphère, il est formé dans le sac embryonnaire (gamétophyte femelle), lui-même contenu dans l'ovule de l'ovaire.

Tout comme chez les Gymnospermes, le gamétophyte réduit est dépendant du sporophyte dominant. On trouve deux types de spores, la microspore qui donnera naissance au grain de pollen (gamétophyte mâle), et la mégaspore qui formera le sac embryonnaire (gamétophyte femelle).

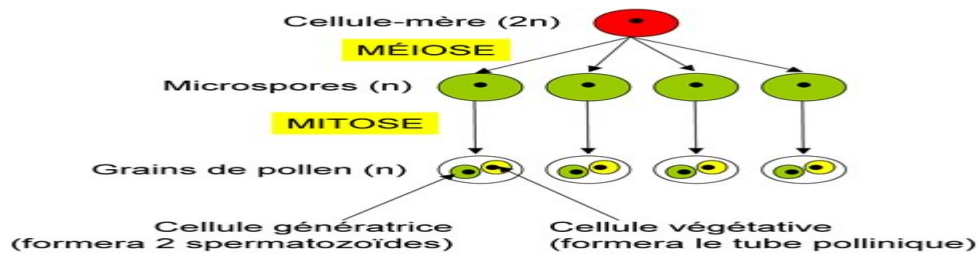


Figure 50- Production des grains de pollen.

- Les grains de pollen se développent dans les sacs polliniques de l'anthère. Chaque grain de pollen contient une cellule génératrice (gamétophyte mâle) et une cellule végétative.

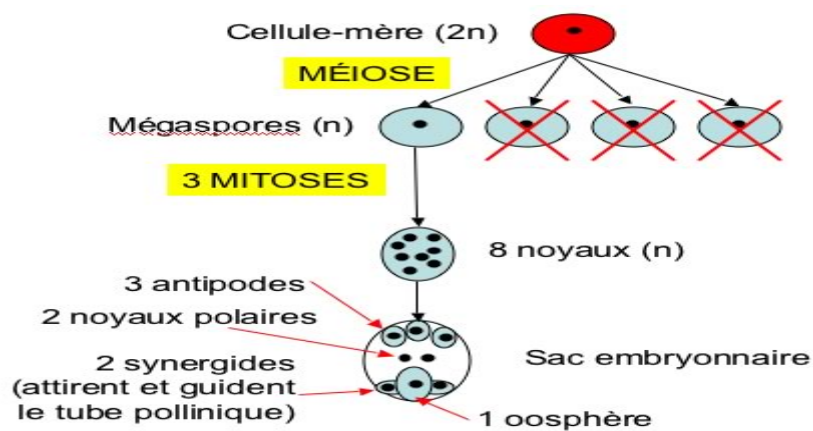


Figure 51- Production de l'oosphère.

- Quant à l'oosphère, il est formé dans le sac embryonnaire (gamétophyte femelle), lui-même contenu dans l'ovule de l'ovaire.
- Lorsque le grain de pollen se dépose sur le stigmate, la cellule végétative forme le tube pollinique. La cellule génératrice descend dans le tube en se divisant pour former 2 spermatozoïdes. Un de ces spermatozoïdes fécondera l'oosphère tandis que l'autre s'unira aux 2 noyaux polaires pour former l'endosperme (aussi appelé albumen) qui sert de réserve nutritive. On assiste donc à une double fécondation.

