

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA DE BEJAÏA



FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

Département du Tronc Commun des Sciences de la Nature et de la Vie

Polycopié de cours de botanique

Tome I : Les organismes à thalle

PAR MALIKA OURARI

<https://www.opticalcerist.dz/>



Préambule

Public cible : Ce polycopié est destiné aux étudiants 2^e année LMD en biologie, aux étudiants 2^e année en pharmacie et à tout public, s'intéressant à l'étude scientifique de la botanique (personnel des jardins botaniques, enseignants, adhérents des associations de protection de la nature).

Volume horaire global : 45heures (cours), 30h (travaux pratiques, sortie sur le terrain).

Pré-requis : Connaissances de base de la biologie végétale (morphologie, anatomie, physiologie), notions d'écologie (biogéographie, habitat, bioclimat) et notions de base de génétique.

Contenu du cours : L'introduction générale à ce cours de botanique traite des notions et concepts de base de la phylogénie et de la place des groupes végétaux dans le monde du vivant. La première partie du cours, présentée dans le tome I, traite de la position phylogénétique des grands groupes d'organismes à thalle (Cyanobactéries, les groupes d'algues eucaryotes, Eumycètes, lichens) et des différentes innovations évolutives qui ont émergé au cours de leur formation. Le tome II est consacré à l'étude des organismes à cormus (bryophytes *s.l.* ptéridophytes *s.l.*, gymnospermes, angiospermes) et leurs caractères dérivés.

Objectifs pédagogiques du cours : les objectifs du cours de botanique et des travaux pratiques qui lui sont associés sont les suivants :

- Comprendre ce qu'est la phylogénie ;
- Identifier les groupes végétaux valides en phylogénie ;
- Aiguiser le sens de l'observation ; une des bases essentielles de la démarche du biologiste ;
- Décrire des échantillons botaniques en utilisant les termes adéquats ;
- Déterminer une espèce végétale donnée à l'aide de flores ;
- Collecter, conserver et préparer un herbier.

Evaluation : Examen final du cours théorique et évaluation continue par les comptes-rendus des travaux pratiques.

Je présente mes vifs remerciements à mesdames Dehbi-Zebboudj A., Djafri-Bouallag L., Benmouhoub H. et à monsieur Bouadam S., membres de l'équipe de botanique de l'université A. Mira, pour leur aide multiforme dans l'élaboration de ce travail.

Les photographies de la couverture sont fournies par l'association 'Les amis de la nature d'ADEKAR'.

SOMMAIRE

TOME I : LES ORGANISMES A THALLE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
1. SYSTEMATIQUE ET NOMENCLATURE.....	2
1.1. Nomenclature et unités taxonomiques.....	2
1.2. Règles de la nomenclature.....	3
1.3. Notions d'espèce.....	4
2. LES GROUPES VEGETAUX ET LA PHYLOGENIE	4
2.1. Définition du végétal.....	4
2.2. Principes de la phylogénie	5
- Choix des caractères (apomorphies, plésiomorphies...)	6
- Place des groupes végétaux dans le monde vivant.....	7
- Les origines évolutives de l'autotrophie	8
3. DIVERSITE DE L'APPAREIL VEGETATIF.....	11
4. DIVERSITE DE LA REPRODUCTION.....	16
5. DIVERSITE DES CYCLES DE REPRODUCTION OU DE DEVELOPPEMENT.....	16
6. PHYLOGENIE ET DESCRIPTION DES GROUPES A THALLES	18
- Cyanobactéries	19
- Eumycètes	24
- Chromalvéolés.....	34
- Glaucophytes.....	38
- Rhodobiontes.....	39
- Chlorobiontes	40
- Lichens	44
OUVRAGES UTILISES.....	55

TOME II : LES ORGANISMES A CORMUS : Embryophytes ou Archégoniates

INTRODUCTION	1
BRYOPHYTES SENSU LATO	3
1. CARACTÈRES GÉNÉRAUX	3
2. LES MARCHANTIOPHYTES	4
2.1. Morphologie	5
2.2. Reproduction	6
3. LES ANTHOCEROTES	7
4. LES BRYOPHYTES S.S. OU MOUSSES OU MUSCINEES	8
4.1. Morphologie	8
4.2. Cycle de reproduction	9
PTERIDOPHYTES SENSU LATO	12
1. CARACTERES GENERAUX	12
2. LYCOPHYTES	14
2.1. Les Lycopodiaceae	14
2.2. Les Sellaginellaceae.....	15
3. LES SPHENOPHYTES	17
4. LES FILICOPHYTES	18
LES CYCADOPHYTES	21
1. APPAREIL VEGETATIF	21
2. APPAREILS REPRODUCTEURS	22
2.1. Appareil reproducteur mâle.....	22
2.2. Appareil reproducteur femelle	23
2.3. Cycle de reproduction des Cycadophytes	25
LES PINOPHYTES	26
1. ANATOMIE	26
2. APPAREIL REPRODUCTEUR	27
3. CLASSIFICATION	27
LES ANGIOSPERMES OU PLANTES A OVAIRES	30
1. STRUCTURE DE L'APPAREIL VEGETATIF	32
1.1. Les tiges.....	32
1.2. Les feuilles	33
1.3. Les racines	34
2. STRUCTURE DE L'APPAREIL REPRODUCTEUR	35
2.1. Le périanthe.....	36
2.2. L'androcée	37
2.3. Le gynécée	37
2.4. Le fruit	38

2.5. L'inflorescence	41
3. METHODE D'ETUDE EN MORPHOLOGIE FLORALE	41
4. CLASSIFICATION DES ANGIOSPERMES.....	43
Les Paléodicotylédones	43
Les Monocotylédones (Monocots)	44
Les Dicotylédones vraies (Eudicots)	44
OUVRAGES UTILISES	45

<https://www.opu-lu.cerist.dz/>

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 portent 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)

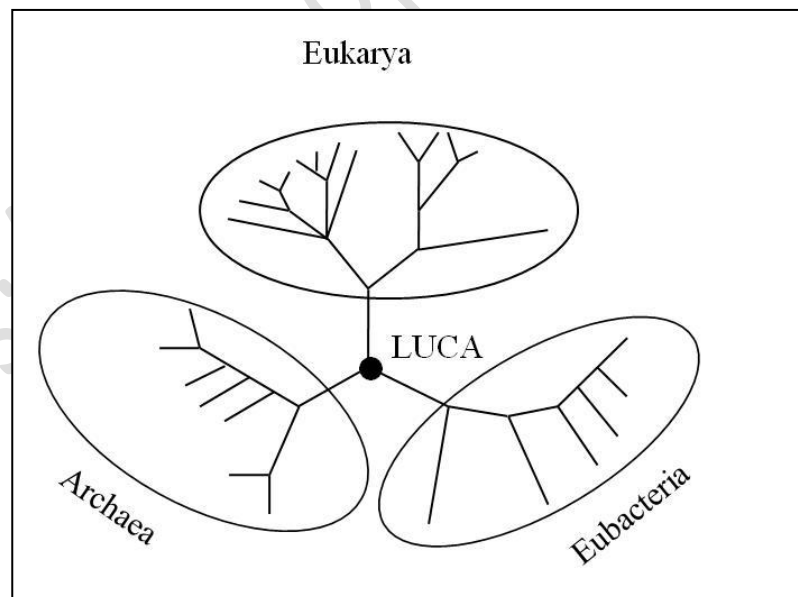


Fig.1. Arbre phylogénétique du vivant. LUCA : Last Universal Common Ancestor (dernier ancêtre commun dont on peut faire l'hypothèse)

- **Les Archées** sont découvertes assez récemment. Ce sont des organismes unicellulaires sans noyaux. 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'ether-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 *Escherichia 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. SYSTEMATIQUE ET NOMENCLATURE

La taxonomie et la systématique (termes créés par De Candolle en 1813) ne sont pas synonymes. Le terme taxonomie (taxinomie) est construit à partir de 'taxis' (ordre, arrangement) et de 'nomos' (loi, règle) et signifie l'étude théorique des bases, principes et lois de la classification. La systématique est la science de la description et de l'explication de la diversité biologique et de son histoire évolutive. La taxinomie repose sur la hiérarchisation et la nomenclature.

1.2. Nomenclature et unités taxonomiques

Devant la grande diversité biologique (1 800 000 espèces décrites), il est nécessaire de ranger et de mettre en ordre les taxons dans un système hiérarchisé. Les unités taxonomiques les plus utilisées sont données ici avec l'exemple du blé selon la classification de Takhtajan-Cronquist (1964-1968) :

Règne	Plantae
Embranchement	Liliophyta= Phanérogames
Sous-embranchement	Angiospermes
Classe	Liliopsida=Monocotylédones
Sous-classe	Commelinidae
Ordre	Graminales
Famille	Poaceae= Gramineae
Sous-famille	Pooideae
Tribu	Triticeae
Genre	<i>Triticum</i>
Espèce	<i>durum</i> L.

Les suffixes utilisés pour désigner les groupes régis par le code de nomenclature botanique (De Reviere, 2002) sont les suivants :

Rang du taxon	Algues	Champignons	Embryophytes
Embranchement (phylum ou division)	-phyta	-mycota	-phyta
Classe	-phyceae	-mycètes	-opsida
Sous-classe	-phycidae	-mycetidae	-idae
Famille	-aceae	-aceae	-aceae
Sous-famille	-oideae	-oideae	-oideae
Tribu	-eae	-eae	-eae
Sous-tribu	-inae	-inae	-inae

1.3. 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^e Congrès International de Botanique à Melbourne en juillet 2011.

1.4. Notions d'espèce

Plusieurs concepts d'espèce sont définis mais on retiendra ici le **concept biologique de l'espèce** qui a été défini par Mayr et Dobzhansky en 1942. Une **espèce** représente un ensemble d'individus très étroitement apparentés, pouvant se reproduire entre eux et avoir une **descendance fertile**. Ils sont dits **interféconds**.

2. LES GROUPES VEGETAUX ET LA PHYLOGENIE

2.1. 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.

2.2. 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).

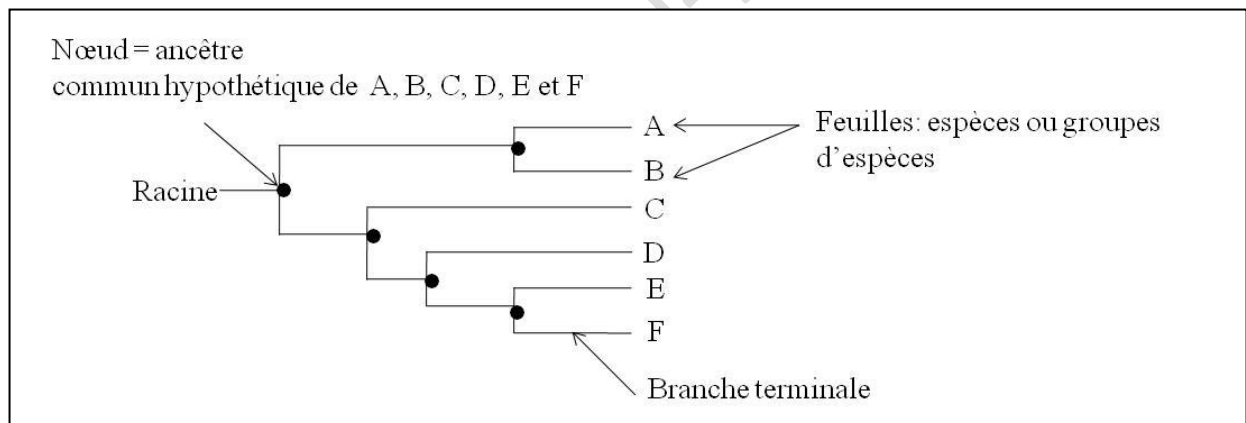


Fig. 2. Exemple d'arbre phylogénétique.

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 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).

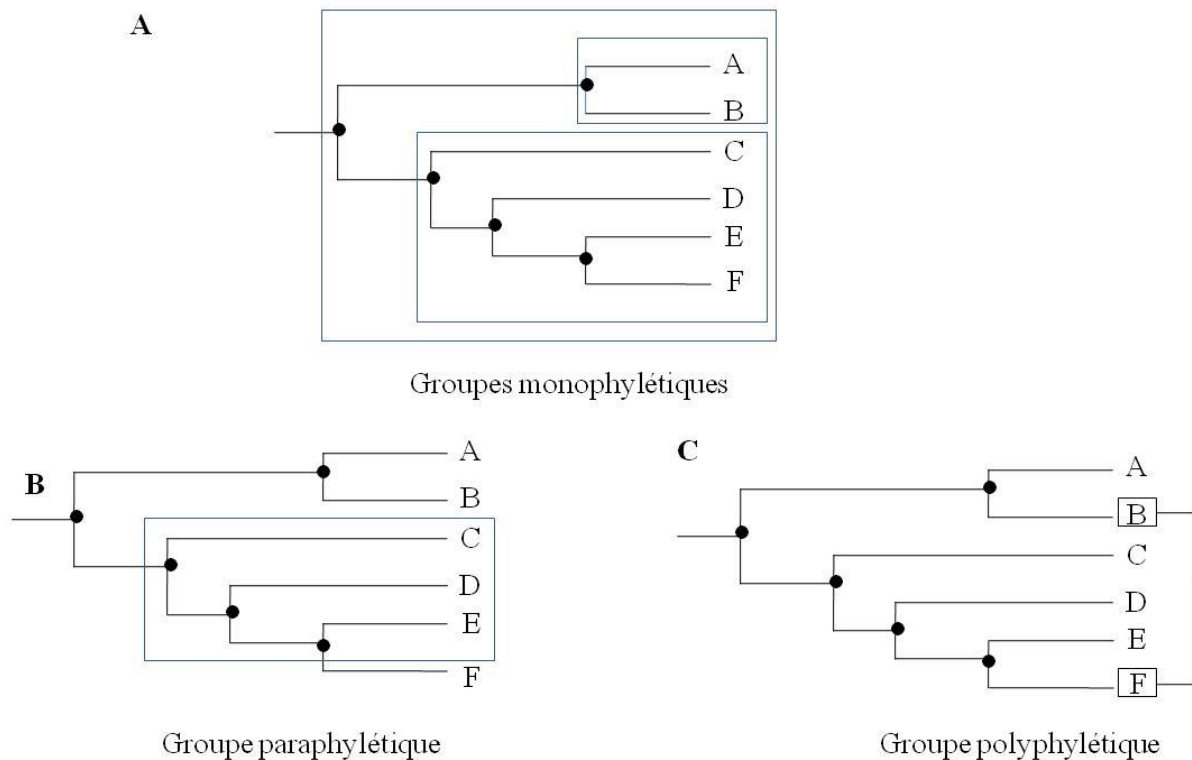


Fig. 3. Différents groupes en phylogénie

- 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 (ou **synapomorphies**) et non de partage de plésiomorphies (ou **symplesiomorphies**).

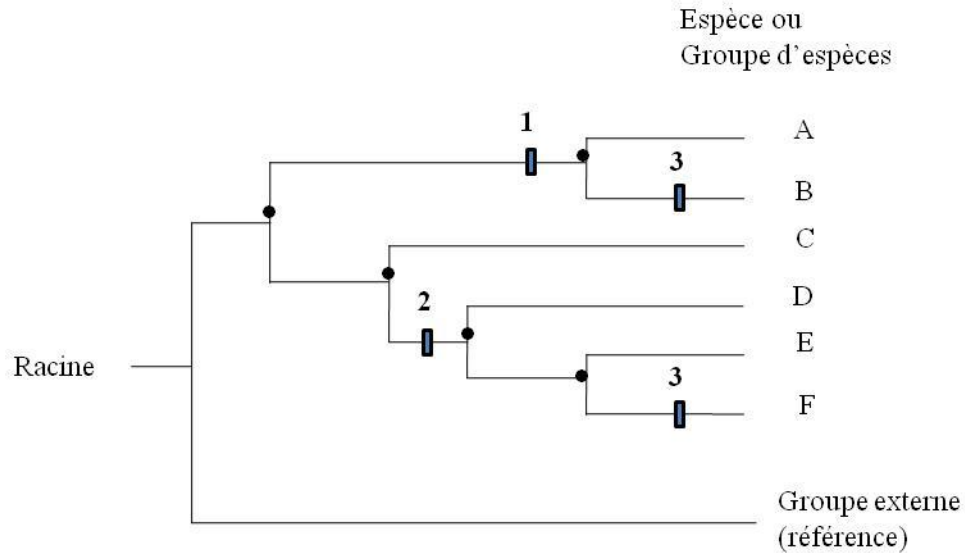


Fig. 4. Exemples de caractères (1, 2, 3) positionnés sur un arbre phylogénétique.

- 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.

En botanique, le caractère moléculaire utilisé à des fins de phylogénie 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 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 est également utilisé.

- Place des groupes végétaux dans le monde vivant

Les groupes végétaux sont des Eucaryotes autotrophes. 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). Par contre, les organismes autotrophes sont dispersés dans l'arbre phylogénétique des 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).

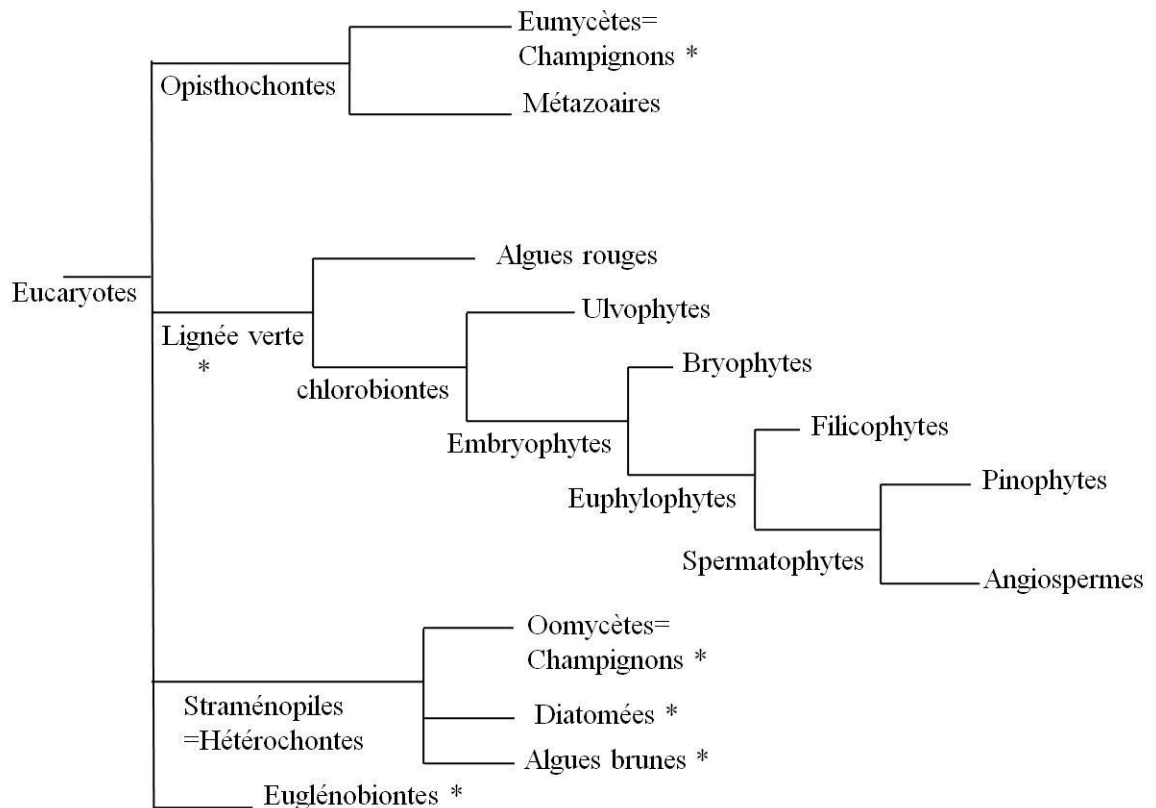
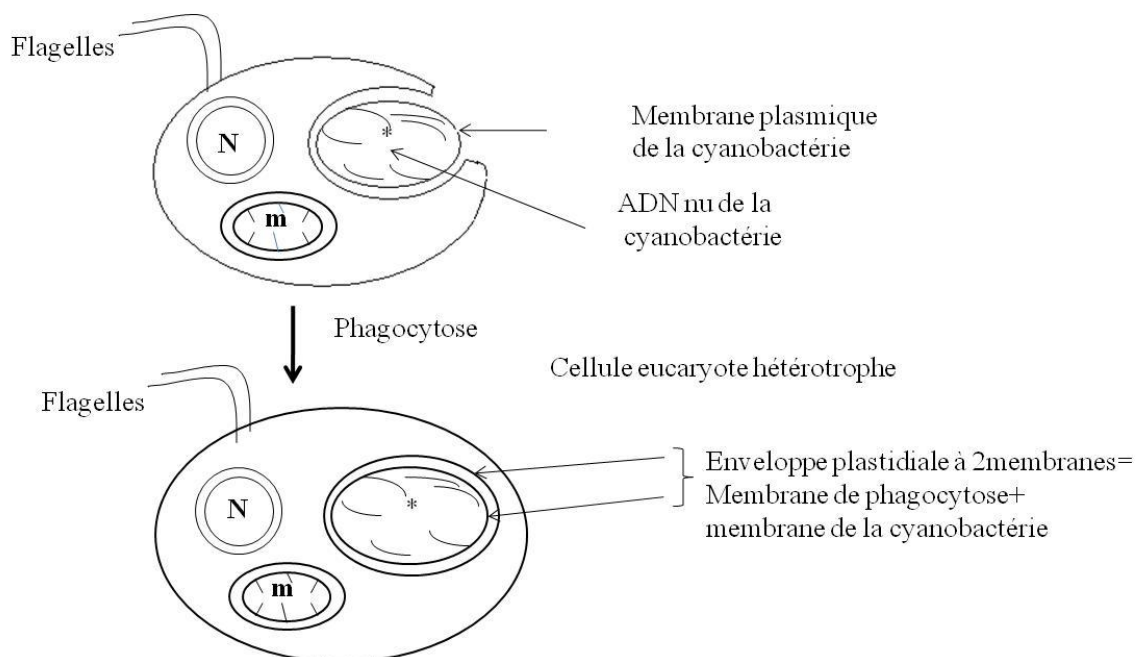


Fig. 5. Arbre phylogénétique des Eucaryotes. *: taxon végétal selon la classification traditionnelle.

- Les origines évolutives de l'autotrophie

Selon le groupe, les plastes présentent des différences structurales importantes.

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.



