

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم و البحث العلمي

Université Ferhat Abbas Sétif 1

جامعة فرحات عباس سطيف 1



Faculté des sciences de la Nature et de la vie

كلية علوم الطبيعة و الحياة



Département de Biologie et D'Ecologie végétale

POLYCOPIE

***Cours de taxonomie et systématique
des végétaux inférieurs***

Destiné aux étudiants de 3^{ème} année (L3 Biotechnologie et Amélioration végétale

2^{ème} année LMD (Etude de bases Partie 1 Cryptogames)

Master 1 (Biodiversité et Environnement Partie Systématique des Cryptogames)

Préparé par Dr Tedjari – Seggane Nassima

| | |
|------------|---------------|
| VHG 67h30 | Crédits 4 |
| Cours 1H30 | Coefficient 2 |
| TP 1h30 | Semestre 5 |

Année universitaire 2018-2019

Préface

Le cours de Taxonomie et systématique des végétaux inférieurs, est une matière fondamentale du semestre 5, plus particulièrement du programme de la formation de la licence académique dispensé en troisième année licence Biotechnologie et amélioration des plantes. Cette matière a un coefficient de 2 et un crédit de 4, avec un volume horaire global (VHG) de 67h30, 1h30 de cours et 1h30 de travaux pratiques.

L'enseignement de cette matière a pour objectif de fournir des bases théoriques et pratiques permettant l'acquisition de connaissances et des concepts dans la classification et systématique de grands groupes du règne végétal ainsi que les critères de classification.

Ce polycopié est utile à la carrière d'un étudiant universitaire dans le domaine des « sciences de la nature et de la vie particulièrement dans les spécialités du domaine végétal (biologie, écologie et biodiversité.....). Il sera même utile pour les étudiants préparant un Master spécialité Biodiversité et Environnement comme il sera aussi destiné aux étudiants de 2^{ème} année du Socle des études de bases des Sciences biologiques et agronomiques et enfin à tous ceux qui s'intéresse à l'étude scientifique du règne végétal spécialement à la partie Cryptogames et son organisation. Pour mieux comprendre cette matière. Il est nécessaire que l'étudiant doit avoir des prérequis en biologie végétale (morphologie, anatomie), écologie et génétique.

Ce polycopié de cours traite uniquement la partie Cryptogames, il est articulé en premier lieu en une introduction à la botanique suivi d'une grande partie des Thallophytes qui comprend les Phycophytes (Algues), les Mycophytes (Champignons) et les Lichenophytes (les Lichens). A la fin de ce document deux groupes seulement des cormophytes sont traités qui sont les Bryophytes et les Ptéridophytes, tout en présentant les caractères généraux, reproduction et systématique pour chaque groupe étudié dans un sens évolutif en allant des formes archaïques vers les plus évoluées.

Table de matière

- Introduction générale à la botanique.
- Définition, notion et concept en classification et systématique de grands groupes du règne végétal et critères de classification.

CHAPITRE 1: LES ALGUES

- I-1-Morphologie et évolution des thalles
- I-2- Caractères cytologiques (paroi, structure et évolution des plastes)
- I-3-Reproduction : notion de gamie, cycle de développement (mono, di, tri génique)
- I-4-Systématique de particularité des principaux groupes
- I-5-Les algues procaryotes : Cyanoschisophytes – cyanobactérie)
- I-6-Les algues eucaryotes : phycophytes
 - I-6-1-Les rhodophycophytes
 - I-6-2 Les chromophycophytes (pyrro-chryse-algeno-pheo)
 - I-6-3-Les chlorophycophytes
 - I-6-4-Les charophycophytes

CHAPITRE 2: LES CHAMPIGNONS ET LICHENS

- 2-1- Problèmes posés par la classification des champignons
- 2-2-Structure des thalles (mycéliums, stroma, sclérote,...)
- 2-3-Reproduction asexuée (arthrospores, chlamydo-spores, conidies) et sexuée (types de plasmogamies)
 - 2-3-1- Myxomycètes
 - 2-3-2-Phycomycètes
 - 2-3-3- Trichomycètes
 - 2-3-4- Basidiomycètes
 - 2-3-5- Zygomycètes
- 2-4-Une association particulière algue-champignon : les lichens**
 - 2-4-1 Structure,
 - 2-4-2-Reproduction
 - 2-4-3Classification