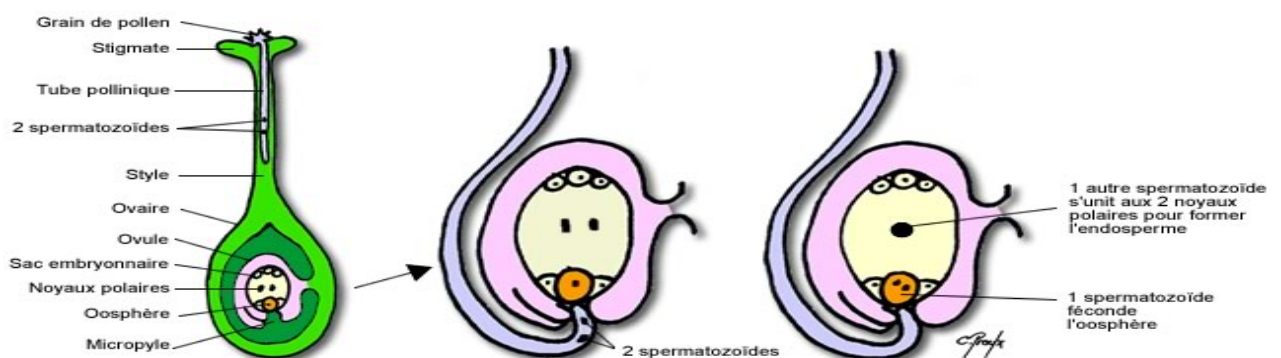


Figure 53- Double fécondation chez les Angiospermes

- Le zygote issu de la fécondation de l'oosphère par un spermatozoïde se divise et donne 2 cellules: la cellule terminale qui continue à se diviser pour former un pro embryon sphérique, et la cellule basale qui se divise transversalement et forme le suspenseur. Ce dernier ancre l'embryon et lui fournit des nutriments provenant de la plante-mère. Les cotylédons (1 chez les Monocotylédones et 2 chez les Dicotylédones) se forment. Avec l'endosperme, les cotylédons forment une réserve nutritive pour l'embryon lors de la germination.

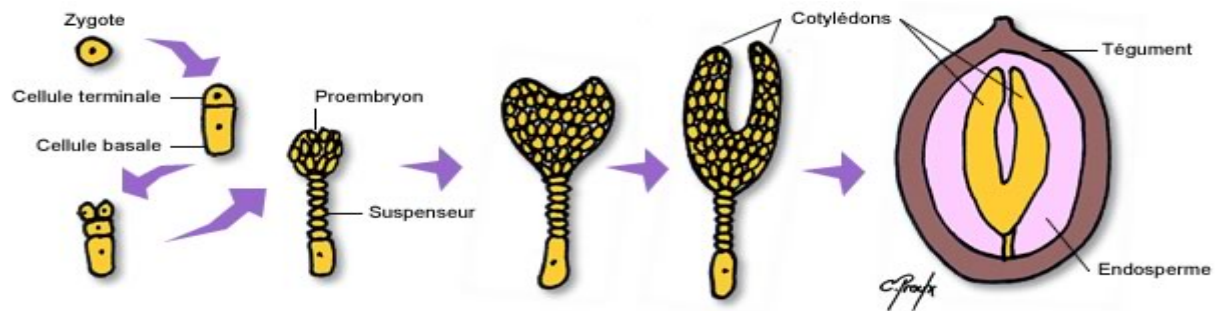


Figure 54- Développement de l'embryon d'une Dicotylédone (D'après Campbell).

- Après la fécondation, le micropyle se ferme, les téguments de l'ovule se sclérifient pour former le « tégument » de la graine, parfois appelé spermoderme ou enveloppe protectrice de la graine.
- Le noyau triploïde central résultant de la fusion triple se divise activement ; les noyaux produits restent tout d'abord libres dans un symplaste. La cellularisation débute ensuite par la périphérie de ce qui fut le sac embryonnaire et progresse vers le centre. Les cellules se chargent de réserves formant un tissu nourricier, l'albumen.

- **Cycle de vie des Angiospermes**

- Au contact des stigmates, situés à l'extrémité du pistil, le grain de pollen des angiospermes émet un fin prolongement appelé tube pollinique, qui conduit le noyau reproducteur haploïde jusqu'au contact d'un ovule.
- Lorsque le tube pollinique arrive au contact du micropyle de l'ovule, le noyau reproducteur se divise pour donner deux noyaux fécondants : l'un des deux fécondera l'oosphère pour donner un œuf principal diploïde, qui se développera en embryon sporophytique. L'autre noyau mâle fusionnera avec les deux noyaux accessoires du sac embryonnaire pour donner un œuf accessoire triploïde ($3n$ chromosomes), l'albumen, qui se développera par mitoses

successives pour donner un tissu nourricier triploïde aux dépens duquel l'œuf principal se développera.

