

## **INTRODUCTION GENERALE**

### **1. SYSTEMATIQUE ET NOMENCLATURE**

#### **1.1. NOMENCLATURE ET UNITES TAXONOMIQUES**

#### **1.2. REGLES DE LA NOMENCLATURE**

### **2. LES GROUPES VEGETAUX ET LA PHYLOGENIE**

#### **2.1. DEFINITION DU VEGETAL**

#### **2.2. PRINCIPES DE LA PHYLOGENIE**

**- CHOIX DES CARACTERES**

**- PLACE DES GROUPES VEGETAUX DANS LE MONDE VIVANT**

**- LES ORIGINES EVOLUTIVES DE L'AUTOTROPHIE**

### **3. PHYLOGENIE ET DESCRIPTION DES GROUPES A THALLE**

**CYANOBACTERIES, EUMYCETES, CHROMALVEOLES, GLAUCOPHYTES,  
RHODOBIONTES, CHLOROBIONTES, LICHENS,**

### **4. PHYLOGENIE ET DESCRIPTION DES GROUPES A CORMUS**

**BRYOPHYTES *SENSU LATO*, PTERIDOPHYTES *SENSU LATO*, CYCADOPHYTES,  
PINOPHYTES, ANGIOSPERMES OU PLANTES A OVAIRES**

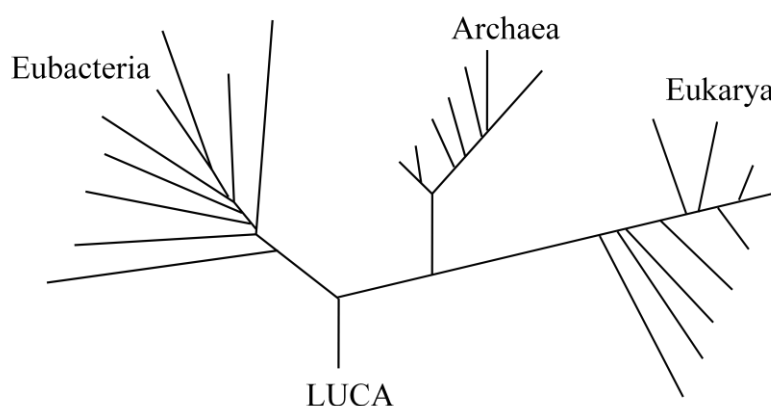
## INTRODUCTION GENERALE

Historiquement, on partageait le vivant en **deux Domaines** distincts selon la présence ou l'absence de noyau :

- Le Domaine des **Procaryotes** dont les cellules ne portant pas de noyau telles que les bactéries ;

- Le Domaine des **Eucaryotes** dont les cellules portent un noyau, comme la levure, l'amibe (organismes unicellulaires), plantes, champignons, animaux (organismes pluricellulaires).

Avec l'avènement de la génétique moderne, les séquences de gènes des organismes constituent de nouveaux caractères comparables entre tous les organismes vivants (même ceux qui se sont différenciés il y a plus de 3 milliards d'années). C'est grâce aux séquences d'ADN codant l'ARN de la sous unité ribosomique 16S que Carl Woese et George Edward Fox (1977) ont pu classer les procaryotes en **deux Domaines** fondamentalement différents : les Archées et les Eubactéries. Le monde du vivant est donc divisé en **3 Domaines** (ou empires, super règnes) et non en deux : les **Archaea**, les **Eubacteria** et les **Eukarya** (Fig.1)



**Fig.1.** Arbre phylogénétique simplifié du vivant d'après Woese *et al.* (1990). LUCA : Last Universal Common Ancestor (dernier ancêtre commun dont on peut faire l'hypothèse)

- **Les Archées** sont découvertes assez récemment. Ce sont des organismes unicellulaires sans noyau. Les Archées sont des **extrêmophiles** et peuvent survivre et pulluler dans les environnements les plus hostiles comme les marais salins, les sources hydrothermales, les glaciers polaires, les rejets acides de certaines mines, etc. Elles possèdent une membrane plasmique constituée de **d'èther-lipides** spécifiques permettant une résistance aux milieux extrêmes.

- **Les Eubactéries** sont également des organismes unicellulaires sans noyau et ressemblent à la plupart des bactéries que nous connaissons couramment comme *Escherischia coli*. Au rang des bactéries essentielles, il y a les **Cyanobactéries** grâce auxquelles l'atmosphère terrestre s'est enrichie en oxygène. Elles possèdent une paroi cellulaire constituée de peptidoglycanes.

- **Les Eucaryotes** sont des organismes caractérisés par la présence d'un noyau et des organites cellulaires. Ce Domaine regroupe des organismes unicellulaires (paramécies, euglènes, levures, amibes) et des organismes pluricellulaires (*l'homme, la baleine, la fougère, le pin*).

## 1. Règles de la nomenclature

Avant Linné, les plantes étaient désignées par leurs noms vulgaires (communs) ou par des expressions vagues faisant allusion soit à leurs propriétés supposées telles que 'herbe aux teigneux', soit à de vagues analogies de forme telles que 'queue de renard' soit à la mythologie ou à l'histoire telle que 'Sabot de Venus' (Orchidée), 'Narcisse'...

Depuis Linné, l'appellation d'un organisme vivant est codifiée par un nom du genre suivi d'un nom d'espèce (**nomenclature binominale**). Le nom du genre débute par une majuscule et le nom d'espèce en minuscule. Les noms du genre et de l'espèce s'inscrivent en italique ou sont soulignés comme par exemple *Rosa canina* ou *Rosa repens*. Le binôme nomenclatural est toujours suivi du nom (ou du nom abrégé) de l'auteur qui a décrit pour la première fois la plante. Exemple : *Genista scoparia* Lamk., *Hordeum murinum* L. Les règles de la nomenclature sont depuis codifiées au cours des congrès internationaux. Le dernier code remis à jour a été adopté par le XVIII<sup>e</sup> Congrès International de Botanique à Melbourne en juillet 2011.

### 3. LES GROUPES VEGETAUX ET LA PHYLOGENIE

#### 3.1. Définition du végétal

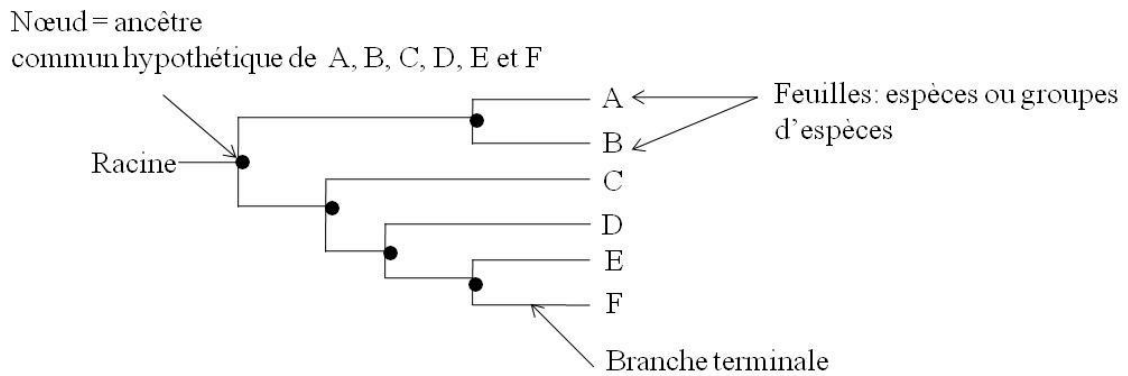
Les végétaux dans leur ensemble sont bien difficiles voire impossible à définir car il n'y a pas de cellule végétale type (exceptions nombreuses pour l'autotrophie, la paroi, l'immobilité). On retiendra dans ce cours que :

- Les végétaux sont des organismes **eucaryotes** le plus souvent **autotrophes** ;
- Les cellules végétales sont entourées d'une paroi **pectocellulosique** (cellulose=polymère de glucose, pectines= polysaccharides complexes). Cependant, les bactéries ont une paroi constituée d'un peptidoglycane (=la muréine) ; les champignons ont une paroi constituée d'un polysaccharide (= la chitine) ;
- Les cellules végétales possèdent des plastes (enveloppe constituée de 2, 3 ou 4 membranes, un stroma, des thylacoïdes, un matériel génétique, des ribosomes). Cependant, de nombreux végétaux ne possèdent pas de plastes et assurent une partie de leur nutrition par prélèvement de molécules organiques. Exemple : les plantes parasites comme les Cuscutées ou les Orobanches n'ont pas de chlorophylle et sont donc dépendantes de la plante hôte pour leur nutrition en éléments carbonés (sucre...), en eau et/ou en sels minéraux ;
- Les cellules végétales possèdent des vacuoles (=tonoplaste+suc vacuolaire). Les vacuoles sont des réserves d'eau, de certains métabolites, et participent à la gestion des déchets.

#### 3.2. Principes de la phylogénie

La classification phylogénétique postule que toutes les espèces proviennent d'un ancêtre commun hypothétique. Elle a pour but de classer les espèces selon **leurs liens de parenté** (phylogénie = qui est proche de qui). Le degré de parenté phylétique peut être défini de la façon suivante : entre trois espèces, A, B, C par exemple, A est plus proche parent de B que de C si A et B ont au moins une espèce ancestrale commune qui n'est pas l'ancêtre de C.

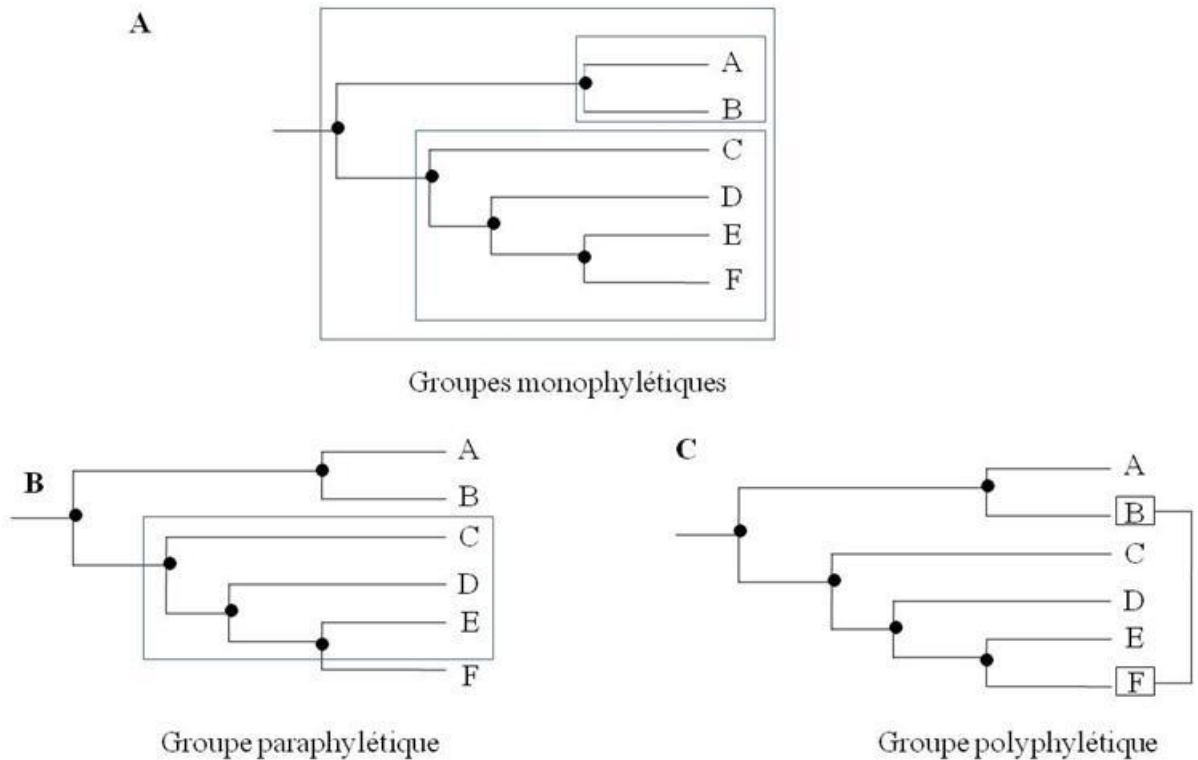
La représentation la plus fréquente des liens de parenté est un **arbre phylogénétique** qui est toujours dichotomique (Fig.2).



**Fig. 2.** Exemple d'arbre phylogénétique.

A et B sont les plus proches l'un de l'autre : ce sont des groupes frères. Ils partagent un ancêtre commun qui leur est propre. Il en est de même pour E et F ou encore pour (E+F) et D, (D+E+F) et C, (C+D+E+F) et (A+B).

Au sens phylogénétique, les espèces d'un même groupe doivent partager un **ancêtre commun** et être les **seules à partager cet ancêtre commun** (= groupe **monophylétique** ou **clade**). Un groupe **monophylétique** est un groupe incluant un ancêtre commun et tous ses descendants. C'est le seul groupe valide et donc utilisable en phylogénie (Fig. 3A). Un groupe **paraphylétique** est un groupe incluant un ancêtre commun et une partie seulement de ses descendants (Fig. 3B). Un groupe **polyphylétique** est un groupe dont les représentants ont un ancêtre commun trop lointain pour être inclus dans le groupe c.-à-d. **l'ancêtre est exclu du groupe** (Fig. 3C).

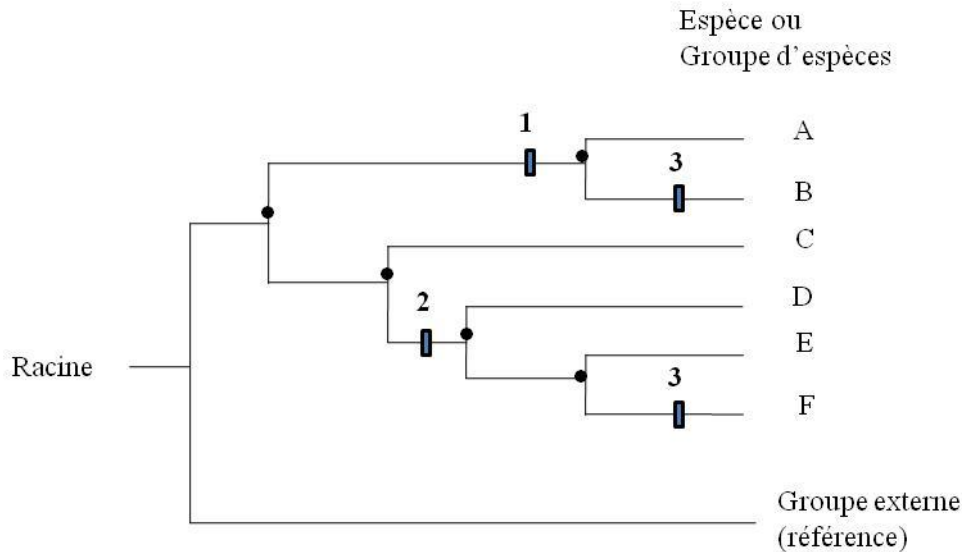


**Fig. 3.** Différents groupes en phylogénie

### 3.2.1. Choix des caractères dans la classification phylogénétique

Dans la classification phylogénétique, les espèces sont rassemblées sur la base de ressemblances de caractères (morphologiques, anatomiques, moléculaires : séquences d'ADN, ARN, protéines...) **héritées d'un ancêtre commun**. Ces caractères sont dits **homologues**. En revanche, les ressemblances qui ne sont pas héritées d'un ancêtre commun sont soit des **convergences** soit des **réversions** et n'ont aucun sens phylogénétique.

Les caractères homologues hérités d'un ancêtre **direct** sont des **apomorphies** (ou états dérivés ou innovations). A l'inverse, un caractère homologue hérité d'un ancêtre plus lointain est un caractère partagé à l'état ancestral ou **plésiomorphie** (Fig. 4). Les groupes monophylétiques sont définis sur la base de partage d'apomorphies (c. à. d. **synapomorphies**) et non de partage de plésiomorphies (c. à. d. **symplésiomorphies**).



**Fig. 4.** Exemples de caractères (1, 2, 3) positionnés sur un arbre phylogénétique.

- Le caractère 1 est **homologue** pour A et B car hérité d'un ancêtre commun. C'est une **apomorphie** pour (A+B) car hérité d'un ancêtre commun exclusif.

- Le caractère 2 est **homologue** pour D, E et F car hérité d'un ancêtre commun. C'est une **apomorphie** pour (D+E+F) car hérité d'un ancêtre commun exclusif. C'est par contre une **plésiomorphie** pour (E +F) car hérité d'un ancêtre non exclusif de cet ensemble (c'est aussi l'ancêtre de D).

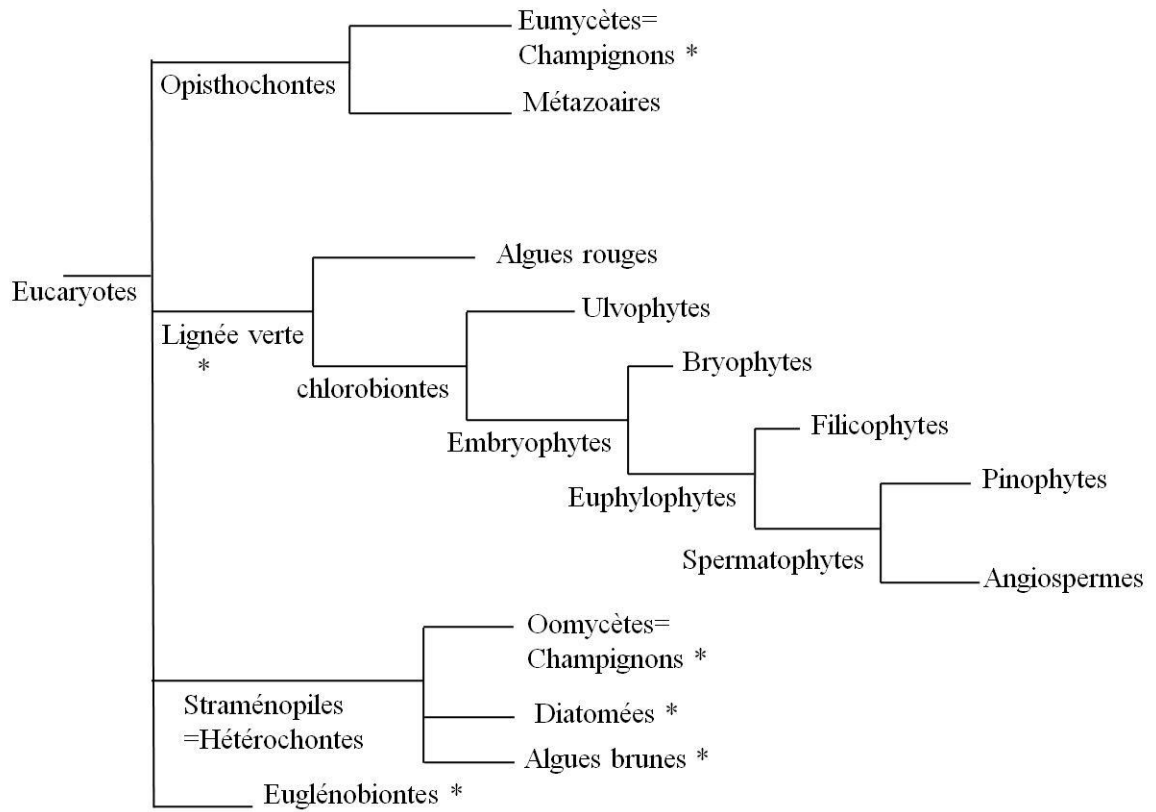
- Le caractère 3 n'est pas homologue pour B et F. Il a été acquis deux fois indépendamment (une fois chez l'ancêtre de B et une fois chez l'ancêtre de F: il s'agit d'une **convergence** pour B et F.