CHAPITRE 3: LES BRYOPHYTES

- 3-1-Etude comparée de morphologie et reproduction dans les différentes classes.
- 3-2- Mousses (structure de la capsule dans différents ordres)
- 3-3 Hépatiques (évolution régression des marchantiales)
- 3-4-Anthocérotes

CHAPITRE 4: LES PTERIDOPHYTES

4-1-Généralité sur les caractères morphologiques particuliers des ptéridophytes

4-2-Importance évolutive de la reproduction : notion d'endoprothallie hétérosporie et réduction de la phase gamétophytique

4-3-Systématique

4-3-1-Psilophytinées

4-3-2-Lycopodinées

4-3-3- Équisétinées

4-3-4-Filicinées

I/ Introduction générale à la botanique

Le terme Botanique vient du mot grec « Botane » qui signifie une plante. Il désigne la science qui a pour objet l'étude des végétaux. Les termes plante et végétal sont synonymes. Depuis longtemps le terme végétal désignait l'immense diversité d'organismes chlorophylliens photosynthétiques différents des animaux, puisqu'ils utilisent directement les sels minéraux du sol et le carbone de l'air. Ce sont des autotrophes (grec : autos : soi-même et trophe : nourriture) capable, en particulier de fabriquer des glucides grâce à l'énergie solaire.

Les végétaux sont ainsi le support de toute vie animale. Ils sont situés sur la première case de la chaîne alimentaire. Cette faculté de synthèse se traduit au niveau cellulaire, par la présence d'éléments particuliers appelé : **plastides** et dont est toujours dépourvue la cellule animale. Quant à la captation de l'énergie solaire (photosynthèse) celle-ci est rendue possible grâce à la présence de pigments assimilateurs dont le plus connu et le plus répandu : **la chlorophylle**. Après cette dernière, la présence d'un squelette cellulosique est le second trait qui oppose les végétaux aux animaux où la présence autour de chaque cellule d'une enveloppe semi rigide d'un glucide particulier: la cellulose : **paroi cellulosique** Cette enveloppe de cellulose l'empêche de se déformer et de se mouvoir d'où l'immobilité et la fixation au sol.

La botanique générale recouvre la taxinomie ou taxonomie (description des caractères diagnostiques et différentiels, la systématique (dénombrement et classification des taxons dans un certain ordre), la morphologie végétale (décrivant les organes ou parties des végétaux), la biogéographie végétale, l'histologie et la physiologie végétale.

La connaissance fine des végétaux trouve des applications dans les domaines de la pharmacologie, de la sélection et de l'amélioration des plantes cultivés en agriculture, en horticulture et en sylviculture.

La taxonomie a pour but la description, la nomenclature et la classification des espèces végétales, et leur représentation dans un seul corps hiérarchisé phyllogénétiquement ordonné.

Les objectifs pédagogiques visés du cours de taxonomie et systématique des végétaux inférieurs et des travaux pratiques qui lui sont associés sont les suivants :

- Comprendre ce qu'est la taxonomie et la systématique classique et phyllogénétique des végétaux ;

- Décrire des grands groupes du règne végétal.
- Décrire des échantillons botaniques en utilisant les termes adéquats ;
- Collecter, conserver et préparer les échantillons.
- Identifier et situer les espèces.

II/Historique :

Dès le début de son histoire, l'homme était en contact avec le monde végétal, en tout premier lieu pour se nourrir, pour se loger, fabriquer des armes...par la suite il apprend à utiliser les plantes pour se soigner.

Depuis longtemps, les hommes essayaient aussi de classer les plantes mais les premières classifications étaient purement **utilitaires** et ne concerne que quelques centaines de plantes.

Le plus vieil ouvrage connu traitant la botanique était chinois, il date depuis 2800 ans av J-C dont 300 plantes y étaient référencées.