- Chez les angiospermes il y a donc double fécondation. La fécondation est en outre suivie d'un durcissement des téguments de l'ovule et d'une forte déshydratation des tissus : comme chez les gymnospermes il y a formation d'une graine.
- Parallèlement, chez les angiospermes, les parois de l'ovaire se transforment par durcissement ou accumulation de réserves, permettant la formation d'un fruit, respectivement sec ou charnu. L'invention du fruit est l'un des facteurs qui confère aux angiospermes une meilleure adaptation au milieu terrestre que les gymnospermes, en permettant, en particulier, une dissémination des graines sur de plus grandes distances grâce aux animaux et au vent.

- **La multiplication végétative**

Elle est relativement moins répandue chez les Angiospermes que dans les autres embranchements de végétaux. Elle est assurée par l'enracinement d'organes végétatifs plus ou moins spécialisés. Ce sont des tiges marcottées ou greffées, des bulbes, des bulbilles, des tubercules, des stolons, des drageons.... Naturellement peu fréquents, elle est cependant pour certains groupes d'Angiospermes le seul mode de multiplication efficace dont ils disposent. C'est par exemple le cas du bananier qui se multiplie uniquement par thallage. Cette capacité à la multiplication végétative, qui résulte de la totipotence de la cellule végétale est mise à profit en laboratoire pour *multiplier in vitro* les individus présentant un intérêt économique.

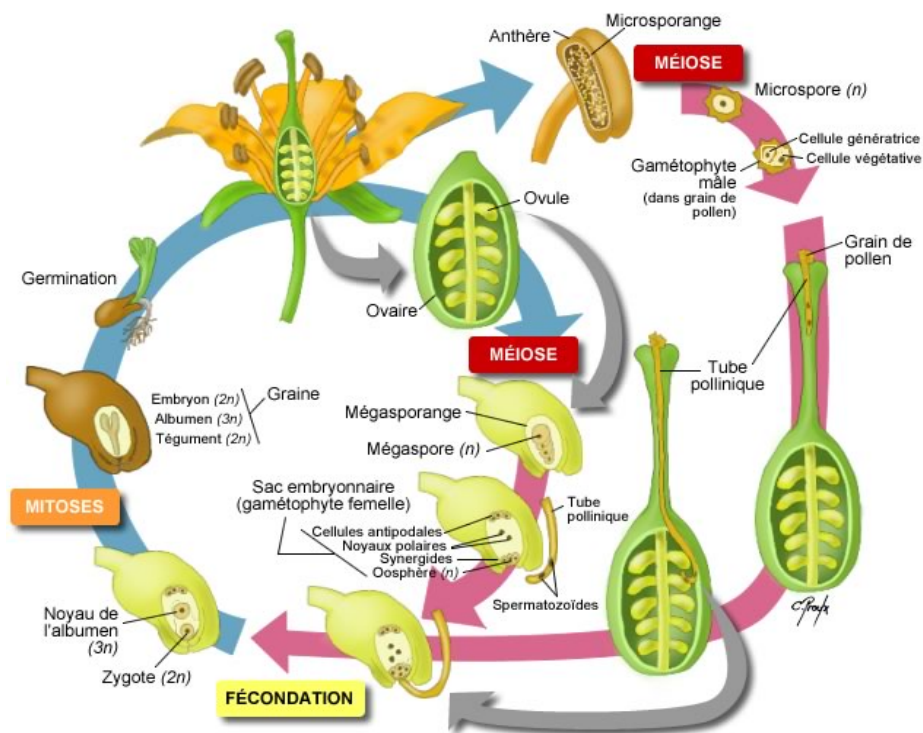


Figure 55- Cycle de développement des Angiospermes (D'après Campbell).