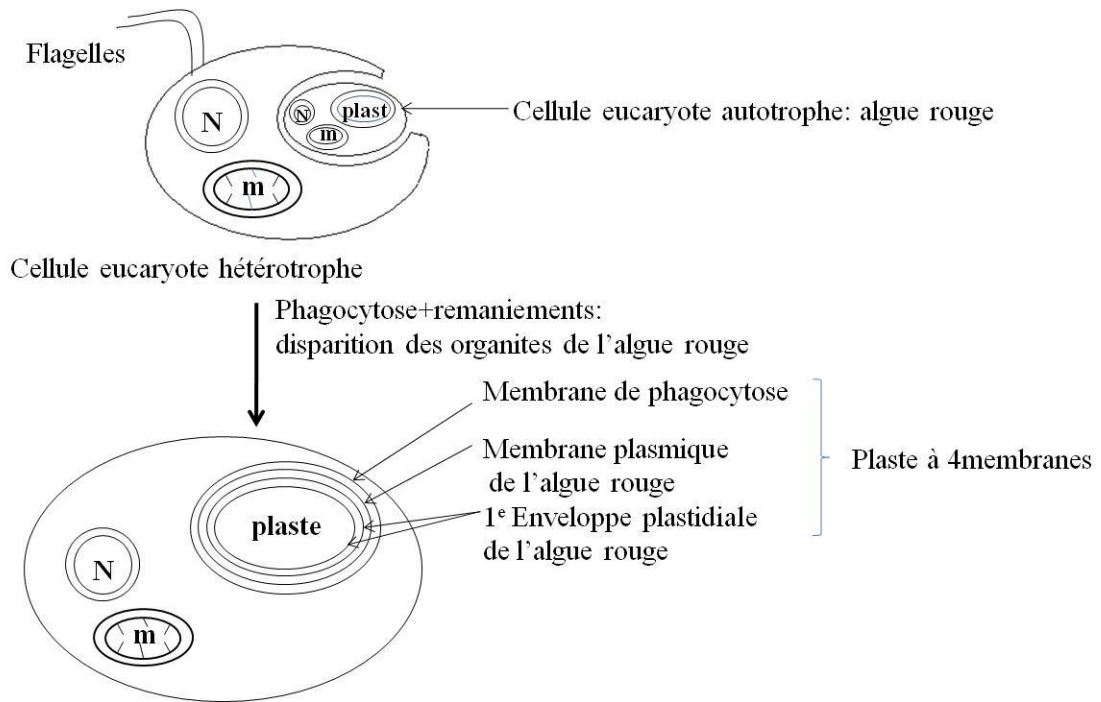
Cellule eucaryote autotrophe= ancêtre hypothétique de la Lignée verte

Fig. 6A. Théorie de l'endosymbiose primaire

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

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

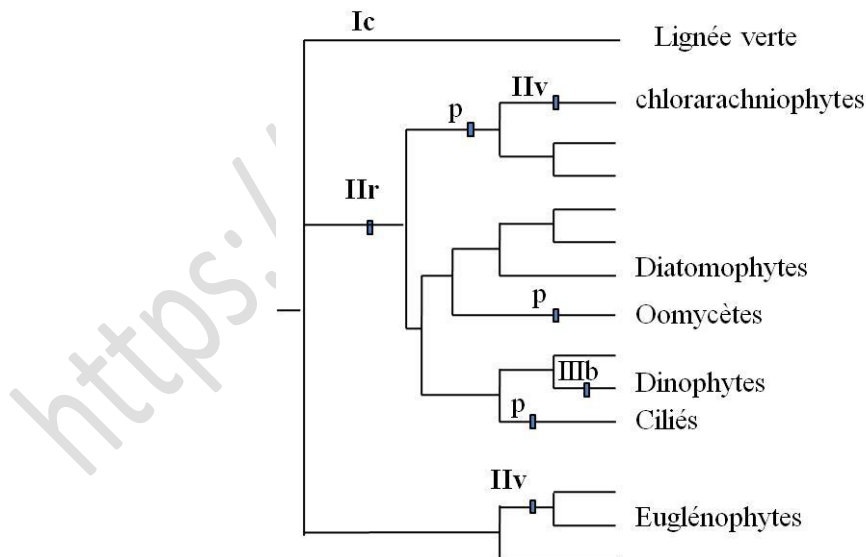


Fig. 7. Arbre phylogénétique des principaux taxons chlorophylliens. Les acquisitions de plastes par endocytose I, II et III (c: Cyanophycée, r: algue rouge, v: algue verte, b: algue brune), p : perte du plaste

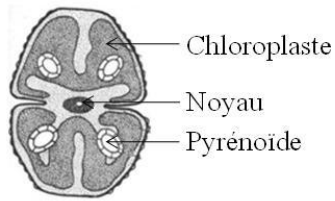
3. DIVERSITE DE L'APPAREIL VEGETATIF

Classiquement, deux grands types d'appareil végétatif ou plan d'organisation sont distingués chez les groupes végétaux :

3.1. Thalle : il représente un appareil végétatif constitué d'un ensemble de cellules indifférenciées (plus ou moins identiques) c.-à-d. non spécialisées dans des fonctions. Les cellules assurent la nutrition minérale et la photosynthèse et restent **polyvalentes**. Ce type de plan d'organisation est adapté au milieu aquatique. Différents types de thalles peuvent être distingués selon le type de divisions cellulaires dont ils dérivent et selon les relations entre les cellules ainsi formées :

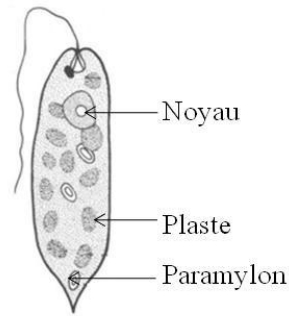
- **Archéthalles** : ce type de thalle se rencontre chez les formes les plus simples. Ce sont soit des cellules uniques (ex. de *Chlamydomonas*) soit sous forme de colonies de cellules toutes semblables entre elles (Fig. 8). Ces colonies peuvent être sous forme filamenteuse (**trichome**) et n'ont ni base ni sommet (pas d'orientation). Elles peuvent être également sous forme de colonies à nombre défini de cellules (ou **cénobe**) comme *Scenedesmus*, *Pediastrum*...

1- dissocié entraîné par l'eau



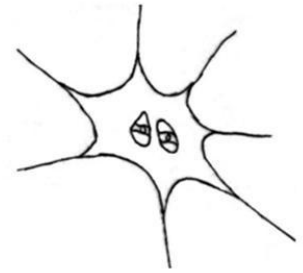
Cosmarium

2 - monadoïde



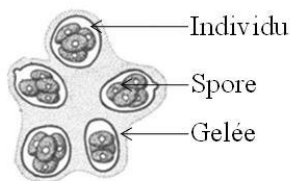
Euglena

3 - amiboïde ou plasmodial



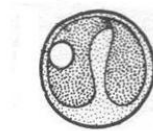
Rhizochrysis

4 - Palmelloïde



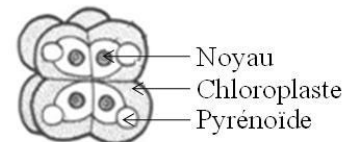
Chlamydomonas palmelloïde

5 - Coccoïde



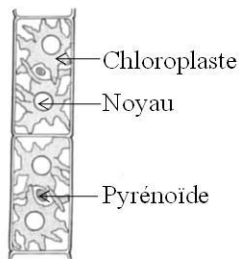
Clorella

6 - Massif (sans gelée)



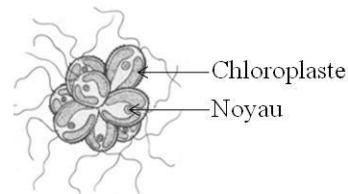
Pleurococcus

7- Trichoïde



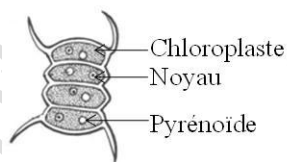
Zygnema

8- Colonial

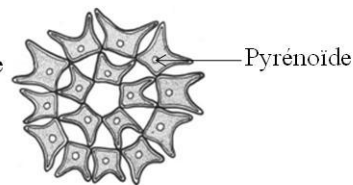


Symura

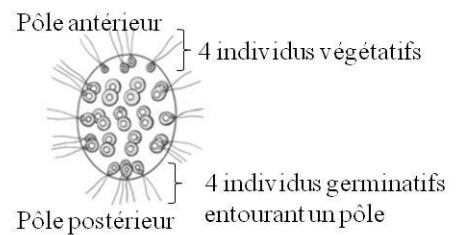
9- Cœnobial



Scenedesmus



Pediastrum duplex



Eudorina illinoensis

Fig. 8: Différents types d'archéthalles

- **Protothalles ou nématothalles** : l'appareil végétatif est formé de filaments rampants sur un substrat sur lesquels peuvent se développer des filaments dressés. Le prothalle peut être constitué uniquement de filaments rampants ; dans ce cas, il est appelé prothalle **prostré** ou uniquement de filaments dressés (le filament prostré est réduit à une seule cellule) ; dans ce cas, il est appelé prothalle **érecté** (Fig. 9). On distingue les **protothalles haplostiques** des **protothalles polystiques**.

Les protothalles haplostiques sont constitués d'une seule file de cellules (ex. *Cladophora sp.*). Les protothalles polystiques comportent plusieurs files de cellules. Le passage de la structure haplostique à la structure polystique se fait par bipartition diversement orientée. Dans ce cas, le thalle ne conserve pas toujours la structure filamenteuse. Il peut se présenter sous forme d'une lame plus ou moins foliacée **monostromatique** (*Enteromorpha intestinalis*) ou **bistromatique** (*Ulva lactuca*).

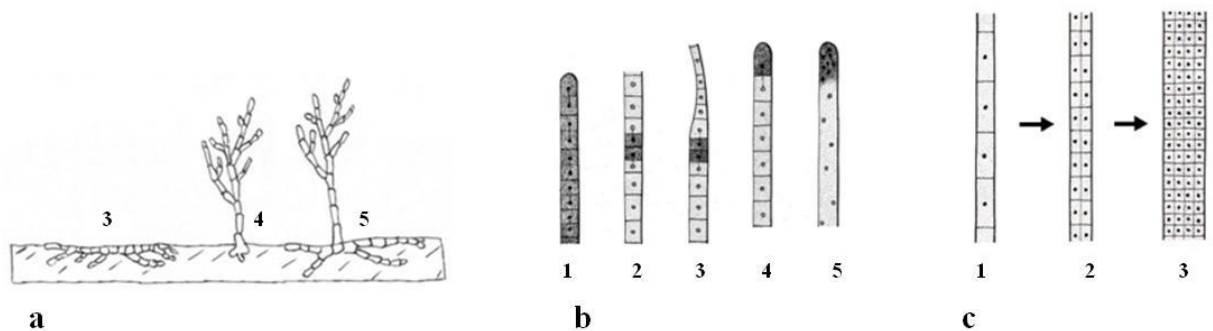


Fig. 9. Différents types de nématothalles

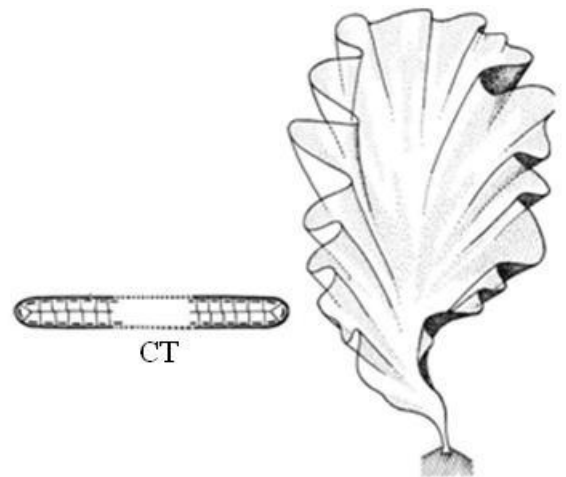
a. Différents types de thalle haplostique ; 3. Thalle prostré réduit aux filaments rampants ; 4. Thalle érecté sans filaments rampants ; 5. Thalle complet comportant, à la fois, des filaments rampants et des filaments dressés.

b. Croissance des filaments haplostiques ; 1. Filament à croissance atélomique (bipartition transversale de toutes les cellules) ; 2. Filament à croissance intercalaire ; 3. Filament à croissance trichothallique (intercalaire subterminale engendrant des cellules étroites et allongées vers l'apex) ; 4. Filament à croissance télomique (bipartition transversale des cellules initiales situées à l'apex) ; 5. Filament siphonné à croissance télomique

c. Passage d'un prothalle haplostique (1) à un prothalle polystique (3).



Enteromorpha intestinalis. Thalle constitué de tubes à paroi monostromatique (voir CT)



Ulva lactuca. Thalle foliacé bistrématique (la CT schématique montre le passage d'un tube monostromatique à la lame bistrématique par l'aplatissement de ce tube)

Fig. 9. Différents types de nématothalles (suite)

- **Thalle cladomien ou cladome** : il présente le niveau de complication structurale le plus élevé. Il est formé d'une partie prostrée plus ou moins développée sur laquelle se développe un ou plusieurs filaments à croissance continue porteurs de verticilles de filaments à croissance limitées appelés **pleuridies**. Le cladome peut être uniaxial ou multiaxial (Fig. 10).

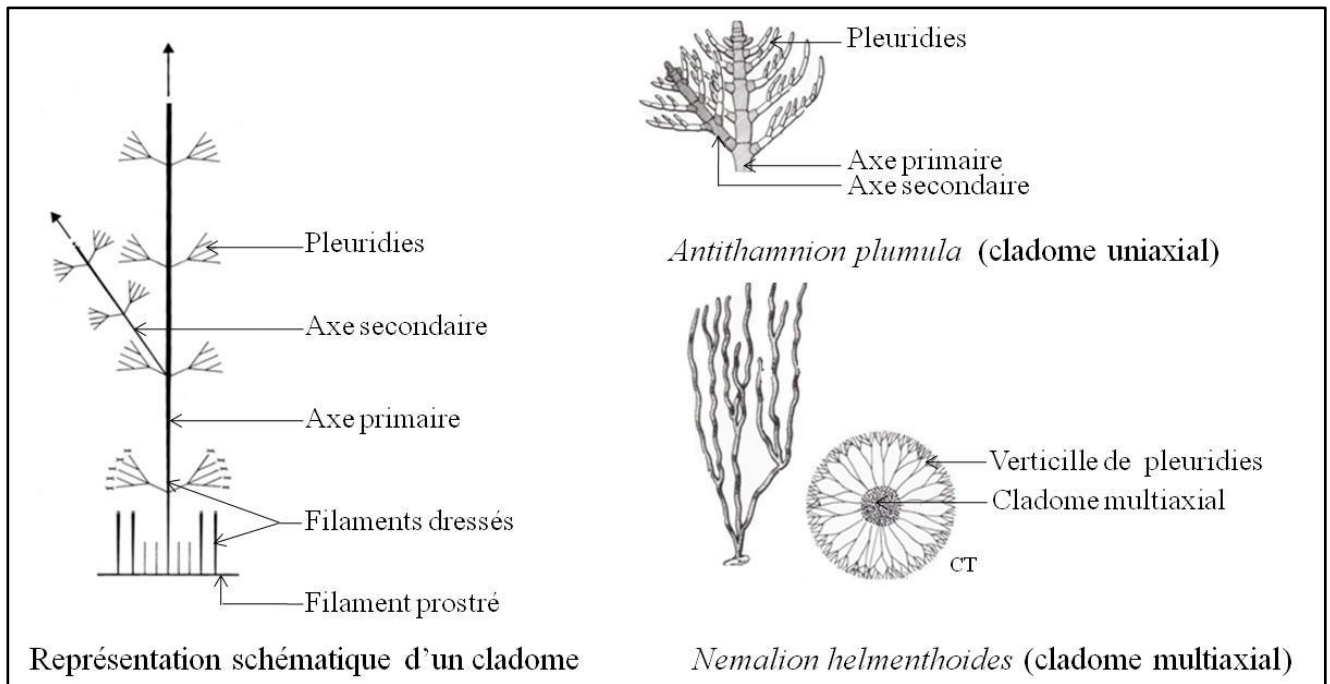


Fig. 10. Différents types de cladomes.

3.2. Cormus : c'est un appareil végétatif comportant une **tige feuillée**. Anatomiquement, le cormus présente différents types de cellules qui peuvent être associées en tissus. Un tissu est un ensemble de cellules spécialisées dans une même fonction telles que les cellules conductrices, sécrétrices, protectrices etc... Les organes de la tige feuillée sont :

- **La tige** est un organe à **symétrie radiale** qui porte ou qui a porté des feuilles au niveau des nœuds et dont la croissance est indéfinie. On distingue les tiges herbacées des tiges ligneuses.

- **Les racines ou les rhizoïdes :** La tige est reliée au substrat soit par des rhizoïdes soit par des racines. Les rhizoïdes sont des filaments constitués de plusieurs cellules alignées et non chlorophylliennes. Les Mousses possèdent des rhizoïdes. Les racines sont des organes à **symétrie radiale** qui ne porte jamais de feuilles et dont la croissance est indéfinie. On distingue les racines pivotantes des racines fasciculées.

- **Les feuilles** sont des organes à **symétrie bilatérale** portés latéralement par la tige et à croissance finie. Elles comportent généralement des tissus chlorophylliens et présentent une grande surface.

4. DIVERSITE DE LA REPRODUCTION :

La reproduction chez les végétaux est de deux types : sexuée et asexuée.

- La reproduction asexuée se fait :

- soit sans différenciation de structures spécialisées, par mitose pour les organismes unicellulaires ou par fragmentation de l'appareil végétatif.
- soit par production de structures spécialisées comme les spores mitotiques (unicellulaires) ou propagules pluricellulaires.

- **La reproduction sexuée** se fait par production de cellules spécialisées appelées **gamètes**. Il y a **isogamie** lorsque les gamètes sont morphologiquement et biologiquement identiques ; **planogamie** lorsque les deux gamètes sont flagellés. Il y a **anisogamie** lorsque les deux gamètes sont différents. L'**oogamie** est un cas extrême de l'anisogamie où le gamète femelle accumule des réserves et devient très gros et il est sans flagelle (**immobile**). Il y a **zoïdogamie** lorsqu'un seul gamète (ou spermatozoïde) est muni de flagelles. Il y a **siphonogamie** lorsque le gamète mâle est acheminé par un tube jusqu'au gamète femelle, sans libération dans le milieu aquatique (tube pollinique par exemple). Il y a **trichogamie** lorsque le gamète mâle ou **spermatie** est dépourvu de flagelle. Il est libéré dans le milieu aquatique et se déplace passivement au gré des courants. Il est retenu par une expansion du gamétocyste femelle en forme de poil (**trichogyne**).

5. DIVERSITE DES CYCLES DE REPRODUCTION OU DE DEVELOPPEMENT

Un cycle comporte une ou plusieurs générations. Une génération est une partie du cycle de reproduction comprise entre deux états unicellulaires (spores ou gamètes). Elle est toujours marquée par une phase de croissance par mitose ou par agrandissement cellulaire dans le cas des organismes unicellulaires. Selon le nombre de générations dans un cycle, on distingue :

- Un cycle **monogénétique** est constitué d'une seule génération allant de la formation d'un œuf (zygote) à la formation de l'œuf suivant. Il est représenté soit par un sporophyte soit par un gamétophyte (Fig. 11). Ces cycles sont caractéristiques des organismes à thalle (*Chlamydomonas sp.*, *Zygnema sp.*, *Fucus sp.*, *Cystoseira mediterranea*).

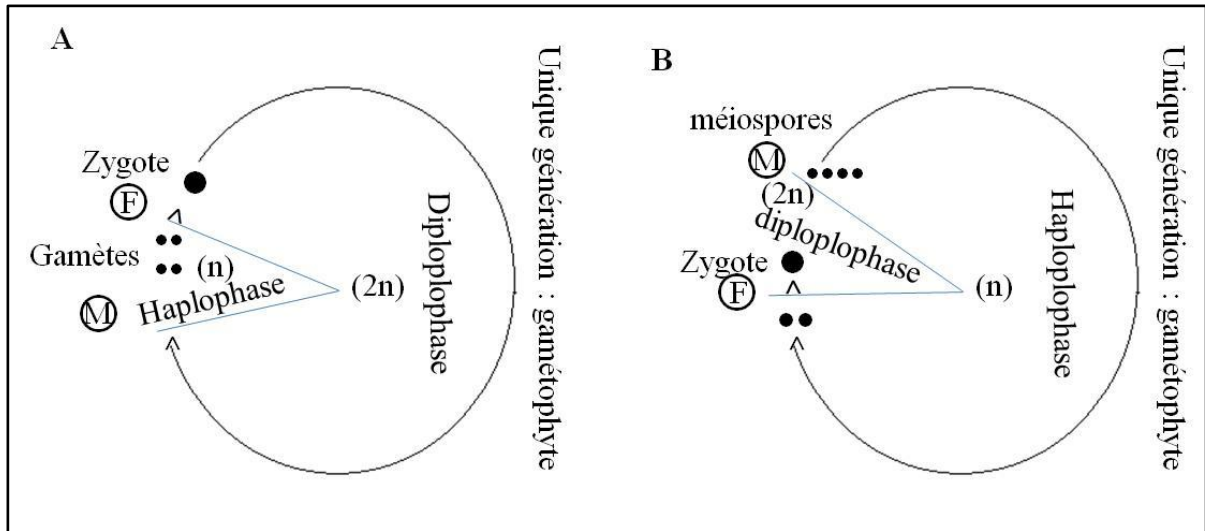


Fig. 11. Cycles monogénétiques. A. diplophasique, B. haplophasique.

- Un cycle **digénétique** dans le quel deux générations se succèdent alternativement : un gamétophyte issu d'une méiospore et un sporophyte issu d'un œuf (Fig. 12). Ce cycle présente plusieurs variantes en fonction de la morphologie des deux générations. Le cycle est **isomorphe** si le gamétophyte et le sporophyte sont morphologiquement identiques et ne peuvent être distingués que par la nature des produits émis (gamètes ou spores) ex. *Ulva lactuca*, *Laminaria sp.*; il est **hétéromorphe** si le gamétophyte et le sporophyte sont morphologiquement différents. Ex : Mousses, Ptéridophytes.

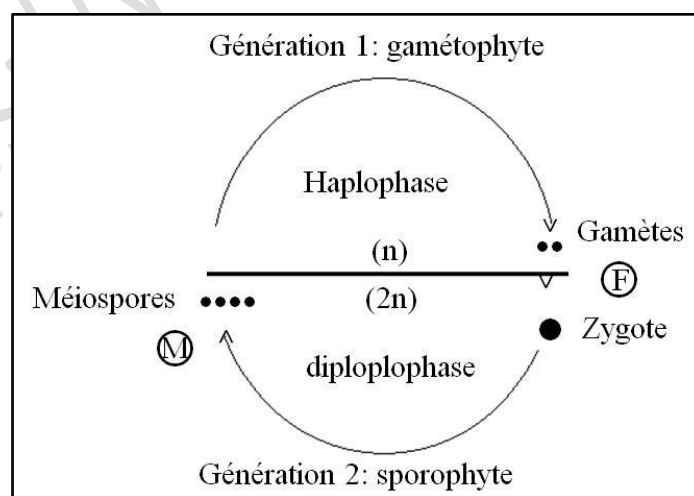


Fig. 12. Cycle digénétique haplodiplontique.

- Un cycle **trigénétique** est caractéristique des Rhodobiontes, des Ascomycètes et des Basidiomycètes basales. Chez ces organismes à thalle, la génération supplémentaire est un **carposporophyte** intercalé entre le gamétophyte et le sporophyte (Fig. 13). Le carposporophyte est caractérisé par sa taille très réduite et par son caractère parasite du gamétophyte femelle. Ex : *Antithamnion plumula*, *Polysiphonia elongata*, *Aleuria sp.*

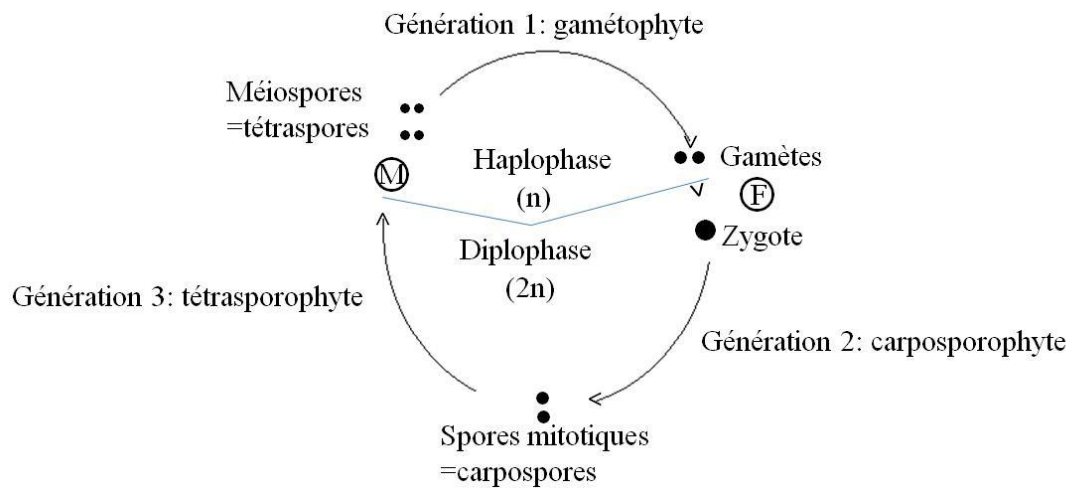


Fig. 13. Cycle Trigénétique

6. PHYLOGENIE ET DESCRIPTION DES GROUPES VEGETAUX

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

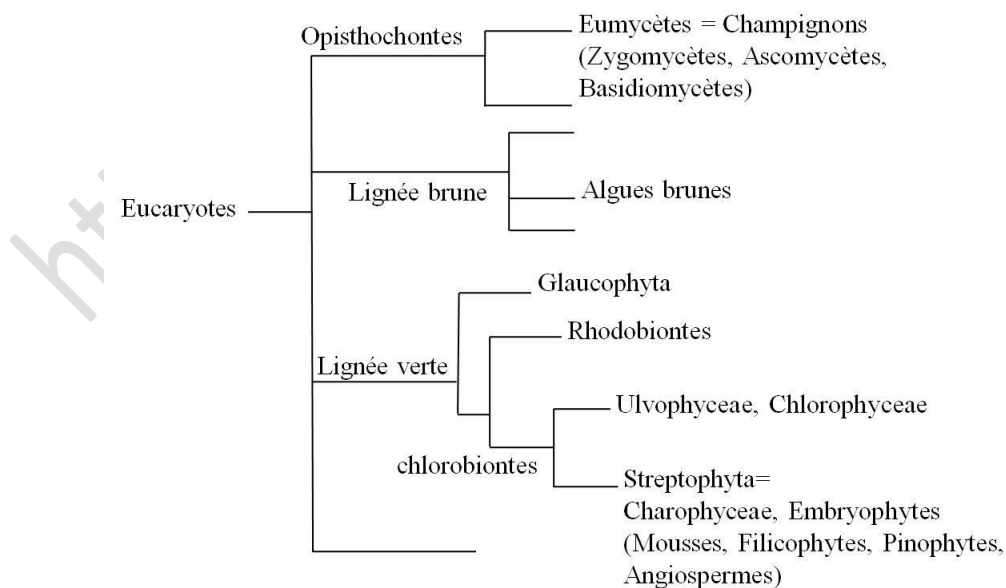


Fig. 14. Principaux groupes à étudier dans le cours

Cyanobactéries ('cyanophytes')

Introduction

Les Cyanobactéries ou 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** (bleues) et des **phycoérythrines** (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.