Dans le monde grec –romain quatre auteurs se démarquent :

Le philosophe **Aristote** (384-322 a.v. J-C) touchait à tout et notamment à la biologie, considéré comme le fondateur de la botanique, a écrit « *Traité de plantes* » hélas perdu. Son élève **Théophraste** (372-288 a.v. J-C) philosophe grec « père de la botanique » donne dans son ouvrage Histoire des plantes « *Historia plantarum* » en 9 volumes, un système de classification qui distingue entre les herbes, lianes, arbres et arbrisseaux. Il répertorie jusqu'à 480 plantes en le regroupant de manière artificielle, mais ses travaux restaient ignorés jusqu'au XVème siècle. Il est le premier à faire la distinction entre le règne animal et règne végétal

***Pline l'ancien**, (23-79 ap J-C), homme de lettres, militaire et historien romain avait écrit un ouvrage appelé histoire naturelle « *Historia naturalis* » qui comportait 37 livres dont 9 traitaient des plantes médicinales et était considéré comme l'encyclopédie de cette époque.

***Pedanius Dioscoride** (40-90 ap J-C) médecin grec de l'armée romaine. Dans son ouvrage « *Materia Medica* » il décrit plus de 600 plantes essentiellement médicinales (ses travaux seront utilisés jusqu'au XVIème siècle).

Au moyen âge (5ème- 15ème siècle), on copie, recopie et commente les ouvrages, la description des plantes fraîches étaient rares que l'on essaye d'adapter les descriptions des plantes méditerranéennes aux plantes des régions nordiques ou va même jusqu'à utiliser une même illustration pour différentes plantes.

***Ibn Sina dit Avicenne** (980-1037) médecin iranien, dans son ouvrage « *Canon de la médecine* ». Il cite plus de 650 plantes. Cet ouvrage est utilisé pendant plusieurs siècles aussi bien en orient qu'en occident.

***Albertus Magnus** (1193-1230), moine dominicain allemand reprend les thèses d'Aristote et écrit entre autre son ouvrage « *De vegetalis* » où l'on voit transparaître pour la première fois les notions de plantes monocotylédones et dicotylédones sur la base de la comparaison de la structure de la tige. Il classe plus de 400 espèces végétales.

A la renaissance (15^{ème} -16^{ème} siècle), les grandes explorations et l'invention de l'imprimerie permettent à la botanique de faire de grands progrès, avec notamment l'essai de classifications scientifiques et la nécessité de trouver un nouveau système de classification incluant toutes les plantes. Pour cela plusieurs travaux ont été réalisés pour mieux classer les plantes :

***John Ray** (1627-1705) : inventeur du premier concept de l'espèce; il décrit plus de 18000 espèces en Imperfectae (cryptogames), mono-dicotylédones dans « *Historia plantarum* » (1686- 1704)

***Pierre Magnol** (1638-1715) : inventeur du concept *familia* les familles proposées par Magnol sont toujours d'actualité.

. En France c'est **Joseph Pitton de Tournefort** (1656-1708) inventeur du concept de **genre**, qu'il définit comme l'unité de base de la classification, en décrivant 10 000 plantes en 700 espèces et 22 classes de manière artificielle. Les familles ont séparées sur la base de pièces florales (apétales, monopétales, polypétales).

Vers le 17^{ème} siècle avant **Linné**, malgré l'existence des différents concepts (famille, genre et espèce) mais il n'existait pas de système de classification validé et pas de règles de nomenclature universelle, deux sortes de noms (nom vernaculaire et nom vulgaire considéraient comme des noms régionaux) = problèmes de noms vernaculaires. Les plantes avaient plusieurs noms pour une seule espèce, notamment les différents noms vernaculaires (noms vulgaires), et des noms composés de 2 ou 3 (parfois 10) termes latins.

Le 18^{ème} siècle, marque un tournant notamment avec Carl Von Linné (1707-1778), un médecin botaniste suédois, considéré comme le père de la classification moderne. Il développe la **nomenclature binomiale (binaire ou binominale)**.

Cette nomenclature paraît en 1753 dans *Species plantarum* (*Systema naturae* en **1749**). Toutes les descriptions antérieures ne sont plus valables

Carl Linné avait développé un système de classification sexuel des végétaux, il a ainsi classé les 8000 espèces décrites à son époque en 24 classes basées sur le nombre et la disposition des étamines et 67 ordres sur la disposition et le nombre de pistil y sont distingués. Mais ce type de classification a montré ses limites puisqu'il ne reposait que sur les étamines. Elle est encore artificielle, ne prenant pas assez en compte la parenté entre espèces.