➤ Les inflorescences

Une inflorescence est un ensemble de fleurs groupées sur un rameau. Chacun des rameaux de l'axe principal ou *rachis*, qui soutient une fleur, se nomme pédicelle. Au sein d'une inflorescence, on distingue typiquement, en plus des fleurs proprement dites, les éléments suivants :

- le **rachis** : axe primaire d'une inflorescence
- le **pédoncule** : axe d'une inflorescence sur lequel sont insérés les pédicelles ou axe d'une fleur solitaire axillaire ou encore axe d'une fleur solitaire;
- les **pédicelles** : axe portant chacun une fleur;
- les **bractées** : feuilles transformées, souvent réduites, vertes, colorées ou scarieuses, situées à la base du pédoncule de l'inflorescence, des rameaux et des pédicelles.
- les **préfeuilles** et les **bractéoles** : petits appendices, souvent réduits, situés sur les pédicelles eux-mêmes.

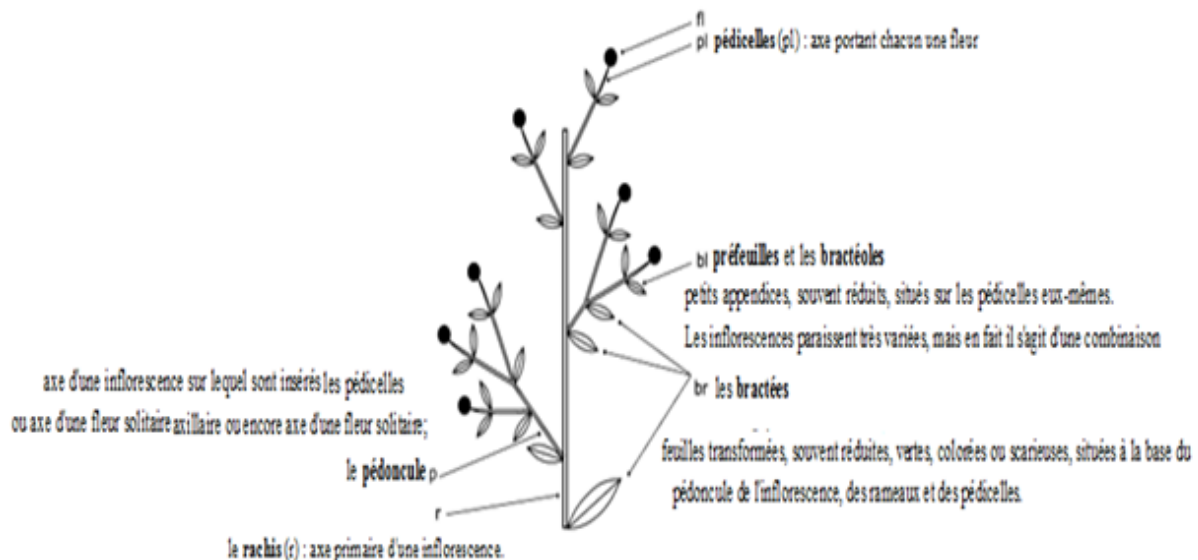


Figure 56- Axe d'une inflorescence.

Les inflorescences paraissent très variées, mais en fait il s'agit d'une combinaison :

- l'inflorescence monopodiale ou racémeuse (la croissance est indéfinie, le méristème terminant l'axe à un fonctionnement similaire à un point végétatif caulinaire).
- les inflorescences sympodiale ou **cymeuse** (la croissance est définie, une fleur occupe toujours le sommet de l'axe).

➤ Les inflorescences sont qualifiées de :

- **simples** (l'axe principal de l'inflorescence porte directement les fleurs).
- **composées** (l'axe principal de l'inflorescence porte des inflorescences secondaires).