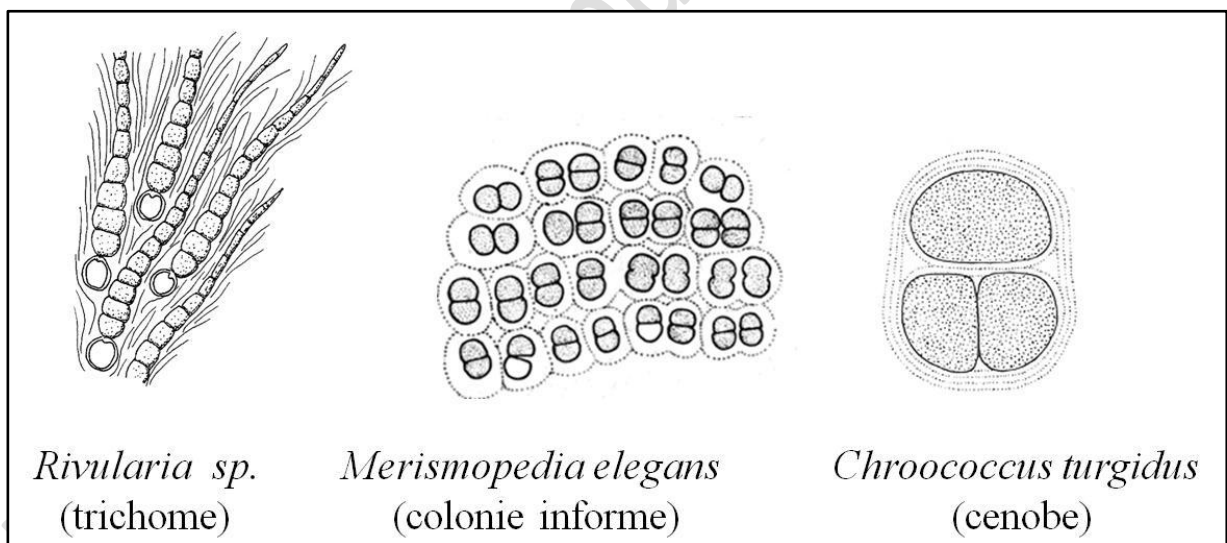


Fig. 15. Exemples de thalle chez les Cyanobactéries

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 (peptidoglycane) rencontrée chez les bactéries Gram⁻.

- 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 **phycoerythrine**s (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, cristaux polypeptidiques, volutine, globules lipidiques) et des vacuoles à gaz dites **airosomes** (ou aérotopes) chez les espèces planctoniques flottantes.

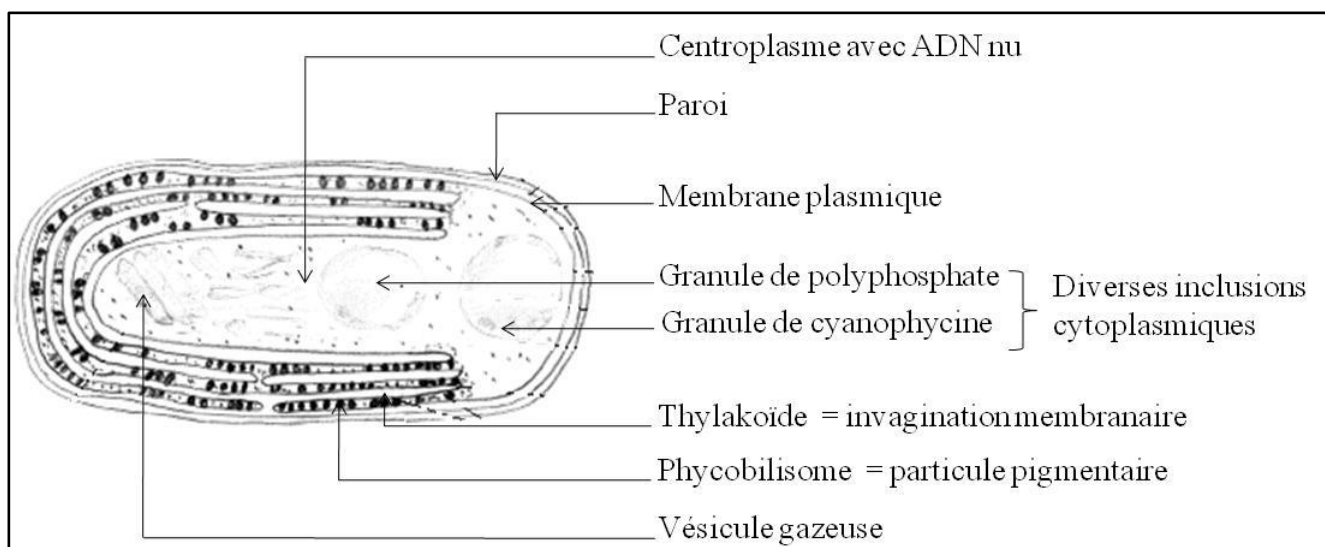


Fig. 16. Ultrastructure d'une Cyanobactérie

3. MOBILITE

Les Cyanobactéries n'ont pas d'appareil locomoteur. Certaines espèces comme *Cyanothece aeruginosa* glissent et laisse derrière elle une trainée de mucilage. *Oscillatoria* comme son nom l'indique est l'objet d'oscillations facilement observables sous microscope optique. Les spirulines se déplacent à la manière d'une vice s'enfonçant dans du bois.

4. MODE NUTRITIONNEL

Certaines Cyanobactéries sont strictement autotrophes, d'autres le sont de manière facultative. En effet, certaines Oscillaires pigmentées peuvent croître à l'obscurité en utilisant une source de carbone organique. *Spiriluna* et *Oscillatoria augusta* sont non chlorophylliennes et vivent en saprophytes comme les bactéries. Certaines espèces sont symbiotiques avec divers taxons comme les champignons (lichens).

5. 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).

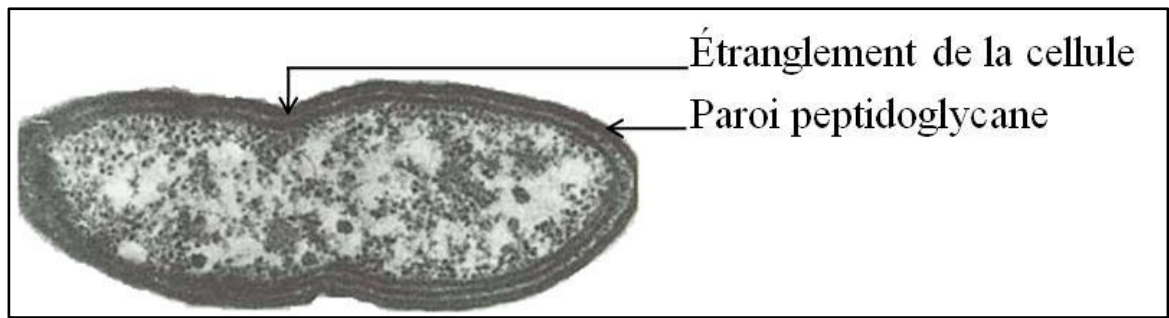


Fig.17. Ultramicrographie d'une cellule de Cyanobactérie en division binaire

- 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

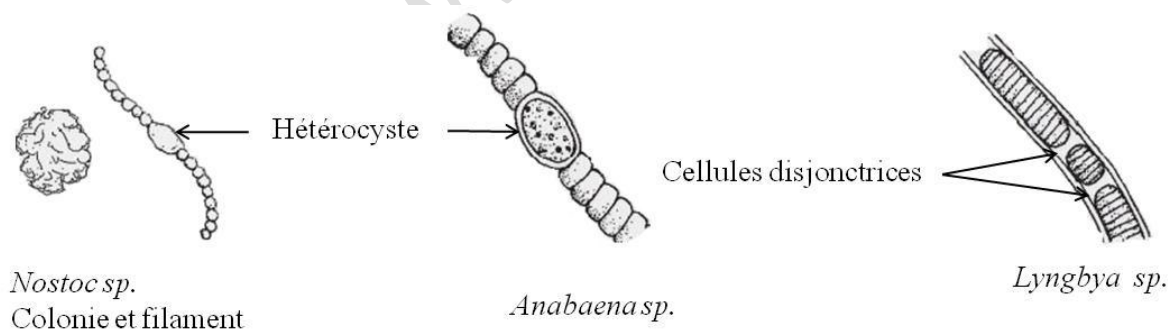


Fig. 18. Colonies de Cyanobactéries montrant des hétérocystes et des cellules disjonctrices.

- 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)

<https://www.opu-lu.cerist.dz/>

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 Opisthocontes, elle est réinventée par la voie biochimique de l' α -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 phagotrophie. 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 **siphonomycètes** (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. Dans ce cas, il existe deux types de spores : spores **directes** et spores **méiotiques**. 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).

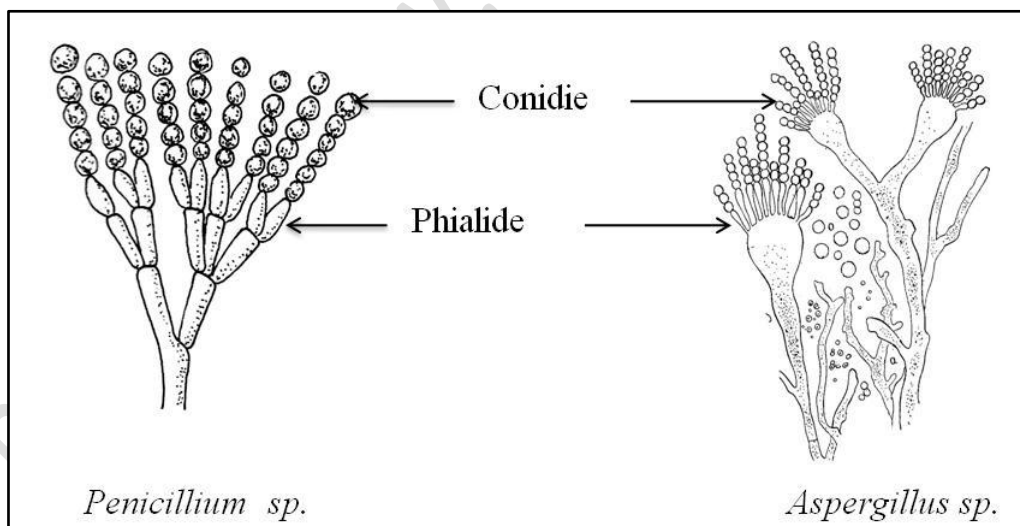


Fig. 19. Mycélium de *Penicillium sp.* et de *Aspergillus sp.* montrant des conidies et des phialides

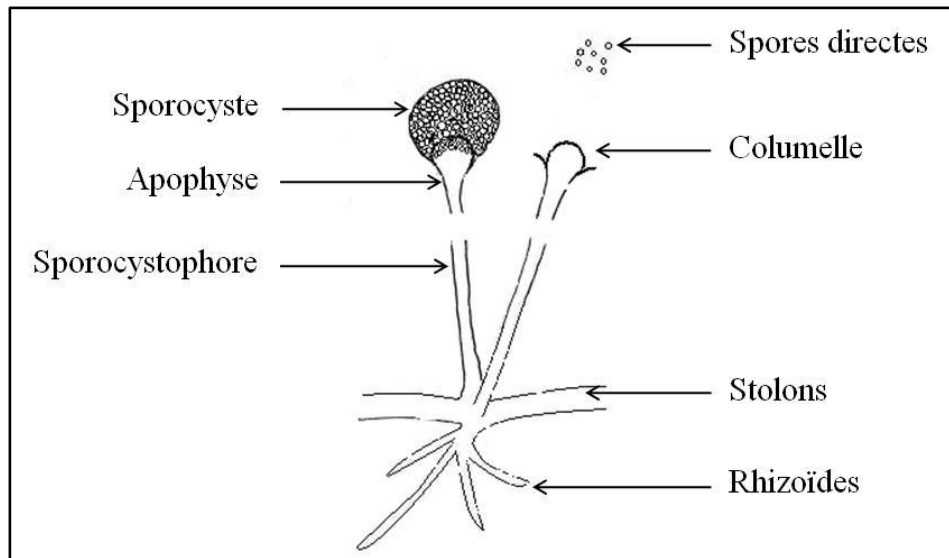


Fig. 20. Mycélium de *Rhizopus nigricans* montrant des spores directes et des stolons.

Les spores méiotiques mettent fin à la phase sporophytique diploïde ou dicaryotique. Formées par méiose, elles sont toujours haploïdes.

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.

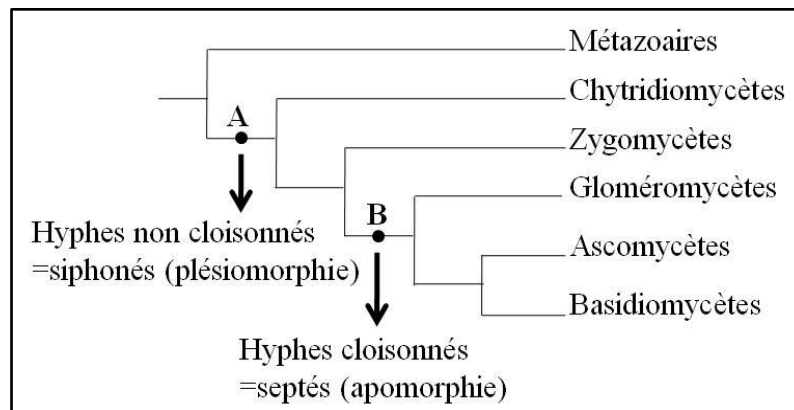


Fig. 21. Arbre phylogénétique simplifié des Eumycètes

4.1. Les Chytridiomycètes ou Chytridiomycota sont des organismes coenocytiques, conservant éventuellement des cellules flagellées et un centriole (zoospores). Ils correspondent à des espèces aquatiques. On les considère comme un taxon basal (plus ancien) des autres Eumycètes.

4.2. Les Zygomycètes *s.l.* ou Zygomycota sont des espèces à spores non flagellées (spores inertes tuniquées), à thalles siphonnés et présentant une **zygospore** (synapomorphie) issue de l'enkystement d'un zygote subissant immédiatement la méiose (cycle entièrement haplophasique). Ce sont des champignons symbiotiques (endomycorhiziens), saprophytes (*Rhizopus nigricans*) ou parasites (mycoses). Chez les **Zygomycota** ou Zygomycètes *s.l.*, on distingue deux sous clades : les **Zygomycètes s.s.** et les **Trichomycètes**.

Cycle de reproduction des Zygomycètes : La reproduction sexuée se fait par **cystogamie** ou **conjugaison** des gamétocystes. Il y a formation d'un zygote qui s'enkyste après avoir subi une méiose (**zygospore**). Le cycle est **monogénétique haplophasique** (Fig. 22).

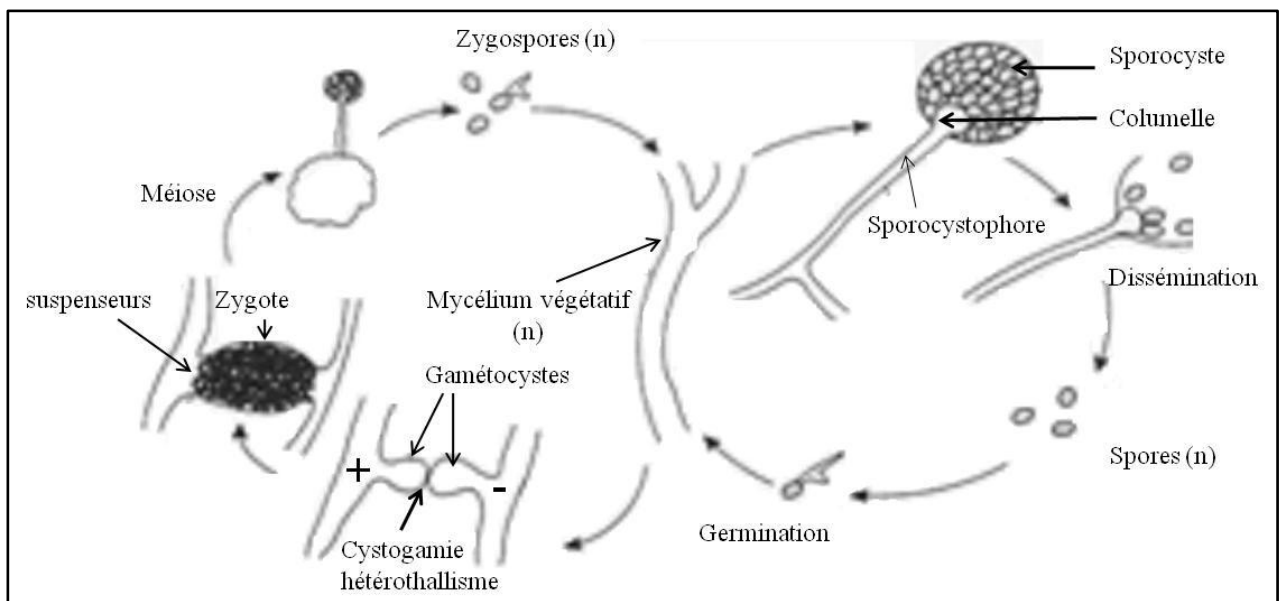


Fig. 22. Cycle biologique d'un Zygomycète. Cycle monogénétique haplophasique

4.3. Les Ascomycètes constituent un groupe très vaste avec environ 32 000 espèces et très important sur le plan économique. *Penicillium* est utilisé en pharmacologie, *Saccharomyces* en agroalimentaire, les morilles et les truffes sont comestibles. Certains Ascomycètes sont parasites des plantes provoquant des maladies. C'est le cas de l'oïdium parasite de la vigne.

- Caractères généraux des Ascomycètes

Le thalle est cloisonné filamenteux, cladomien ou levuriforme. La paroi est chitineuse ou chitino-callosique sans cellulose. La chitine est à base d'acétyl glucosamine ; la callose est un polyglycoside. Ils sont caractérisés par l'absence de **zoïde** (les spores sont inertes et tuniqueées). La reproduction peut se faire soit par voie asexuée par production de conidies soit par voie sexuée par trichogamie (entre le gamétocyste femelle ou **ascogone**, surmonté d'un **trichogyne** et un gamétocyste mâle ou **anthéridie**, contenant des gamètes mâles immobiles ou **spermaties**).

- Cycle de reproduction des Ascomycètes

La fécondation chez les Ascomycètes donne naissance à la formation d'abord d'un **sporophyte I** microhaploïde (vésicule avec de nombreux noyaux mâles et femelles non fusionnés) puis d'un **sporophyte II** dicaryotique (après cloisonnement) qui se développe en un appareil sporifère appelé **ascocarpe** ou **ascome**. Le sporophyte II donne des sporocystes appelés **asques** contenant un nombre limité de spores méiotiques endogènes ou **ascospores**. Le cycle de développement est trigénétique (Fig. 23).

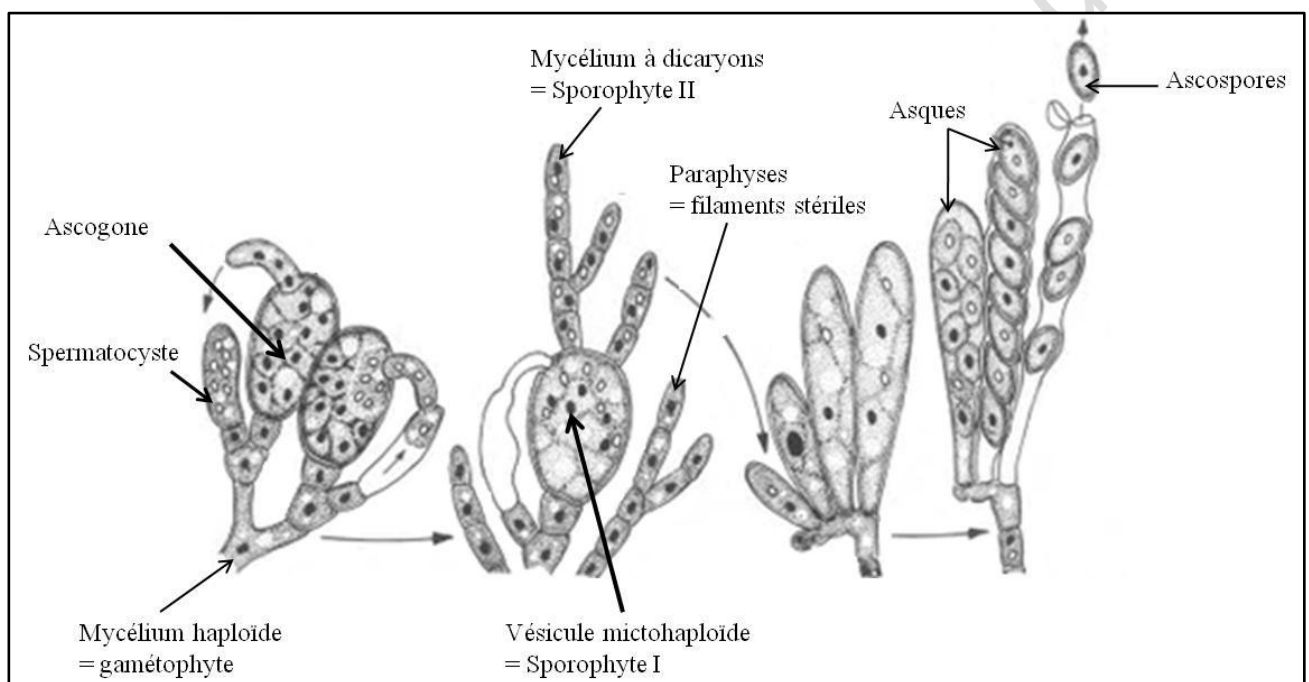


Fig. 23. Cycle de développement d'une Ascomycète. Cycle trigénétique.

- Classification des Ascomycètes

Les Ascomycètes se subdivisent en trois sous embranchements : Taphrinomycotina, Saccharomycotina et Pezizomycotina (Fig. 24).

Les **Taphrinomycotina** appelés aussi Archiascomycètes sont sans ascocarpes, asques nus disposés sans ordre précis.

Les **Saccharomycotina** ou Hémiascomycètes sont sans ascocarpes et les asques donc nus.

Les **Pezizomycotina** ou Euascomycètes forment des asques dans des ascocarpes.

Les ascocarpes sont des structures mycéliennes donnant des asques. Les ascocarpes largement ouverts sont des **apothécies** et les ascocarpes fermés ou ouverts par un petit ostiole sont des **périthèces**.

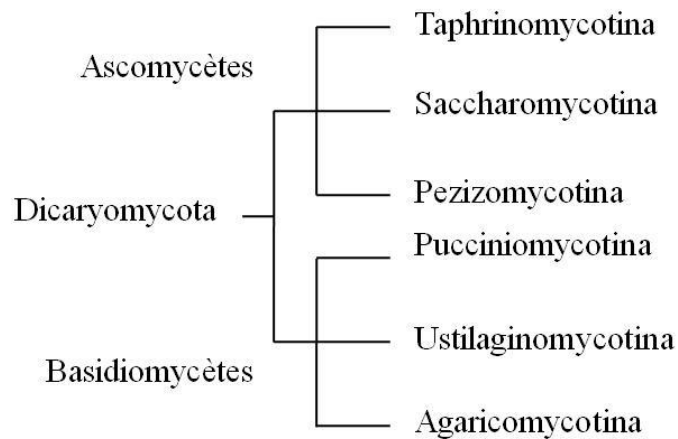


Fig. 24. Relations phylogénétiques chez les Dicaryomycota

4.4. Les Basidiomycètes sont des champignons sans zoïdes avec un thalle septé (cloisonné) comme chez les Ascomycètes avec qui ils forment deux groupes frères. L'appareil sporophytique produit des spores exogènes appelées **basidiospores** portées par des **basides** (homologues des asques). On distingue 3 types de basides (Fig. 25).

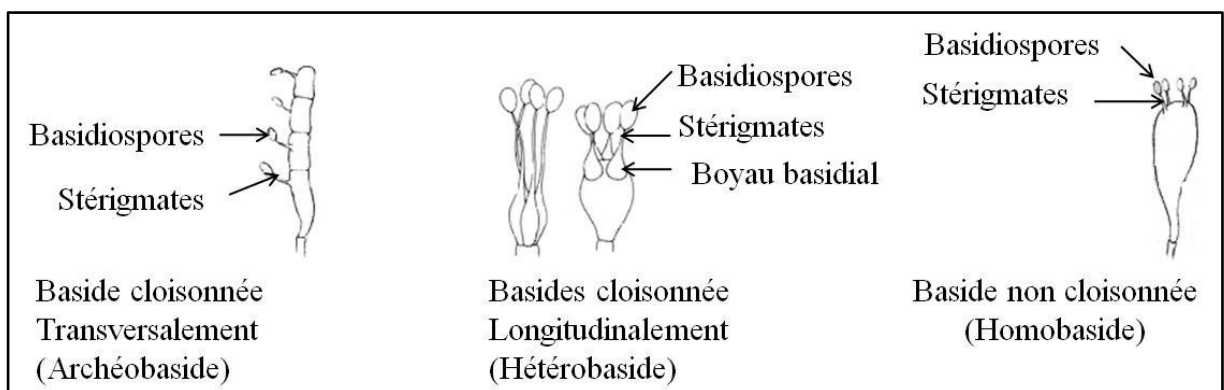


Fig. 25. Différents types de basides.