Des progrès sont alors réalisés grâce à l'utilisation du microscope. C'est la classification naturelle qui prend le pas sur la classification artificielle. A partir des espèces décrites par Linné et les genres de Tournefort, Bernard et Laurent Jussieu (1759) créent le concept de « famille » qui regroupe des plantes ayant en commun un certain nombre de caractères publié dans son ouvrage « *Genera plantarum* » en 1789. Sur le même principe d'autres botanistes comme Michel Adanson (1727-1806) avec son ouvrage « *familles des plantes* » en regroupant 58 familles d'angiospermes, et Augustin -Pyranne de Candolle (1778-1841) il entreprend de décrire l'ensemble des familles, genres, et espèces qu'ils regroupent en 161 familles, 5000 genres et 5800 espèces, il établit le terme original de Taxonomie dans sa « *Théorie élémentaire de la botanique*, inventent des divisions supérieurs : ordres, classes et embranchements.

A partir de la moitié du 19^{ème} avec la théorie de Charles Darwin dans son livre « on the origine of species » en 1859, c'est la fin de fixisme et le début des classifications basées sur l'évolution des plantes, les espèces sont considérées comme forme issue de l'évolution d'espèces parentales. Ces espèces peuvent elle-même évoluer vers d'autres espèces sous l'influence des conditions du milieu ou de brusques mutations. En 1950, Willi Hening a élaboré des concepts basés sur le principe de parenté phylogénétique ou cladistique « la preuve d'une parenté phylogénétique entre différents taxons n'est fournie que lorsqu'ils partagent les mêmes caractères dérivés » Les premiers cladogrammes ont été construits à partir des caractères morphologiques. Cette classification phylogénétique tient compte du lien de parenté entre divisions voisines et les regroupe suivant leur degré d'évolution et leur étape d'apparition (passé). Elle fait appel aux espèces disparues ou fossiles (Paléobotanique) pour établir l'ordre d'apparition des groupes.

Dans cette classification un certain nombre de caractères sont pris en considération : certains pris comme primitifs, d'autres comme évolués. Ces caractères sont d'ordre morphologique, anatomique, cytologique, chimique, écologique, moléculaire.

Ainsi plusieurs classifications phylogénétiques furent proposées : Engler et Prantl (1887), De Bessy (1915), Hutchinson (1926), Emberger (1960), Taktajan (1968), Dahlgreen (1975), Cronquist (1981).

Depuis 1985, le développement de la biologie moléculaire a fait révolutionner la systématique. La comparaison des séquences complètes des ARN 16 S, macromolécules présentes chez tous les êtres vivants, a permis à Carl Woese et Gary Folsen d'établir le premier arbre vivant. La phylogénie moléculaire est née et la classification des êtres vivants devient de plus en plus précise. Pour cela depuis plusieurs années, un groupe constitué d'experts internationaux appelé : Angiosperm Phylogeny Group (APG) revoit l'entièreté de la classification en se basant sur des critères génétiques en les croisant avec les données morphologiques et physiologiques. Des versions phylogénétiques sont disponibles :

APG depuis 1998.

APG II depuis 2003.

APG III depuis 2009.

APGIII depuis 2016.

II-1 Systématique et nomenclature

La systématique végétale (classification des plantes) est la partie botanique qui a pour objet d'identifier, de décrire et d'inventorier et regrouper les plantes en des classes ou en système en prenant compte des caractères morphologiques, cytologiques, biochimiques et de biologie moléculaire.

Beaucoup de botanistes considéraient que la systématique est synonyme de taxonomie. Au 19^{ème} siècle la taxonomie était définie comme « l'application des lois générales de la classification au règne végétal » (Richard, 1828) ou comme « la partie de la botanique qui traite la classification » (Le Maout, 1846), la classification est pour ce dernier auteur « la distribution méthodique des plantes en différents groupes nommées classes, familles, genres et espèces. Plus récemment pour Cronquist (1991), la taxonomie est soit l'ensemble des études ayant pour objectif la création d'un système de classification d'organismes afin de refléter au mieux leurs similitudes et leurs différences, soit la classification elle-même.