Une nouvelle classification des êtres vivants, basée essentiellement sur l'étude des caractères moléculaires est mise au point. Chez les plantes, le caractère moléculaire utilisé est l'ADN chloroplastique car il est de petite taille (15 000 paires de bases soit 15 000 caractères) et se trouve en grandes quantités dans la plupart des cellules végétales. Le gène le plus utilisé est le gène *rbcL* qui code la grande sous-unité de la protéine *RUBISCO* (protéine ayant un rôle dans la photosynthèse). La séquence inter-génique *ITS* (**I**n**T**ernal **T**ranscribed **S**pacers) ou IGS (**I**n**T**ernal **G**ene **S**pacers) qui est une région non codante de l'ADN ribosomique est également utilisé.

### 3.2.2. Place des groupes végétaux dans le monde vivant

Les Eucaryotes sont un des trois Domaines du vivant au même titre que les Eubactéries et les Archées. Ils constituent un groupe **monophylétique** (Fig.1). En revanche, les organismes autotrophes sont dispersés dans l'arbre phylogénétique des êtres vivants (les Cyanobactéries chez les Eubactéries, les autres groupes chez les Eucaryotes). Ils n'ont pas un

ancêtre commun exclusif et ne constituent pas un groupe monophylétique. Les végétaux forment donc un groupe **polyphylétique** qui n'a aucun sens phylogénétique (Fig.5).



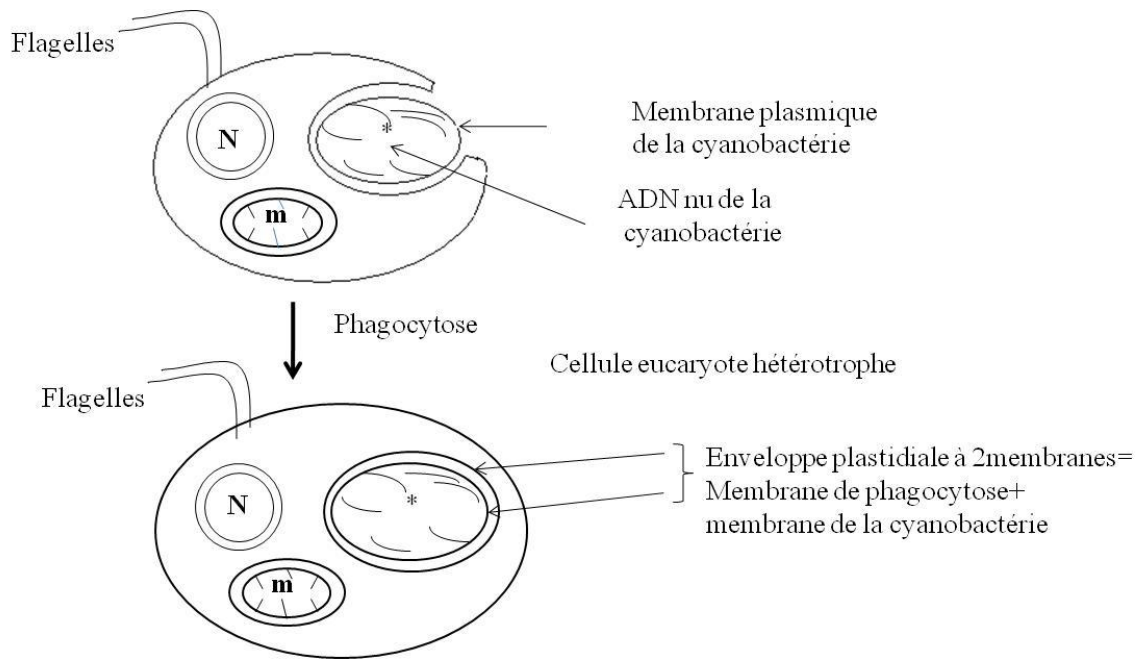
**Fig. 5.** Arbre phylogénétique des Eucaryotes. \*: taxon végétal selon la classification traditionnelle.

### 3.2.3. Les origines évolutives de l'autotrophie

Selon le groupe végétal, les plastes présentent des différences structurales importantes (Gould, 2012).

**Les plastes à deux membranes :** ils seraient issus de la phagocytose d'une Cyanobactérie par un organisme unicellulaire eucaryote hétérotrophe. La Cyanobactérie hébergée par l'Eucaryote lui aurait conféré l'**autotrophie**. C'est la théorie de l'**endosymbiose primaire** (Fig.6A). Cet Eucaryote autotrophe serait l'ancêtre hypothétique commun des algues rouges, algues vertes et des plantes terrestres qui constituent la **Lignée verte** et qui présentent un plaste à double membrane.



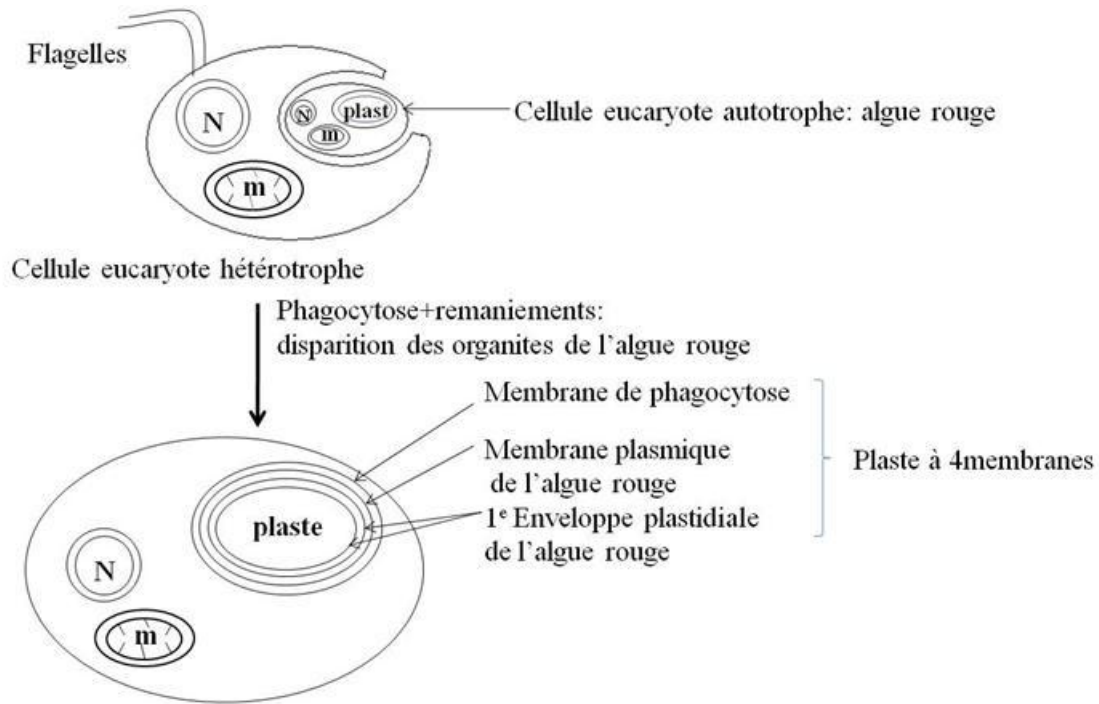


Cellule eucaryote autotrophe= ancêtre hypothétique de la Lignée verte

**Fig. 6A.** Théorie de l'endosymbiose primaire (Gould, 2012, modifié).

**Les plastes à quatre membranes :** Ces plastes seraient issus de la phagocytose d'une algue rouge unicellulaire **autotrophe** par une cellule eucaryote **hétérotrophe**. Cet autre Eucaryote serait l'ancêtre hypothétique notamment des algues brunes qui présentent un plaste à quatre membranes. C'est la théorie de l'**endosymbiose secondaire** (Fig.6B).

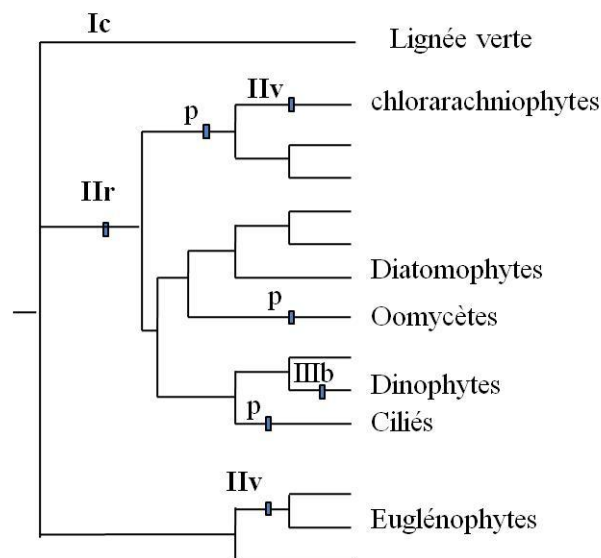
D'autres théories endosymbiotiques ont depuis été proposées. Elles expliquent l'origine autotrophie des autres groupes autotrophes. Le caractère 'autotrophie' est une **convergence** évolutive chez les Eucaryotes. Le rassemblement de tous les Eucaryotes autotrophes a conduit à la construction d'un groupe **artificiel et non naturel** d'organismes qui sont les végétaux mais dont les histoires évolutives sont très différentes.



Cellule eucaryote autotrophe = ancêtre hypothétique des algues brunes et d'autres groupes

**Fig. 6B.** Théorie de l'endosymbiose secondaire (Gould, 2012, modifié).

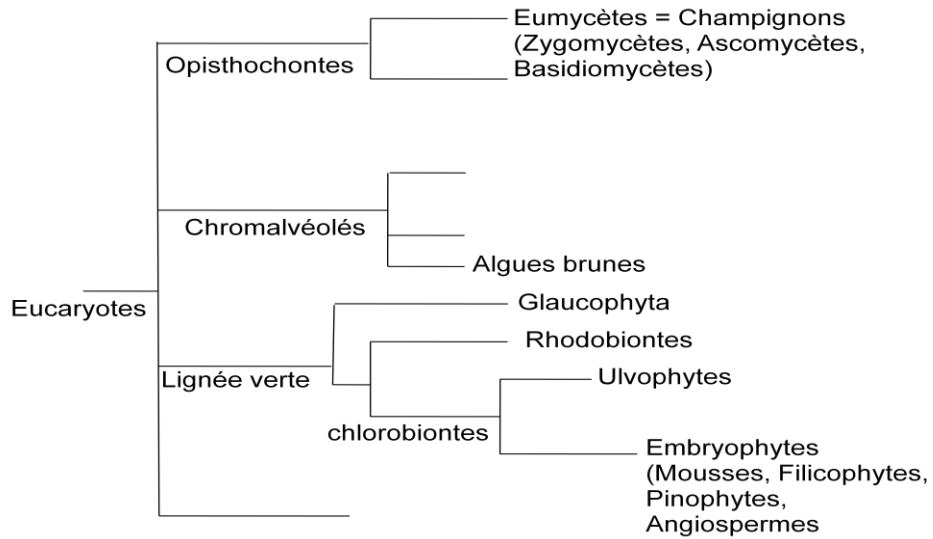
Les différentes acquisitions des plastes par endosymbiose sont données dans Fig.7.



**Fig. 7.** Arbre phylogénétique des principaux taxons chlorophylliens. Les acquisitions de plastes par endocytose I, II et III (c: Cyanophycée, r: algue rouge, v: algue verte, b: algue brune), p : perte du plastide.

#### 4. PHYLOGENIE ET DESCRIPTION DES GROUPES VEGETAUX

A la suite de l'étude des Cyanobactéries (appartenant au Domaine des Eubactéries), les principaux groupes étudiés dans le cours sont représentés dans la figure 14:



**Fig. 14.** Principaux groupes étudiés dans le cours

Les organismes à thalles se distinguent des organismes à cormus par des caractères morphologiques et par des caractères reproducteurs.

Les organismes à thalle présentent un appareil végétatif non différencié. Les cellules du thalle sont **toutes identiques** et assurent les différentes fonctions biologiques de l'organisme. Les organes de reproduction qui sont soit des **spores** soit des **gamètes** sont contenus dans des cellules mères transformées en sacs appelés **sporosystes** ou **gamétocystes**. Ce type d'appareil végétatif se retrouve chez les Eumycètes, Cyanobactéries et chez les algues eucaryotes ;

Les organismes à cormus présentent des cellules **spécialisées dans des fonctions**. Ainsi, les organismes sont constitués de différents tissus formés de cellules différenciées. Ces cellules spécialisées peuvent être conductrices, de soutien, de protection... Les organes de reproduction sont plus protégés dans des structures dites **sporanges** ou **gamétanges dont les parois sont pluricellulaires**.

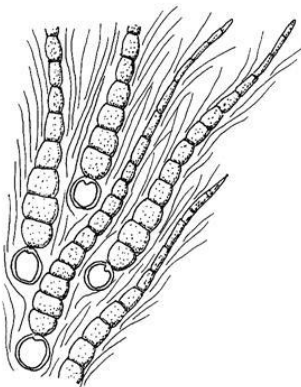
# Cyanobactéries

## Introduction

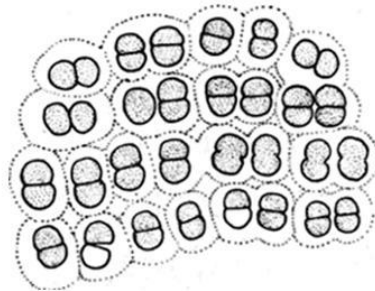
Les Cyanobactéries anciennement appelées les ‘cyanophytes’ ou ‘algues bleues’ sont des organismes appartenant au Domaine des **Eubactéries**. Ce sont des organismes autotrophes grâce à la présence de la chlorophylle ‘a’ et des pigments surnuméraires ‘**phycobilines**’ qui sont des **phycocyanines** (pigments bleus) et des **phycoérythrine**s (pigments rouges). Ce sont également des procaryotes (sans enveloppe nucléaire); leur matériel génétique est sous forme d’ADN nu. Elles sont caractérisées par l’absence de plastides, de mitochondries, d’appareil de Golgi et de réticulum endoplasmique. Elles ne possèdent jamais de flagelles.

## 1. MORPHOLOGIE

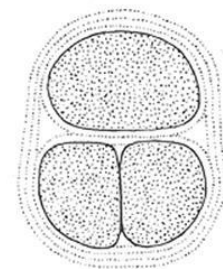
Les Cyanobactéries se présentent sous différentes formes (Fig. 15); unicellulaires solitaires, unicellulaires coloniales informelles, cénobes, trichomes qui peuvent être simples, ramifiés ou présentant des fausses ramifications.



*Rivularia sp.*  
(trichome)



*Merismopedia elegans*  
(colonie informelle)



*Chroococcus turgidus*  
(cénobe)

**Fig. 15.** Exemples de thalles chez les Cyanobactéries

## 2. CYTOLOGIE

Une cellule de Cyanobactérie (Fig. 16) comprend de l'extérieur vers l'intérieur :

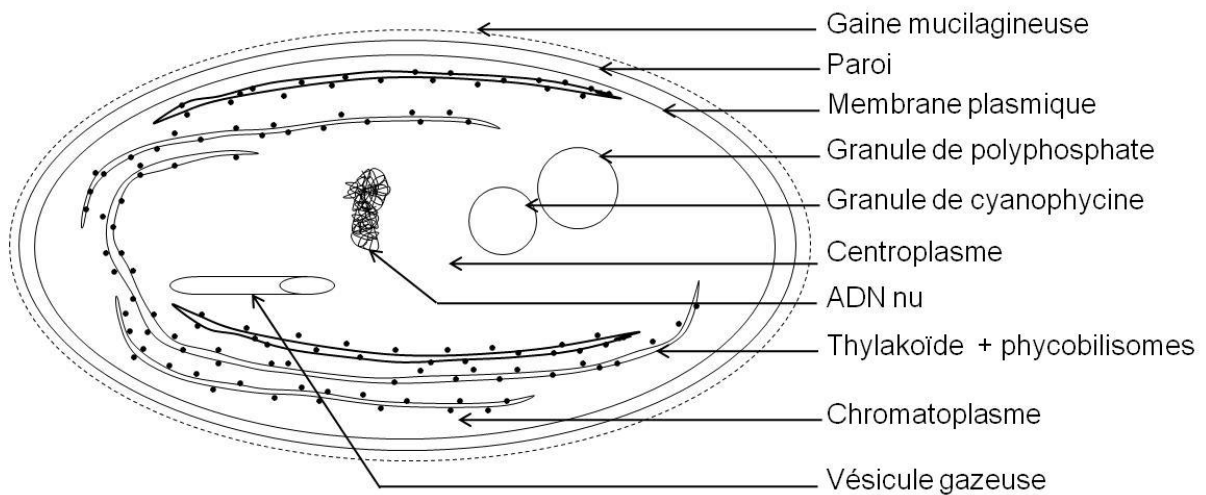
- Une **gaine mucilagineuse** : c'est la couche la plus externe très riche en eau. Elle contient des acides pectiques et des mucopolysaccharides. Cette couche est souvent épaisse et donne à toute la colonie une consistance gélatineuse d'où le nom des **Myxophytes**. Cette gaine n'existe pas chez certaines espèces

- La **paroi** : formée de protéines, de lipopolysaccharides et de la muréine (peptidoglycanes) rencontrée chez les bactéries Gram<sup>-</sup>.

- La **membrane plasmique** : c'est la membrane unitaire de tous les êtres vivants. Elle est constituée d'une bicouche lipidique et de glycoprotéines. Chez les procaryotes, cette membrane joue également un rôle dans la respiration.

- Le **chromatoplasme** : correspond à la zone périphérique du cytoplasme. Il contient les **thylakoïdes** portant à leur surface des **phycobilisomes** qui contiennent deux pigments : les **phycocyanines** (responsables de la coloration bleue) et les **phycoerythrines** (responsables de la coloration rouge). En plus de ces pigments, on trouve la chlorophylle **a** et d'autres pigments accessoires tels que le carotène-b, la zeaxantine et la myxoxanthophylle caractéristique des Cyanobactéries.

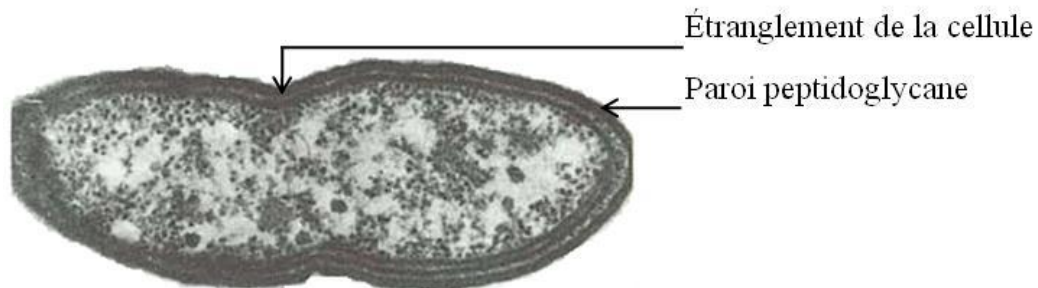
- Le **centroplasma** : correspond à la partie centrale de couleur plus claire dans laquelle baigne l'ADN nu. On y trouve également différentes inclusions : des ribosomes (70s), des granules de réserve (cyanophycines, glycogène, cristaalloïdes polypeptidiques, volutine, globules lipidiques) et des vacuoles à gaz dites **airosomes** ou **aérotopes** chez les espèces planctoniques flottantes.