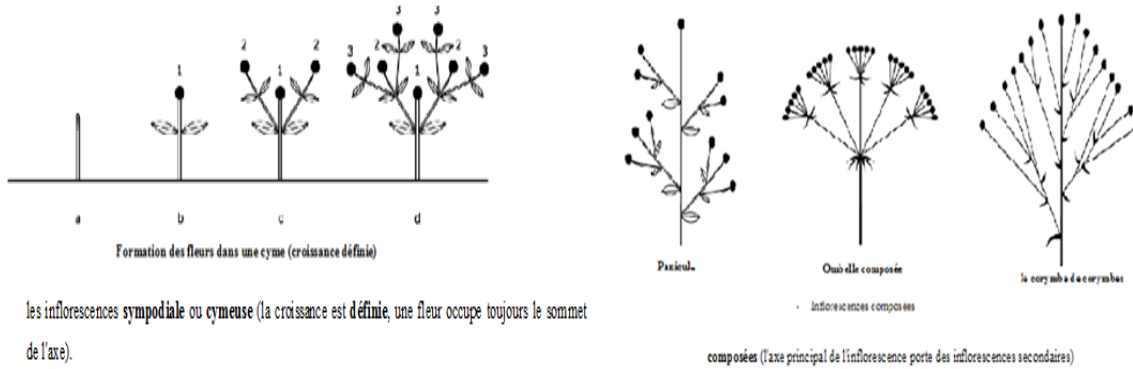


Figure 57- types d'inflorescences.

➤ **Méthodes d'études des fleurs**

La formule florale est une représentation de la morphologie d'une fleur sous forme de formule. Elle indique le nombre de pièces florales en groupe de sigles (S : sépales ; P : pétales ; E : étamines ; C : carpelles) précisant la nature des pièces présentes dans une fleur et leur nombre, éventuellement aussi leur disposition.

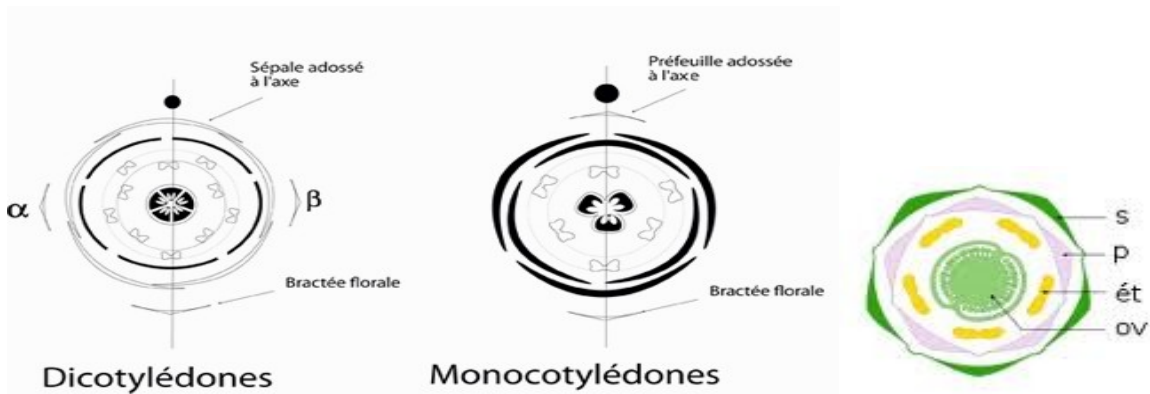


Figure 58- Exemples de diagrammes floraux.

Quant au diagramme floral, il s'agit d'une représentation graphique de la structure de la fleur en coupe transversale à travers les différentes pièces florales (calice, corolle, androcée au niveau des anthères, gynécée au niveau des placentas). Par convention, on oriente le diagramme en situant vers le haut la section transversale de l'axe portant la fleur et vers le bas, celle de la bractée sous-tendante. Les soudures entre pièces voisines sont indiquées par des traits ou des pointillés.

➤ **Les fruits**

Les fruits résultent de la transformation de l'ovaire ou des ovaires d'une fleur fécondée; ils renferment la ou les graines, provenant de l'évolution de(s) ovule(s). Le développement de l'ovaire, depuis sa formation dans un bouton floral jusqu'au fruit mûr, lorsque la fleur a été pollinisée, est généralement continu.