- Reproduction chez les Basidiomycètes

La reproduction asexuée se fait par la production, par le gamétophyte, de **thallospores** ou **conidiospores**. La reproduction sexuée se fait par plasomgamie entre deux cellules morphologiquement indifférenciées appartenant à deux filaments voisins. La gamie est une **périttogamie** ou **somatogamie**. La périttogamie aboutit à la formation d'un mycélium secondaire dicaryotique. La caryogamie se fait dans les basides aboutissant à la formation de noyaux diploïdes ($2n$) qui subissent ensuite le processus de méiose permettant le passage à l'état haploïde (n). Ces noyaux haploïdes migrent ensuite dans les basidiospores à l'extrémité des basides (Fig. 26). Les basides sont disposées dans une couche fertile appelée **hyménium**. L'hyménium est contenu dans une fructification qui porte le nom de **carpophore**. Le cycle chez quelques Basidiomycètes est trigénétiq (phase haploïde, phase sporophytique mitohaploïde et phase sporophytique dicaryotique chez les Pucciniomycotina par ex.). Chez les autres, le cycle est réduit à deux générations (Fig. 27).

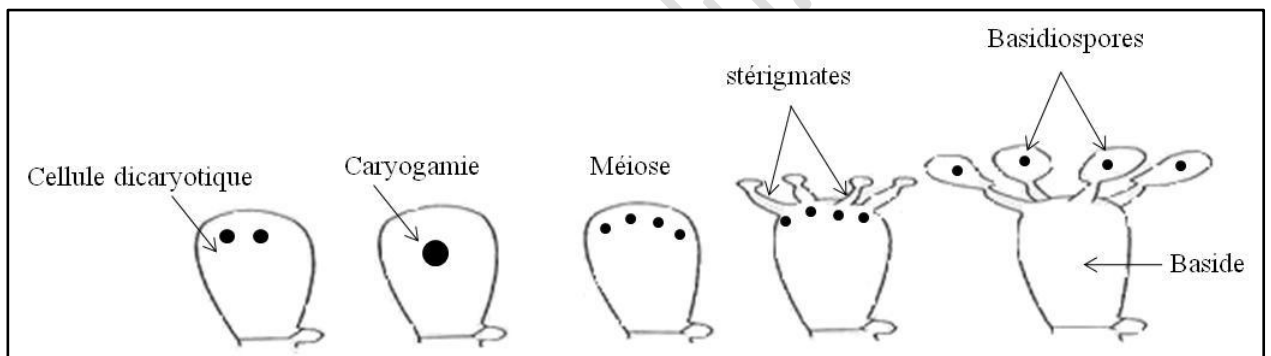


Fig. 26. Formation de basidiospores.

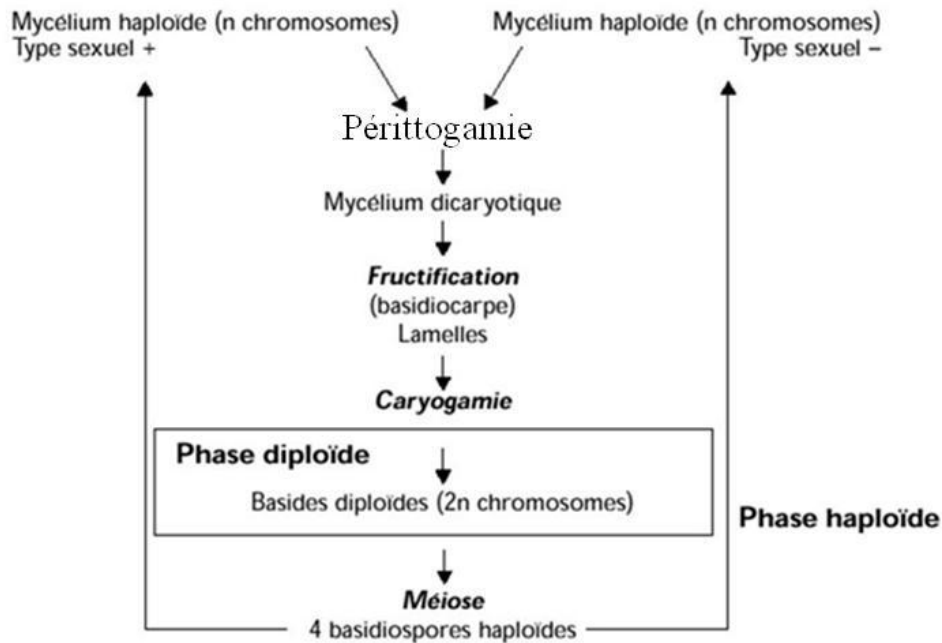


Fig. 27. Cycle digénétique diplohaplophasique chez les Basidiomycètes

Classification des Basidiomycètes

Les basidiomycètes regroupent 3 clades (Fig. 24) : Les Pucciniomycotina, les Ustilagomycotina et les Agaricomycotina.

Les Pucciniomycotina

Les Pucciniomycotina (anciennement appelés Urédiniomycètes) comprennent 7500 espèces. Ce sont pour la plupart des champignons parasites obligatoires de plantes (surtout conifères et plantes à fleurs). D'autres vivent sous formes saprophytes ou parasites d'insectes et de champignons. Quelques espèces se sont adaptées à la vie aquatique des eaux douces et marines. Pour beaucoup d'espèces les spores sont nombreuses et sont rousses d'où le nom de **rouilles** donné à ces champignons. Actuellement 4 groupes sont distingués : Pucciniomycètes, Microbotryomycètes, Agaricostilbomycètes, Cystobasidiomycètes.

Les Ustilagomycotina

Les Ustilaginomycotina regroupent environ 1300 espèces qui sont des parasites de plantes à fleurs avec un seul hôte et sont donc des pathogènes. A la fin de l'infection, ils forment souvent des amas de spores noires d'où le nom de **charbon** qui leur a été donné.

Deux grands groupes sont reconnus sur la base des données moléculaires : Ustilaginomycètes et les Exobasidiomycètes

Les Agaricomycotina

Les Agaricomycotina (Hyménomycètes) regroupent la majorité des basidiomycètes. Dans ce groupe, on trouve des champignons comestibles comme les champignons de Paris, les girolles, les bolets mais aussi des champignons toxiques comme les amanites. La majorité de ces champignons sont des saprophytes. Quelques-uns sont symbiotes (lichens, mycorhiziens). Enfin, certains sont de dangereux parasites des arbres et même de l'homme.

Quatre grands groupes sont reconnus sur la base des données moléculaires : Bartheletiomycètes, Trémellomycètes, Dacrymycètes, Agaricomycètes

Les Chromalvéolés

Les Chromalvéolés sont un ensemble d'organismes eucaryotes autotrophes très hétérogènes morphologiquement. Leurs plastes ont 4 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 grande 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 pyrénoidé 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**.

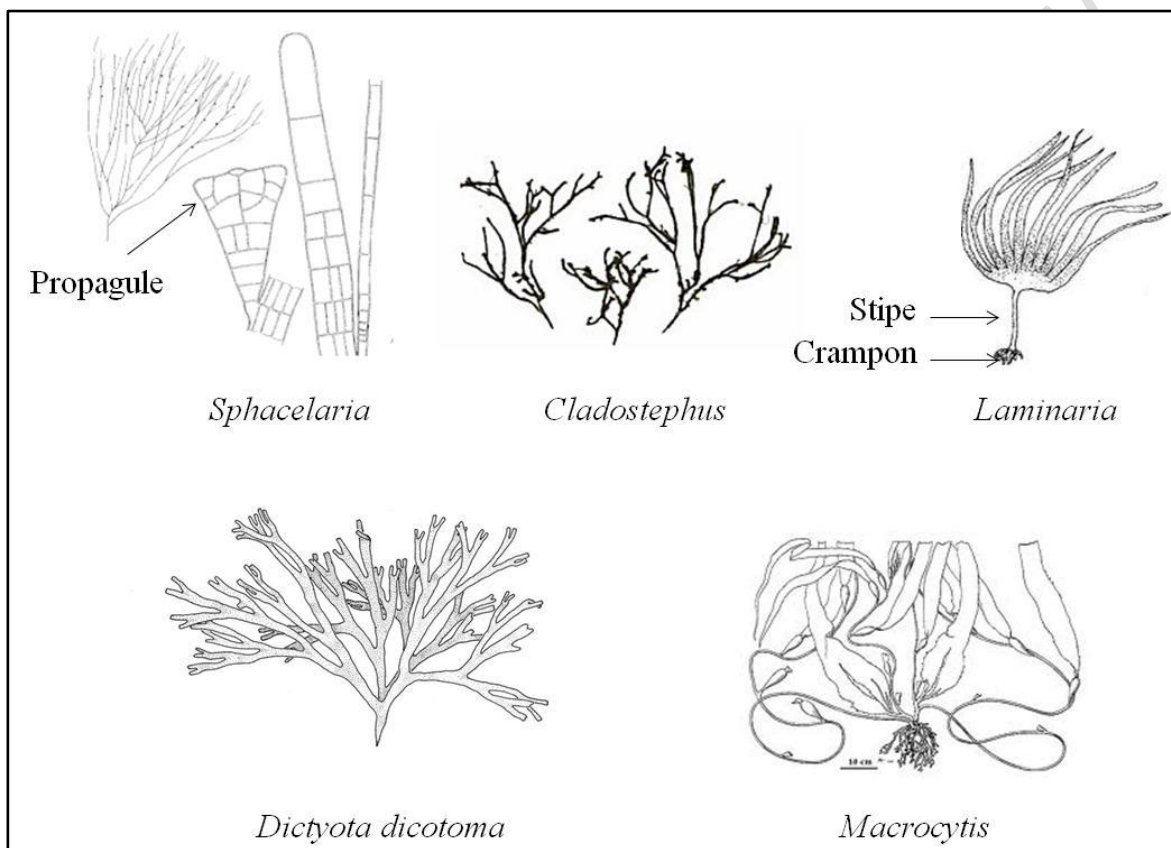


Fig. 28. Différents types de thalle chez les Phéophycées

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*.

3. DIATOMEES OU BACILLARIOPHYTES

Les **Diatomées** sont des organismes essentiellement unicellulaires parfois coloniaux. Les cellules sont enfermées dans un exosquelette siliceux à deux valves (fond et couvercle semblable à une boîte de Petri) appelé le **frustule** (Fig. 29). Elles ont toujours une forme très géométrique (cylindre, étoile, polyèdre...). Elles constituent une partie importante du phytoplancton des mers froides ou d'eau douce. Elles se reproduisent par mitose (les deux valves se séparent, reconstituant chacune une valve). De nombreuses espèces sont éteintes et ne sont connues qu'à l'état de fossiles grâce à leur carapace siliceuse. Les premiers fossiles de Diatomées remontent à 250MA.

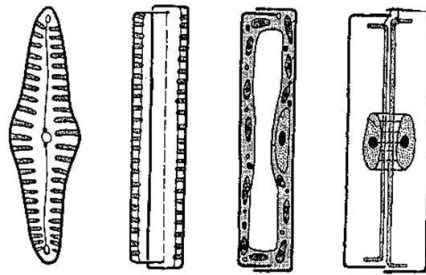


Fig. 29. Schéma de quelques types de frustules chez les Diatomées

Les diatomées sont un constituant majeur du phytoplancton et jouent donc un rôle primordial dans la vie des écosystèmes aquatiques. Elles sont souvent utilisées comme indicateur de qualité des eaux en raison de leur grande diversité et de leur sensibilité variable à la pollution (Indice Biologique Diatomique). Dans certaines régions du monde, l'accumulation de diatomées a donné naissance à une roche, claire, légère et poreuse appelée **diatomite**. Les diatomites sont utilisées surtout comme adjuvant de filtration et de clarification (sucreries, brasseries, raffineries ...). Elles ont également permis la conservation de nombreux organismes végétaux et animaux.

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 **Chlorobiontes** et les **Rhodobiontes** ou algues rouges (ces 2 derniers clades étant regroupés sous le terme de **Métaphytes**). Les **métaphytes** ont la possibilité de former des organismes pluricellulaires.

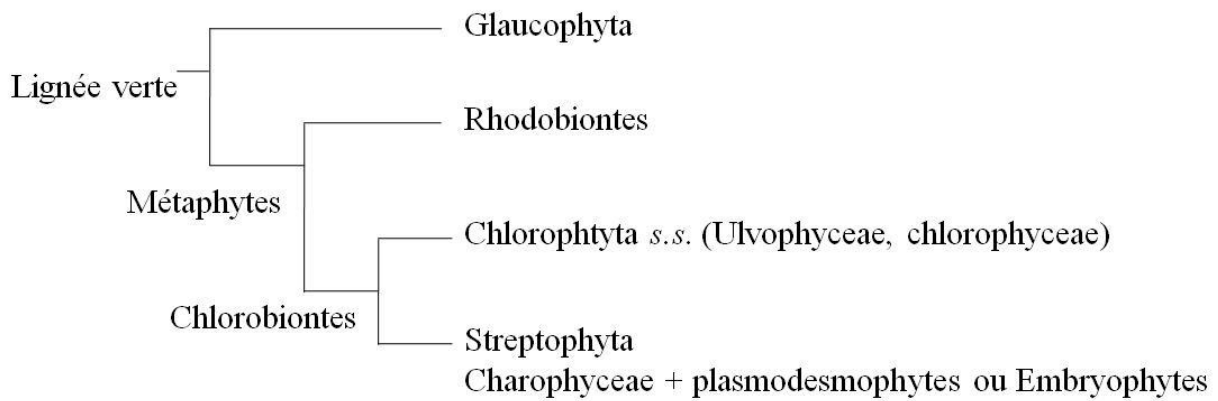


Fig. 30. Arbre phylogénétique de la lignée Verte

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 peptidoglycanes. 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 **phycoérythrine**s (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 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 dentifrices et comme anti-acide.

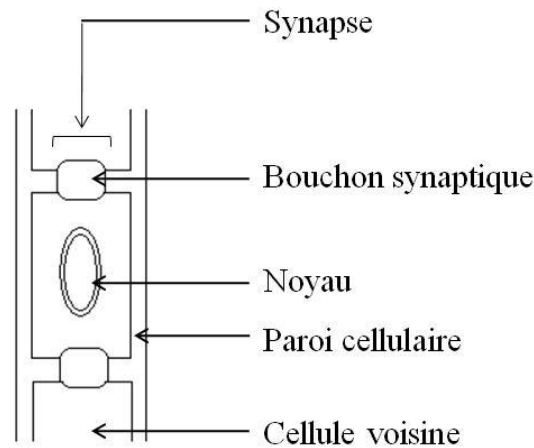


Fig. 31. Synapse d'une algue rouge (il existe de nombreuses variantes)

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+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.

Algues vertes

Les **algues vertes** constituent un groupe **paraphylétique** car certaines (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**.

Chlorophyta *stricto sensu*

On ne connaît pas de caractères dérivés propres 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. *Chlamydomonas* 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**. Très diverses dans leur morphologie et leur biologie.

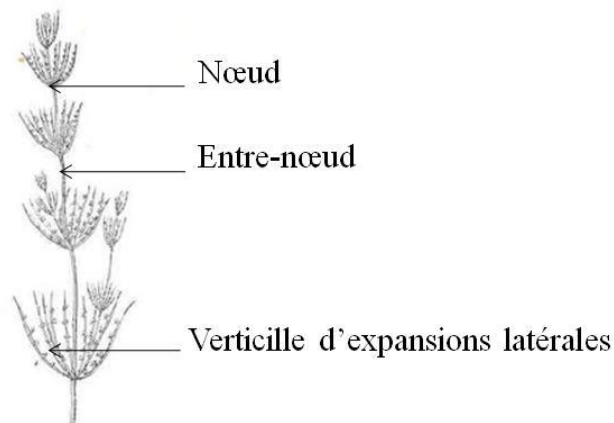


Fig. 32. Dessin de la morphologie d'une Charophyceae

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). On distingue entre autres groupes dans les Charophyceae :

- **Les Zygnématales :** La plupart des espèces de cet ordre sont unicellulaires mais il existe quelques espèces filamenteuses. Elles forment une bonne partie du plancton d'eau douce, quelques espèces sont benthiques. Elles sont dépourvues de flagelles et ont donc une mobilité réduite. Elles ont souvent des formes géométriques étonnantes. Elles ont un cycle haplobiontique. Deux cellules conjuguent, leurs cytoplasmes fusionnent ainsi que les noyaux pour donner un zygote diploïde qui s'entoure d'une paroi épaisse. Dans les conditions favorables, la méiose se produit pour donner naissance à de nouveaux individus haploïdes (de 1 à 4 par zygote).

- **Les Coléochaetales:**

De nombreuses données indiquent que ces algues sont avec les charales très proches des plantes terrestres : Les cellules sont connectées entre elles par des plasmodesmes ; les parois sont composées de cellulose et de lignine ; elles peuvent synthétiser également la sporopolléline et la cutine ; le zygote formé reste protégé par le thalle parental.

- **Les charales:** Ce sont des algues communes qui vivent principalement en eau douce. Leur thalle est composé de cellules géantes (jusqu'à plusieurs centimètres de longueur). Parmi les caractéristiques qui les rapprochent des plantes vertes, on trouve la présence de nombreux chloroplastes discoïdes, une ressemblance au niveau de l'ultrastructure du gamète mâle, et la protection de l'ovule avant la fécondation par une enveloppe de cellules stériles. Elles sont connues pour être très sensibles à diverses pollutions et constituent donc d'excellents révélateurs de la bonne santé écologique des milieux qui les abritent.

<https://www.opu-lu.cerist.dz/>

Les lichens

Définition

Les lichens ou **champignons lichénisés** sont des organismes composés, résultant d'une **association durable, stable et reproductible (symbiose)** entre un champignon appelé **mycobionte** (hétérotrophe) et une algue nommée **photobionte** (autotrophe). Le photobionte synthétise des glucides qui sont absorbés par le mycobionte. Le mycobionte livre l'eau et les sels minéraux au photobionte et assure sa protection contre la dessiccation. Le champignon est le plus souvent un Ascomycète et plus rarement un Basidiomycète du groupe des polypores. Le photobionte est soit une Nostocale dans 10% des cas (Cyanobactérie, procaryote) ou une Chlorococcales dans 85% des cas (Chlorophyceae, Eucaryote). Dans la construction du thalle, le photobionte est sous forme de **gonidies** (cellules dissociées) et le champignon est sous forme d'**hyphes**.

1. MORPHOLOGIE

L'appareil végétatif d'un lichen est un **thalle** (Fig.33). Deux principaux types de lichens se distinguent selon l'aspect du thalle : les **thalles gélatineux** et les **thalles secs**.

Dans les **thalles gélatineux**, les filaments du champignon se ramifient dans la masse gélatineuse des Cyanobactéries (*Nostoc*, par exemple) sans en altérer beaucoup la forme de la gonidie. A l'état sec, ils sont noirs, coriaces et friables. En présence d'eau, ils gonflent pour donner une masse gélatineuse (ex. *Collema pulposum*).

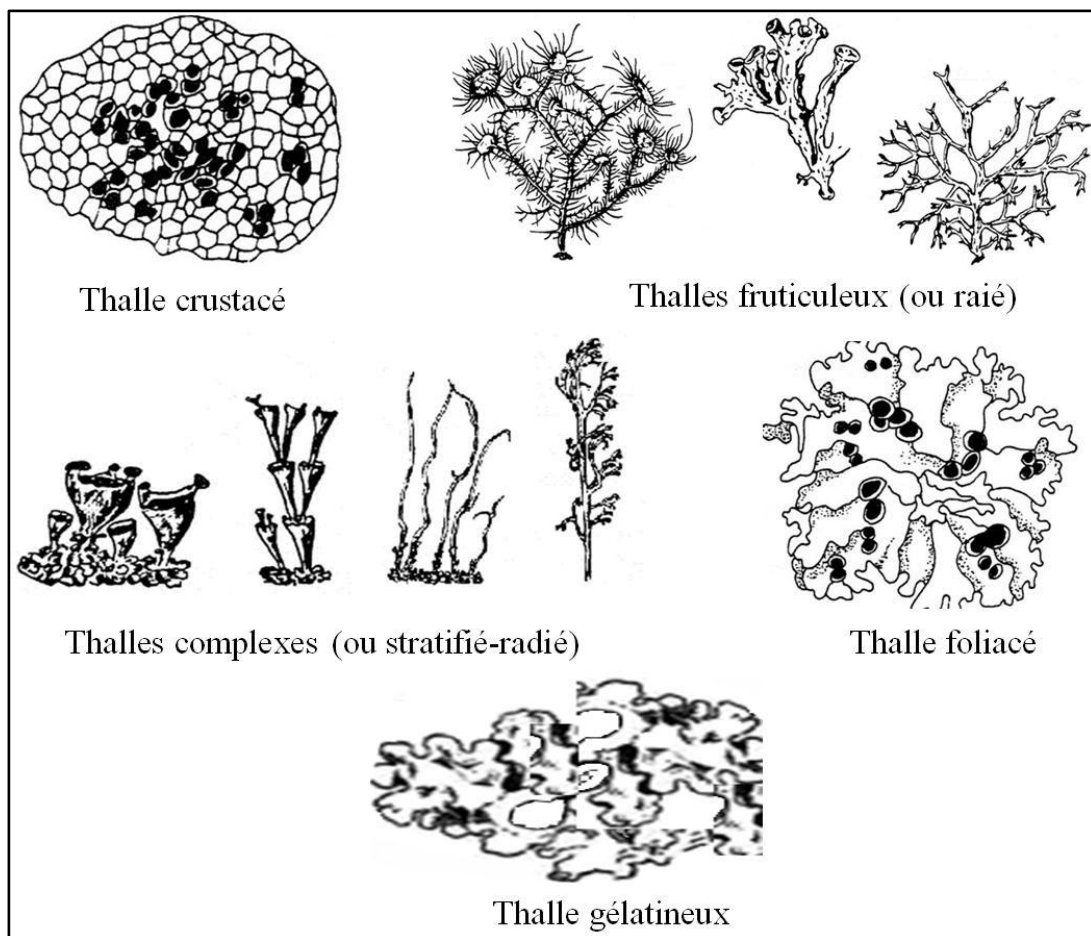


Fig. 33. Aspects morphologiques des lichens

Les **thalles secs** sont beaucoup plus fréquents que les thalles gélatineux. Les cellules vertes de l'algue sont emprisonnées dans les hyphes du champignon. Le thalle se présente sous forme d'écaillés, de croûtes, de filaments, de lanières ou de lobes. On distingue :

- Les thalles **encroûtant** ou **crustacés** qui peuvent s'étaler en croûte peu épaisse adhérant fortement au substrat (ex. *Lecanora*).

- Les thalles **foliacés** ont le thalle en forme de limbe foliaire plus ou moins lobé, attaché au substrat par des filaments appelés **rhizines**. Ils sont facilement séparables de leur support (ex. *Parmelia*, *Xanthoria*).

- Les lichens **fruticuleux** ont un thalle en forme arborescente plus ou moins ramifiée et à section ronde ou aplatie (ex. *Usnea*, *Ramalina*). Ils sont fixés à un support en un seul endroit par une base étroite.

- Les lichens **squamuleux** sont composés d'écaillés ou de lobes plus ou moins adhérents au substrat, mais pouvant facilement s'en détacher.

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

2. STRUCTURE ANATOMIQUE

Le thalle du lichen est formé par un réseau d'**hyphes** (ou mycélium du champignon). C'est au milieu d'un enchevêtrement de ces filaments que se trouvent les gonidies. Selon la répartition des gonidies, on distingue deux types de thalles :

- Le **lichen homéomère** présente un thalle homogène. Les hyphes et les gonidies sont mélangés dans les mêmes proportions dans toute l'épaisseur du thalle (Fig.34). Dans le genre *Collema*, la gonidie est une Cyanobactérie (*Nostoc*). On peut observer dans ce thalle une limite corticale supérieure et une limite inférieure.

- Le **thalle hétéromère** présente sur sa section transversale plusieurs couches. Les cellules de l'algue sont localisées en une couche dite verte ou **couche algale**. Une coupe transversale d'un lichen hétéromère foliacé (Fig.34), montre un **cortex supérieur** où les hyphes du champignon forment un réseau dense de filaments entrelacés constituant une couche protectrice. Sous cette zone, se trouve une **couche algale** où des hyphes entourent les cellules de l'algue. Sous cette couche se trouve la **zone médullaire** ou **médulle** formée exclusivement d'hyphes. En dessous de la médulle se retrouve une deuxième zone corticale appelée **cortex inférieur** qui peut présenter des filaments destinés à la fixation appelés **rhizoïdes** ou **rhizines**. Dans les thalles foliacés, la couche verte n'existe que vers la face supérieure du thalle. Chez les lichens fruticuleux, elle existe tout autour de la médulle.