### 3. REPRODUCTION

Les Cyanobactéries se reproduisent uniquement par voie **asexuée**. Parmi les modes de division rencontrés, on cite :

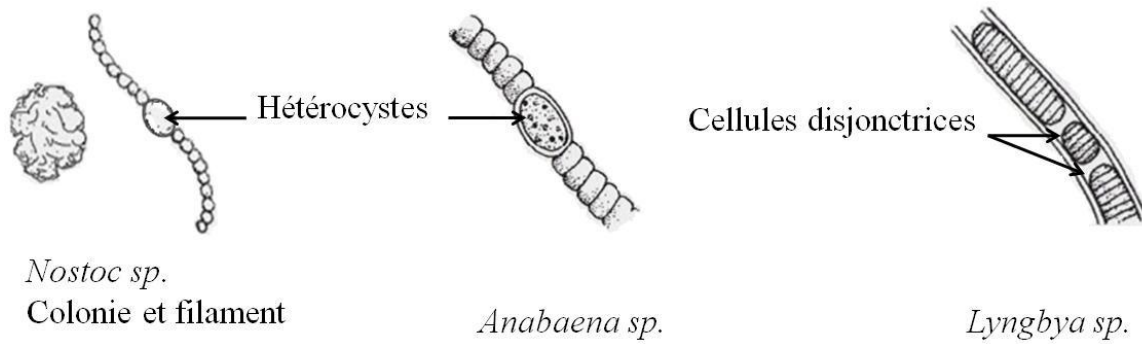
- La **scissiparité** ou la **division binaire** se fait par apparition d'une membrane annulaire qui se développe vers le centre en se refermant à la manière d'un diaphragme iris (Fig.17).



**Fig.17.** Ultramicrographie d'une cellule de Cyanobactérie en division binaire

- La **Fragmentation de la colonie**, chez les espèces à trichomes, donne des **structures spécialisées** qui sont des **coccospores** (spores isolées) ou des **hormogonies** (filaments de quelques cellules). Des cellules particulières permettent également la fragmentation du thalle. Ce sont des **nécriidies**, des cellules **disjonctrices** et des **hétérocystes** (Fig.18). Les hétérocystes sont des cellules volumineuses et enkystées qui sont réparties le long du

trichome. Ce sont des cellules spécialisées également dans la fixation de l'azote de l'air dans un milieu aérobique. Ces structures sont caractéristiques de certaines familles. Des espèces non munies d'hétérocystes peuvent fixer l'azote de l'air mais seulement en anaérobie



**Fig. 18.** Colonies de Cyanobactéries montrant des hétérocystes et des cellules disjonctrices.

- Les **acinètes** (ou akinètes) sont des spores de résistance. Ces structures sont importantes sur le plan taxonomique.



## Opisthochontes

Les **Opisthochontes** forment les champignons vrais ou **Eumycètes** et les **Métazoaires**. Les Opisthochontes partagent entre eux un flagelle unique postérieur propulsif et la perte de la voie de biosynthèse. Ils partagent également de la chitine d'où le nom de **Chitinobiontes** qui leur est parfois donné. Les Opisthochontes se divisent en :

- **Osmotrophes** avec une paroi chitineuse (Eumycètes)
- **Phagotrophes** avec une matrice intercellulaire collagénique (Métazoaires, Animaux)

### Les Eumycètes ou Eumycota ou Mycota *sensu stricto*

#### Introduction

Les Eumycètes présentent quatre principales synapomorphies : (1) acquisition d'une biosynthèse de la lysine (perdue chez les Opisthochontes, elle est réinventée par la voie biochimique de l' $\alpha$ -amino-adipate chez les Eumycètes), (2) acquisition d'une forme filamenteuse coenocytique et (3) d'une paroi chitino-callosique, liée à (4) la perte de la phagotropie. Ils présentent une diplophase souvent réduite ou absente. Ne pouvant pas photosynthétiser (perte de l'autotrophie), les champignons sont **hétérotrophes** pour le carbone. Ils vivent donc en parasites (ils sont souvent pathogènes et provoquent des mycoses chez les animaux et de nombreuses maladies chez les plantes), saprophytes (ils décomposent les végétaux et les animaux morts), en symbiose avec un être autotrophe comme c'est le cas pour les mycorhizes (champignon + cellules végétales de la racine) ou lichens (champignons + algues vertes ou une Cyanobactérie).

#### 1. CARACTERES CYTOLOGIQUES

Les champignons possèdent des cellules eucaryotes entourées d'une paroi cellulaire formée d'une seule couche de nature principalement **chitineuse**. Tous les organites de la cellule eucaryote sont présents dans ces cellules à **l'exception des plastes**. Au cours du cycle de développement, les noyaux cellulaires peuvent avoir deux phases : une phase diploïde (2n) et une phase haploïde (n). Toutefois, chez les Ascomycètes et les Basidiomycètes, la diplophase est remplacée par une phase dicaryotique ou **dicaryophase** au cours de laquelle les cellules possèdent chacune, non pas un noyau diploïde mais un dicaryon, formé de deux

noyaux haploïdes conjugués. L'un est mâle et l'autre est femelle. Le cytoplasme des champignons renferme généralement des globules lipidiques. Chez les Ascomycètes et les Basidiomycètes, il élabore du glycogène.

## 2. MORPHOLOGIE DU THALLE

Le thalle des champignons peut être unicellulaire associé en colonies (ex. levures, Ascomycètes) ou pluricellulaire constituant des filaments très fins et ramifiés dont l'ensemble forme un **mycélium**. Ces filaments peuvent être cloisonnés (ils sont dits **hyphes**) ou non cloisonnés (ils sont dits **siphons** ou **cénocytes**). L'état siphonné est une plésiomorphie alors que l'état septé est une apomorphie. Cette différence de morphologie au niveau du thalle permet de distinguer :

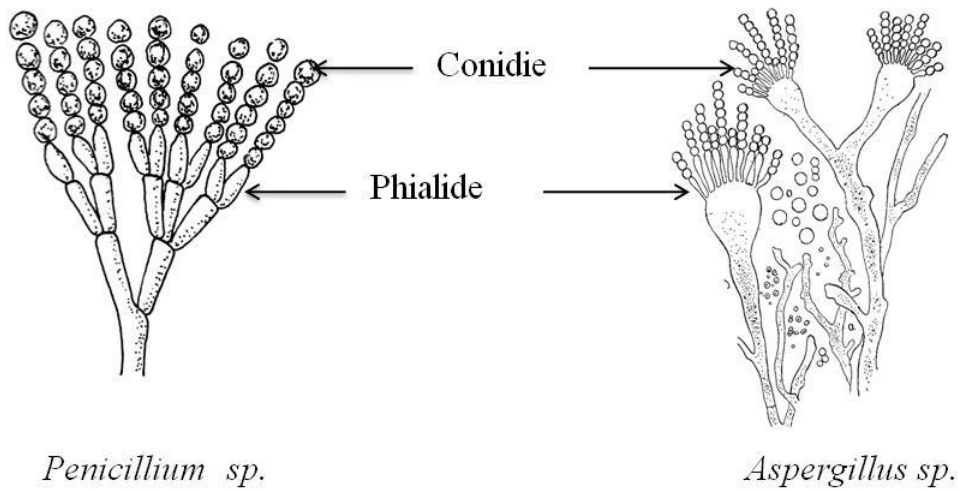
Les **septomycètes** (Ascomycètes et les Basidiomycètes) qui possèdent un mycélium cloisonné.

Les **siphonmycètes** (Trichomycètes, Zygomycètes) qui possèdent un mycélium siphonné.

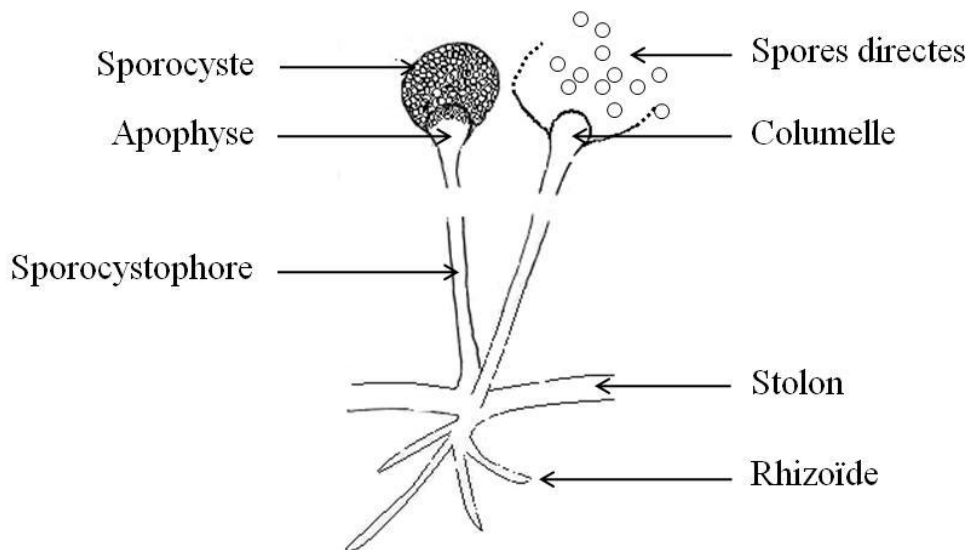
## 3. REPRODUCTION

Elle se fait par voie sexuée et/ou par voie asexuée.

La reproduction **asexuée** se fait soit par la fragmentation du mycélium, soit par la production de stolons comme chez *Rhizopus nigricans*. Il peut y avoir également multiplication par production de **spores directes**. Les spores directes ou mitotiques sont soit exogènes (**conidies**, Fig. 19) générées en continu par une cellule à l'extrémité du filament appelée **phialide** ou **conidiocyste** (ex. *Penicillium*, *Aspergillus*), soit endogènes (endospores produites à l'intérieur d'un sporocyste, ex. *Rhizopus nigricans*, Fig. 20).



**Fig. 19.** Mycélium de *Penicillium sp.* et de *Aspergillus sp.* montrant des conidies et des phialides



**Fig. 20.** Mycélium de *Rhizopus nigricans* montrant des spores directes et des stolons.

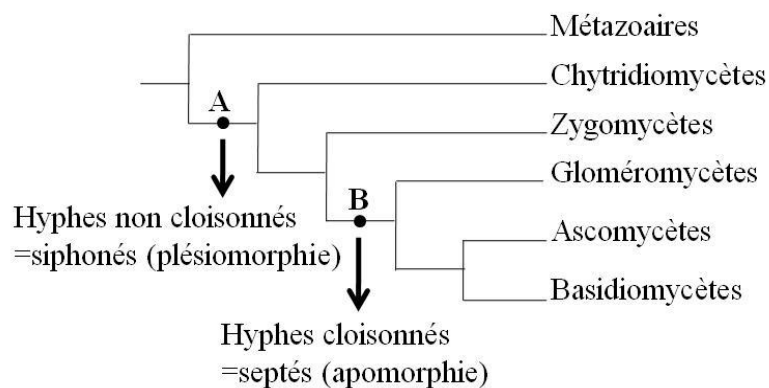
La reproduction sexuée se fait par production de gamètes typiques à l'intérieur des **gamétocystes**. Les gamétocystes mâles (**spermatocystes**) et femelles (**oogones**) peuvent être morphologiquement identiques ou différents. Le cycle sexué des champignons comporte 3 phases :

- **Plasmogamie** : union de deux protoplasmes mâle et femelle aboutissant à la formation de cellules binucléées (cellules à dicaryons).
- **Caryogamie** : fusion des deux noyaux donnant un noyau diploïde
- **Méiose** : restauration de 4 noyaux haploïdes.

La gamie chez les Eumycètes peut être une **trichogamie** (chez les Ascomycètes) ou une **cystogamie** (Zygomycètes). Il y a **homothallisme** lorsque les thalles mâles et femelles sont identiques et **hétérothallisme** lorsqu'ils sont différents (Thalle +, thalle -).

#### 4. CLASSIFICATION DES EUMYCETES

On distingue 5 divisions (ou embranchements) dont les relations phylogénétiques sont données dans la figure 21 : les Chytridiomycètes, les Zygomycètes *s.l.*, les Gloméromycètes, les Ascomycètes et les Basidiomycètes.



**Fig. 21.** Arbre phylogénétique simplifié des Eumycètes

## Les Chromalvéolés

Les Chromalvéolés sont un ensemble d'organismes eucaryotes autotrophes très hétérogènes morphologiquement. Leurs plastes ont **quatre membranes** et sont issus de **l'endosymbiose secondaire** d'une algue rouge (syapomorphie 1). Les phycobilines de l'algue rouge ont été perdues et une nouvelle **chlorophylle 'c'** a été acquise (synapomorphie 2). Il existe plusieurs groupes hétérotrophes (Oomycètes, Ciliés). De nombreux arguments tendent à montrer que ces groupes ont secondairement perdu leur autotrophie. Dans ce clade, on retrouve les Oomycètes (anciens champignons), les algues brunes (Phéophytes), les Diatomées, les Haptophytes et les Dinophytes.

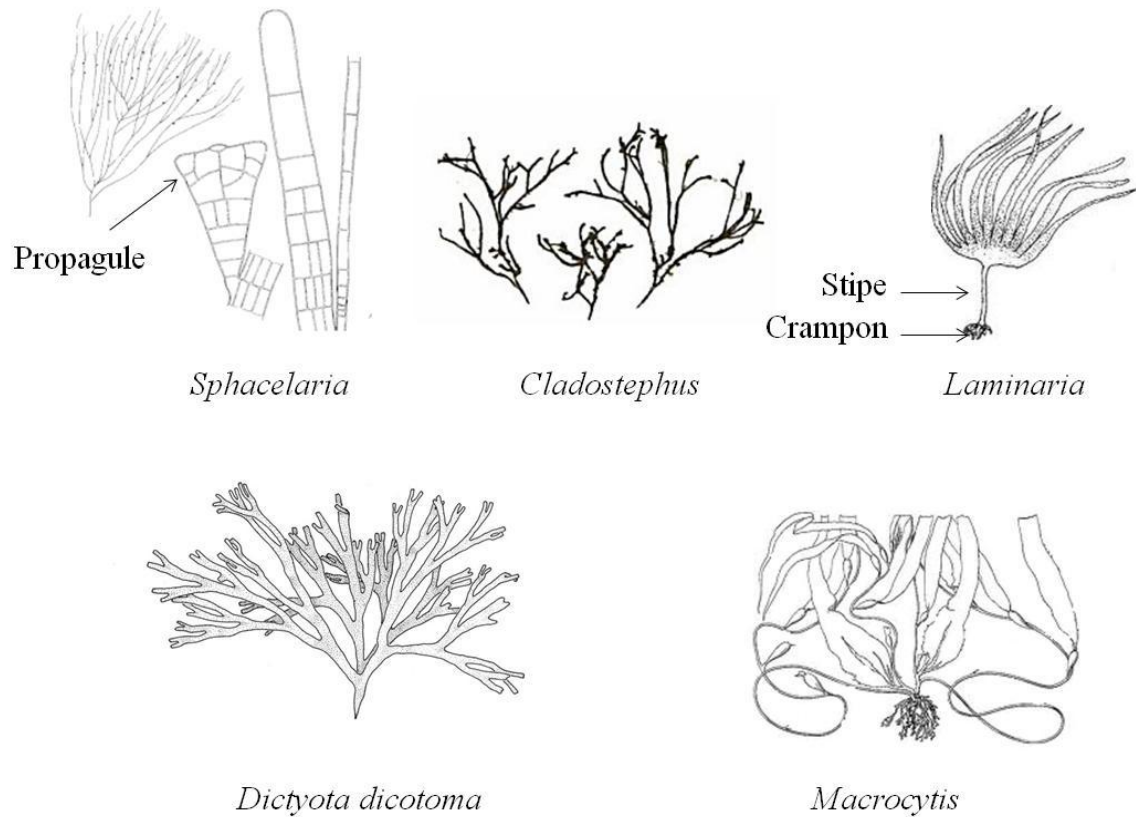
Présentation de quelques groupes

### 1. PHEOPHYTES

Les **Phéophytes** (algues brunes) forment un groupe d'environ 2000 espèces réparties dans 265 genres. Elles sont presque toutes marines. Ce sont des organismes pluricellulaires pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres. La richesse de ce taxon en fucoxantine (xantophylles) lui confère le nom de **Lignée brune**. Les algues brunes sont utilisées comme matières fertilisantes (après dessalure) et comme lessive (après incinération). Des Laminaires, on peut extraire de l'iode et des alginates utilisés comme colle alimentaire.

**L'appareil végétatif** est très diversifié (Fig. 28). Il peut se présenter sous forme de filaments microscopiques comme chez *Sphacelaria*. Il peut être formé de thalle constitué de rameaux minuscules présentant un aspect d'écouvillon comme chez *Cladostephus*. Il peut se présenter sous forme de ruban chez *Dictyota*, de lames de grandes taille (*Laminaria*), pourvues d'un crampon et d'un stipe pouvant atteindre jusqu'à 60m (*Macrocystis*) ou sous forme de lanières rubanées (*Fucus*). Il peut former des thalles buissonnants comme chez *Cystoseira*. Plusieurs types de poils à valeur systématique appelés **poils endogènes** ou **phéopoils** peuvent exister chez les algues brunes.

Les cellules du thalle sont en connexion par des **plasmodesmes** (non homologues de ceux des Embryophytes) et contiennent plusieurs plastes pourvus ou non de pyrénoides (corps globuleux protéinés dépourvus d'enveloppe d'amidon). Le pyrénouide lorsqu'il existe est **pendant** et entouré de 4 membranes plastidiales. Le produit de réserve des phéophycées est la **laminarine** (laminarane). Les algues brunes secrètent également des composés phénoliques localisés à l'intérieur de vésicules appelées **physodes**.

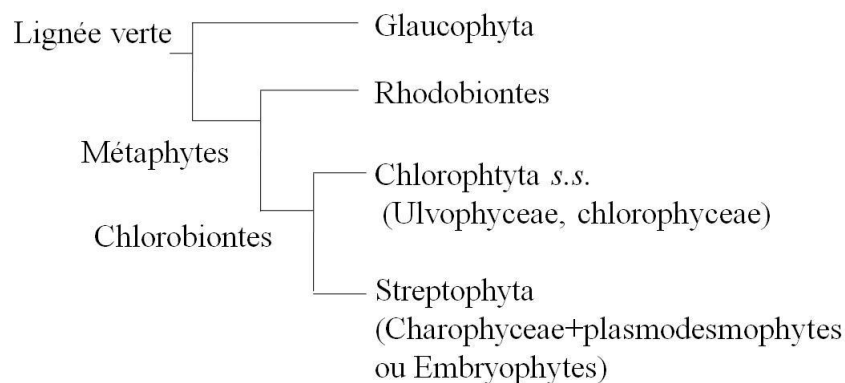


**Fig. 28.** Différents types de thalle chez les Phéophycées (Gorenflot, 1975, modifié)

Le **cycle de développement** de base des phéophycées est digénétique et comporte un sporophyte diploïde, portant des sporocystes uniloculaires dans lesquels s'effectue la méiose, alternant avec un gamétophyte haploïde portant des gamétocystes pluriloculaires. La fusion des gamètes aboutit à la formation d'un zygote qui se développe en un nouveau sporophyte. Ce sont des espèces diplobiontiques (2 catégories d'individus) iso et hétéromorphes. Dans certain cas, le gamétophyte peut être réduit se développant dans le sporophyte comme dans le cas de *Fucus* ou de *Cystoseira*.

## La Lignée Verte

Un évènement d'endosymbiose primaire d'une Cyanobactérie s'est produit chez l'ancêtre commun à ce clade de la **Lignée Verte**. On retrouve donc un chloroplaste à double membrane qui contient de la chlorophylle 'a' chez ces organismes. Dans ce groupe monophylétique (Fig. 30), on peut regrouper les **Glaucophytes**, les **Rhodobiontes** ou algues rouges et les **Chlorobiontes** (ces 2 derniers clades étant regroupés sous le terme de **Métaphytes**). Les **métaphytes** ont la possibilité de former des organismes pluricellulaires.