Par contre, si la fleur n'a pas été pollinisée, cette croissance s'arrête brusquement et la fleur non fécondée se détache et tombe. Il y a néanmoins des exceptions assez rares, mais qui intéressent directement l'homme : certaines plantes produisent des fruits sans qu'il n'y ait eu pollinisation des fleurs. Il s'agit du phénomène de parthénocarpie qui engendre des fruits totalement dépourvus de graines. C'est le cas de certaines espèces sélectionnées et cultivées par l'homme comme les bananes comestibles, les oranges sans pépins, etc.

✓ **Différenciation histologique**

Au terme des transformations, la paroi du fruit - qui provient directement de la paroi de l'ovaire - ou péricarpe comporte généralement trois parties suite à des différenciations histologiques en cours de croissance, à savoir, de l'extérieur vers l'intérieur : l'exocarpe ou épicarpe, le mésocarpe et l'endocarpe.

Outre la paroi de l'ovaire, d'autres parties de la fleur, voire de l'inflorescence, subissent une modification importante et participent à la constitution du fruit; la complexité augmente avec l'éventualité de la participation du réceptacle floral, comme c'est le cas, automatiquement, avec les espèces infer-ovariées. Certains auteurs considèrent que dès qu'il y a intervention, pour former le péricarpe, d'un élément autre que la paroi de l'ovaire, il faut parler de faux-fruit (ex. : pomme, noix); d'autres sont moins restrictifs.

Parmi **les vrais fruits**, on distingue, selon la consistance du péricarpe, les fruits charnus et les fruits secs.

✓ **les fruits charnus** : On distingue généralement deux types :

- **La baie** ou fruit à pépins est un fruit charnu indéhiscent qui ne possède pas d'endocarpe lignifié. Il se caractérise par l'exocarpe ordinairement mince et par le mésocarpe et l'endocarpe charnus, ce qui fait que les graines sont libres dans la chair du fruit. La baie, au sens le plus strict, correspond à l'évolution d'un ovaire supère. Elle est le plus souvent polysperme (constituée de plusieurs ovaires).

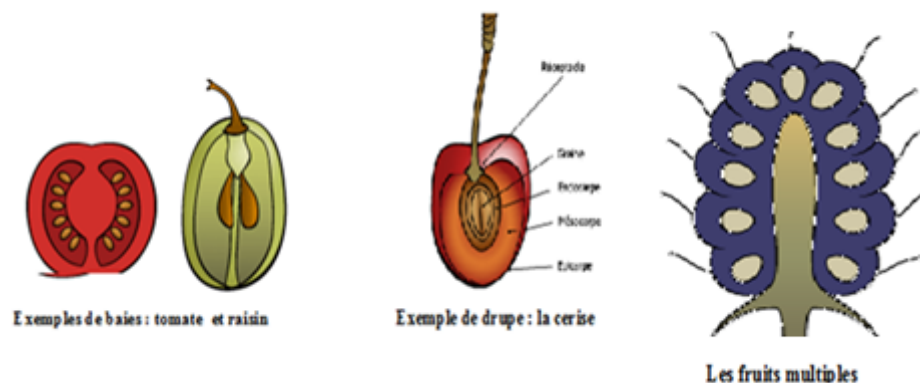


Figure 59 - Différents formes de fruits.

➤ **La drupe** ou fruit à "noyau" est un fruit charnu indéhiscent avec un endocarpe lignifié (noyau). Le fruit à noyau(x) se caractérise donc par un endocarpe sclérifié entourant la ou les graines. La drupe est le plus souvent monosperme (constituée d'un seul ovaire).

- **les fruits secs** : les fruits secs se scindent en deux catégories : **Les fruits secs indéhiscents** (qui ne s'ouvrent pas à maturité), généralement monospermes (constitués d'un seul ovaire). On les désigne sous le nom général d'akène. C'est le cas par exemple pour le fruit du noisetier, du chêne ou des astéracées. On réserve le nom de samare à un akène pourvu d'une aile. La disamare est pourvue de deux ailes. Le caryopse, quant à lui, spécifique à la famille des Poaceae, est caractérisé par la soudure des téguments de la graine au péricarpe.



Figure 60- Fruits secs indéhiscents et types d'akènes.