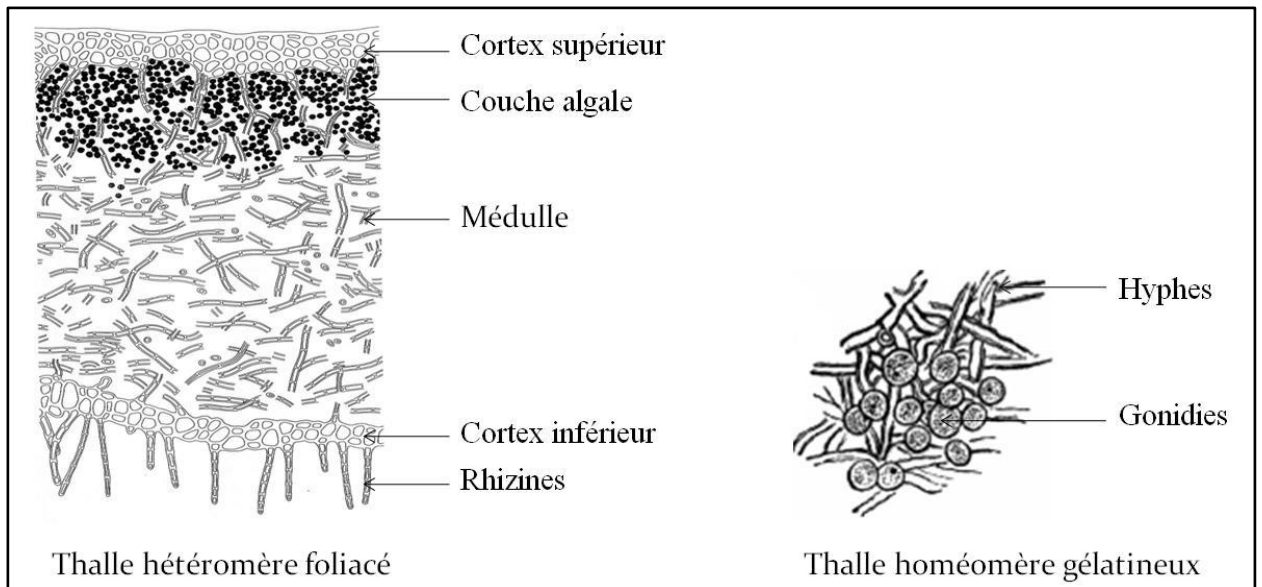


Fig. 34. Structure anatomique des lichens

3. REPRODUCTION

Les lichens montrent une reproduction sexuée et une reproduction asexuée.

La reproduction sexuée, assurée par le mycobionte, forme deux types de structures spécialisés (Fig. 35) : les **ascocarpes ouverts** ou **apothécies** (forme de cupules à la surface du cortex) et les **ascocarpes fermés** ou **périthèces** (forme d'outre ouverte par un petit ostiole, enfoncée superficiellement dans le thalle) productrices de spores méiotiques (ou **ascospores**).

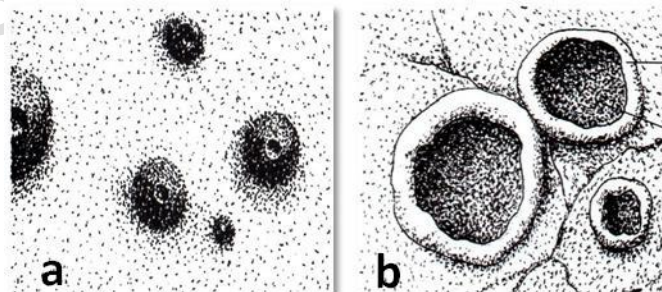


Fig. 35. Reproduction sexuée chez les lichens. **a** : Périthèce, **b** : Apothécie

La reproduction asexuée est réalisée par l'algue et le champignon en produisant des propagules par simple fragmentation du thalle (**bouturage**) ou à l'aide de structures spécialisées telles que:

- Les **isidies** sont des protubérances de formes variées (cylindriques, écailleuses ou spatuliformes) sur le cortex supérieur, contenant les deux symbiotes et se détachant du thalle ;
- Les **soralies** sont des masses farineuses ou granuleuses produisant des **sorédies**. Elles sont constituées de cellules algales entourées d'hyphes bien individualisées se détachant également (Fig. 36).

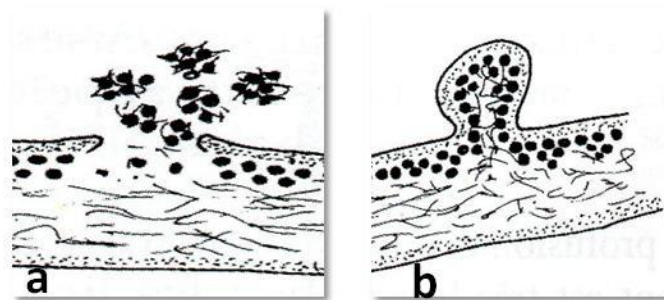


Fig. 36. Reproduction asexuée chez les lichens. **a** : soralie, **b** : isidie

Certains lichens du genre *Cladonia*, se brisent à l'état sec sous l'effet du piétinement formant des boutures naturelles.

La reproduction asexuée, réalisée par le mycobionte seul, se fait au moyen de **conidies** à l'extrémité des hyphes toujours enfoncés dans le thalle. Ces spores mitotiques sont disséminées en attendant la rencontre de l'algue compatible.

4. ECOLOGIE

Les lichens colonisent tous les milieux terrestres, où ils recherchent des supports stables (roches, écorces, sol nu...). Ils sont capables de s'incruster dans la roche et libérer des acides qui la désagrègent, contribuant ainsi, à la formation progressive du sol. Considérés comme les pionniers de la végétation, ils ouvrent alors la voie à toute une dynamique de colonisation végétale : les mousses, les fougères puis les plantes supérieures. Les lichens sont résistants aux conditions les plus difficiles et poussent même dans les milieux les plus extrêmes comme les îles volcaniques et la toundra arctique.

5. CLASSIFICATION

Les lichens ne constituent plus une unité systématique. Cependant, dans les classifications anciennes, ils sont entièrement intégrés aux champignons. Le nom attribué au lichen est celui du mycobionte. Ainsi, la classification de Zahlbruckner (1907, 1929) sépare deux sous classes :

- Les **Ascolichens** (le mycobionte est un Ascomycète), très fréquents, comprennent environ une cinquantaine de familles

- Les **Basidiolichens** (le mycobionte est un Basidiomycète) beaucoup moins fréquents, avec seulement 3 genres et moins de 20 espèces essentiellement tropicales

6. USAGES DES LICHENS

Les lichens représentent une source importante de nourriture pour de nombreuses espèces animales car ils renferment notamment une substance nutritive amylacée (**lichénine**). Le renne se nourrit exclusivement de *Cladonia rangiferinia*. Certaines chenilles de papillons nocturnes se nourrissent des lichens qui poussent sur les arbres. Dans l'alimentation humaine, certains peuples nordiques transforment *Cetraria islandica* en farine pour en faire du pain. En Asie, *Lecanora esculenta* ou 'manne du désert' est consommée par les paysans et par les animaux. Sur le plan industriel, ils servent dans la fabrication de teinture, de parfums et d'antibiotiques.

OUVRAGES UTILISES

- Abbayes H. (Des), Chadefaud M., Feldmann J., Ferre Y., Gausсен H., Grasse P.P. Et Prevot A.R., 1987.** Précis de botanique. Tome 1, Végétaux inférieurs. 2^e Ed. Masson, Paris, New-York, Barcelone, Milan. 722p.
- Amirouche N., Bouguédoura N., Hadj-Arab H., 2010.** Botanique, algues, champignons, lichens. Ed. Houma. Alger. 88p
- Amirouche N., Bouguédoura N., Hadj-Arab H., 2010.** Botanique. Les embryophytes. 2^e Ed. OPU. Alger. 103p.
- APG II. 2003.** An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society* **141**: 399–436.
- Carl R. Woese and George E. Fox, 1977.** The Concept of Cellular Evolution", *Journal of Molecular Evolution*, Vol.10, No.1, p.1-6. [DOI:10.1007/BF01796132](https://doi.org/10.1007/BF01796132).
- Chassany V., Potage M., Ricou M., 2012.** Mini Manuel de biologie végétale. Ed. Dunod. Paris. 226p.
- De Reviere B. 2002.** Biologie et phylogénie des algues. Tome 1 et 2. Ed. Belin.
- Dupont F., J. L. Guignard, 2007.** Botanique systématique moléculaire. 14^e Ed. Masson. 287p
- Gausсен H., Leroy J.F., Ozenda P., 1982.** Précis de botanique. 2. Végétaux supérieurs. 2^e Ed. Masson. Paris. 579p.
- Guignard J. L., 1989.** Botanique. 7^e Ed. Masson. Paris. 259p.
- Meyer S., C. Reeb, R. Bosdeveix, 2004.** Botanique biologie et physiologie végétales. Ed. Maloine. Paris 461p.
- Spichiger R.E., Savolainen V.V., Figeat M., Jeanmonod D., 2002.** Botanique systématique des plantes à fleurs. Une approche phylogénétique nouvelle des Angiospermes des régions tempérées et tropicales. 2^e Ed. Presses polytechniques et universitaires normandes. 413p.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA DE BEJAÏA



FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

Département du Tronc Commun des Sciences de la Nature et de la Vie

Polycopié de cours de botanique
Tome II : Les organismes à cormus

PAR OURARI MALIKA

Année académique 2013-2014

<https://www.opticalcerist.dz/>



Préambule

Public cible : Ce polycopié qui représente le tome II du cours de botanique est destiné aux étudiants 2^e année LMD en biologie, aux étudiants 2^e année en pharmacie et à tout public, s'intéressant à l'étude scientifique de la botanique (personnel des jardins botaniques, enseignants, adhérents des associations de protection de la nature).

Volume horaire global : 45 heures (cours), 30h (travaux pratiques, sortie sur le terrain).

Pré-requis : Connaissances de base de la biologie végétale (morphologie, anatomie, physiologie), notions d'écologie (biogéographie, habitat, bioclimat) et notions de base de génétique.

Contenu du cours : L'introduction générale à ce cours de botanique (donnée dans le tome I) traite des notions et concepts de base de la phylogénie et de la place des groupes végétaux dans le monde du vivant. La première partie du cours présentée dans le tome I traite de la position phylogénétique des grands groupes d'organismes à thalles (Cyanobactéries, les groupes d'algues eucaryotes, Eumycètes, lichens) et des différentes innovations évolutives qui ont émergé au cours de leur formation. Le tome II est consacré à l'étude des organismes à cornus appelés également Embryophytes (bryophytes *s.l.*, ptéridophytes *s.l.*, gymnospermes, angiospermes) et leurs caractères dérivés.

Objectifs pédagogiques du cours : les objectifs du cours de botanique et des travaux pratiques qui lui sont associés sont les suivants :

- Comprendre ce qu'est la phylogénie ;
- Identifier les groupes végétaux valides en phylogénie ;
- Aiguiser le sens de l'observation ; une des bases essentielles de la démarche du biologiste ;
- Décrire des échantillons botaniques en utilisant les termes adéquats ;
- Déterminer une espèce végétale donnée à l'aide de flores ;
- Collecter, conserver et préparer un herbier.

Evaluation : Examen final du cours théorique et évaluation continue par les comptes rendus des travaux pratiques.

Je présente mes vifs remerciements à Mme Zebboudj A., à Mme Bouallag L., à Mme Benmouhoub H. et à Mr Bouadam S., membres de l'équipe de botanique de l'université A. Mira, pour leur aide multiforme et leur concours à l'élaboration de ce travail.

Mes remerciements vont également aux membres de l'association 'Les amis de la nature' d'ADEKAR pour les photographies fournies pour la couverture.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
BRYOPHYTES SENSU LATO.	3
1. CARACTÈRES GÉNÉRAUX.....	3
2. LES MARCHANTIOPHYTES.....	4
2.1. Morphologie.....	5
2.2. Reproduction.....	6
3. LES ANTHOCEROTES.....	7
4. LES BRYOPHYTES S.S. OU MOUSSES OU MUSCINEES.....	8
4.1. Morphologie.....	8
4.2. Cycle de reproduction.....	9
PTERIDOPHYTES SENSU LATO.	12
1. CARACTERES GENERAUX.....	12
2. LYCOPHYTES.....	14
2.1. Les Lycopodiaceae.....	14
2.2. Les Sellaginellaceae.....	15
3. LES SPHENOPHYTES.....	17
4. LES FILICOPHYTES.....	18
LES CYCADOPHYTES.....	21
1. APPAREIL VEGETATIF.....	21
2. APPAREILS REPRODUCTEURS.....	22
2.1. Appareil reproducteur mâle.....	22
2.2. Appareil reproducteur femelle.....	23
2.3. Cycle de reproduction des Cycadophytes.....	25
LES PINOPHYTES.....	26
1. ANATOMIE.....	26
2. APPAREIL REPRODUCTEUR.....	27
3. CLASSIFICATION.....	27
LES ANGIOSPERMES OU PLANTES A OVAIRES.....	30
1. STRUCTURE DE L'APPAREIL VEGETATIF.....	32
1.1. Les tiges.....	32
1.2. Les feuilles.....	33
1.3. Les racines.....	34
2. STRUCTURE DE L'APPAREIL REPRODUCTEUR.....	35
2.1. Le périanthe.....	36
2.2. L'androcée.....	37
2.3. Le gynécée.....	37
2.4. Le fruit.....	38

2.5. L'inflorescence.....	41
3. METHODE D'ETUDE EN MORPHOLOGIE FLORALE.....	41
4. CLASSIFICATION DES ANGIOSPERMES.....	43
Les Paléodicotylédones.....	43
Les Monocotylédones (Monocots)	44
Les Dicotylédones vraies (Eudicots)	44
OUVRAGES UTILISES.....	45

<https://www.opu-lu.cerist.dz/>

INTRODUCTION

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.

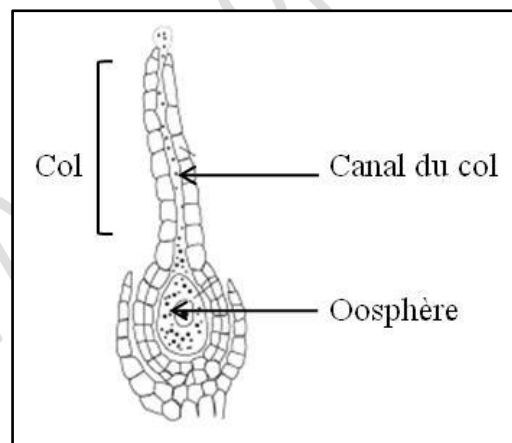


Fig. 33. Schéma d'un gamétange femelle (archégone) chez les Embryophytes.

Les Embryophytes (Fig. 34) regroupent :

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

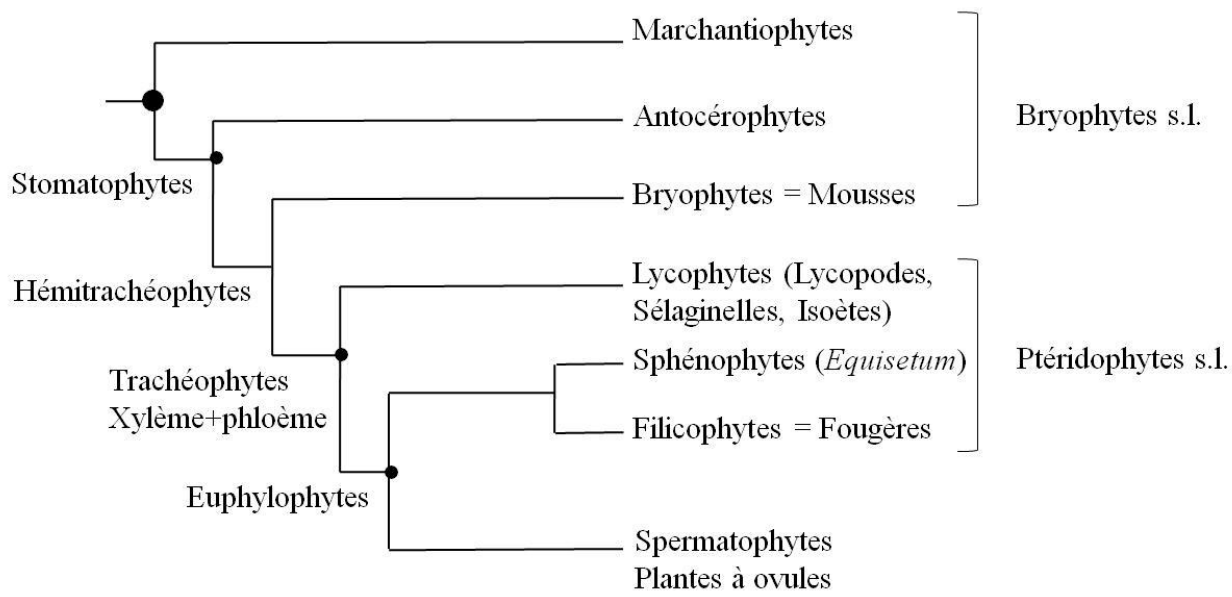


Fig. 34. Arbre phylogénétique simplifié des Embryophytes=Archégoniates=plantes terrestres

<https://www.opu.lu/>

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 dérivés 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 **sporanges**
- 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.

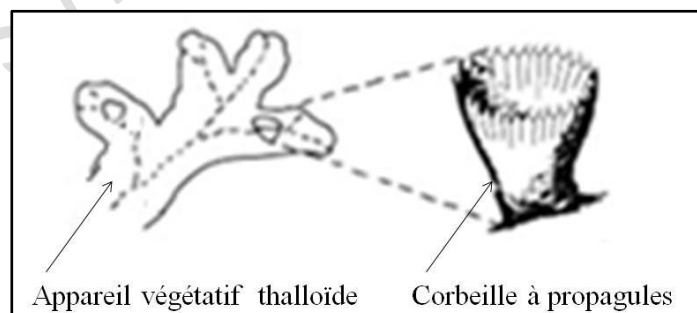


Fig. 35. Appareil végétatif et corbeille à propagules chez les Hépatiques

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

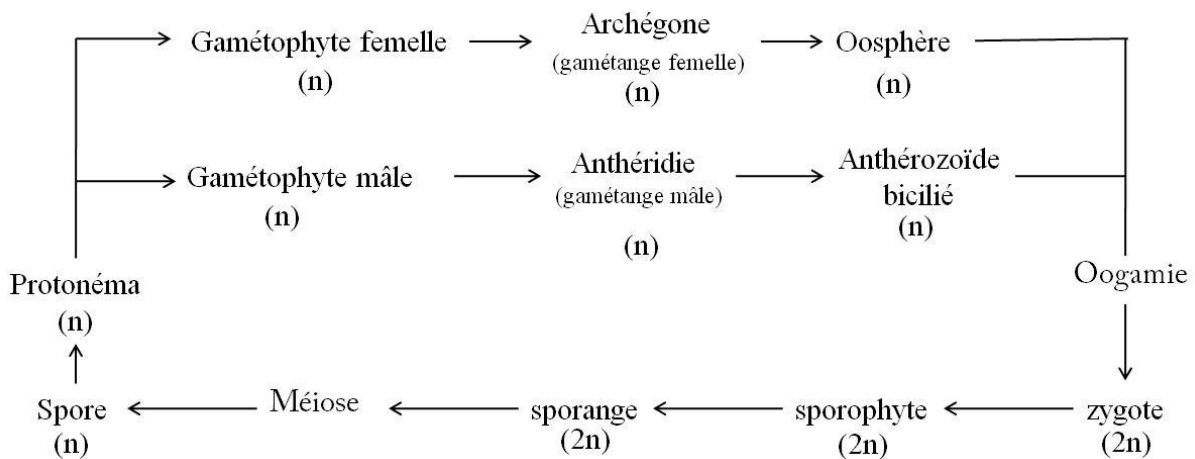


Fig. 36. Cycle digénétique diplohaploïde à **dominance du gamétophyte** chez les bryophytes *s.l.*

2. LES MARCHANTIOPHYTES, ou hépatiques se présentent sous forme d'un thalle plus ou moins différencié ou d'une tige feuillée. Les hépatiques expriment de nombreux caractères originaux, certains étant des synapomorphies du groupe :

- Rhizoïdes généralement **unicellulaires** ;
- Gamétophyte mature à **symétrie dorsi-ventrale** ;
- Synthèse d'acide lunularique ;
- Cellules contenant des **oléocorps** (corps lipidiques) ;
- Capsule simple sans opercule ni péristome ni columelle avec 4 valves (fentes de déhiscence verticales) ;
- Présence d'**élatères** (Fig. 37): cellules très allongées dont la paroi squelettique présente des épaissements en spirale.

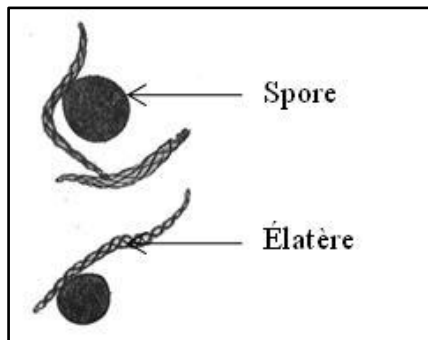


Fig. 37. Morphologie des spores et élatères chez les Marchantiales.

- Protoména faiblement développé parfois inexistant ;
- Présence de gamétangiophores (anthéridiophores, archégoniophores) (Fig.38).

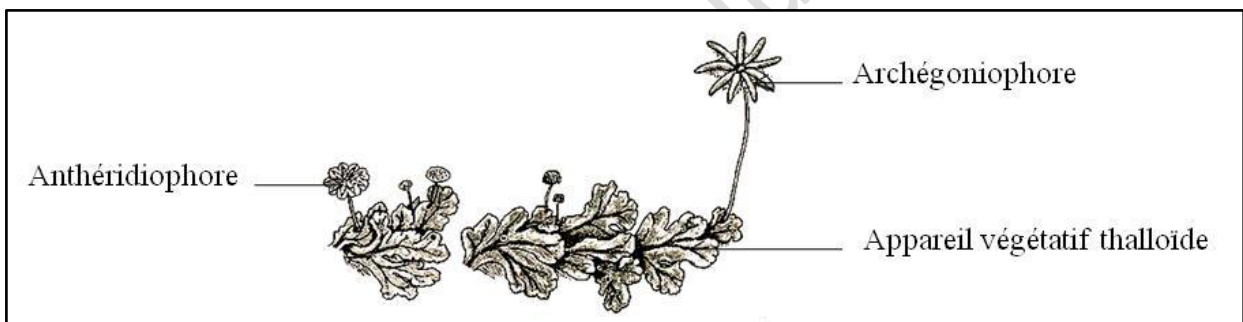


Fig. 38. Morphologie de *Marchantia polymorpha* montrant les anthéridiophores et les archégoniophores.

2.1. Morphologie

L'appareil végétatif des **Marchantiophytes** (Fig. 39) est soit une **tige feuillée**, soit un **thalle**. La face inférieure du thalle est en contact du substrat et possède des structures unicellulaires, les **rhizoïdes**. La croissance des axes est dichotomique grâce à des cellules apicales (absence de méristème). 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.

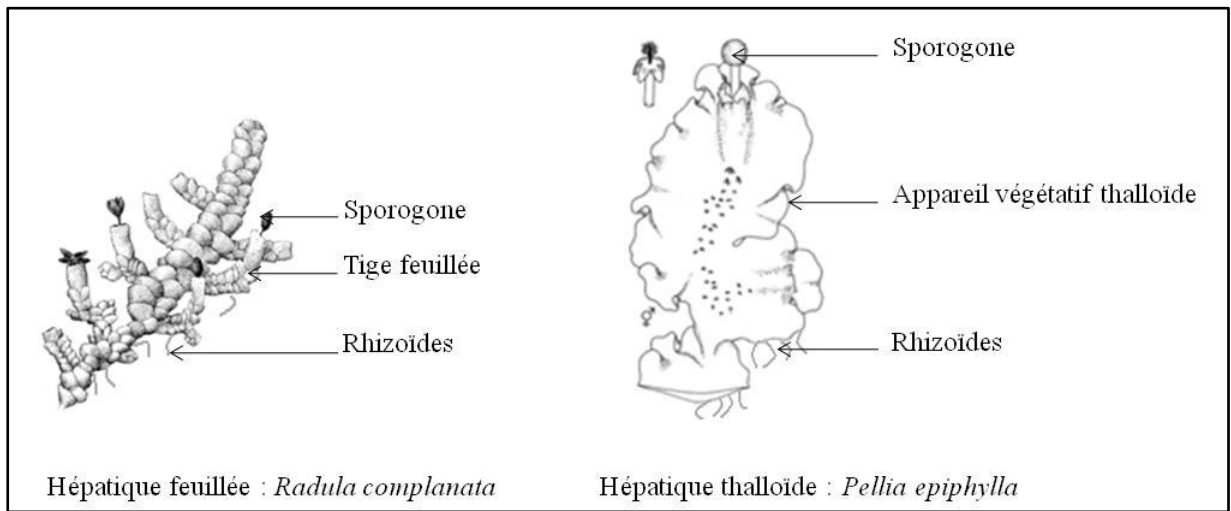


Fig.39. Appareil végétatif des Marchantiales.