**Fig. 30.** Arbre phylogénétique simplifié de la lignée Verte

## Les Glaucophytes

Les **Glaucophytes** sont des formes très rares strictement limitées aux eaux douces. Ce sont des organismes **unicellulaires flagellés** (à 2 flagelles d'inégales longueurs) et à chloroplastes à structure ancestrale appelés **cyanelles**. Les cyanelles sont les seuls plastes à avoir conservé leur paroi originelle formée d'une couche de peptidoglycane. Pour cette propriété, elles présentent un matériel de choix pour l'étude de l'évolution des plastes

La reproduction s'effectue par simple division cellulaire ou au moyen de zoospores. La voie sexuée est inconnue. Les Glaucophyta renferment trois genres :

***Glaucocystis*** caractérisé par la présence d'une paroi cellulosique. Bien qu'il possède des flagelles rudimentaires très courts, il est non-mobile.

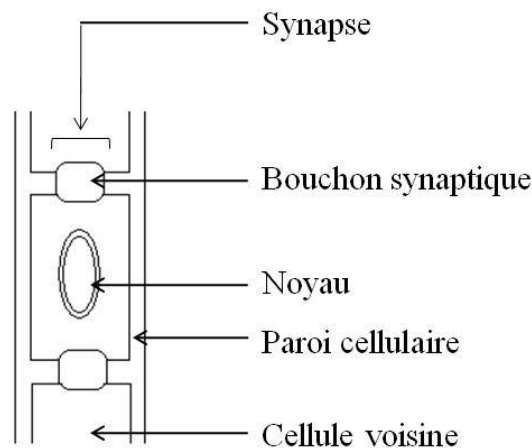
***Cyanophora*** caractérisé par l'absence de paroi cellulosique. Il est mobile grâce à deux flagelles inégaux.

***Gloeochaete*** caractérisé par la présence de pseudo-cils et par la présence de paroi non cellulosique.



## Rhodobiontes ou Rhodophyta

Les **Rhodobiontes** ou algues rouges sont un groupe **monophylétique** caractérisé par la présence de **phycoérythrines** (pigments qui donnent une couleur rouge caractéristique et couvrant la couleur verte de la chlorophylle **a**) contenues dans les **phycobilisomes**. L'amidon est **extraplastidial** (dans le cytoplasme) et de type floridéen (**rhodamylon**). Il y a perte de flagelle et les gamètes mâles ainsi formés sont des **spermaties** (synapomorphie 1). Les cellules du thalle communiquent entre elles par des **synapses** (synapomorphie 2) qui ne sont pas homologues des plasmodesmes des plantes terrestres (Fig.31). Certaines algues rouges sont consommées en Extrême-Orient. Elles sont utilisées en pharmacie dans la préparation de pâte dentifrice et comme anti-acide.



**Fig. 31.** Synapse d'une algue rouge (il existe de nombreuses variantes)

L'**appareil végétatif** se présente rarement sous forme unicellulaire mais souvent sous forme d'un cladome filamenteux et ramifié à structure uni ou multiaxial. Les filaments s'agrègent généralement en pseudoparenchyme.

Le **cycle de développement** chez les algues rouges est souvent trigénétique avec un gamétophyte, un carposporophyte et un tétrasporophyte. Certaines Bangiophycées sont digénétiques. Les cellules reproductrices sont des protoplastes (cellules nues, sans paroi, sans flagelles). L'oosphère est contenue dans un **carpogone** (oogone pourvu d'un trichogyne). Il y a toujours **trichogamie**.

Cet embranchement est subdivisé en cinq classes: les Compsopogonophyceae, les Bangiophyceae, les Florideophyceae, les Rhodellophyceae et les Stylonematophyceae.

## Chlorobiontes ou Viridiplantae

Les **Chlorobiontes** n'ont aucune unité morphologique. Des espèces ont un thalle unicellulaire d'autres sont des cormophytes. Ils sont caractérisés par la couleur verte due à la **chlorophylle 'a'** et **'b'** (chlorophylle **b**= apomorphie1) et par la présence d'amidon dans le chloroplaste et des thylakoïdes empilées en **grana** (synapomorphie 2). Ils ont une **paroi cellulaire cellulosique**. Les Chlorobiontes se subdivisent en deux groupes : les **Chlorophyta sensus stricto** (Chlorophyceae, Ulvophyceae) qui sont caractérisées par des données moléculaires et les **Streptophyta** qui regroupent l'autre partie des algues vertes (Charophyceae) et les **Plasmodesmophytes** ou **Embryophytes** (plantes terrestres) qui présentent notamment des plasmodesmes qui permettent la communication entre deux cellules voisines.

## ***Chlorophyta sensu lato***

Les ***Chlorophyta sensu lato*** anciennement appelées **algues vertes** constituent un groupe **paraphylétique** car certaines familles (Ulvophyceae, Chlorophyceae) forment l'Embranchement des ***Chlorophyta sensu stricto*** tandis que d'autres (Charophyceae) sont plus proches des Embryophytes avec lesquelles elles forment l'Embranchement des ***Streptophyta*** (Fig. 30).

### ***Chlorophyta sensu stricto***

On ne connaît pas de caractère dérivé propre à ce groupe monophylétique mis à part les caractères moléculaires. On distingue cinq classes : Prasinophyceae, Pedinophyceae, **Ulvophyceae**, **Chlorophyceae**, Trebouxiophyceae.

#### **Classe des Ulvophyceae**

Elles sont essentiellement pluricellulaires et marines. Il existe une alternance de générations chez certaines formes. *Ulva*, *Enteromorpha*, *Ulotrix*, *Cladophora*, *Bryopsis*, *Codium* et *Caulerpa* sont quelques genres appartenant à cette famille.

#### **Classe des Chlorophyceae**

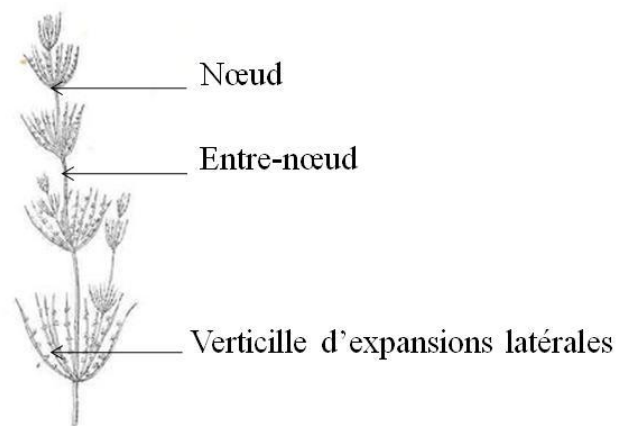
Ce sont essentiellement des algues d'eau douce. L'appareil végétatif est unicellulaire ou colonial ou filamenteux. Le cycle de reproduction est monogénétique haplophasique. *Chlamidomonas* et *Volvox* sont fréquemment utilisés comme modèles au laboratoire. *Chlamydomonas*, *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Chaetophora* sont quelques genres appartenant à cette famille.

### **Les Streptophyta**

Ce groupe englobe des algues de biologie très diverse. Ce sont des membres de ce groupe qui sont sortis de l'eau pour donner naissance aux plantes terrestres.

#### **Charophyceae**

C'est de cette famille d'algues vertes qu'ont évolué les plantes terrestres. C'est donc une famille **paraphylétique** et très diverse dans la morphologie et en biologie.



**Fig. 32.** Dessin de la morphologie d'une Charophyceae

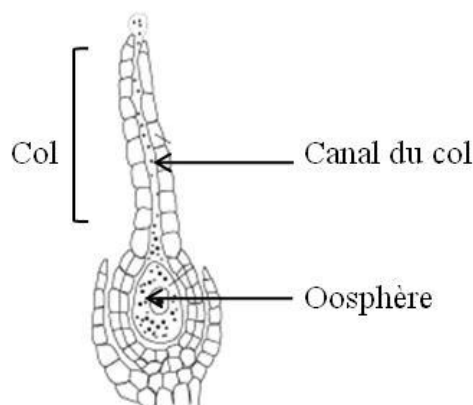
Ce sont des organismes aquatiques à division cellulaire similaire à celle des plantes terrestres. Ils possèdent une **paroi pectocellulosique** ponctuée de **plasmodesmes** permettant les échanges entre deux cellules voisines. Des cellules apicales permettent la croissance en longueur des filaments. Au niveau des nœuds, d'autres cellules se divisent asymétriquement produisant les structures reproductives. Ils sont également caractérisés par la présence de cellules permettant le transfert des nutriments des cellules haploïdes aux cellules diploïdes du zygote (placenta, soin du zygote).

## LES EMBRYOPHYTES

### SILURIEN(-420 millions d'années)

Le clade des **Embryophytes** ou **Archégoniates** ou 'plantes terrestres' passent à un certain moment de leur cycle par un **état embryonnaire**. L'œuf se développe dans une structure pluricellulaire appelée **gamétange** femelle (ou **archégone**, Fig. 33) en un embryon se nourrissant, dans les premiers temps, aux dépens du gamétophyte. Ce clade est caractérisé par la présence de :

- Un **embryon** ;
- Un **gamétange** (structure pluricellulaire produisant des gamètes) femelle (appelé **archégone**) ou mâle (appelé **anthéridie**) ;
- Un **sporange** (structure pluricellulaire produisant des spores) ;
- Une phase diploïde multicellulaire dans le cycle : **le sporophyte** ;
- Une **cuticule** recouvrant l'épiderme ;
- Une Molécule spécifique la **sporsopollénine** dans les spores et grain de pollen ;
- Une **bande préprophasique** : Lors de la mitose, les microtubules se rassemblent autour du noyau avant la prophase, marquant l'emplacement de la future paroi entre les deux nouvelles cellules.

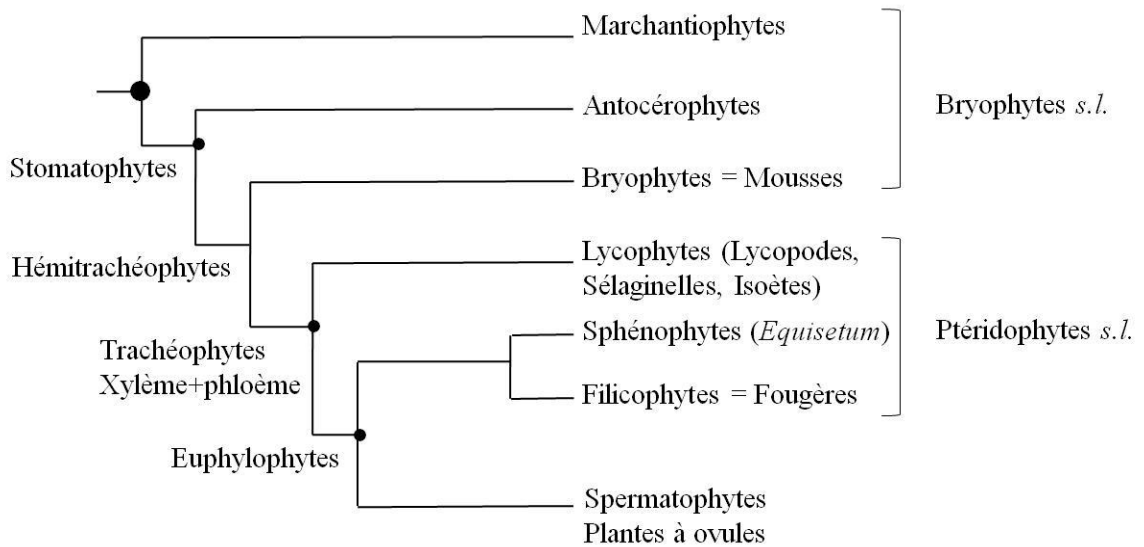


**Fig. 33.** Schéma d'un gamétange femelle (archégone) chez les Embryophytes.



Les Embryophytes (Fig. 34) regroupent :

- Les **bryophytes *sensu lato*** avec 25000espèces ;
- Les **ptéridophytes *sensu lato*** avec 11000espèces ;
- Les **Spermatophytes** ou **plantes à ovules** avec 270000 espèces ;



**Fig. 34.** Arbre phylogénétique simplifié des Embryophytes=Archégoniates=plantes terrestres

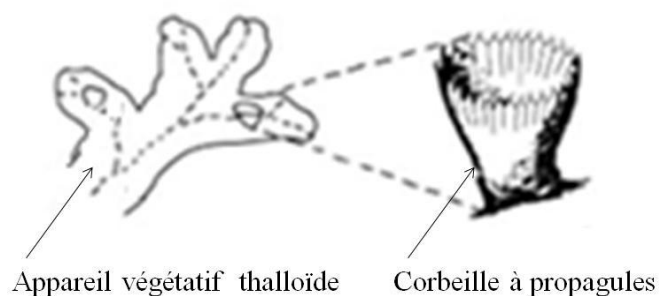
## BRYOPHYTES *SENSU LATO*.

### 1. CARACTÈRES GÉNÉRAUX

Les bryophytes au sens large représentent un groupe **paraphylétique** qui englobe trois groupes **monophylétiques** : les Marchantiophytes, les Anthocérophytes et les Bryophytes *sensu stricto* (ou Mousses ou Muscinées). Ces trois clades partagent les caractères suivants :

- Un cycle digénétique haplodiplophasique à **dominance du gamétophyte** haploïde et un sporophyte parasite du gamétophyte femelle ;
- Présence de **spores haploïdes** résistantes à la dessiccation ;
- Présence d'une **cuticule** ;
- Présence d'un **embryon** ;
- Cellules reproductrices plus protégées dans des **gamétanges** ou dans des **sporangies**
- Présence de **rhizoïdes**.

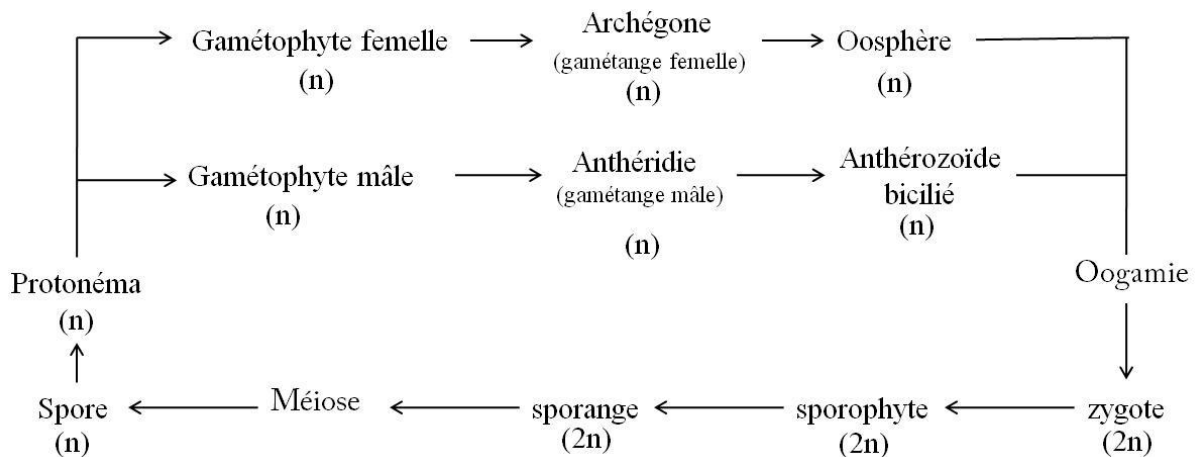
Deux voies de reproduction sexuée et végétative se rencontrent chez les bryophytes. La multiplication végétative est un mode de reproduction qui favorise une occupation rapide des sols nus, livrés à la colonisation (propriété importante pour les bryophytes). Elle est assurée soit par la **fragmentation du protonéma** (chaîne de cellules chlorophylliennes qui constitue le début de la phase haploïde du cycle de vie d'une bryophyte) soit par des **propagules** (excroissance pluricellulaire, Fig.35) ou par des tubercules formés par les rhizoïdes.



**Fig. 35.** Appareil végétatif et corbeille à propagules chez les Hépatiques (bryophytes *s.l.*)

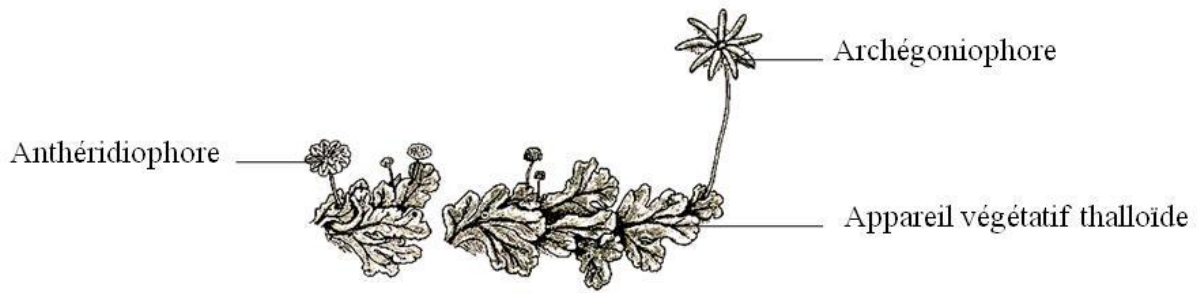


Le cycle de développement sexué des bryophytes *s.l.* (Fig. 36) est un cycle **digénétique haplodiplophasique hétéromophe à dominance du gamétophyte haploïde** avec un sporophyte parasite du gamétophyte femelle.

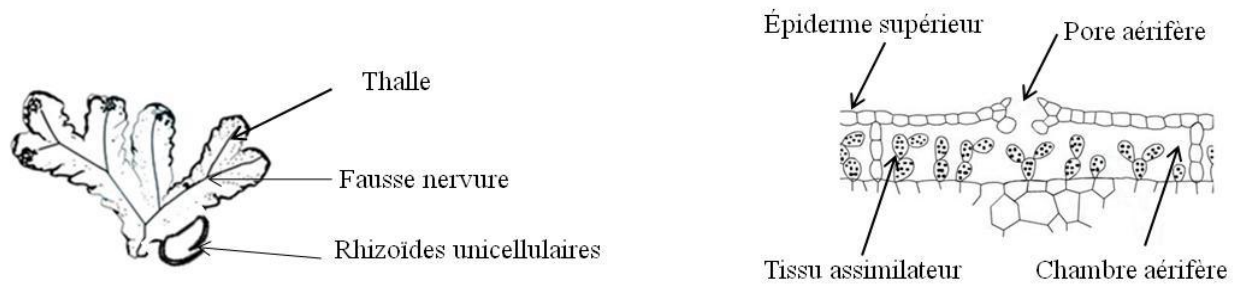


**Fig. 36.** Cycle digénétique diplohaplophasique à **dominance du gamétophyte** chez les bryophytes *s.l.*

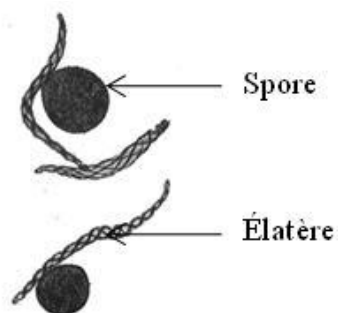
**2. LES MARCHANTIOPHYTES**, ou **hépatiques** se présentent sous forme d'un **thalle** plus ou moins différencié ou d'une **tige feuillée**. Elles se caractérisent par une capsule simple sans opercule ni péristome ni columelle avec 4 valves (fentes de déhiscence verticales) et par la présence d'**élatères** (Fig. 37) qui sont des cellules très allongées dont la paroi squelettique présente des épaissements en spirale, et par la présence de gamétangiophores (anthéridiophores, archégoniophores) (Fig.38). Elles **ne possèdent pas de stomates** mais des **pores aérifères** ouverts en permanence. Ces pores débouchent dans une **chambre aérifère** permettant, ainsi, la respiration et la photosynthèse (Fig. 40). Il n'y a pas non plus de tissus conducteurs différenciés. La conduction se fait de cellule à cellule.