II-2/ Nomenclature et unités systématique :

Devant la grande diversité biologique (1800000 espèces décrites), il est nécessaire de ranger et mettre en ordre les taxons dans un système hiérarchisé.

Les unités taxonomiques les plus utilisées sont données ici par l'exemple du blé selon la classification de Takhtajian-Cronquist (1964-1968)

Règne :..... Plantae
 Embranchement :..... Liliophyta = Phanérogames
 Sous embranchement Angiospermes
 Classe :.....Liliopsida
 Sous classe..... Commelinidae
 Ordre :.....Graminales (Poales)
 Famille :.....Poaceae (Gramineae)
 Sous famille :Pooideae
 Tribu Triticeae
 Genre :.....Triticum
 Espèce :.....Triticum durum

Plusieurs Espèces proches constituent un Genre, des Genres voisins sont regroupés en une Famille.....

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

Tableau 1 : Suffixes des différentes unités systématiques

| Rang du taxon | Algues | Champignons | Embryophytes |
|------------------------------------|------------|-------------|--------------|
| Règne | Phycophyta | Fungi | Plantae |
| Embranchement (phylum ou division) | phyta | mycota | Phyta |
| Classe | phyceae | myctes | Opsida |
| Sous-classe | phycidae | mycetidae | Idae |
| Ordre | ales | ales | Ales |
| Famille | aceae | aceae | Aceae |
| Sous- famille | oideae | oideae | Oideae |
| Tribu | eae | eae | Eae |
| Sous-tribu | inae | inae | Inae |

II-3/-Règle de la nomenclature

La nomination des espèces repose sur le code international de nomenclature botanique. Le dernier code remis à jour a été adopté par le 17^{ème} congrès de botanique de Vienne en 2005.

Depuis Linée l'appellation ou le nom d'une plante est toujours validé par un binôme latinisé : le nom du genre suivi du nom de l'espèce.

- Le premier est le nom générique: **le genre**, la première lettre est une majuscule. Ex : Ulva ou Avena

- Le second est le nom spécifique : **l'espèce**, dont la première lettre est obligatoirement une minuscule. Ex : lactuca, sativa
- Les deux termes en *italiques* ou **soulignés**. Ex : *Ulva lactuca* ou Ulva lactuca
- Le nom scientifique de l'espèce est parfois suivi de l'initiale (ou du nom abrégé) désignant le nom du premier descripteur de l'espèce et l'année de découverte qui fut à son origine.

Ex *Triticum sativum* L. (Triticum sativum Linné)

II-4/ Notion d'espèce

C'est le taxon de base de la systématique, c'est l'ensemble de tous les individus morphologiquement et génétiquement semblables qui, au sein du même genre présentent les caractères très proches ou similaires qui les distinguent des autres individus de ce genre. Les individus de la même espèce ont la capacité de s'entrecroiser et de produire de nouveaux individus fertiles de la même espèce

III/ Concept en classification et systématique des grands groupes du règne végétal et critères de classification :

De l'Antiquité à la découverte du microscope par Anthony Van Leeuwenhoek en 1665 on distinguait le Minéral, le Végétal, et L'Animal (**Tableau 2**).

La découverte des micro-organismes (bactéries, protozoaires.....) par ce même auteur de répartir les organismes vivants en trois Règnes : Protistes, Végétal, Animal. Puis au début du XX^{ème} siècle, les organismes vivants sont répartis en deux groupes

II-1- Les Procaryotes (du grec pro= primitif et karyon = noyau). Ces des organismes cellulaires imparfaits dépourvus d'un vrai noyau, L'ADN est présent à l'état diffus dans la cellule, ne possédant ni plastides, ni mitochondries, ni d'appareil de Golgi et sans reproduction sexuée. Comprenant trois principaux groupes :

*Les Archéobactéries

* Les Eubactéries

* Les Cyanobactéries

III-2- Les Eucaryotes

Ce sont des organismes parfaits avec l'existence de noyaux typiques, munis d'un ensemble d'organites cellulaires (mitochondries, appareil de golgi et plastides pour les

végétaux), organismes très variés doués des deux types de reproduction (sexuée et asexuée). Ils comprennent