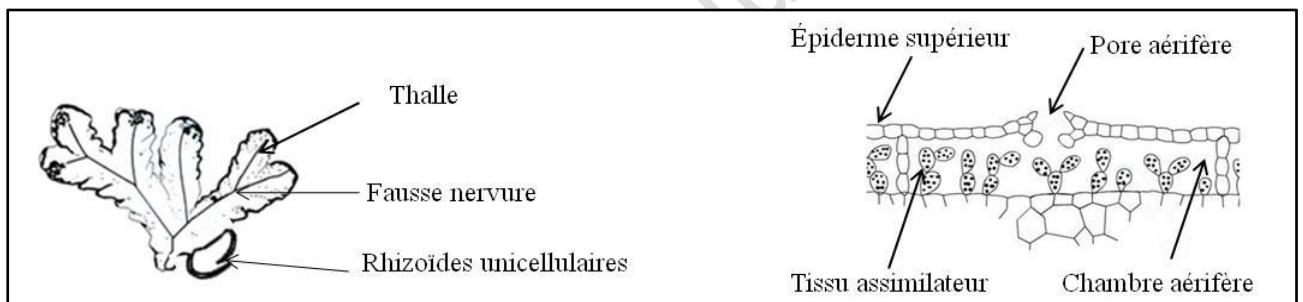


Fig. 40 Morphologie et coupe transversale du thalle de *Marchantia polymorpha*.

2.2. Reproduction

Les thalles en croissance produisent des rameaux spécialisés ou **gamétangiophores (anthéridiophores, archégoniophores)**. Sur les anthéridiophores se différencient des anthéridies (gamétanges mâles) enfoncées dans des cavités à **la face supérieure**. L'éclatement des anthéridies libère les anthérozoïdes. Sur les archégoniophores, se développent des archégonies (gamétanges femelles) enfoncés dans des cavités situées sur **la face inférieure**. Les archégonies et les anthéridies proviennent de la différenciation de cellules épidermiques (Fig. 41).

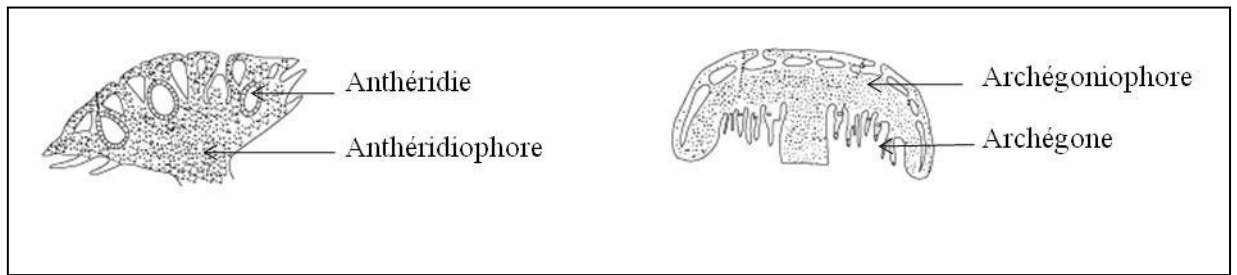


Fig.41. Gamétangiophores chez les Marchantiophytes

L'œuf fécondé (zygote) issu d'une oogamie se développe à l'intérieur de l'archégone donnant un **sporophyte parasite du gaméophyte femelle.**

3. LES ANTHOCEROTES

Ce sont des organismes **thalloïdes** (Fig 42.). Leur monophylie est confirmée par des caractères cellulaires et des caractères propres à leurs gaméophytes.

Ce groupe est caractérisé par :

- Cloisonnement vertical du zygote ;
- Croissance continue du sporophyte (présence de méristème) ;
- Sporophyte cylindrique ;
- 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 pyrénioïde ;
- Présence de **pseudo-élatères** formés de 4 cellules ;
- Différenciation des anthéridies à partir de **cellules sous épidermiques** ;
- Protonéma filamenteux puis thalloïde.

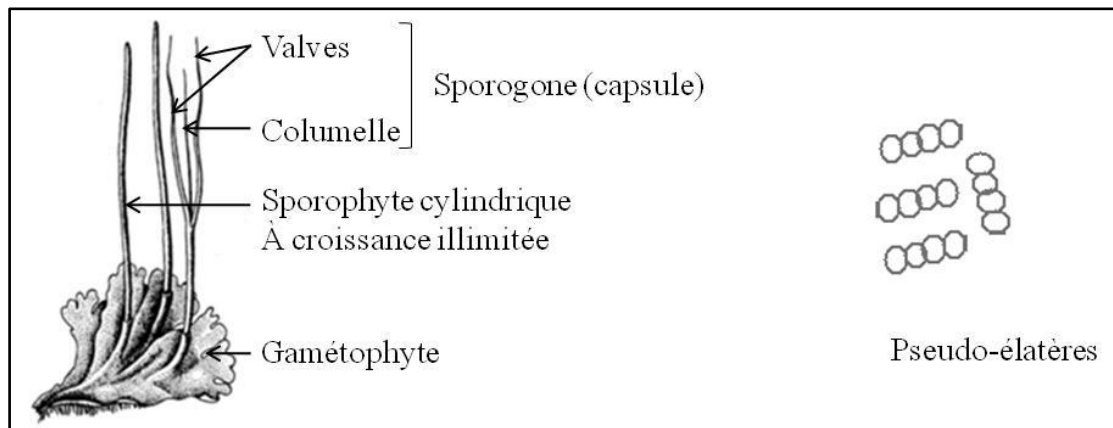


Fig.42 Morphologie et pseudo-élatères de *Anthoceros laevis* (Anthocérotés)

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

Elles sont caractérisées par :

- Présence d'un protonéma bien développé filamenteux ;
- Gamétophyte différencié en tige feuillée à symétrie radiale ;
- Présence de **rhizoïdes multicellulaires** ;
- La **croissance sporophytique** se fait à partir d'une cellule apicale ;
- 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, leptoïdes).

4.1. Morphologie

L'appareil végétatif est un axe feuillé (Fig.43). Les organes foliacés sont formés d'une ou de plusieurs assises cellulaires avec une fausse nervure (cellules allongées). La structure simplifiée de ces 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.

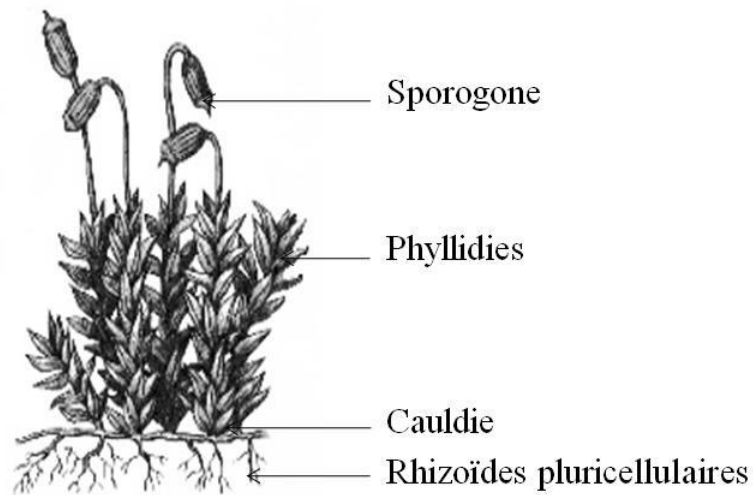


Fig.43 Appareil végétatif des Mousses (Muscinées).

Les tissus conducteurs sont constitués de cellules allongées à paroi inégalement épaissies, présentant parfois de véritables pores. Des cellules spécialisées dans la conduction de l'eau (**hydroïdes**) forment le cylindre central. Elles sont entourées d'un manchon de cellules spécialisées dans la conduction de la sève élaborée (**leptoïdes**). Les sporophytes de quelques Mousses différencient de véritables **stomates**.

4.2. Cycle de reproduction

Le cycle de reproduction des Muscinées (Mousses) est donné dans la figure 44.

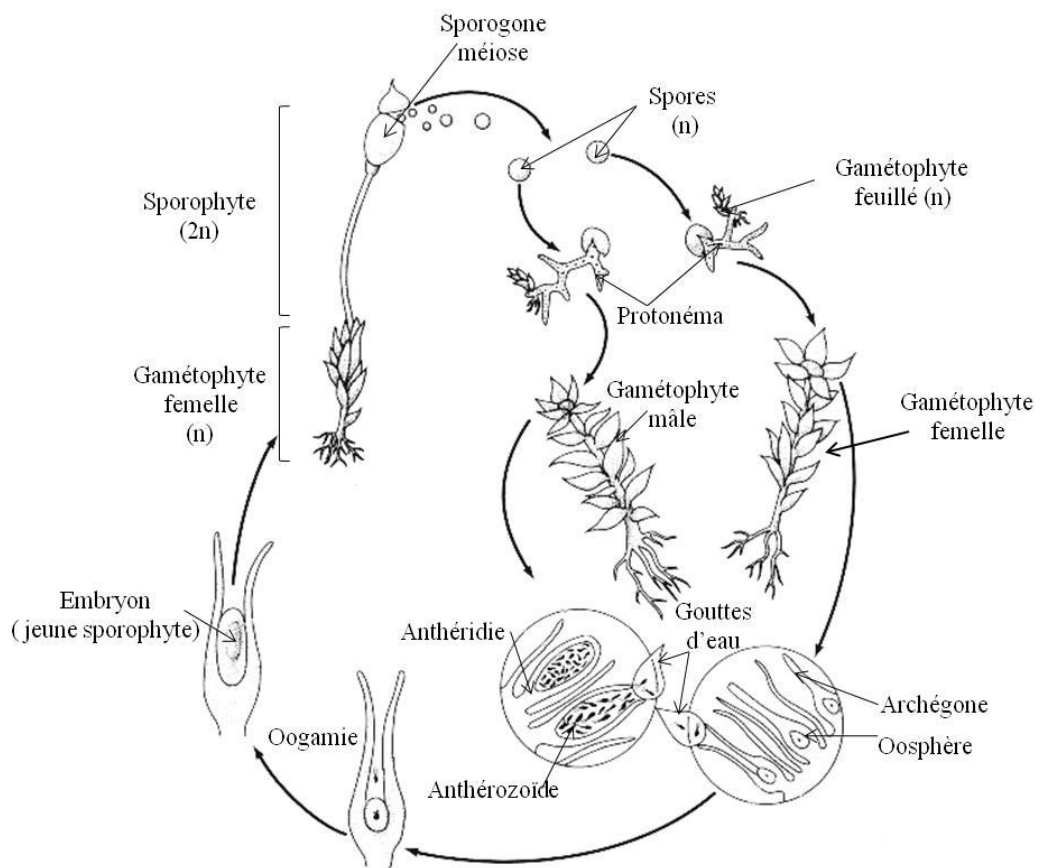


Fig.44 : Cycle digénétique haplodiplophasique à dominance du gamétophyte haploïde chez les Mousses (Muscinées).

TRACHEOPHYTES

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

Chez les Trachéophytes, on distingue les **Lycophytes** 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 majeurs. Les **Moniliformes** et les **Spermatophytes** ou **Plantes à ovules**.

<https://www.opu-lu.cerist.az/>

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, les Filicophytes).

Les ptéridophytes appartiennent au groupe des Trachéophytes dont les caractères essentiels sont les suivants :

- 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. 45) qui sont des cellules conductrices allongées à parois imprégnées de **lignine** mais possédant des perforations à différentes dispositions. Les trachéides **annelées** et **spiralées** forment le **protoxylème**, les trachéides **scalariforme** 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. Il existe différents types de stèles qui dérivent du type fondamental, la **protosèle** (Fig. 46) ;

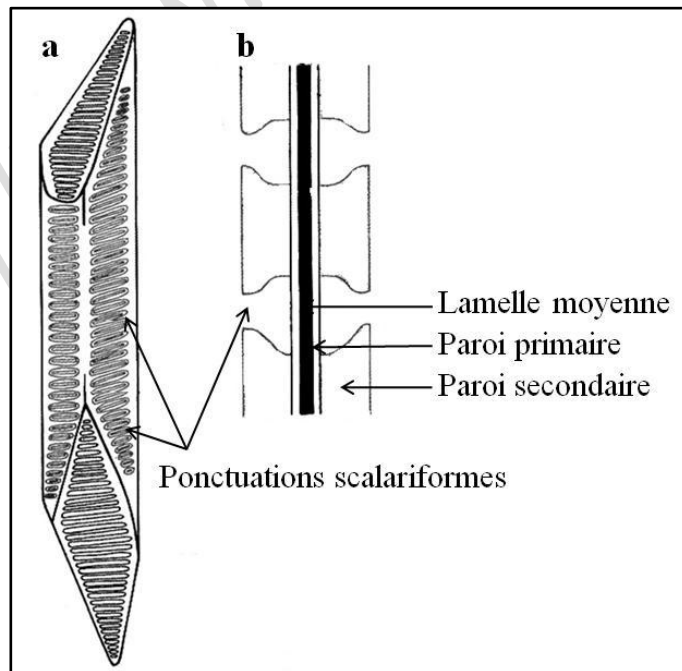


Fig.45 : a, Trachéide à ponctuations scalariformes vue de face. **b**, paroi de la trachéide en coupe longitudinale vue de profil.

- Le sporophyte est **ramifié** et **indépendant du gaméophyte** ;
- 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.

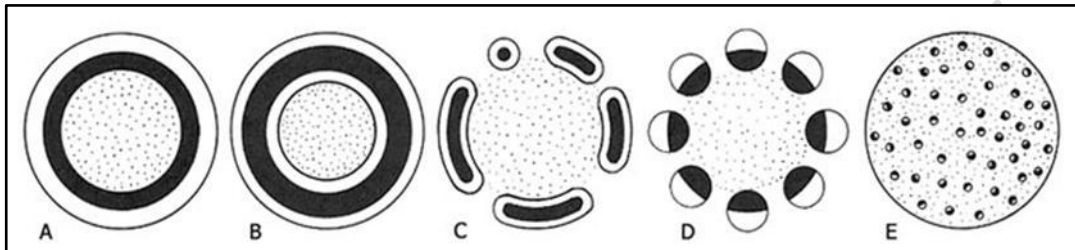


Fig. 46. **A** siphonostèle ectophloïque, **B** siphonostèle amphiphloïque ou solénostèle, **C** dictyostèle, **E** polystèle ou eustèle (en noir, le xylème, en blanc le phloème, en pointillé la moelle)

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 diplohaplophasique avec **prédominance du sporophyte**. Le gaméophyte 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. Lorsque l'enveloppe du sporange est constituée de plusieurs assises de cellules, on parle de sporanges **eusporangiés**, c'est une structure primitive que l'on

rencontre chez les Sélaginelles et les Prêles. Lorsqu'au contraire l'enveloppe des sporanges n'est constituée que d'une seule couche de cellule, on parle de sporange **leptosporangiés**, c'est le cas de la plupart des fougères. 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

Chez les fougères, les gamétanges se différencient sur la face inférieure du prothalle, alors que chez les sélaginelles, ils sont sur la partie saillante des prothalles. Les anthéridies (qui produisent les gamètes mâles) de forme sphérique très réduites ont une paroi formée d'une seule couche de cellules. Les archégonies sont formés d'un col réduit et d'un ventre, au sein duquel se différencie l'oosphère ou gamète femelle inerte et non disséminé.

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**).

2.1. Les Lycopodiaceae présentent une tige rampante, pourvue de racines et porte des axes dressés (Fig.46) sur lesquels se forment les sporanges dispersés le long de la tige ou groupés en **strobile**, sorte d'épi. Les sporanges sont généralement situés sur la face supérieure des feuilles. Les méiospores sont toutes de même taille (**isosporie**).

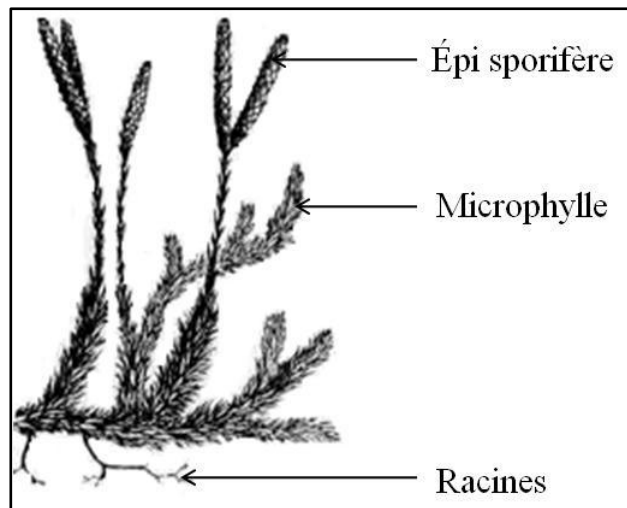


Fig. 46. Schéma d'une Lycopode avec 5 épis sporifères terminaux

2.2. Les Sellaginellaceae : Elles sont très importantes sur le plan évolution car c'est au sein de ce groupe qu'apparaît l'**hétérosporie**, associée à une **hétérosporangie** marquée.

Etude d'un exemple : *Selaginella denticulata*

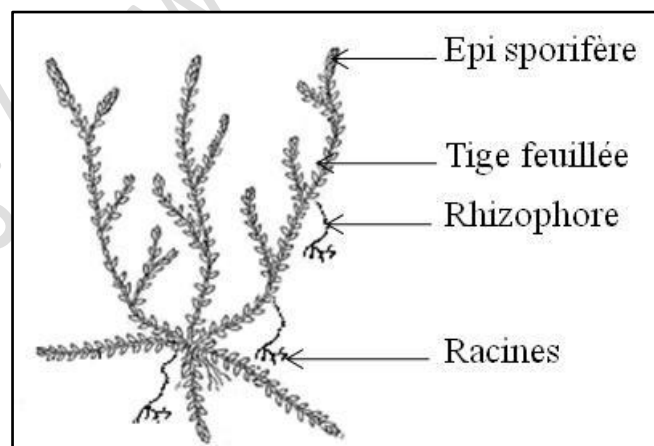


Fig. 47. Appareil végétatif de *Selaginella denticulata*.

La plante feuillée (Fig. 47) présente des **microphylls** portées par des tiges dressées dichotomiques avec deux rangées de feuilles portant à leurs bases un appendice court ou

ligule. Les racines ne sont pas directement portées par les tiges rampantes mais par des portes racines ou **rhizophores**. Les sporanges se forment aux extrémités des rameaux végétatifs transformés en épis sporifères ou **strobiles**. Chaque sporophylle ne porte qu'un sporange. Il existe deux types de sporanges les **macrosporangies** ou **mégasporanges** portés par les mégasporophylles à la base de l'épi et les **microsporangies** portés par les microsporophylles au sommet de l'épi. Les mégasporanges produisent 4 macrospores et les microsporangies une multitude de microspores. Chez *Selaginella* il y a **hétérosporie** (fig. 48) et **hétéroprothallie**.

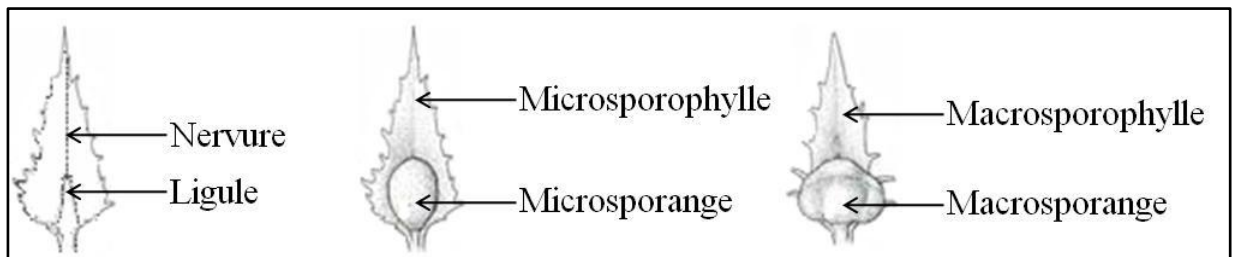


Fig. 48. Schéma de sporophylles montrant les sporanges mâles et femelles chez la sélaginelle.

- Les microspores commencent leur développement à l'intérieur des microsporangies, puis il se poursuit après leur libération. La microspore subit des divisions répétées aboutissant à la formation d'un prothalle inclus dans l'enveloppe sporale : c'est l'**endoprothallie**. Le prothalle est formé d'une seule cellule prothallienne supportant une anthéridie formée de 8 cellules de la paroi et de 4 cellules spermatogènes qui donneront des spermatozoïdes biciliés.

- Les macrospores débutent également leur développement à l'intérieur des macrosporangies puis se poursuit lorsqu'elles sont disséminées. Un prothalle se forme à l'intérieur de l'enveloppe sporale. Il y a **endoprothallie**. Les macrospores produisent des prothalles femelles plus volumineux que les prothalles mâles. Il y a **hétéroprothallie**. La fécondation est une **oogamie** nécessitant de l'eau.

3. LES SPHENOPHYTES

Les **Sphénophytes** (Equisétophytes) sont des euphylllophytes représentés actuellement par le seul genre *Equisetum*, les **prêles** (Fig.49). La tige souterraine (rhizome) porte des ramifications aériennes annuelles divisées en **articles successifs** cannelées. Au niveau de chaque nœud s'insèrent de verticilles de feuilles réduites en gaine.

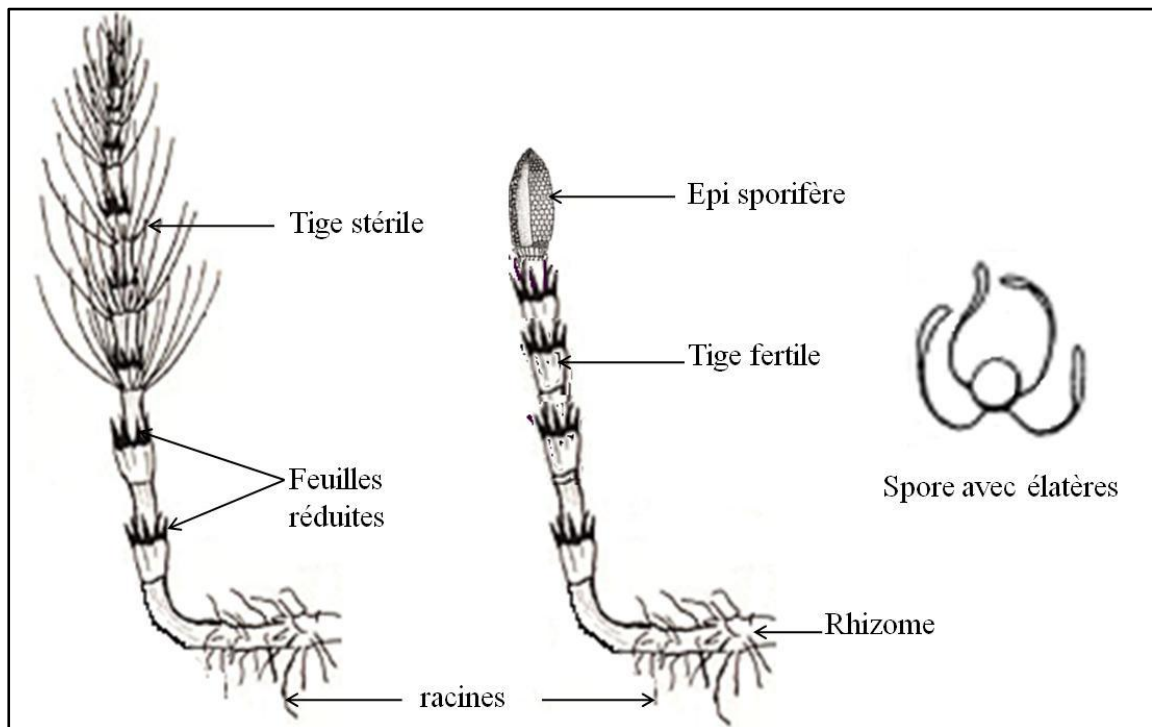


Fig. 49. Aspect morphologique d'*Equisetum arvensis*.

Les sporanges sont groupés en épis à l'extrémité des axes végétatifs ou d'axes spécialisés, les **sporangiophores**. 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. Une autre synapomorphie est l'organisation de leur système conducteur en **dictyostèle**.

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** protégés ou non par une **indusie** qui sont localisées sur la face inférieure des folioles ou **pinnules** (Fig. 50). 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**.