**Fig. 38.** Morphologie de *Marchantia polymorpha* montrant les anthéridiophores et les archégoniophores.



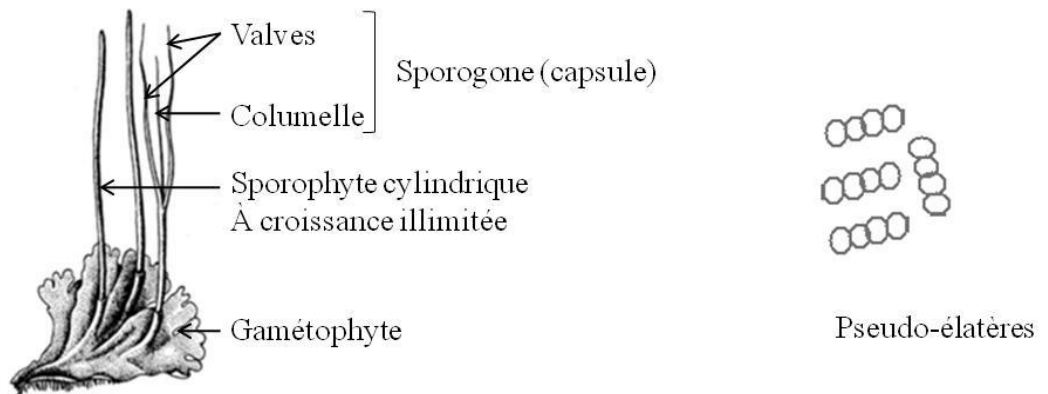
**Fig. 40.** Morphologie et coupe transversale du thalle de *Marchantia polymorpha*



**Fig. 37.** Morphologie des spores et élatères chez les Marchantiales.

**3. LES ANTHOCEROTES**, organismes **thalloïdes** (Fig. 42) se caractérisant par :

- Présence de columelle ;
- Présence de **stomates au niveau de la capsule** ;
- Ouverture de la capsule par deux valves ;
- Un plaste unique par cellule et présentant un pyrénôïde ;
- Présence de **pseudo-élatères** formés de 4 cellules ;
- Différenciation des anthéridies à partir de **cellules sous épidermiques** ;



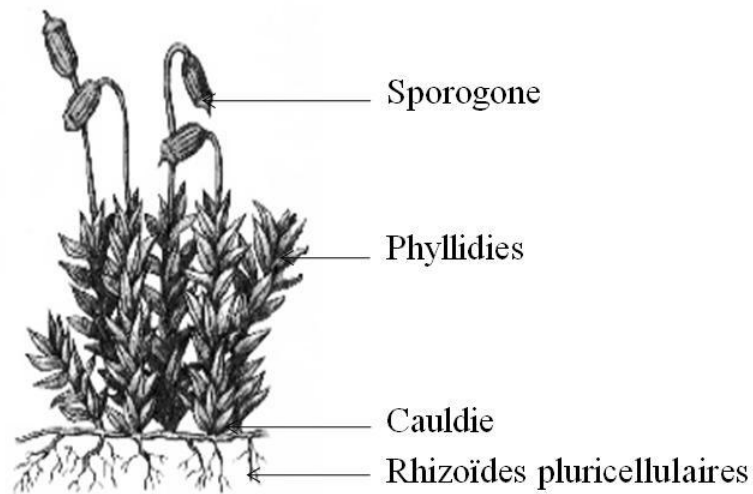
**Fig. 42** Morphologie et pseudo-élatères de *Anthoceros laevis* (Anthocérotés)

#### **4. LES BRYOPHYTES S.S. OU MOUSSES OU MUSCINEES.**

Elles sont caractérisées par :

- Présence d'une capsule sporangiale dont la déhiscence se fait par un **opercule** ;
- Présence de **stomates au niveau de la capsule** ;
- Présence d'un **système vasculaire non lignifié** (hydroïdes, leptoides).

L'appareil végétatif est un axe feuillé (Fig.43). La structure simplifiée des organes ne permet pas de les assimiler directement à ceux des plantes supérieures. Pour cette raison, on utilise le terme de '**phyllidies**' pour les organes foliacés ; de '**cauldies**' pour les axes et de '**rhizoïdes**' multicellulaires et ramifiés pour les organes qui permettent la fixation sur un substrat.



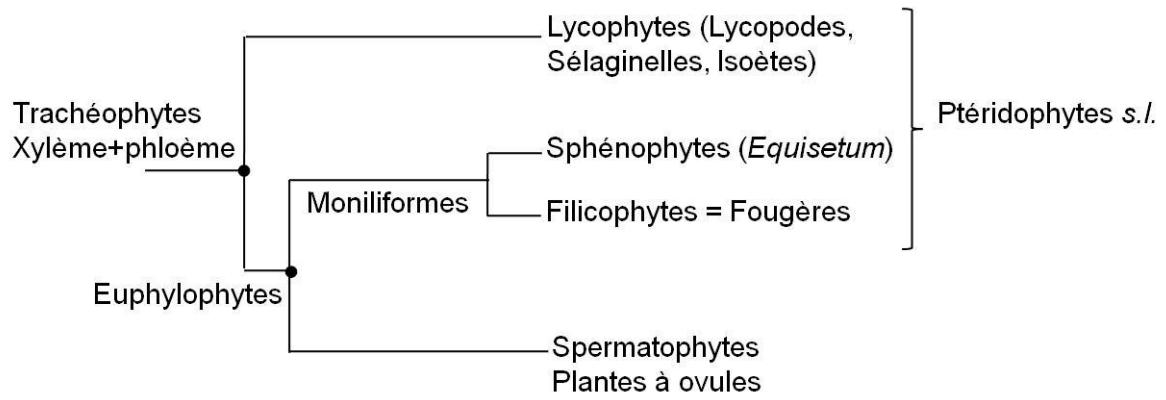
**Fig. 43** Appareil végétatif des Mousses (Muscinées).

## TRACHEOPHYTES

DÉVONIEN (-380 millions d'années)

Les **Trachéophytes** ou **plantes vasculaires** sont caractérisées par la présence de **tissus conducteurs spécialisés** (phloème, xylème).

Chez les Trachéophytes (Fig. 45), on distingue les **Lycophytes** (sous-groupe basal des ptéridophytes *s.l.*) caractérisés par des **sporophylles petites** avec des sporanges à leur surface supérieure et les **Euphylophytes** à feuilles grandes ou **mégaphylles**. Au sein des Euphylophytes, on trouve deux clades essentiels : Les **Moniliformes** et les **Spermatophytes** ou **Plantes à ovules**.



**Fig. 45.** Arbre phylogénétique simplifié des Trachéophytes

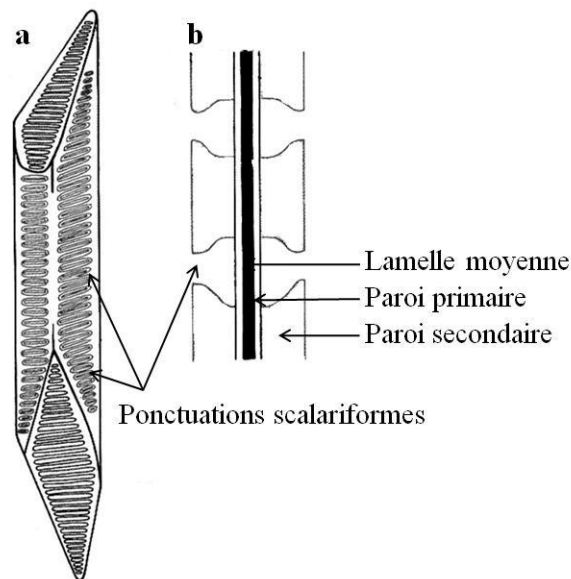
## PTERIDOPHYTES *SENSU LATO*

### 1. CARACTERES GENERAUX

Les ptéridophytes *s.l.* forment un groupe **paraphylétique** (Fig. 34) constitué de trois groupes **monophylétiques** : les Lycophytes, les Sphénophytes et les Filicophytes. Elles sont caractérisées par :

- Synthèse de **lignine**, substance imprégnant la paroi cellulosique (la rendant beaucoup plus rigide) qui leur permet un port arborescent ;

- Présence de **trachéides** ou **vaisseaux imparfaits** (Fig. 46) qui sont des cellules conductrices allongées à parois imprégnées de **lignine** mais possédant des perforations à différentes dispositions. Les trachéides **annelés** et **spiralés** forment le **protoxylème**, les trachéides **scalariformes** forment le **métaxylème**. Les tissus conducteurs sont organisés en **stèles** ou **pachytes** (du grec, colonne pilier). Dans la stèle le xylème et le phloème sont entourés d'un **endoderme en U** et d'un **péricycle**.



**Fig.46** : **a**, trachéide à ponctuations scalariformes vue de face. **b**, paroi de la trachéide en coupe longitudinale vue de profil.

- La phase correspondant au **sporophyte** devient **dominante** ;
- Présence d'une **paroi cellulosique** (homologue de celle des végétaux supérieurs) ;
- Présence de la **cuticule** de nature lipidique limitant l'évapotranspiration.

Les ptéridophytes sont apparues au Dévonien de l'ère primaire (-400 millions d'années). Grâce à leur port arborescent, elles constituent d'immenses forêts dont la fossilisation est à l'origine des gisements de charbon. Par rapport aux bryophytes, les ptéridophytes montrent un appareil végétatif plus adapté à la vie terrestre. Cependant la fécondation nécessite encore la présence de l'eau puisque les gamètes mâles sont nageurs. Ce sont des **cormophytes** avec de véritables racines, des **Trachéophytes** avec des éléments de vascularisation et des **polysporangiophytes** avec un sporophyte ramifié à plusieurs sporanges.

Le cycle de développement des ptéridophytes est un cycle digénétique diplo-haplophasique avec **prédominance du sporophyte**. Le gamétophyte est réduit, il porte le nom de **prothalle**.

Les sporanges se différencient au niveau des feuilles du sporophyte. Ils sont regroupés en **sores** à la face inférieure des feuilles chez les fougères, ou disposés à l'aisselle des microphylls, elle-même regroupées en épis sporangifères à l'extrémité des tiges chez les prêles et les sélaginelles. Les sporanges de fougères sont munis d'un anneau mécanique constitué de cellules aux parois plus épaisses et rigides qui permettent la déhiscence de la structure et la libération des spores méiotiques haploïdes. Celles-ci sont protégées par une épaisse paroi imprégnée de **sporopollénine** et constituent comme chez les bryophytes l'organe de dissémination des ptéridophytes

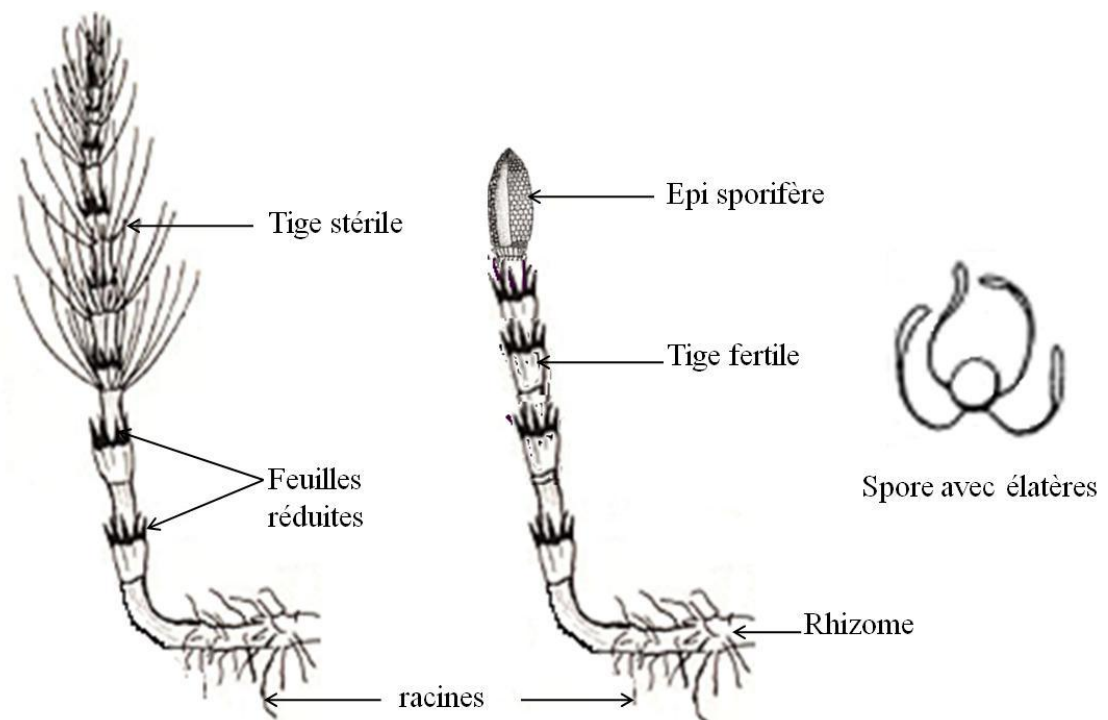
## 2. LYCOPHYTES

Les Lycophytes (sous groupe des ptéridophytes *s.l.*) forment une branche basale dans l'arbre des Trachéophytes c'est à dire qu'ils ont bifurqué très tôt au début du Dévonien (- 400 millions d'années). Elles se distinguent des autres Trachéophytes par le type de feuilles (**microphylls**) qui sont pourvues d'une seule nervure médiane. Ce sont des plantes **vasculaires** avec un gamétophyte généralement en forme de carotte et blanc survivant sur ou dans le sol grâce aux mycorhizes endosymbiotiques. Les sporanges sont portés par les sporophylles disposées en **strobiles** ou **épi sporifères**. Les archégonies et les anthéridies sont

sur les faces supérieures des gamétophytes souvent sur le même pied (**monoïcie**). Les Lycophytes se divisent en deux clades : les **Lycopodiaceae** qui présentent des spores identiques (**Isosporie**) et les **Sellaginellaceae** qui présentent des spores différentes (**Hétérosporie**).

### 3. LES SPHENOPHYTES

Les **Sphénophytes** (Equisétophytes) sont des euphyllophytes représentés actuellement par le seul genre *Equisetum*, les **prêles** (Fig. 51). La tige souterraine (rhizome) porte des ramifications aériennes annuelles divisées en **articles successifs** cannelés. Au niveau de chaque nœud s'insèrent de verticilles de feuilles réduites en gaine.



**Fig. 51.** Aspect morphologique d'*Equisetum arvensis*.

Les sporanges sont groupés en épis à l'extrémité des axes végétatifs ou d'axes spécialisés, les **sporangiohores**. Les spores sont identiques morphologiquement (**isosporie morphologique**) mais elles produisent des prothalles mâles ou femelles (**hétérosporie génétique**) origine d'une hétéroprothallie. Les spores des prêles possèdent des expansions de leurs parois appelées **élatères** très sensibles aux variations d'hydratation. Ils contribuent à la dissémination en se déployant brutalement lorsque le taux d'hygrométrie diminue.

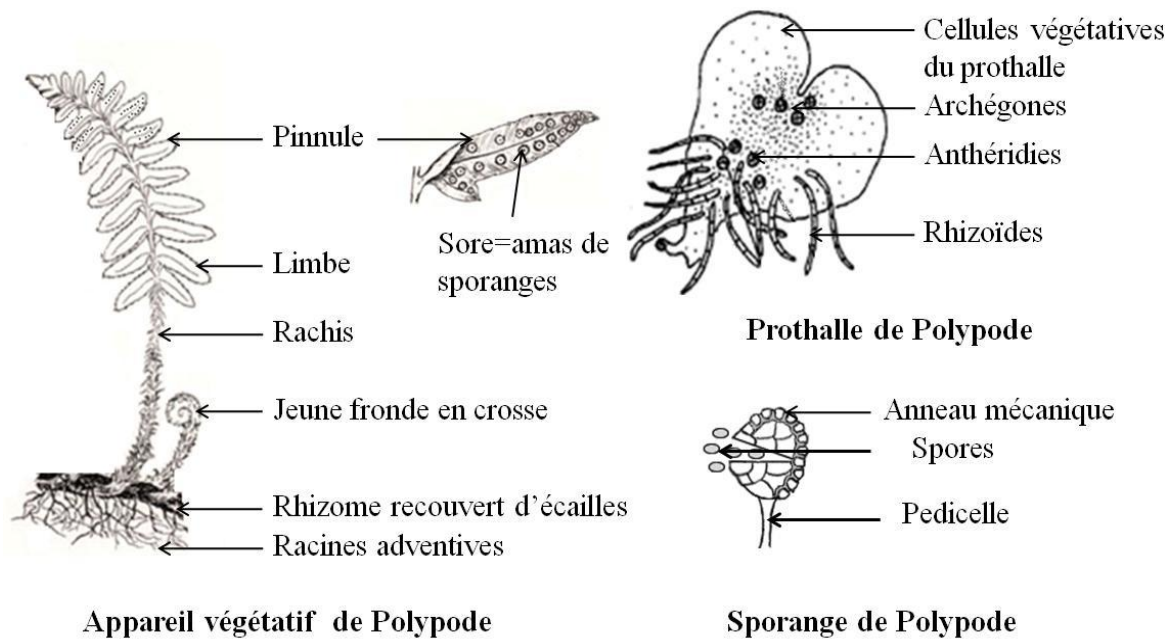


#### 4. LES FILICOPHYTES

Les **Filicophytes** constituent un groupe **monophylétique?** des **leptosporangiés**. Leurs synapomorphies sont liées aux sporanges : ils sont munis d'un **anneau mécanique** (cellules lignifiées en U) et issus chacun des divisions d'une seule cellule.

La hauteur des filicophytes varie entre quelques centimètres dans les régions tempérées à 20m dans les climats tropicaux et équatoriaux où elles sont majoritairement arborescentes. L'appareil végétatif est constitué d'un rhizome riche en réserve et ramifié portant des racines adventives et de grandes feuilles appelées **mégaphylles** ou **frondes**.

Les sporanges contenant les spores sont regroupés en **sores** protégées ou non par une **indusie** qui sont localisées sur la face inférieure des folioles ou **pinnules** (Fig. 52). La tige feuillée représente donc le sporophyte diploïde. Les spores haploïdes (méiospores) sont morphologiquement identiques : il y a **isosporie**. La spore une fois libérée peut germer sur le sol et former une lame aplatie chlorophyllienne en forme de cœur d'environ un centimètre appelé **prothalle**. Celui-ci porte à la fois les anthéridies (gamétanges contenant les gamètes mâles) et les archégonies (gamétanges contenant les gamètes femelles). Le prothalle est donc le gamétophyte. Il est haploïde. La fécondation est une zoïdogamie (spermatozoïdes x oosphère) nécessitant la présence d'eau dans le milieu extérieur (rosée ou pluie). Le zygote situé dans le ventre de l'archégonie subit un ensemble de mitoses et forme l'embryon qui vit aux dépens de prothalle chlorophyllien. L'embryon donne une nouvelle tige feuillée devenant rapidement autonome. Le cycle de développement est donc **digénétique haplodiplophasique hétéromorphe à diplophase dominante**.