- **Les fruits secs déhiscents** (qui s'ouvrent pour libérer les graines), généralement polyspermes (constitués de plusieurs ovaires). La déhiscence se réalise le plus souvent longitudinalement par rapport à l'axe du fruit.

Dans ce groupe important et diversifié de fruits, on distinguera principalement les types de fruits suivants :



Figure 61- Fruits secs déhiscents.

- la **capsule** : fruit sec formé à partir d'un ovaire composé de plusieurs carpelles soudés. Dans une première catégorie, la déhiscence se réalise par des fentes parallèles à l'axe longitudinal.
- la **silique** : fruit à déhiscent, dérivant d'un ovaire composé de deux carpelles seulement, s'ouvrant en deux valves, avec développement d'une fausse cloison médiane d'origine placentaire.
- le **follicule** : fruit provenant d'un carpelle unique une seule ligne de déhiscence en position ventrale ;
- la **gousse** ou **légumen** : fruit provenant également d'un carpelle unique; fruit typique des Fabacées.

- Les fruits multiples

Ils proviennent de fleurs dont le gynécée est composé de plusieurs carpelles indépendants (gynécée polycarpe). Dans ce cas, une seule fleur produit plusieurs fruits. C'est le cas par exemple de la mûre des ronces composée de multiples drupes.

✓ Fruits complexes ou faux-fruits

En général, il s'agit de fruits qui ne dérivent pas uniquement du gynécée, mais qui intègrent d'autres parties de la fleur (réceptacle, pièces périnthaires, etc.) et parfois même des fruits formés à partir d'une inflorescence complète (infrutescence).

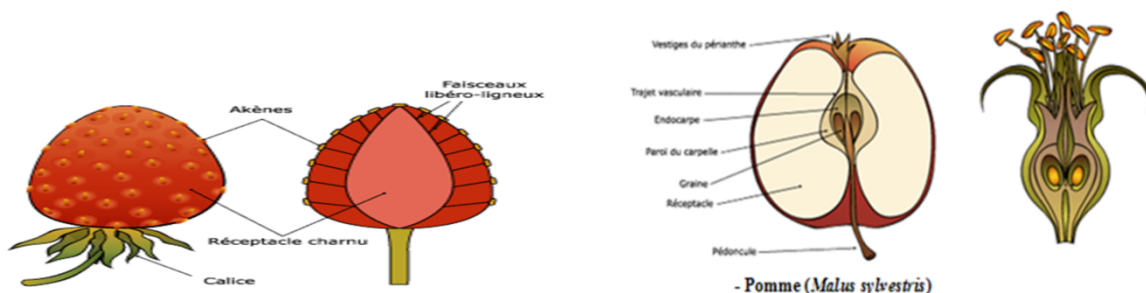


Figure 62- Fruits complexe.

Ainsi chez la fraise, le réceptacle floral se développe considérablement et produit la partie charnue principale du fruit ; les carpelles se sont transformés en akènes fixés sur ce volumineux réceptacle. Chez la pomme ou la poire, l'ovaire infère est soudé au réceptacle floral. Le fruit comprend un mésocarpe charnu provenant en partie du réceptacle hypertrophié et pour une autre part de la paroi externe des carpelles. L'endocarpe, coriace, s'est constitué à partir de la paroi interne des anciennes loges carpellaires.

Les infrutescences sont des fruits formés à partir d'une inflorescence. L'ananas est un bel exemple d'un épi devenu charnu.

➤ La graine

La structure de la graine est en relation directe avec celle de l'ovule, tout comme celle du fruit découle des particularités de l'ovaire. Après fécondation, pendant que l'ovaire se transforme en fruit, le ou les ovules qui y sont abrités évoluent vers la constitution de la ou des graines.

La graine se compose essentiellement d'un tégument (simple ou double) et d'une amande (formée de l'embryon et de tissus de réserves constituant l'albumen).

La taille, la forme, la pilosité, la consistance des graines varient considérablement selon les espèces et selon les modes de dissémination.