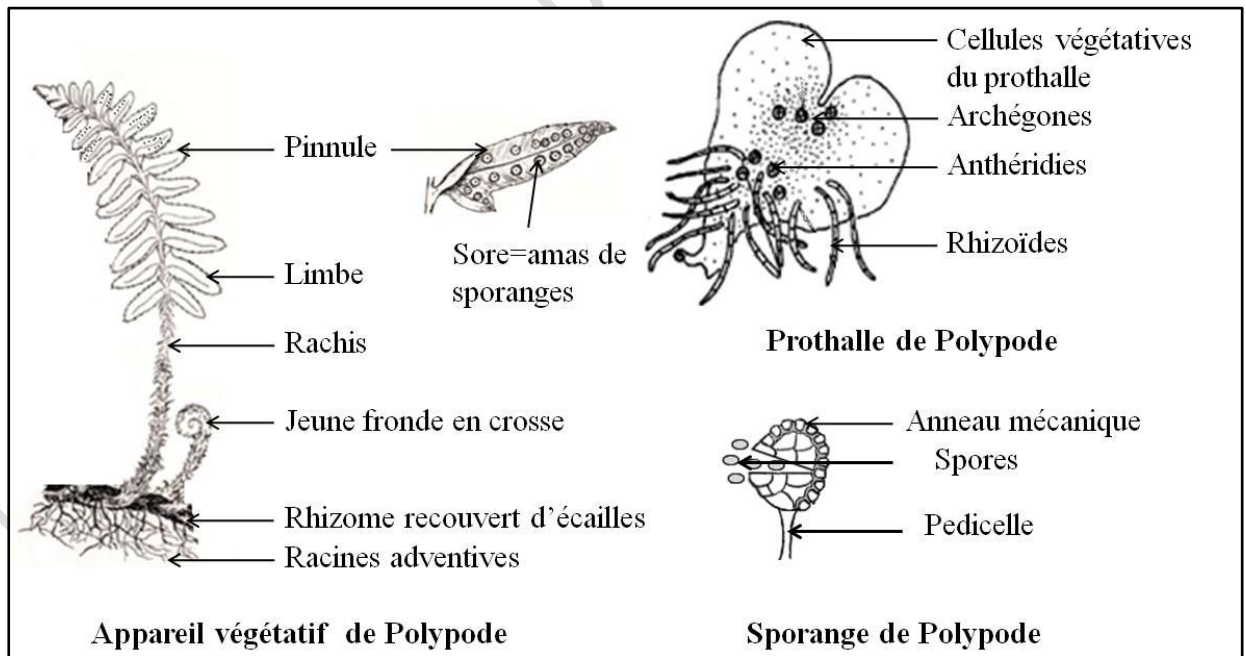


Fig. 50. Aspect général d'un exemple de Filicophytes (*Polypodium vulgare*), prothalle et sporange (les proportions ne sont pas gardées)

SPERMATOPHYTES

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. 51). Les relations phylogénétiques entre ces taxons restent très incertaines.

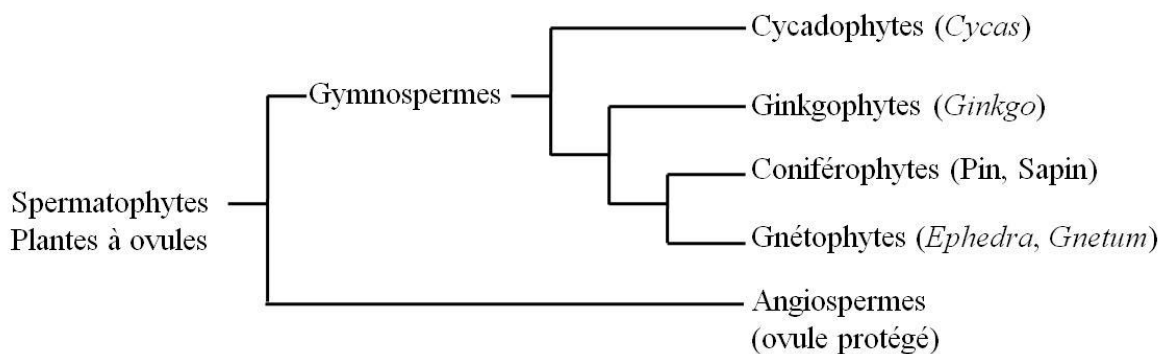


Fig. 51. Arbre phylogénétique simplifié des Spermatophytes.

LES CYCADOPHYTES

Les Cycadophytes sont des gymnospermes dioïques c.à.d. les pieds mâles et femelles sont distincts. Ils sont originaires des régions tropicales et subtropicales. Les Cycadophytes sont représentés actuellement par trois familles (Zamiaceae, Cycadaceae, Stangeriaceae) et 11 genres. Leur apogée a eu lieu au jurassique.

Etude d'un exemple : *Cycas revoluta*.

1. APPAREIL VEGETATIF

Cycas revoluta présente un tronc épais comportant une tige type non ramifiée qui s'accroît en épaisseur grâce au fonctionnement d'un **cambium bifacial** donnant de part et d'autre du bois et du liber. Le tronc est recouvert par la base de pétiole des feuilles tombées (Fig. 55a). Les feuilles (mégaphylles) sont composées pennées disposées en couronne au sommet du tronc. Les racines sont pivotantes et réalisent une symbiose avec des Cyanobactéries fixatrices d'azote. Certaines racines prennent un aspect contourné et épaissi typique ; elles sont dites **coralloïdes**.

Une coupe transversale au niveau du rachis (Fig. 53a) montre une disposition particulière des faisceaux libéroligneux en forme d'**Omega inversé**. Chaque faisceau (Fig.53b) est constitué d'une zone cambiale (cambium libéroligneux) qui sépare le liber des éléments de bois **homoxylé**. La moelle, très importante contient de nombreux canaux sécréteurs de gommés toxiques ; les **cycasines**.

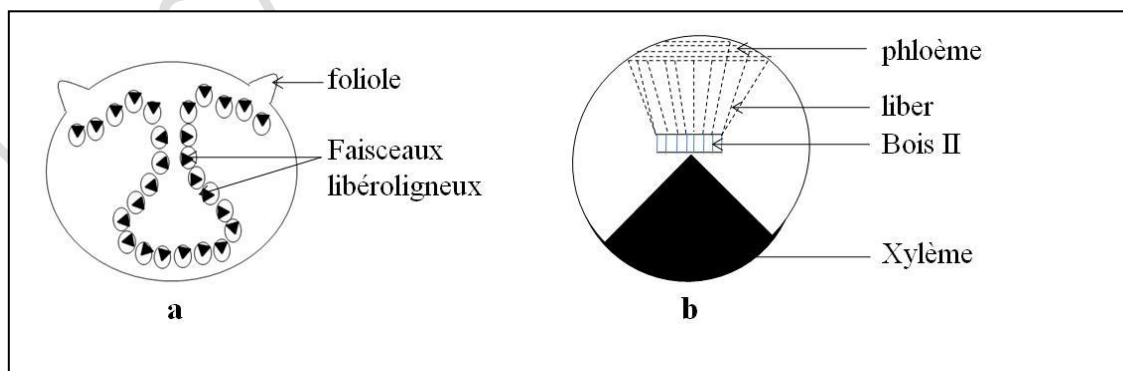


Fig. 53. a : Coupe transversale du rachis de *Cycas revoluta* montrant la disposition en Omega inversé des faisceaux libéro-ligneux. **b :** Coupe transversale d'un faisceau libéroligneux.

2. APPAREILS REPRODUCTEURS

Les Cycadophytes sont dioïques : les appareils reproducteurs mâle et femelle sont portés par des pieds différents.

2.1. Appareil reproducteur mâle

L'appareil reproducteur mâle est constitué par un cône de 2cm à 50cm de long. Chaque cône est formé d'écailles ou **microsporophylles** portant, sur la face inférieure, de nombreux microsporangies appelés **sacs polliniques** (Fig. 54). Chaque écaille ou microsporophylle est l'homologue d'une étamine des Angiospermes et donc le cône mâle est l'homologue d'une fleur mâle. Le grain de pollen est constitué de trois cellules (cellule végétative, cellule génératrice, cellule basale). Chaque grain de pollen produit deux spermatozoïdes ciliés.

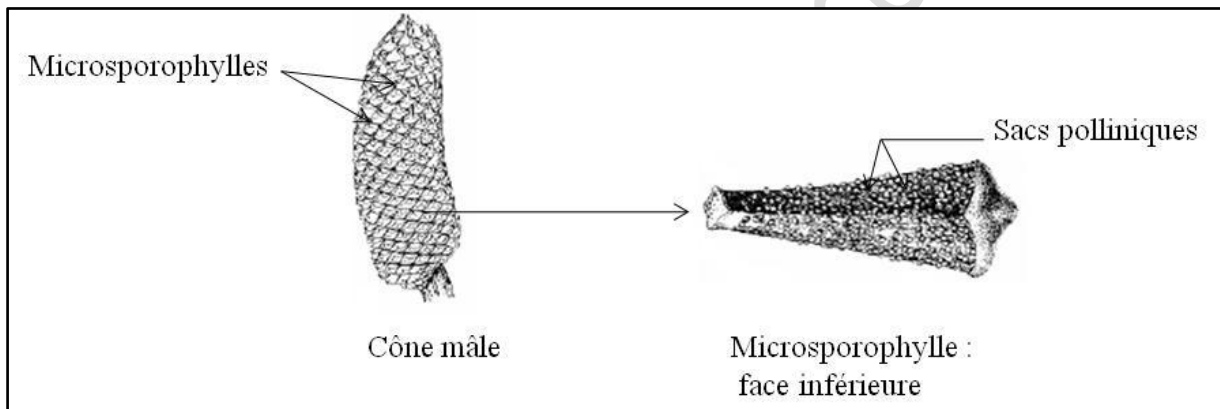


Fig. 54. Appareil reproducteur mâle de *Cycas*.

2.2. Appareil reproducteur femelle

L'appareil reproducteur femelle est constitué par un cône 40cm de diamètre (Fig. 55b). Chaque cône est formé de **feuilles fertiles ovulifères** ou **macrosporophylles**. Les macrosporophylles sont de petite taille (10 à 15cm) et dépourvues de chlorophylle (Fig. 55c). Elles présentent dans la partie inférieure du rachis deux rangées d'ovules orangés (Fig. 55d).

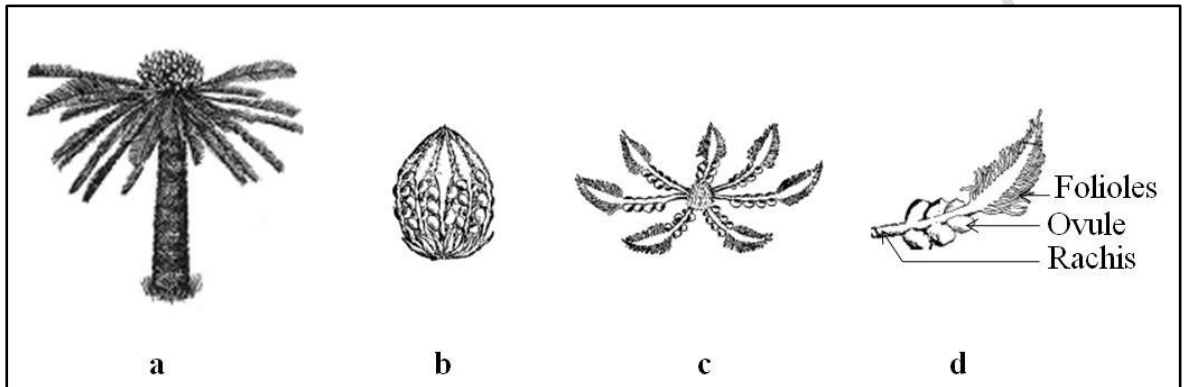


Fig. 55. Morphologie d'un pied femelle et appareil reproducteur femelle de *Cycas*

a : appareil végétatif femelle, **b** : cône femelle fermé (fleur femelle), **c** : cône femelle ouvert, **d** : feuille ovulifère (mégasporophylle) de *Cycas*

Les ovules sont volumineux (6 à 7 cm de long) car ils accumulent des réserves avant la fécondation. Chaque ovule est constitué de (Fig. 56):

- Un seul **tégument** tripartite vascularisé formé de 3 couches : **sarcotesta**, charnue ; **sclérotesta**, dure et sclérifiée et l'**endotesta**, mince.
- une ouverture dans le tégument ou **micropyle** qui se ferme lorsque la pollinisation est effectuée.
- un **nucelle** (ou macrosporange) creusé d'une **chambre pollinique** (ou chambre micropylaire) dans sa partie apicale.
- un **endosperme** ou gamétophyte femelle portant des archéogones dans sa partie supérieure.

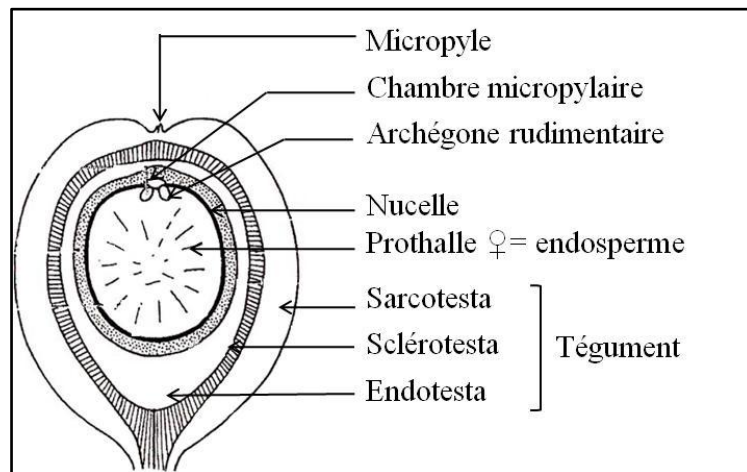


Fig. 56. Coupe longitudinale d'un ovule de *Cycas*

2.3. Cycle de reproduction des Cycadophytes (Fig. 56)

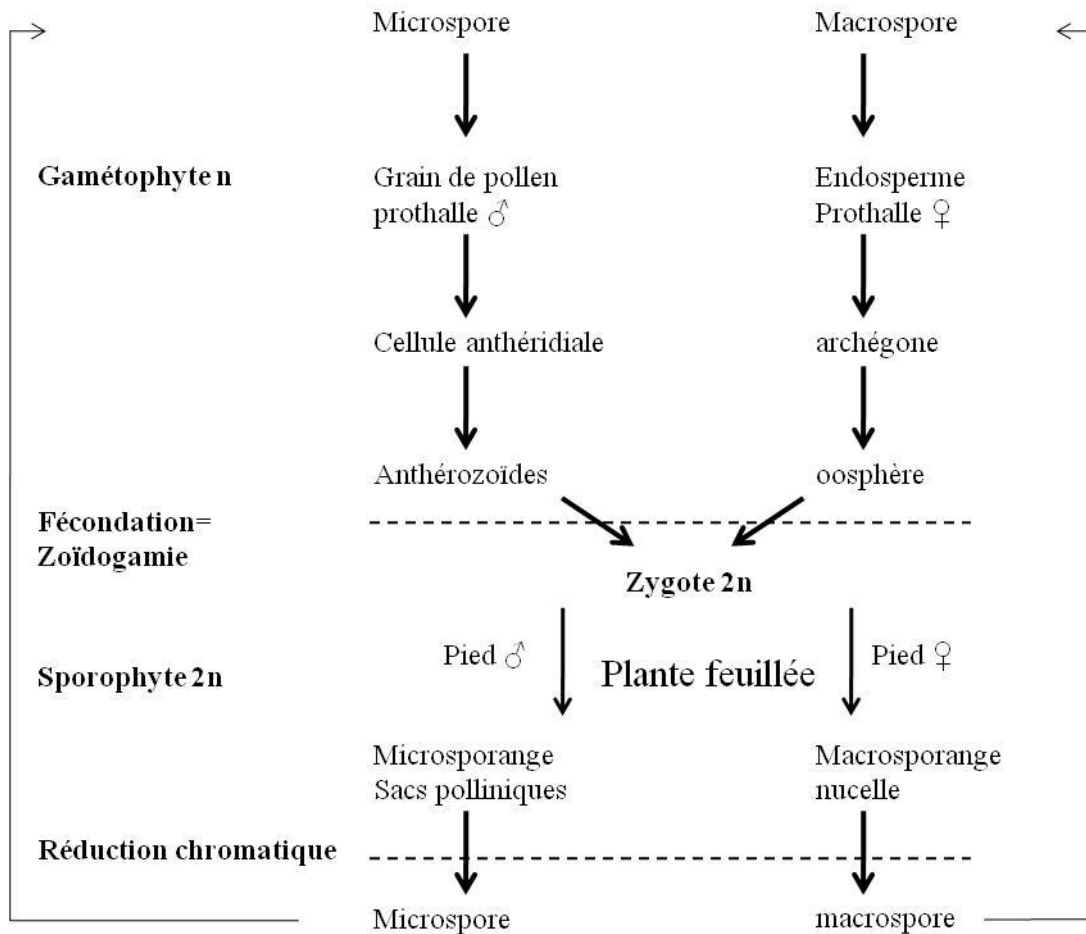


Fig. 56. Cycle de reproduction des Cycadophytes

Les spermatozoïdes nagent dans la gouttelette de liquide provenant du tube pollinique et pénètrent dans l'oosphère qu'ils fécondent. La fécondation est de type **zoïdogamie**. Plusieurs oosphères peuvent être fécondées mais un seul embryon se développe en une plantule à deux cotylédons. Le développement de l'embryon s'effectue alors que l'ovule est détaché de la plante mère. Les Cycadophytes disséminent donc des ovules fécondés en cours de maturation.

LES PINOPHYTES

La division ou embranchement des **Pinophytes** (ou **Conifères**), anciennement connue sous le nom de **coniférophytes** (ou *Coniferophyta*), ne comprend qu'une classe : celle des **Pinopsida**. Ce sont des plantes vasculaires (150 millions d'années) 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 **pseudophylls** 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**.

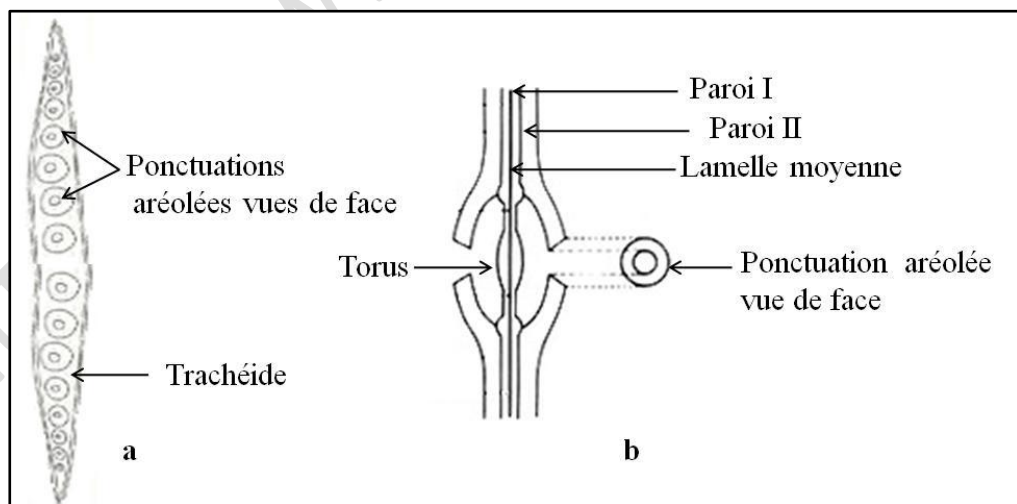


Fig. 57. Trachéides aréolées des Pinophytes.

a. Coupe longitudinale d'une trachéide avec des punctuations vues de face, **b.** punctuation 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.

Les Pinaceae représente le groupe frère de toutes les autres familles (Fig. 58.)

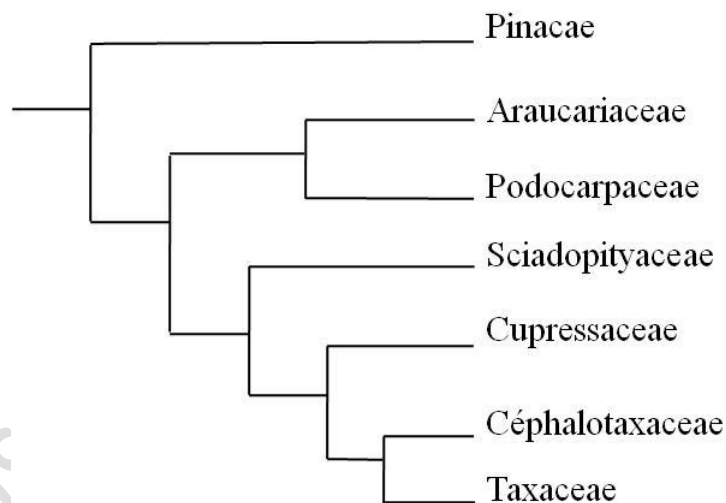


Fig. 58. Arbre phylogénétique des Pinophytes

3.1. Les Pinaceae

Cette famille comporte 9 genres et de 220 à 230 espèces d'arbres. Les différents genres sont : *Pinus* (Pins), *Cedrus* (cèdre), *Larix* (Mélèze), *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).

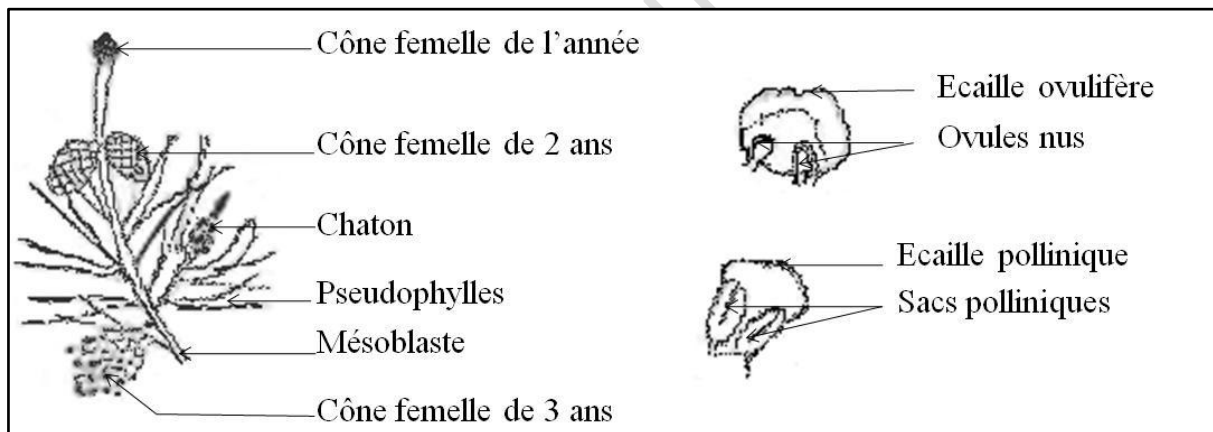


Fig. 59. Appareil reproducteur de *Pinus sylvestris*

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 2 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 4 microspores qui donnent chacune un grain de pollen. L'enveloppe du grain de pollen comprend 2 couches superposées ; l'**intine** de nature pecto-cellulosique et l'**exine** imprégnée de **sporopollénine**. Le décollement latéral de l'exine donne 2 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.

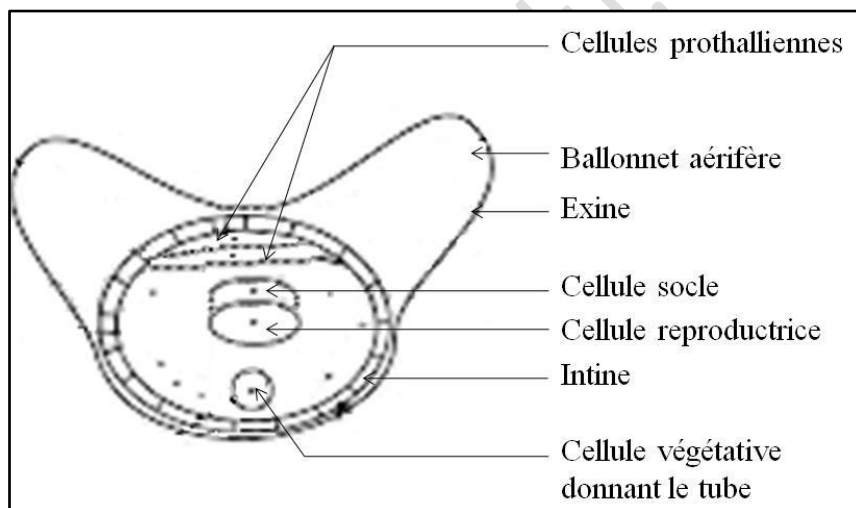


Fig. 60. Grain de pollen de pin

Les cônes femelles groupés par 2 ou 3 ont une structure plus complexe. Les écailles sont portées par des rameaux extrêmement courts axillés chacun par une **bractée**. Les écailles, dites **ovulifères**, correspondent aux **feuilles sporangifères** ; chacune d'elles porte deux macrosporanges ou **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.