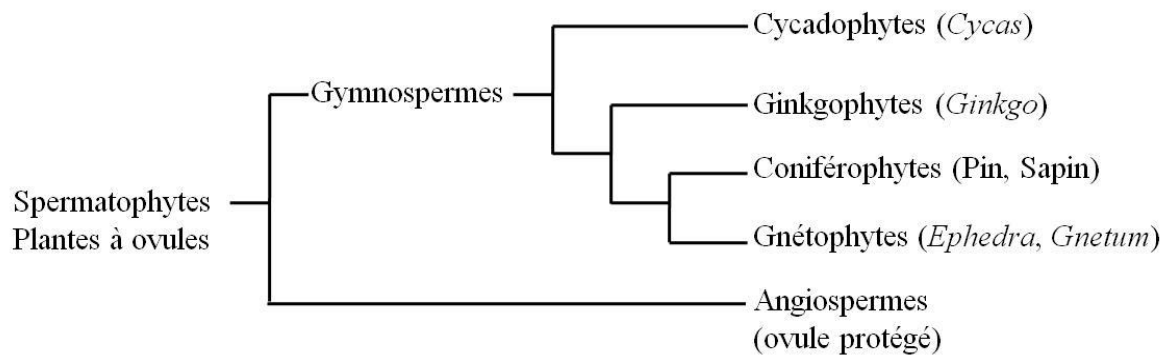


**Fig. 52.** Aspect général d'un exemple de Filicophytes (*Polypodium vulgare*), prothalle et sporange (les proportions ne sont pas gardées)

## SPERMATOPHYTES

fin du DEVONIEN (-350 millions d'années)

Les spermatophytes sont des **plantes à ovules**. L'ovule est une structure sexuée femelle à la fois diploïde et haploïde. Il est constitué de macrosporophylles (téguments de l'ovule) adhérentes aux macrosporanges (appelé **nucelle**, à  $2n$ ) qui contient les macrospores prothallisées (gamétophyte femelle réduit). Ce gamétophyte correspond à l'**endosperme** chez les Gymnospermes, et au **sac embryonnaire** chez les Angiospermes. Il forme les gamètes femelle ou **oosphères**. L'ensemble reste fixé sur le sporophyte (**endoprothallie** complète). La reproduction des spermatophytes s'affranchit du milieu aquatique. Le transfert du gamète mâle s'effectue par transport du gamétophyte (**grain de pollen**). Les Spermatophytes comprennent les **Gymnospermes** (Cycadophytes, Ginkgophytes, Pinophytes, Gnétophytes) et les **Angiospermes** (Fig. 53). Les relations phylogénétiques entre ces taxons restent très incertaines.



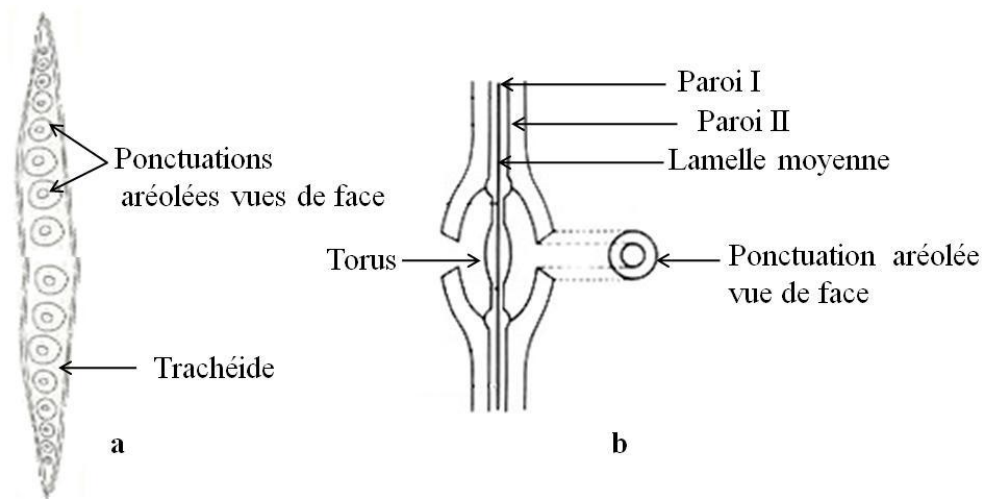
**Fig. 53.** Arbre phylogénétique simplifié des Spermatophytes.

## LES PINOPHYTES

La division ou embranchement des **Pinophytes** (ou **Conifères**), anciennement connue sous le nom de **coniférophytes** (ou *Coniferophyta*), (150 millions d'années) ne comprend qu'une classe : celle des **Pinopsida**. Ce sont des plantes vasculaires à ovules nus portés par une écaille dite **ovulifère** ou **séminale**. Ce sont des plantes ligneuses soit des arbres (cèdres, cyprès, sapin, pin, séquoia) soit des arbustes (genévrier). Ce sont des arbres toujours sempervirents sauf quelques exceptions (mélèze, cyprès chauve). Le port des Pinophytes est caractéristique en cône ou en pyramide car la croissance apicale est très marquée. En général, les rameaux portent des vraies feuilles : les **euphylls** à limbe simple et large chez *Podocarpus* et *Agathis*, en aiguilles chez le cèdre et le sapin ou en écailles chez les pins. Certaines Pinaceae (*Pinus*) possèdent en plus des **pseudophylles** en longues aiguilles.

### 1. ANATOMIE

Les Pinophytes sont caractérisés par la présence des **formations secondaires** grâce à la présence d'un **cambium bifacial**. Le bois est **homoxylé** constitué de trachéides à **punctuations aréolées** (Fig. 57). La structure anatomique est de type **eustélique** (polystèles interconnectées transversalement). Le phloème est **dépourvu de cellules compagnes**. Il ya présence de **canaux résinifères**.



**Fig. 57.** Trachéides aréolées des Pinophytes.

**a.** Coupe longitudinale d'une trachéide avec des ponctuations vues de face, **b.** ponctuation aréolée vue de profil (en coupe longitudinale)

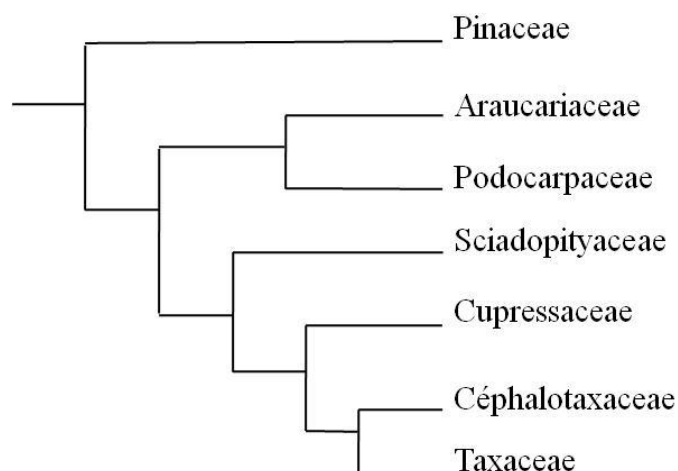
## 2. APPAREIL REPRODUCTEUR

Les organes reproducteurs sont des **cônes mâles** et des **cônes femelles** d'où le nom conifères (du latin *conus* = cône et *fero* = porter). Les cônes (ou strobiles) sont dits aussi 'pommes de pin'. Les cônes femelles sont formés d'écailles portant deux ovules sur la face supérieure et les cônes mâles sont formés d'écailles portant deux sacs polliniques sur la face inférieure. Les cônes sont parfois groupés en chatons. La pollinisation est **anémophile**. Certains conifères (if, genévrier) ne possèdent pas de cônes typiques mais ont parfois les graines entourées d'**arilles** (enveloppe charnue plus ou moins développée autour d'une graine).

## 3. CLASSIFICATION

Les Pinophytes sont divisés en 07 familles, 50 genres et 550 espèces environ.

La famille des Pinaceae représente le groupe frère de toutes les autres familles (Fig. 58.)



**Fig. 58.** Arbre phylogénétique des Pinophytes

### 3.1. Les Pinaceae

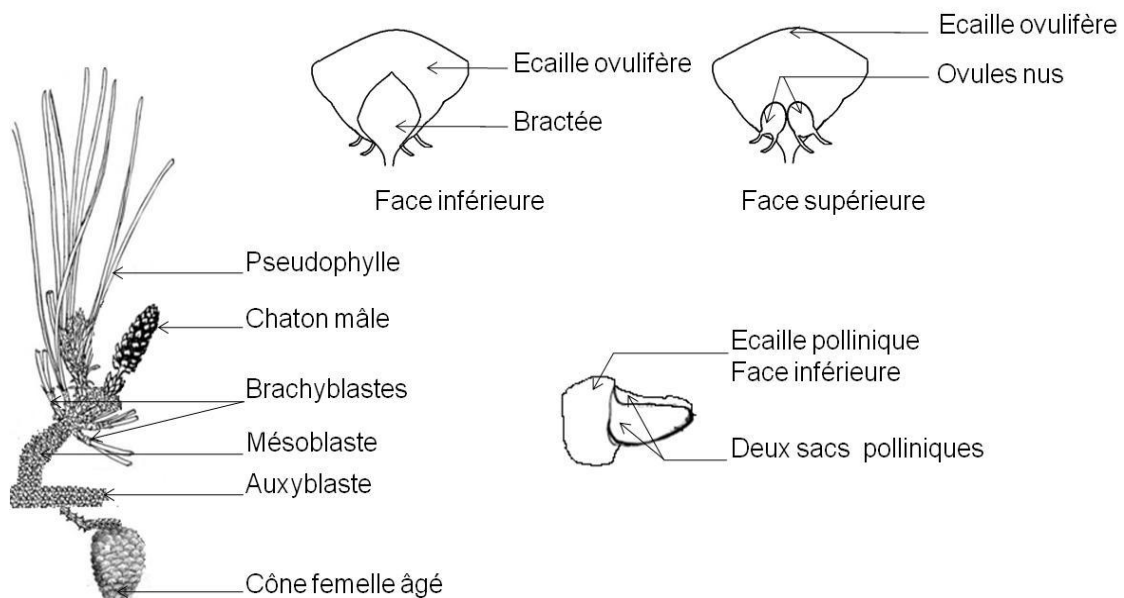
Cette famille comporte 9 genres et de 220 à 230 espèces. Les différents genres sont : *Pinus* (Pins), *Cedrus* (cèdre), *Larix* (Mélèse), *Abies* (sapin), *Picea* (épicéa), *Pseudotsuga* (Pin d' Oregon), *Tsuga* (Pruche, au Canada), *Keteleeria* (Chine) et *Pseudolarix* (Amérique du nord, Eurasie).

#### Appareil végétatif

Ce sont des arbres de grandes taille, arbustes ou buissons. Les rameaux sont de différents types : Rameaux longs = auxiblastes, rameaux courts = mésoblastes, rameaux nains = brachyblastes. Les différents genres sont caractérisés par l'un, les deux ou les trois types de rameaux.

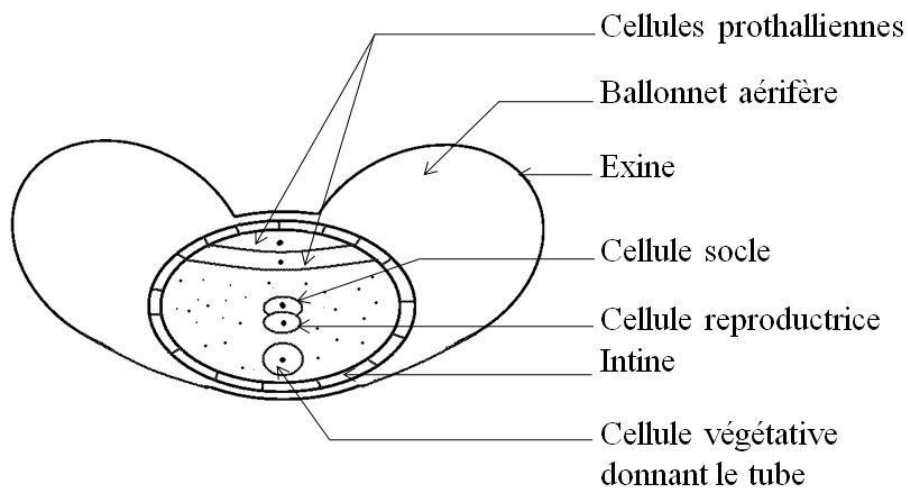
#### Appareil reproducteur

Les plantes sont monoïques à fleurs unisexuées (Fig. 59).



**Fig. 59.** Ramification portant l'appareil reproducteur de *Pinus halepensis*

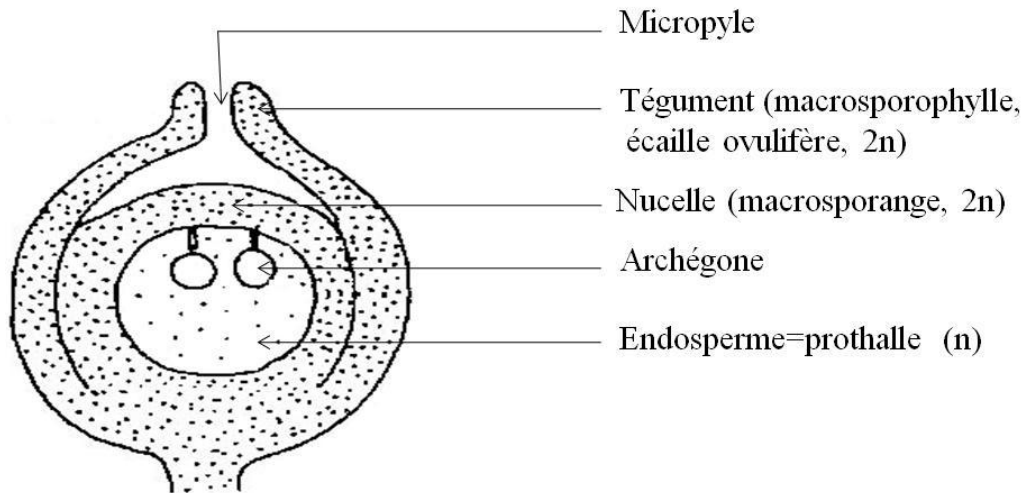
Les cônes mâles sont groupés en épis (chatons) sur la plante (sporophyte). Chaque cône comporte un axe autour duquel sont disposées suivant une spirale très serrée de nombreuses feuilles sporangifères (écailles staminales, écaille pollinique) ou étamines. Chaque écaille porte sur sa face inférieure deux sacs polliniques (Fig. 59). **Le cône mâle est donc l'homologue d'une fleur d'Angiospermes.** Dans les sacs polliniques des jeunes étamines, des cellules mères subissent la méiose pour produire chacune quatre microspores qui donnent chacune un grain de pollen. L'enveloppe du grain de pollen comprend deux couches superposées ; l'**intine** de nature pecto-cellulosique et l'**exine** imprégnée de **sporopollénine**. Le décollement latéral de l'exine donne deux ballonnets aérifères qui facilitent la dissémination par le vent (Fig. 60). La pollinisation est dite **anémophile**. Le grain de pollen est le **gamétophyte mâle** et la cellule reproductrice du grain de pollen est à l'origine des gamètes mâles.



**Fig. 60.** Grain de pollen de pin

Les cônes femelles groupés par deux ou trois ont une structure plus complexe. Les écailles sont portées par des rameaux extrêmement courts axilés chacun par une **bractée**. Les écailles, dites **ovulifères**, correspondent aux **feuilles sporangifères** ; chacune d'elles porte deux **ovules** (Fig. 61). Chaque écaille fertile correspond donc à **une fleur** et le cône femelle est l'homologue d'une **inflorescence femelle** des Angiospermes. Les ovules sont **nus** d'où le nom de Gymnospermes donné à l'embranchement (du grec *gymnos*, nu et *sperma*, graine). L'ovule est constitué d'un **tégument diploïde** interrompu au niveau du **micropyle**, d'un tissu

nourricier diploïde appelé **nucelle** et d'un tissu haploïde, l'**endosperme**. L'endosperme est formé par mitose à partir d'une seule macrospore haploïde ou **méiospore** (après dégénérescence des 3 autres) contenue dans le nucelle. **L'endosperme est le gamétophyte femelle**. Il contient des gamétanges femelles ou **archégonés**, pourvus chacun d'une oosphère.



**Fig. 61.** Ovule de Gymnospermes

La fécondation se fait entre une oosphère immobile et un gamète mâle plus petit non cilié et immobile, acheminé par un tube pollinique ; il y a donc **anisogamie**, **oogamie** et **siphonogamie**. La siphonogamie est un mode de fécondation adapté à la vie terrestre. Un seul gamète mâle féconde l'oosphère, le reste dégénère (le 2<sup>e</sup> gamète mâle, la cellule socle, le noyau du tube pollinique) ; la fécondation est dite **simple**.

Le cycle des Pinaceae présente **une génération sporophytique diploïde** pérenne (la plante feuillée c.à.d. l'arbre) et **une génération gamétophytique haploïde** éphémère, représentée par le grain de pollen (le gamétophyte mâle) et l'endosperme (le gamétophyte femelle). C'est donc un cycle **digénétique haplodiplophasique hétéromorphe**. Deux types de spores sont produites par le sporophyte ; la **microspore**, à l'origine du grain de pollen (ou **microprothalle**), et la **macrospore**, à l'origine de l'endosperme (ou **macroprothalle**). Il y a donc **hétérosporie** et **hétéroprothallie**.





## LES ANGIOSPERMES OU PLANTES A OVAIRES

CRÉTACÉ INFÉRIEUR (-130 millions d'années)

Les Angiospermes sont avec les Gymnospermes des **Spermatophytes** ou **plantes à ovules**. Ils partagent une synapomorphie qui est la présence d'un **cambium bifacial** produisant du coté interne, du **bois** ou **xylème secondaire** et du coté externe du **liber** ou **phloème secondaire**.

Les Angiospermes, sont fondamentalement définies par les caractères suivants :

- Les organes reproducteurs se regroupent en **fleurs bisexuées**.
- Les écailles ovulifères ou **carpelles** (du grec *karpos* : fruit) entourent complètement les ovules – d'où le nom d'Angiospermes donné à l'embranchement (du grec *aggeion*, petite urne)- et après la fécondation se transforment en fruit.
- Le gamétophyte femelle situé dans l'ovule et appelé **sac embryonnaire**, est le siège d'une **double fécondation**, l'une à l'origine de l'embryon, l'autre à l'origine de l'albumen (tissu de réserve des graines).
- Le xylème primaire et secondaire est constitué de **vaisseaux parfaits** (complètement lignifiés sans cloison transversale).
- Le bois est **hétéroxylé** (vaisseaux conducteurs+ fibres+parenchyme).
- Le phloème primaire et secondaire contient des **cellules compagnes**.

## 1. STRUCTURE DE L'APPAREIL VEGETATIF

La grande capacité d'adaptation des Angiospermes depuis leur apparition (début du Crétacé, 130M d'années) se traduit par une grande diversité morphologique.

### 1.1. Les tiges

Le port d'une plante est l'allure générale de son appareil aérien. Il existe quatre types de ports chez les Angiospermes : arbres, arbustes, herbacées ou lianes. Les arbres atteignent jusqu'à plusieurs dizaines de mètres de hauteur. Leurs tiges sont **ligneuses** et rigides car elles contiennent du **bois** ou du **liège**. Ils ont un port **arborescent** défini par la présence d'un **tronc**. Les palmiers (Monocotylédones) ont un port arborescent sans être des arbres. Leur tige est un **stipe** et ne contient pas de bois II. Les arbustes atteignent quelques mètres au maximum. Possédant également des tiges **ligneuses**, les arbustes se distinguent des arbres par un port **arbustif**, ou **buissonnant**, défini par **l'absence de tronc**. Les **lianes** sont des tiges ligneuses, grimpantes sur des supports. Elles peuvent atteindre plusieurs dizaines de mètres dans les zones tropicales. Les herbacées possèdent des tiges vertes et souples et souvent de petites tailles. Certaines sont **épiphytes** (orchidées tropicales), d'autres grimpantes (liserons). Les tiges peuvent assurer des fonctions diverses :

- Les **tiges volubiles** s'enroulent en hélice autour d'un support (liseron) permettant aux espèces grimpantes d'accéder à la lumière.

- Les **stolons** sont des tiges aériennes à croissance horizontale par des entrenœuds. Les stolons assurent la **multiplication végétative** (ex. fraisier).