Selon la présence ou non d'albumen dans les graines, celles-ci se classent en deux catégories :

- les graines **albuminées** : cotylédons minces dans un albumen développé servant de réserve comme par exemple, les caryopses des céréales.

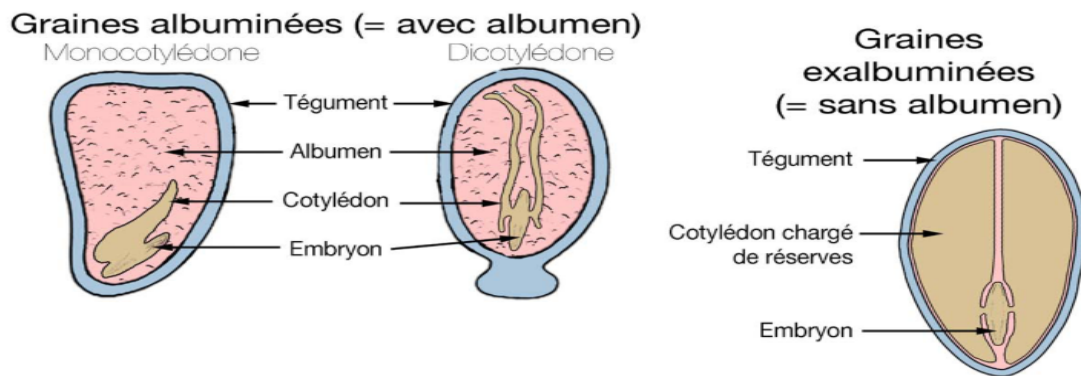


Figure 63 - Les différents types de graine.

- les graines **exalbuminées** : amande réduite à l'embryon. Les cotylédons remplissent l'intérieur de la graine et renferment les matières de réserves, comme chez le pois ou le haricot.

Références des ouvrages utilisés

- AMIROUCHE N., BOUGUEDOURA N. et HADJ-ARAB H., 2010-** Botanique, les Embryophytes. Offices des publications universitaires.
- BIGNOT G., 2001-** Introduction à la micropaléontologie. Gordon et Breach Science edition.
- BLAIS S., 2008-** Guide d'identification des fleurs d'eau de cyanobactéries. Comment les distinguer des végétaux observés dans nos lacs et nos rivières, 3^{ème} édition.
- BOUHIRED L. et RAHMANIA-HAMZAOUI F., 2009-** Illustration du cours de Biologie végétale. Office des Publications Universitaire
- DOBSON F. S., 2005-** Lichens, and illustrated guide to the British and Irish species, Richmond publishing.
- DUPONT F. et GUIGNARD J.L., 2012-** Abrégés de botanique, les familles de plantes. Edition Elsevier MASSON.
- HOPKINS WILLIAM G., 1999-** Physiologie végétale, seconde édition.
- INVENTAIRE DE LA FLORE MARINE DE ROSCOFF, 1954-** Algues, Champignons, Lichens.
- LAVOIE I., LAURION I. et VINCENT W.F., 2007-** Les fleurs d'eau de cyanobactéries, document d'information vulgarisée. INRS rapport n 917.
- LECOINTRE G. et LE GUYADER H., 2006-** Classification phylogénétique du vivant, 3^{ème} édition Belin.
- LECOINTRE G. et LE GUYADER H., 2001-** classification phylogénétique du vivant. Edition Belin.
- MAROUF A. et REYNAUD J., 2007-** La botanique de A à Z 1662 définitions. Edition. Dunod.
- NEWTON L., 1931-** A handbook of the British Seaweeds. The trustees of the british museum.
- ROLAND J.C. et ROLAND F., 2003-** Atlas de biologie végétale. Organisation des plantes à fleurs. 8^{ème} édition, Dunod.
- SMITH C.W., 2009-** The lichens of Great Britain and Ireland, The British Lichen Society, London. Spermatophytes, Supplément 6, Station biologique de Roscoff.
- VAN HALUWYN C. et ASTA J., 2009-** Guide des lichens de France : lichens des arbres. Edition Belin.