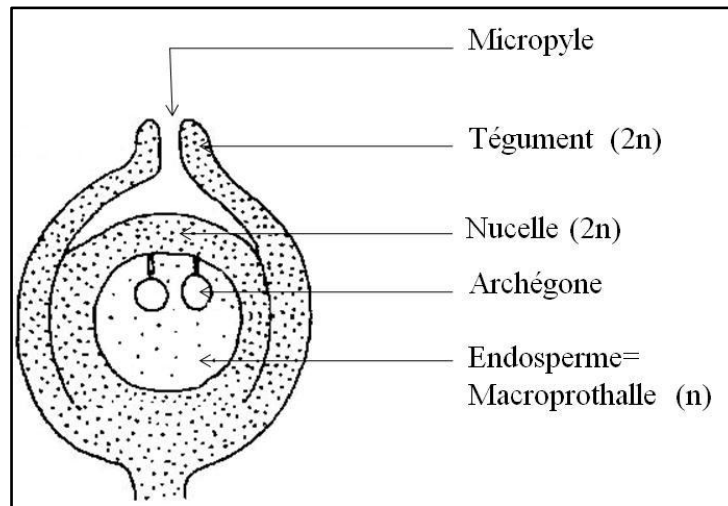


Fig. 61. Ovule de Gymnospermes

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^e 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

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**.
- 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 4 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 plantes à 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** et les **tubercules caulinaires** (pomme de terre) sont des tiges souterraines hypertrophiées par accumulation de réserves, permettant la **survie** 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).

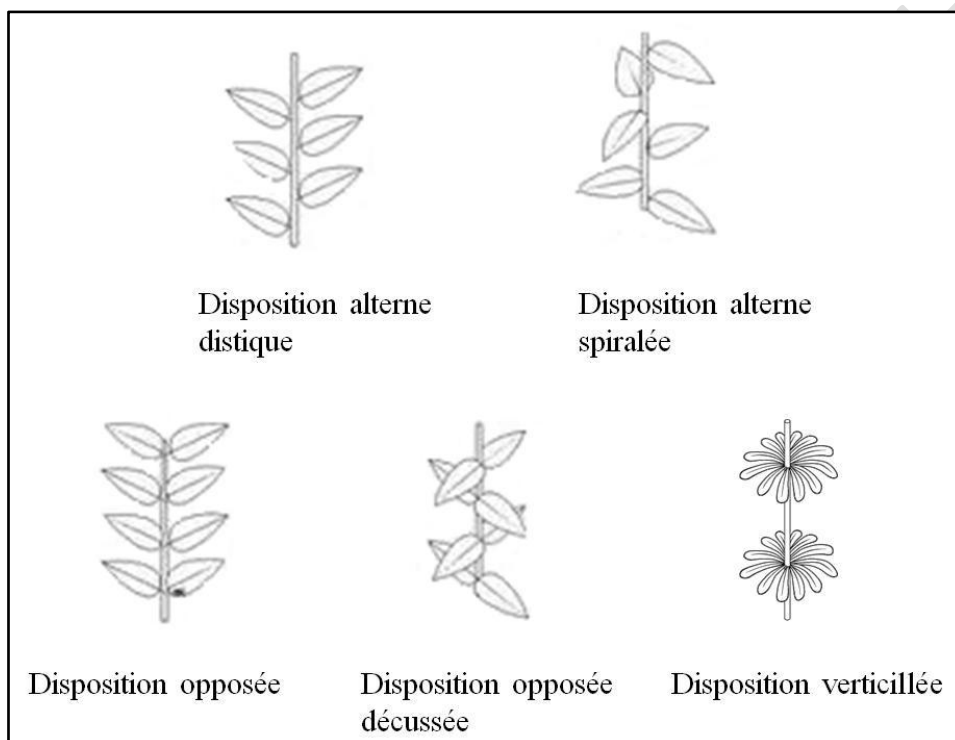


Fig. 62. Principales phyllotaxies chez les Angiospermes

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'O₂ 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**, synapomorphie de ce groupe, appelé les **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 spirales (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).

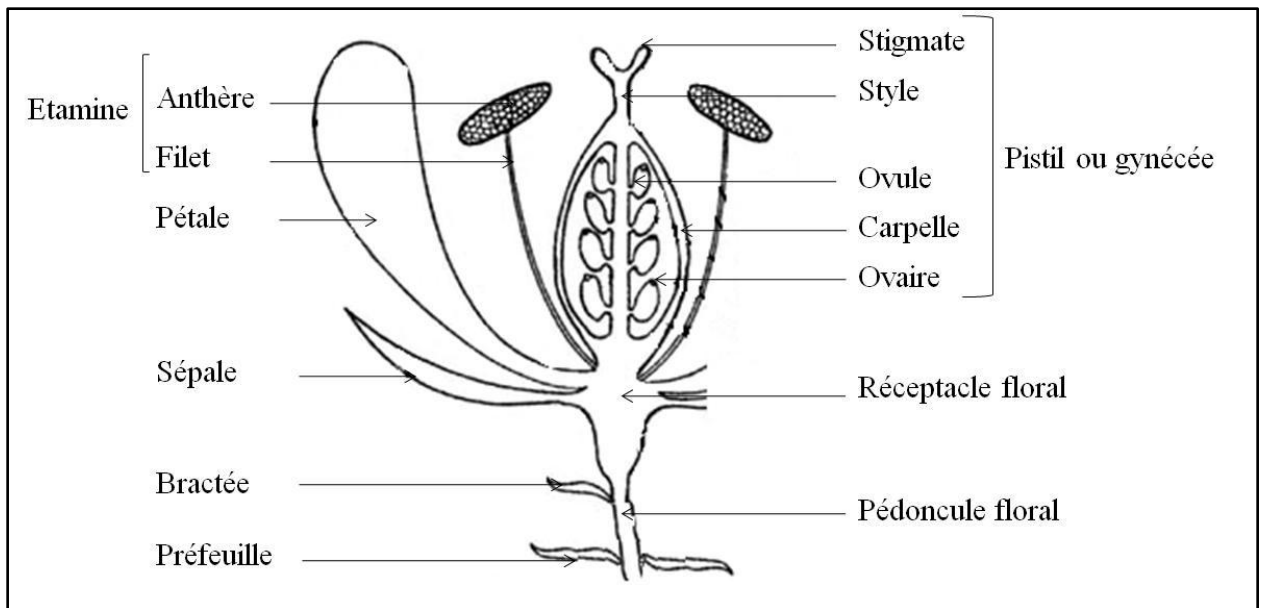


Fig. 63. Représentation schématique d'une coupe longitudinale d'une fleur d'Angiospermes.

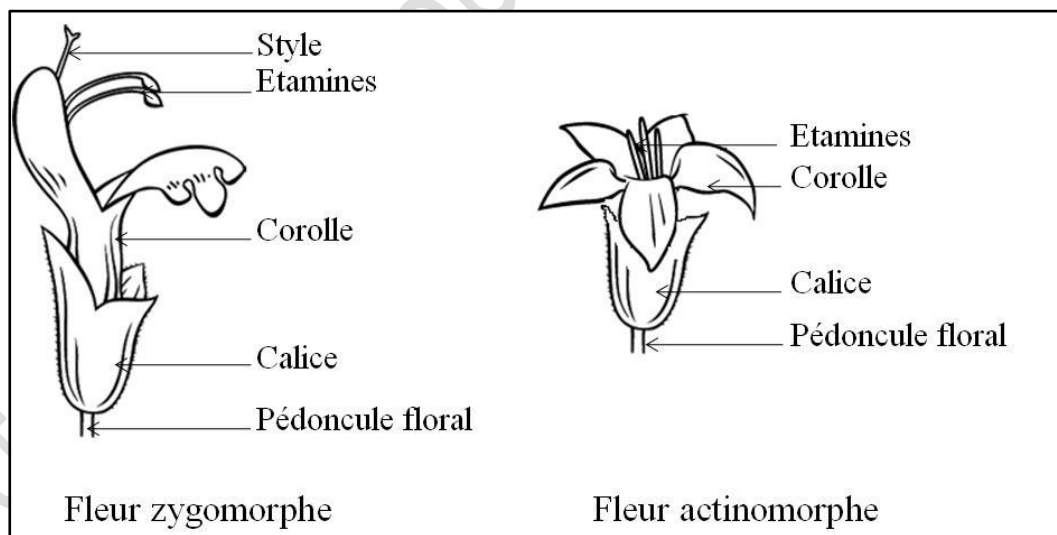


Fig.64. Principaux types de symétrie chez les fleurs d'Angiospermes.

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 **intorse** (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).

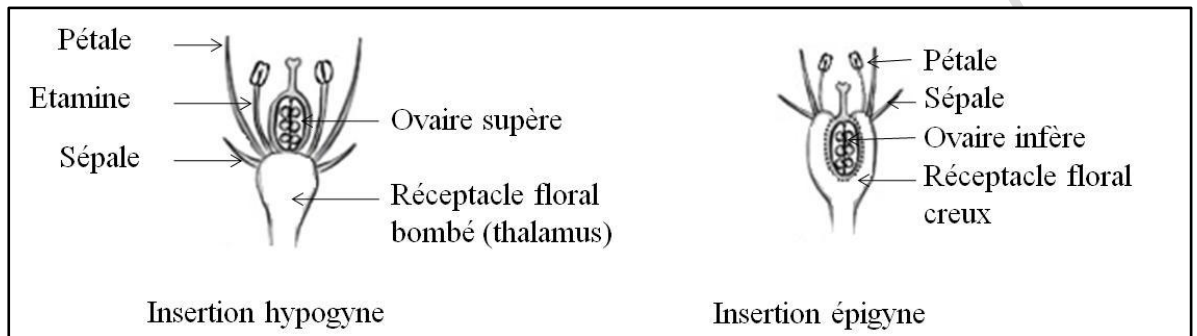


Fig. 65. Principales positions de l'ovaire sur le réceptacle floral

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).

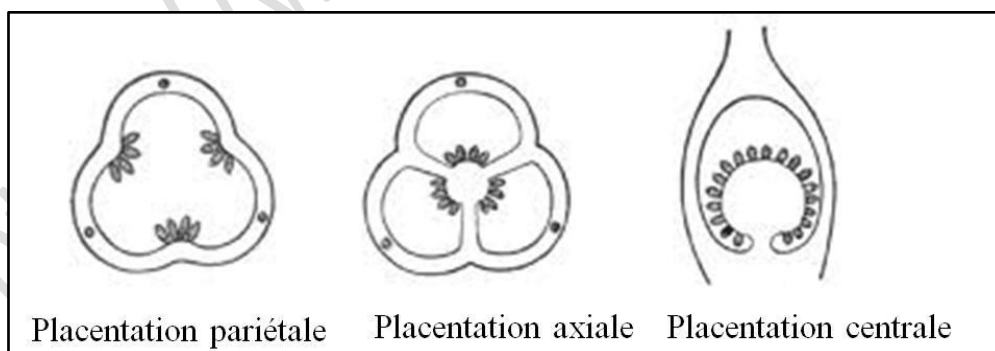


Fig. 66. Types fondamentaux de placentation chez les Angiospermes.

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).

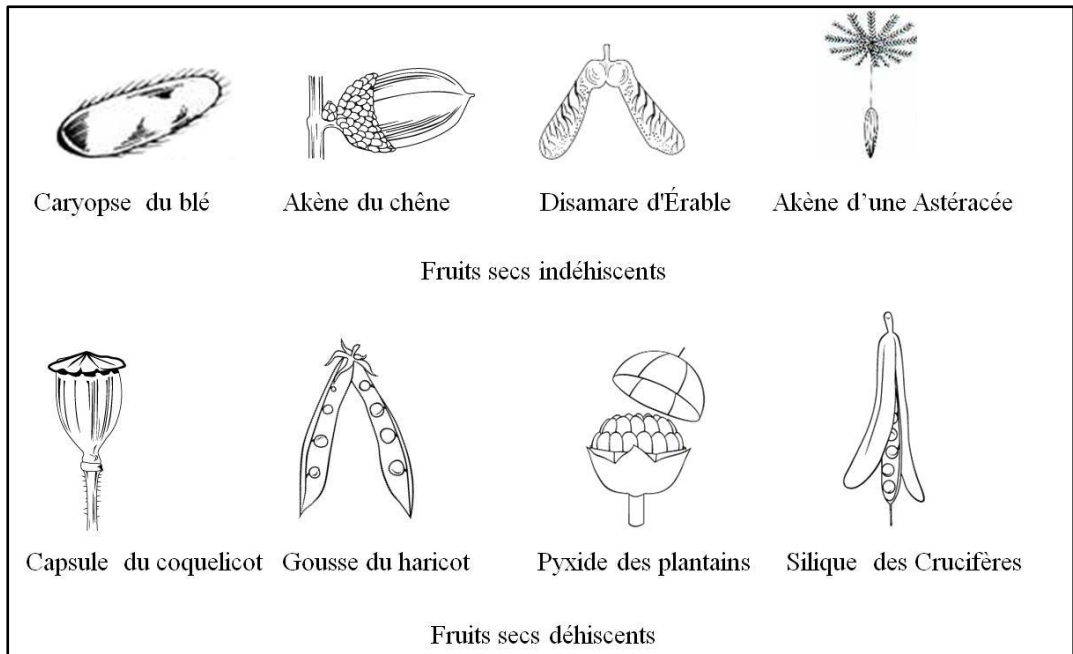


Fig. 67. Différents types de fruits secs

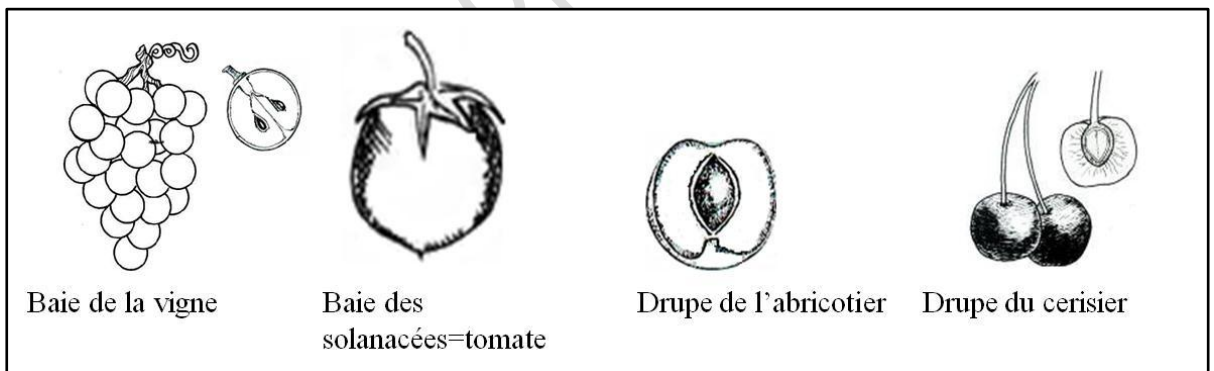


Fig. 68. Différents types de fruits charnus.

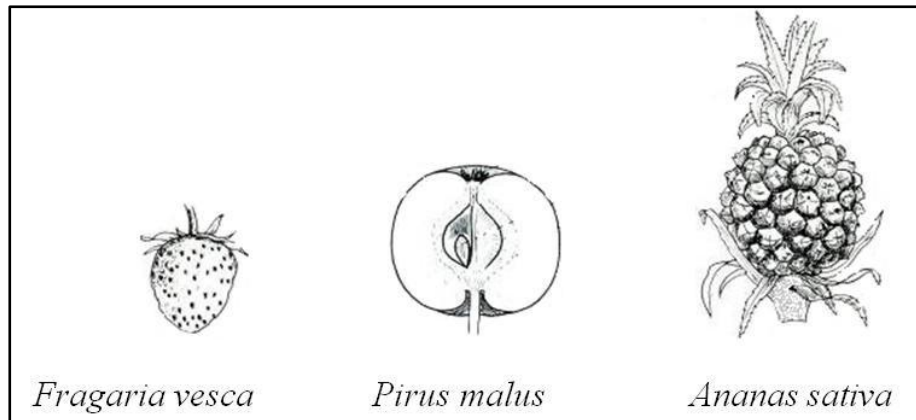


Fig. 69. Types de fruits complexes.

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).

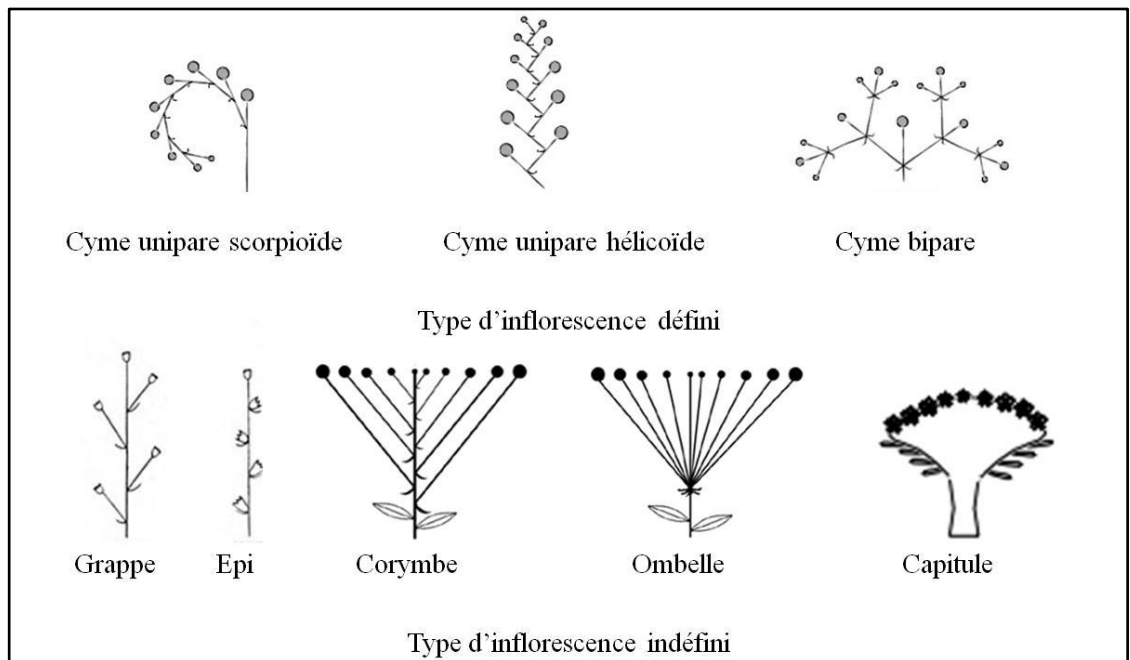


Fig. 70. Les grands types d'inflorescences chez les Angiospermes.

3. METHODE D'ETUDE EN MORPHOLOGIE FLORALE

L'étude en morphologie florale comporte un **diagramme floral**, une **formule florale** qui rend 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.

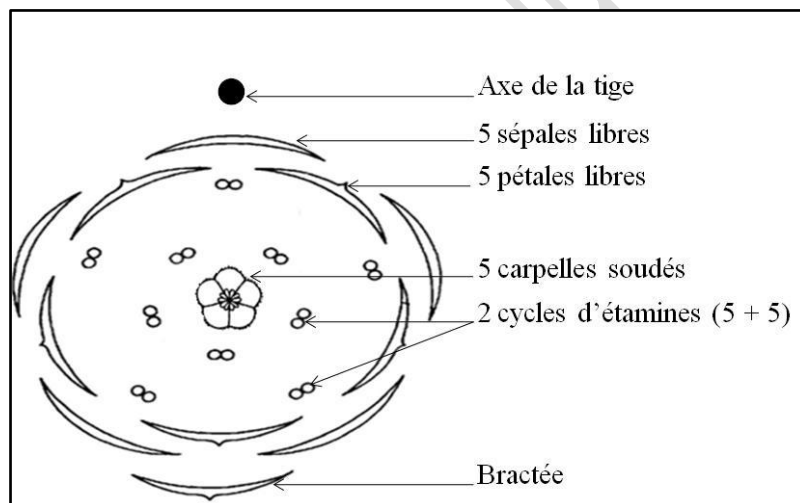


Fig. 71. Diagramme floral d'une fleur pentamère actinomorphe.

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) :

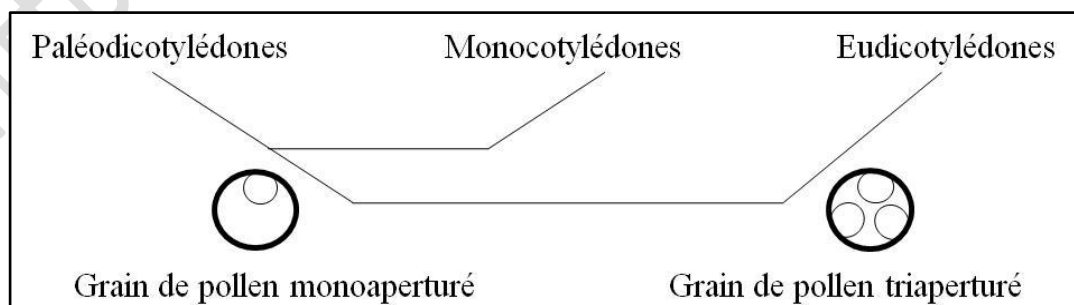


Fig. 72. Phylogénie simplifiée des Angiospermes

Les **Paléodicotylédones** 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. Dans ce clade, on retrouve des **groupes basaux non rattachés** (Austobaileyales, Cératophyllales, Amborellacées, Chloranthacées, Nymphéacées) et **Magnoliidées** ou **Magnoliids** (Canellales, Laurales, Magnoliales, Pipérales).

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. Les études moléculaires confirment que les Monocotylédones forment un clade qui dérive des Magnoliales. On y trouve **des groupes non rattachés** (Acorales, Alismatales, Asparagales, Discoréales, Liliales, Pandanales, Péterosaviacées) et **un sous clade des Commelinidae ou Commelinids** (Arécales, Commélinales, Poales, Zingibérales, Dasygogonacées).

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 symplésiomorphie héritée de l'ancêtre commun à toutes les Angiospermes. Dans ce clade des Eudicots, on retrouve :

- Des **groupes basaux non rattachés** (Ranunculales, Protéales, Buxacées, Sabiacées, Trochodendracées).

- **Noyau des Dicotylédones vraies (Core Eudicots)** : Gunnérales, Caryophyllales, Saxifragales, Santalales, Aextoxicacées, Berbéridopsidacées, Dilléniacées.

- **Rosidées (Rosids)** : Crossomatales, géraniales, Myrtales, Aphloiacées, Geissolomatacées, Ixerbacées, Picrammiacées, Strasburgériacées, Vitacées.

- **Fabidées (Eurosids I)** : Célastrales, Malpighiales, Oxalidales, Fabales, Rosales, Cucurbitales, Fagales, Zygophyllacées, Huacées.

- **Malvidées (Eurosids II)** : Brassicales, Malvales, Sapindales, Tapisciées

- **Astéridées (Asterids)** : Cornales, Ericales.

- **Lamiidées (Euasterids I)**: Garryales, Solanales, Gentianales, Lamiales, Borraginacées, Icacinacées, Oncothécacées, Vahliacées.

- **Campanulidées (Euasterids II)**: Aquifoliales, Apiales, Dipsacales, Astérales, Erémossynacées, Escalloniacées, Paracryphiacées, Polyosmacées, Sphénostémonacées, Tribélacées.

<https://www.opu-lu.cerist.dz/>

OUVRAGES UTILISES

- Abbayes H. (Des), Chadefaud M., Feldmann J., Ferré Y., Gausсен H., Grassé P.P. Et Prévot A.R., 1987.** Précis de botanique. Tome 1. Végétaux inférieurs. 2^e Ed. Masson, Paris, New-York, Barcelone, Milan. 722p.
- Amirouche N., Bouguedoura N., Hadj-Arab H., 2010.** Botanique, algues, champignons, lichens. Ed. Houma. Alger. 88p
- Amirouche N., Bouguedoura N., Hadj-Arab H., 2010.** Botanique. Les Embryophytes. 2^e Ed. OPU. Alger. 103p.
- APG II. 2003.** An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society* **141**: 399–436.
- Carl R. Woese and George E. Fox, 1977.** The Concept of Cellular Evolution. *Journal of Molecular Evolution*, Vol.10, No.1, p.1-6. [DOI:10.1007/BF01796132](https://doi.org/10.1007/BF01796132).
- Chassany V., Potage M., Ricou M., 2012.** Mini Manuel de biologie végétale. Ed. Dunod. Paris. 226p.
- De Reviere B. 2002.** Biologie et phylogénie des algues. Tome 1 et 2. Ed. Belin.
- Dupont F., J. L. Guignard, 2007.** Botanique systématique moléculaire. 14^e Ed. Masson. 287p
- Gausсен H., Leroy J.F., Ozenda P., 1982.** Précis de botanique. 2. Végétaux supérieurs. 2^e Ed. Masson. Paris. 579p.
- Guignard J. L., 1989.** Botanique. 7^e Ed. Masson. Paris. 259p.
- Meyer S., C. Reeb, R. Bosdeveix, 2004.** Botanique biologie et physiologie végétales. Ed. Maloine. Paris 461p.
- Spichiger R.E., Savolainen V.V., Figeat M., Jeanmonod D., 2002.** Botanique systématique des plantes à fleurs. Une approche phylogénétique nouvelle des Angiospermes des régions tempérées et tropicales. 2^e Ed. Presses polytechniques et universitaires normandes. 413p.