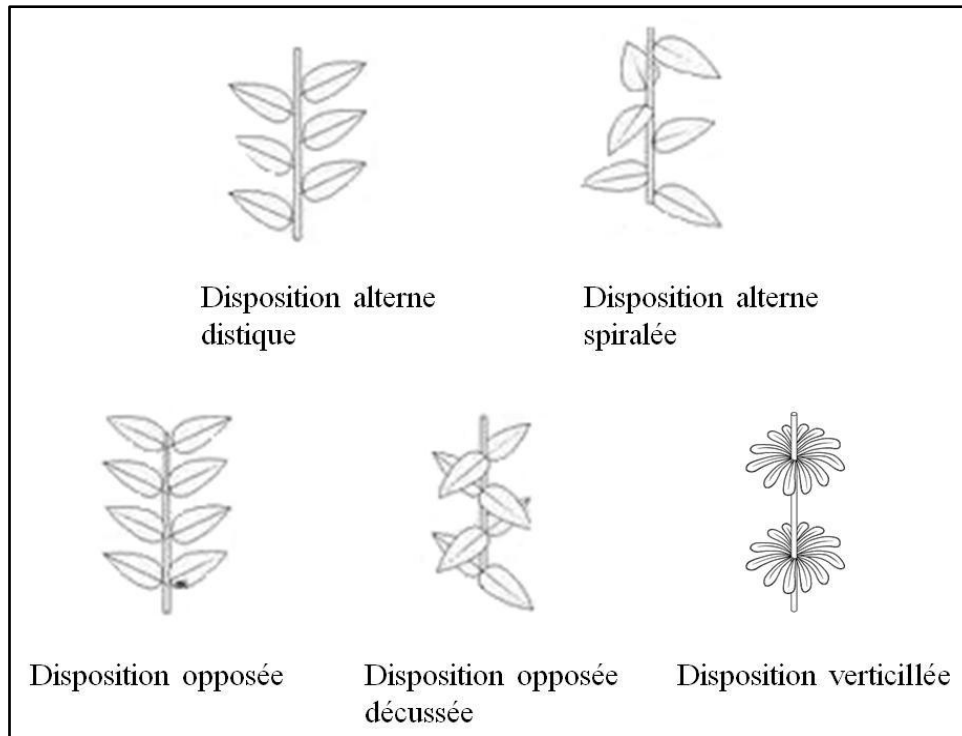
- Les **rhizomes** (gingembre) et les **tubercules caulinaires** (pomme de terre) sont des tiges souterraines hypertrophiées par accumulation de réserves, permettant la **survie** de la plante pendant la mauvaise saison.

- Les tiges **succulentes** des *Cactus* ou de certaines Euphorbes stockent de l'eau (adaptation à la sécheresse du milieu).

- Les **épines** de certaines espèces (aubépines) sont des tiges transformées assurant une **défense** contre les herbivores.

### 1.2. Les feuilles

La disposition des feuilles sur la tige est appelée **phyllotaxie**. Lorsqu'une feuille est insérée seule à chaque nœud, la position est **alterne**. Lorsque les feuilles sont insérées par deux au niveau des nœuds, la disposition est **opposée**. Quand les paires de feuilles de nœuds consécutifs sont décalées de 90°, la disposition est **opposée-décussée**. Si au moins trois feuilles sont insérées en cercle sur un même nœud, la disposition est **verticillée** (Fig. 62).



**Fig. 62.** Principales phyllotaxies chez les Angiospermes

La feuille généralement verte comprend un limbe et un pétiole (ou sans pétiole= sessile). Les feuilles peuvent être **simple entières** ou découpées en **folioles**. Elles peuvent être **stipulées** (légumineuses, Rosaceae) ou **engainantes** (Poaceae). Elles peuvent avoir une nervation parallèle, cas de nombreuses Monocotylédones ou une nervation pennée ou palmée, cas de nombreuses Eudicotylédones.

Les feuilles peuvent assurer d'autres fonctions que la photosynthèse grâce à de nombreuses modifications :

- Les **vrilles** de certaines plantes grimpantes sont des feuilles modifiées (vigne) ou de folioles modifiés (Pois) permettent la fixation au support.

- Les **tuniques charnues** des bulbes (oignon) sont des feuilles hypertrophiées par accumulation de réserves.
- Les feuilles **succulentes** de nombreuses Crassulacées (**Aloès**) contiennent des réserves en eau.
- Les **pièges à insectes** des plantes carnivores proviennent de modifications foliaires (mâchoire de la Dionée, poils adhésifs de *Drosera*).
- Les **épines** de certaines espèces (Epine-vinette) sont des feuilles transformées assurant une défense contre les herbivores
- Les **domaties** sont de petits sacs ou des touffes de poils situés sur la feuille, hébergeant des fourmis ou des Acariens (Tilleul). Ces Arthropodes, logés et nourris, protègent en échange la plante contre les herbivores, c'est une **symbiose**.

### 1.3. Les racines

On distingue deux types principaux de racines. Les racines **pivotantes** présentent une racine primaire bien développée (**pivot**) qui porte des racines latérales formées par ramification. Elles caractérisent beaucoup les Eudicotylédones. Chez les Monocotylédones, les racines sont **fasciculées**. Le pivot primaire, a précocement dégénéré et de nombreuses racines **adventives** se forment à la base de la tige. Elles sont toutes d'égale importance.

Les racines peuvent avoir d'autres fonctions que la fixation de la plante au sol et l'absorption de l'eau et des sels minéraux.

- Les **crampons** du lierre sont des racines adventives qui lui permettent de s'agripper sur des supports.
- Les **échasses** sont des racines adventives aériennes permettant de limiter l'enfoncement dans le substrat mouvant.
- Les tubercules racinaires des espèces bisannuelles (carotte, Betterave) sont des racines hypertrophiées par accumulation de réserves.

- Les racines **drageonnantes** sont des racines souterraines à croissance horizontale formant des bourgeons. Chaque bourgeon se développe en un nouvel individu (multiplication végétative chez le Framboisier par ex).

- les **pneumatophores** sont des excroissances racinaires, émergeant dans l'air par géotropisme négatif. Ces racines aériennes permettent une absorption d'O<sub>2</sub> atmosphérique en sol inondé.

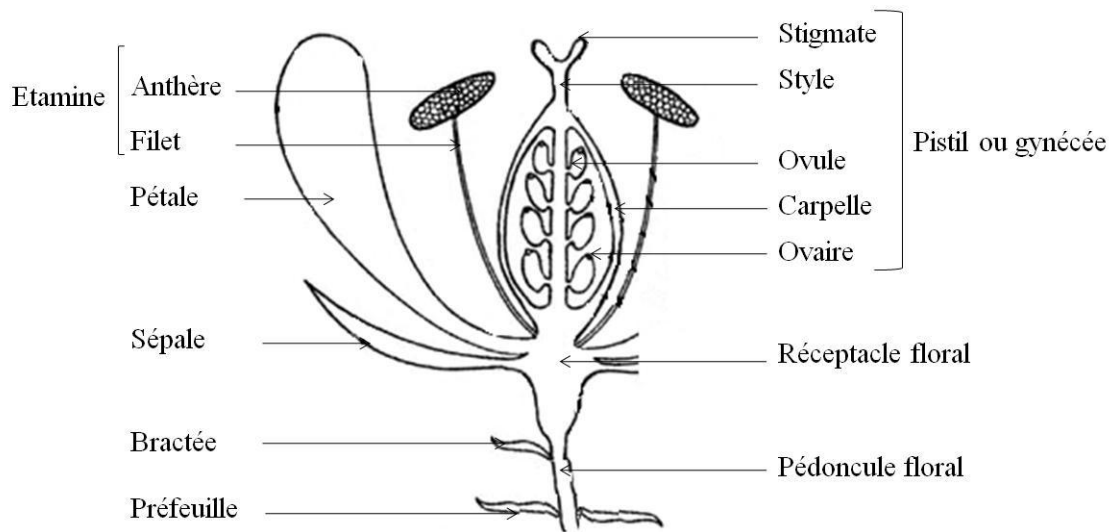
- Les **nodosités** des Fabacées (Trèfle) sont des excroissances de leurs racines, hébergeant des bactéries symbiotes fixatrices d'azote atmosphérique.

- Les **racines chlorophylliennes** de nombreuses épiphytes (Orchidées tropicales) sont **photosynthétiques** et recouvertes d'un **voile** ou **velamen** constitué de cellules mortes dont la paroi est renforcée par des épaissements de subérine. Ce voile joue le rôle d'une éponge absorbant de l'eau de pluie.

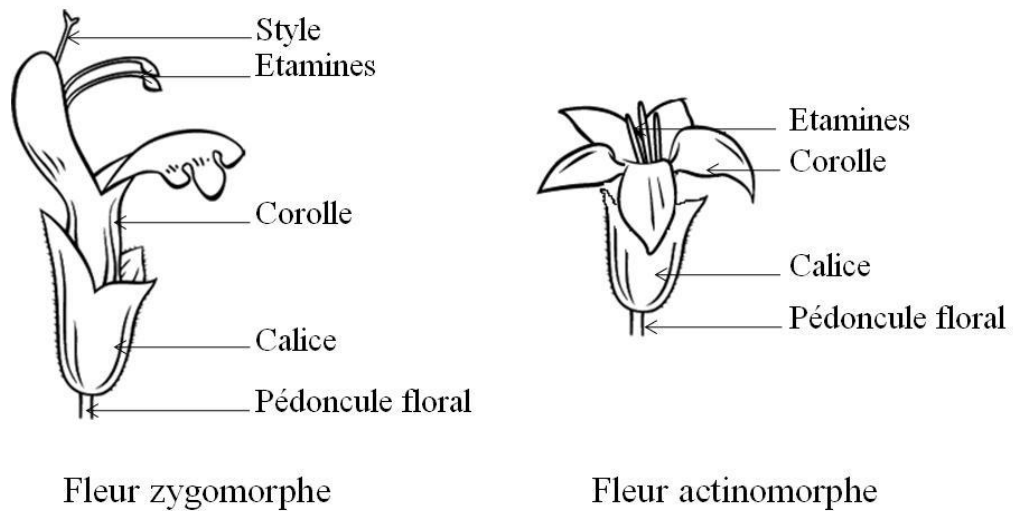
## 2. STRUCTURE DE L'APPAREIL REPRODUCTEUR

Les Angiospermes réalisent la reproduction sexuée grâce aux **fleurs** (1<sup>e</sup> synapomorphie). Elles sont appelées '**plantes à fleurs**'.

Chaque fleur est située à l'extrémité **d'un pédoncule floral** inséré sur la tige à l'aisselle d'une feuille modifiée appelée **bractée** (Fig. 63). Le pédoncule floral porte **une préfeuille** chez les Monocotylédones et **deux préfeuilles** chez les autres Angiospermes. Une fleur comporte de nombreuses pièces florales insérées sur un **réceptacle floral**. Le réceptacle peut être bombé en **thalamus**, plan, ou creusé en forme de coupe. L'insertion des pièces florales sur le réceptacle se fait selon une **spirale** pour les fleurs spiralées (ex. Nénuphar) ou selon des cercles concentriques pour les fleurs **verticillées (cyclisées)** (ex. Lis). Les fleurs sont **actinomorphes** si elles présentent une symétrie radiale (ex. l'oignon) ou **zygomorphes** si elles présentent une symétrie bilatérale (ex. le Haricot).



**Fig. 63.** Représentation schématique d'une coupe longitudinale d'une fleur d'Angiospermes.



**F**  
**ig.64.** Principaux types de symétrie chez les fleurs d'Angiospermes.

## 2.1. Le périanthe

Le périanthe est l'ensemble des pièces protectrices (pièces stériles) qui sont des **feuilles** ou des **bractées modifiées**. Il est généralement différencié en deux enveloppes ; le **calice** et la **corolle**. Le **calice** représente l'ensemble des sépales (petites pièces vertes). Si les sépales sont libres, le calice est dit **dialysépale**. S'ils sont soudés, le calice est **gamosépale** et s'ils sont absents, on parle d'**asépale**. La **corolle** représente l'ensemble des pétales (pièces colorées). Si les pétales sont libres, la corolle est dite **dialypétale** (ex. Renoncule). S'ils sont soudés, la corolle est **gamopétale** (ex. Campanule) et s'ils sont absents, on parle d'**apétalie** (ex. Clématite).

Chez certaines espèces (Monocotylédones), le calice et la corolle sont indifférenciés ; ils sont dits **concolores**. Les différentes pièces sont appelées alors **tépales** (ex. Tulipe). Des régressions peuvent expliquer la petite taille des pièces stériles (ex. glumellules des Poaceae), voire leur absence (ex. Betterave). Chez certaines espèces le calice peut se dédoubler, on parle alors de **calicule** (ex. Fraisier) ou il peut se transformer en poils ou **pappus** (ex. Astéracées).

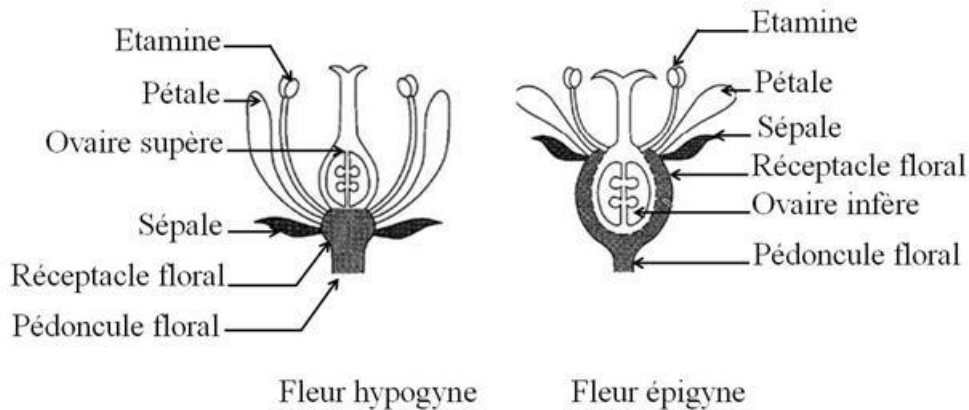
## 2.2. L'androcée

L'androcée (du grec *andros*, mâle) est l'ensemble des **étamines**. Chaque étamine est constituée d'une partie terminale renflée, l'**anthère** (de *anthos*, fleur) portée par un pédicelle, le **filet**. L'anthère est constituée de 4 sacs polliniques groupés en deux **loges**. La déhiscence des anthères peut être **introrse** (vers l'intérieur de la fleur) ou **extrorse** (vers l'extérieur de la fleur). Elle peut se faire par des **fentes** longitudinales, par des **pores** (déhiscence poricide) ou par des **valves** (déhiscence valvaire). En général, les fleurs ont deux cycles d'étamines (**diplostémone**), rarement un seul cycle (**isostémone** ou **haplostémone**). L'androcée peut être **polystémone** (étamines très nombreuses, ex. Renoncule) ou **méristémone** (division des étamines, ex. Papavéracées). Les étamines peuvent être libres, on parle alors d'androcée **dialystémone**, ou soudés et l'androcée est dit **gamostémone**. Si toutes les étamines sont soudées, on parle d'androcée **monadelphie**. Si une partie seulement des étamines est soudée, on parlera d'androcée **diadelphie**. Chez les Astéracées, ce sont les anthères qui sont soudées, on parle alors de **synanthérie**.



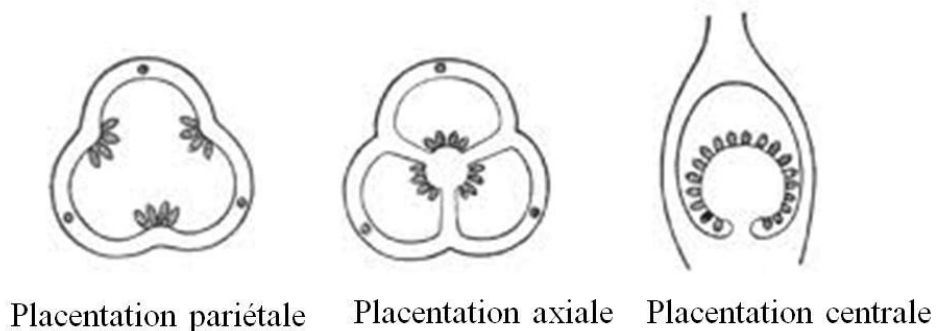
### 2.3. Le gynécée

Le gynécée (du grec *gunê*, femme) ou **pistil** (du latin *pistillus*, pilon) est formé par l'ensemble des **carpelles**. Le carpelle est une feuille modifiée (repliée sur elle même) renfermant les ovules et assure la formation de l'**ovaire** surmonté par un **style** et terminé par un **stigmate** recouvert de **papilles**. Selon sa position sur le réceptacle floral, l'ovaire peut être **supère** et la fleur est donc **hypogyne** ou **infère** et la fleur est **épigyne** (Fig. 65).



**Fig. 65.** Principales positions de l'ovaire sur le réceptacle floral

L'**ovule** est l'ensemble constitué par le microsporange entouré par des pièces protectrices (le tégument de l'ovule) et par la macrospore prothalisée qui donne à maturité un sac embryonnaire haploïde. Les ovules sont insérés dans l'ovaire au niveau du placenta. Il existe différents types de placentation : placentation pariétale, axiale, centrale...(Fig. 66).



**Fig. 66.** Types fondamentaux de placentation chez les Angiospermes.

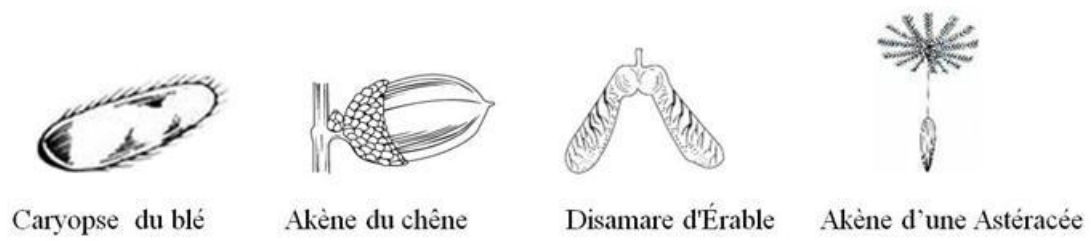
## 2.4. Le fruit

Le **fruit** ou **péricarpe**, caractéristique des Angiospermes, correspond à la transformation des parois de l'ovaire après fécondation. Le péricarpe comporte l'**épicarpe** (qui dérive de l'épiderme externe de l'ovaire), **mésocarpe** (constitué par le parenchyme médian) et l'**endocarpe** (qui correspond à l'épiderme interne de l'ovaire). Lorsque d'autres parties de la fleur que le gynécée se développent et deviennent importantes, l'ensemble est appelé faux fruit. Selon le nombre et la soudure éventuelle des carpelles, la nature du péricarpe (sec ou charnu) et sa déhiscence, on distingue trois types de fruits :

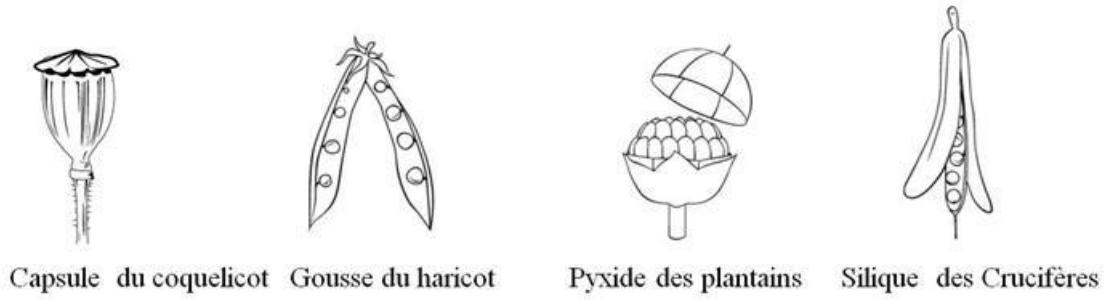
- Les **fruits secs** (Fig. 67) qui peuvent être **déhiscents** (ex. gousse, silique ou capsule) ou **indéhiscents** (ex. caryopse, akène, samare).

- Les **fruits charnus** (Fig. 68) qui peuvent être des **baies** (fruits à pépins) où le péricarpe est entièrement charnu (ex. tomate, raisin), ou des **drupes** (fruits à noyau) où l'épicarpe et le mésocarpe sont charnus mais l'endocarpe est lignifié pour former un noyau (ex. cerise, amande, olive).