- * Les Algues (vertes, brunes et rouges) : les Phycophytes
- * Les Champignons (les Mycophytes)
- * Les lichens (les Lichenophytes)
- * Les mousses (Bryophytes), les fougères (Ptéridophytes) et les Spermaphytes
- * Les Animaux

Copeland en 1956 a proposé une classification du monde vivant en 4 règnes : Monères (procaryotes : cyanobactéries et bactéries), protistes, Animaux et végétaux

Whittaker en 1969 a proposé une classification du monde vivant en 5 règnes : Monères (cyanophycées et bactéries), protistes, animaux champignons et végétaux

Selon Carl Woese et George Edward Fox (1990), le monde vivant est partagé en trois domaines fondamentalement différents : Les archés, les eubactéries et les eucaryotes (eukara ou eukaryota)

Tableau 2 : Evolution des systèmes de classification

| | Linné 1735 2 règnes | Haeckel ¹ 1866 3 règnes | Chatton ² 1937 2 Empires | Copeland ³ 1956 4 règnes | Whittaker ⁴ 1969 5 règnes | Woese & Co ⁵ 1977 6 règnes | Woese & Co ⁶ 1990 3 domaines |
|--|---------------------------|--|---|---|--|---|---|
| Non abordé | | Protistes | Procaryotes | Monères | Monères | Bactéries Eubatctéries | Bactéries |
| | | | Eucaryotes | Protistes | Protistes | Archea bactéries | Archea Bactéries |
| | | | | | Champignons | Protistes Champignons | |
| Règne des êtres vivants-verts (végétaux) | Règne végétal | Règne végétal | | Règne végétal | Règne végétal | Règne végétal | Eucaryotes |
| Règne animal | Règne Animal | Règne Animal | | Règne animal | Règne animal | Règne Animal | |

Les eucaryotes renferment l'ensemble des végétaux et des animaux. Les Eucaryotes autotrophes (règne végétal) se différencient par :

- *L'organisation structurale du végétal (Thallophytes et Cormophytes).
- *Présence ou Absence de vascularisation (Plantes non vasculaires et Trachéophytes)
- *Expression de la sexualité (Cryptogames et Phanérogames) (Figure1).

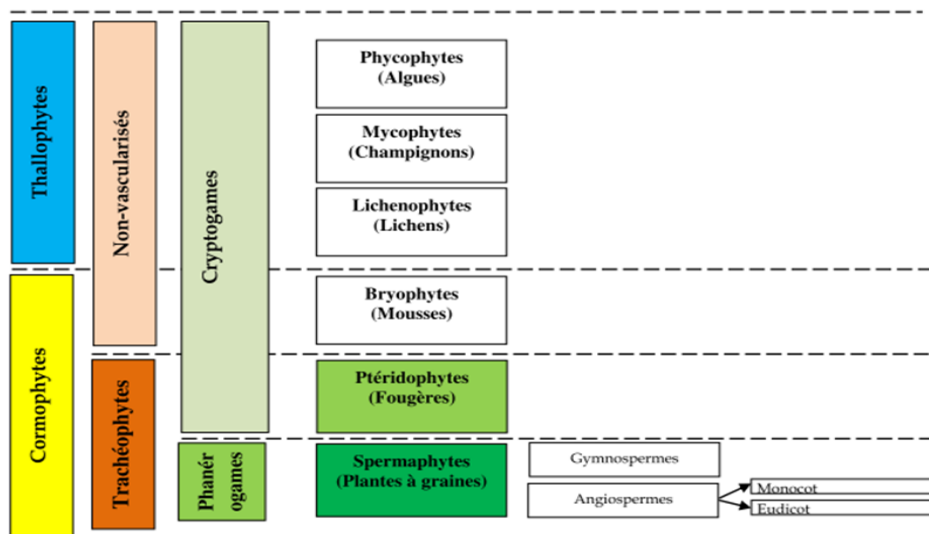


Figure 1 : Classification du monde végétal

- **Thallophytes** : (du grec : **Thallos** : rameau aplati et **phyton** : plante) l'appareil végétatif est un thalle dont les cellules ne sont pas organisées en tissus avec absence de tige, feuille et de racines ; les cellules reproductrices (spores et gamètes) sont dans des cystes (sporocyste et gamétocystes) (Figure 2).