- Les **fruits complexes** ou **faux fruits** (Fig. 69) intègrent d'autres parties de la fleur autre que le carpelle (ex. figue = réceptacle de l'inflorescence, fraise = réceptacle floral à ovaire supère, pomme = réceptacle floral à ovaire infère, Ananas = toute l'inflorescence).

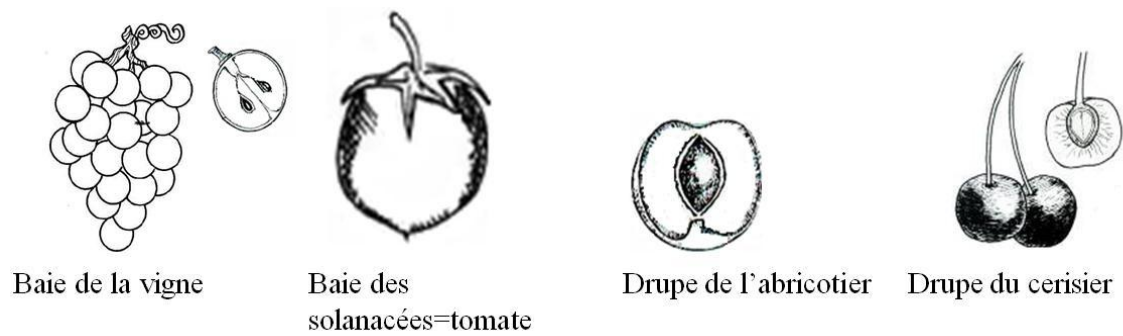


Fruits secs indéhiscents

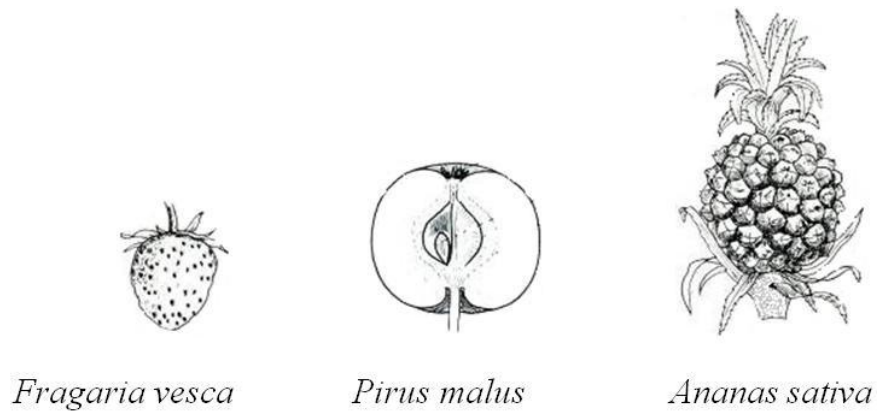


Fruits secs déhiscents

**Fig. 67.** Différents types de fruits secs



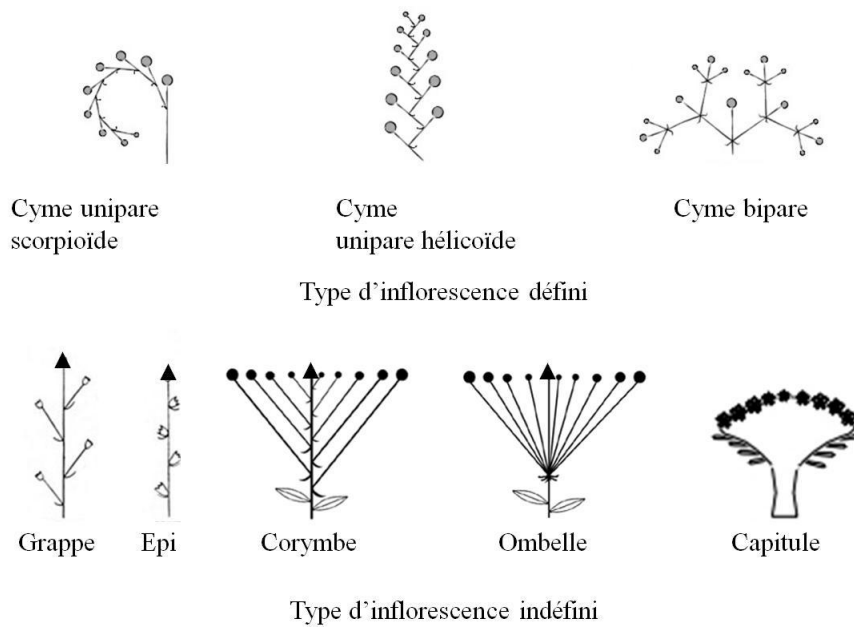
**Fig. 68.** Différents types de fruits charnus



**Fig. 69.** Types de fruits complexes

### 2.5. L'inflorescence

L'inflorescence définit la répartition des fleurs sur la tige. Les inflorescences sont de deux types fondamentaux ; l'**inflorescence indéfinie** ou **grappe** et l'**inflorescence définie** ou **cyme** (Fig. 70).

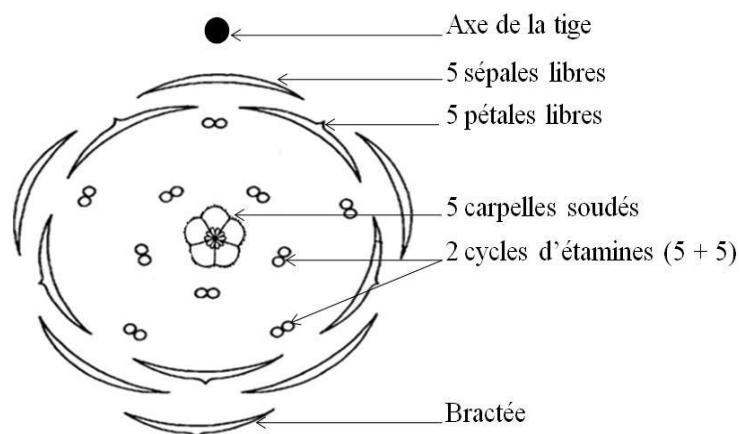


**Fig. 70.** Les grands types d'inflorescences chez les Angiospermes

### 3. METHODE D'ETUDE EN MORPHOLOGIE FLORALE

L'étude en morphologie florale comporte un **diagramme floral**, une **formule florale** qui rendent compte de la constitution exacte de la fleur et un dessin de la **coupe longitudinale de la fleur**.

Le **diagramme floral** (Fig. 71) est une représentation schématique de l'organisation des pièces florales en coupe transversale. Le périanthe est figuré par des bandes et les étamines par des B orientés tangentiellement. L'ovaire est figuré avec sa structure, montrant le nombre de loges, le nombre d'ovules par loge et la placentation. Les soudures entre les organes sont représentées par des traits continus. Si la fleur est actinomorphe, les pièces florales d'un même type sont mises sur un cercle. Si la fleur est zygomorphe, les pièces sont mises sur une ellipse, aplatie selon l'orientation de la fleur. L'axe de l'inflorescence est désigné par '+' ou par 'x' vers le haut, et la bractée par une bande vers le bas. Normalement, le diagramme floral n'est pas légendé, sauf si les organes sont très particuliers.



**Fig. 71.** Diagramme floral d'une fleur pentamère actinomorphe.

Dans la **formule florale** (qui est une succession de chiffres et de lettres) sont indiqués le nombre et l'identité des pièces (S=sépale, P=pétale, E=étamine et C=carpelle), le nombre de cycle par verticille, la fusion ou non des pièces, le type de symétrie de la fleur (actinomorphe, zygomorphe), la position de l'ovaire (infère ou supère) et le type de fruit.

Pour la famille des géraniums par exemple, la formule florale s'écrit de la manière suivante :

**O, 5S, 5P, 5+5 E, (5C), capsule.**

Soit une fleur de type 5 (pentamère), actinomorphe (O) qui possède 5 sépales **libres** (5S, sans parenthèse ni crochet), 5 pétales **libres** (5P, sans parenthèse ni crochet), 10 étamines (5 + 5E, en 2 verticilles) et à 5 carpelles **soudés** (5C entre parenthèses), un ovaire supère (trait sous le C, pour préciser la position **supère** de l'ovaire) et le type de fruit (**capsule**).

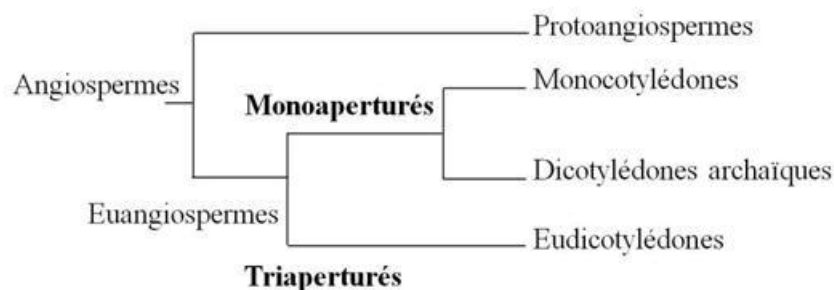
Le sigle '**X**' est utilisé pour désigner les fleurs **zygomorphes**, la lettre '**T**' pour désigner les **tépales**, le sigle '**∞**', ou '**n**' pour indiquer un **nombre élevé** de pièces florales et un **trait** sur la lettre '**C**' pour préciser la position **infère** de l'ovaire.

#### 4. CLASSIFICATION DES ANGIOSPERMES

Traditionnellement, on distinguait chez les plantes à fleurs deux classes (monocotylédones et les dicotylédones) sur la base du nombre de cotylédons de leur embryon.

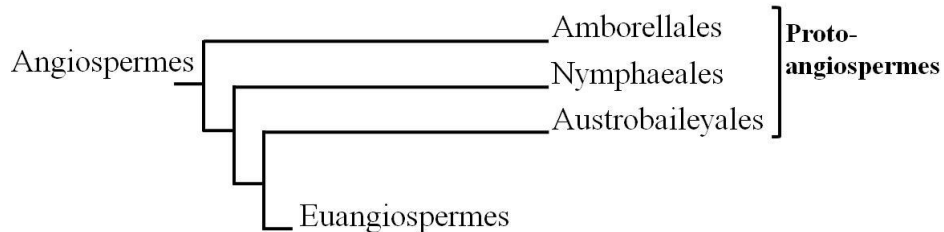
Une nouvelle classification, basée sur des études moléculaire et morphologique (essentiellement la structure des grains de pollen) est mise au point par des chercheurs regroupés dans l'Angiosperm Phylogeny Group (APG). Au niveau moléculaire, c'est essentiellement l'ADN chloroplastique qui est étudié. Le gène le plus utilisé est le gène *rbcL* qui code pour la grande sous-unité de la protéine RUBISCO (protéine ayant un rôle dans la photosynthèse). Le gène ITS qui est une région non codante de l'ADN ribosomique (18S) est également particulièrement utilisé.

Ce nouveau système, qui est la référence actuelle, distingue donc 3 groupes (les paléodicotylédones, les monocotylédones et les Eudicotylédones, Fig. 72) :



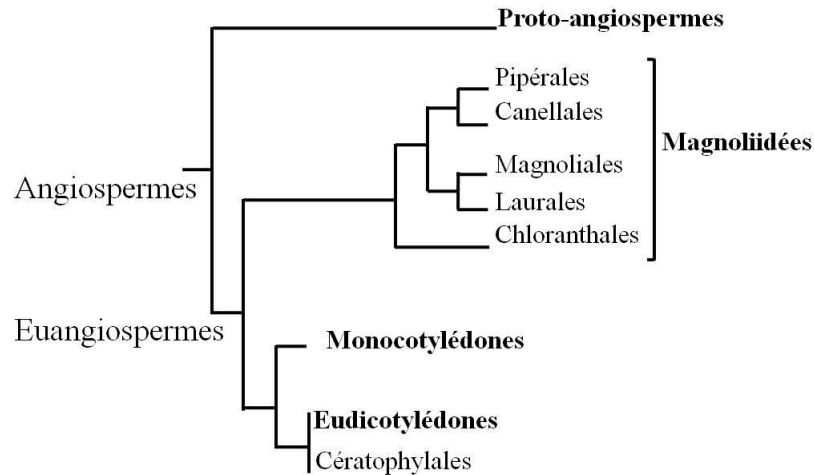
**Fig. 72.** Phylogénie simplifiée des Angiospermes

Les **Protoangiospermes** sont dites également **paléoherb**es. Elles sont aquatiques ou arbustives et présentent une soudure incomplète des carpelles (fermés par des sécrétions). L'insertion des pièces florales est plus souvent spiralée. Le périanthe est tépaloïde, le pollen monoaperturé et les carpelles sont libres. Ce groupe paraphylétique regroupe les **Amborellales**, les **Austrobaileyales**, les **Chloranthales**, les **Nymphaeales** (Fig. 73).



**Fig. 73.** Phylogénie simplifiée des Protoangiospermes (APGIII, 2009)

Les **dicotylédones archaïques** ou les **Magnoliidées** sont monoaperturés (pollen à un seul pore ou aperture) et dicotylés (deux cotylédons). Ce sont les angiospermes les plus anciennes qui étaient auparavant classées parmi les dicotylédones. Le pollen monoaperturé est une apomorphie partagée aussi par les monocotylédones (groupe proche). En revanche, la présence de deux cotylédons est pour elles une symplésiomorphie, héritée de l'ancêtre commun à toutes les Angiospermes. La fleur est trimère ou à disposition spiralée et le périanthe indifférencié. Les Magnoliidées ou Magnoliids regroupent les Canellales, Laurales, Magnoliales et les Pipérales. Elles correspondent aux Magnoliidae de Cronquist et Takhtajan sans les Renonculales et les Papaverales (Fig. 74).

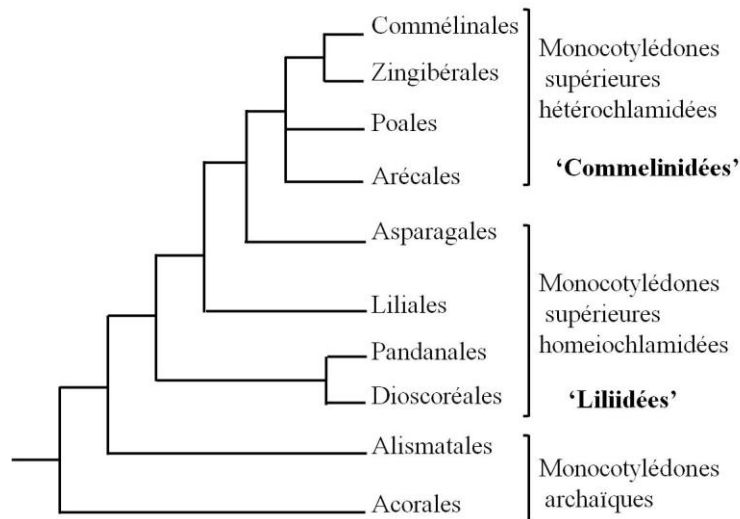


**Fig. 74.** Phylogénie simplifiée des Magnoliidées (APGIII, 2009)

Les **Monocotylédones** sont **monoaperturés** et **monocotylés**. L'unique cotylédon de l'embryon est une **synapomorphie** des Monocotylédones. Ce caractère proviendrait d'une perte de l'un des deux cotylédons, présents chez l'ancêtre commun à toutes les Angiospermes. Nous distinguons (Fig. 75) :

- les **Monocotylédones archaïques** proches du stock ancestral (Alismartales, Acorales)
- les **Liliidées** ou **Monocotylédones supérieures homoiochlamidées** : Asparagales, Dioscoréales, Liliales, Pandanales
- Les **Commelinidées** ou **monocotylédones supérieures hétérochlamidées** : Commélinales, Zingibérales, Arécales, Poales





**Fig. 75.** Phylogénie des Monocotylédones selon APGIII (2009)

Les **Dicotylédones vraies** ou **Eudicotylédones (Eudicots)** sont **triaperturés** (ou **tricolpés**) et **dicotylés**. Les grains de pollen à trois apertures sont une **synapomorphie** des Eudicotylédones. D'après les arbres construits à partir des gènes *rbcl* et *ITS*, les Eudicotylédones dérivent d'un ancêtre commun, le caractère triaperturé est donc apparu une seule fois au cours du temps. Le caractère monoaperturé du pollen partagé par les autres Angiospermes serait une **symplesiomorphie** héritée de l'ancêtre commun à toutes les Angiospermes. Dans ce clade des Eudicots, on retrouve :

- **Eudicotylédones archaïques** : souvent à périanthe tépaloïde et à dialycarpie fréquente (Renonculacées, Papavéracées)

- **Eudicotylédones évoluées** dialypétales ou gamopétales le plus souvent (parfois apétales). On y retrouve trois sous clades :

- **Eudicotylédones Atypiques** ou **Caryophyllidées** à position systématique incertaine (Caryophyllales, Santalales) ;

- **Eudicotylédones Supérieures Dialypétales** ou **Rosidées** à pièces florales en verticilles et à calice et corolle différenciés et pentamères (parfois tétramères). On y retrouve les Rosales, Cucurbitales, Fabales, Malpighiales, Brassicales, Malvales et les Sapindales ;

**Eudicotylédones Supérieures Gamopétales** ou **Astéridées** à pièces florales en verticilles et à calice et corolle différenciés pentamères (parfois tétramères). On y retrouve les Ericales, Gentianales, Lamiales, Solanales, Apiales, Dipsacales et les Astérales. Une phylogénie simplifiée des Eudicotylédones est donnée dans la figure 76.

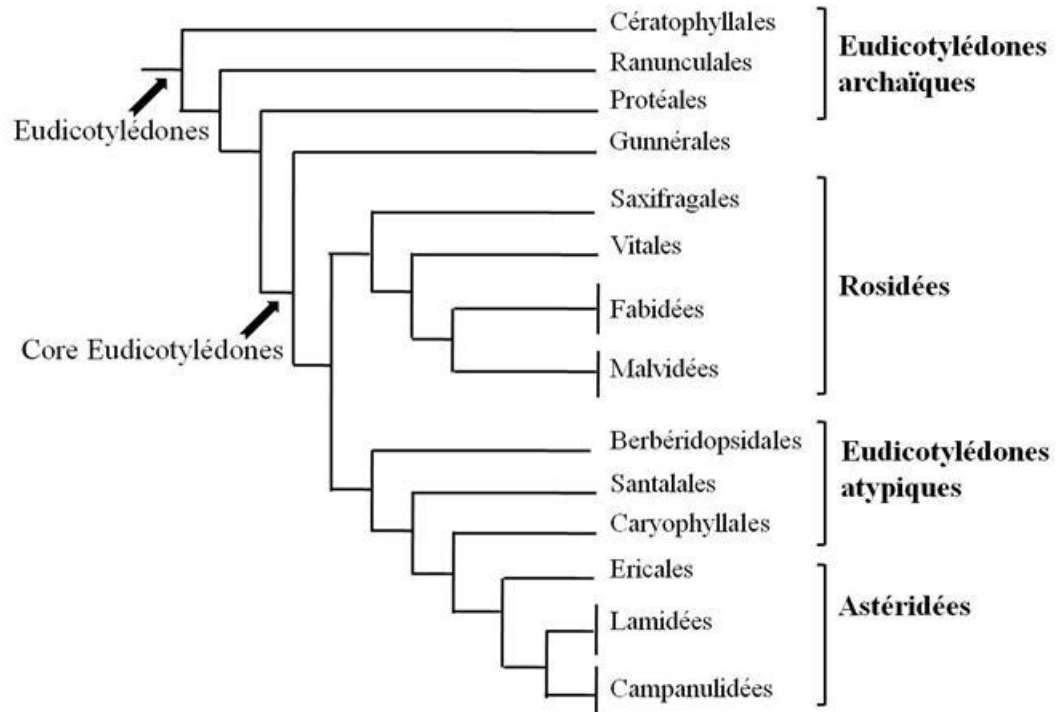


Fig. 76. Phylogénie simplifiée des Eudicotylédones selon APGIII (2009)