Ils sont représentés par les algues (Phycophytes), les champignons (Mycophytes), les lichens

- **Cormophytes** : (du grec : **Cormus**) L'appareil végétatif est un cormus dont les cellules sont organisées en tissus regroupés en organes (tiges, feuille, racines). Les cellules reproductrices sont produites dans des structures reproductrices pluricellulaires (gamétanges, sporanges) (Figure 2).

Ils sont représentés par les Bryophytes ou mousses (apparition du cormus, les ptéridophytes ou fougères (apparition de l'appareil vasculaire=Trachéophytes), les Préspermaphytes (apparition de l'ovule) et les Spermaphytes ou plantes supérieures (apparition du fruit).

Ajoutons que les spermaphytes sont encore appelés Phanérogames (grec : **phanéros** : visible et **gamos** : mariage) les phénomènes de la reproduction s'y traduisent par des structures facilement observables (cônes des conifères, fleurs), alors que les autres végétaux sont dénommés Cryptogames (grec **kruptos** : caché, **games** : mariage). Les phanérogames sont divisées en Gymnospermes (plantes à graines nues) et les Angiospermes (plantes à graines enfermées dans un fruit

Les organes reproducteurs

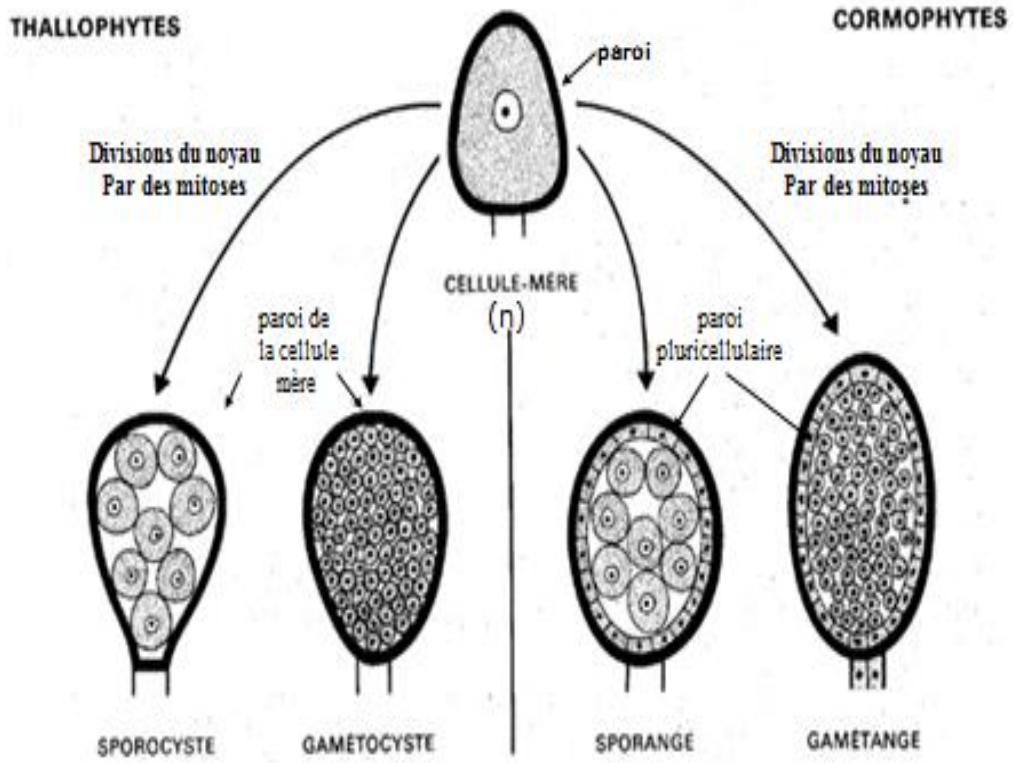


Figure 2 : les différents types d'organes reproducteurs

Chapitre 1

Les Algues

Les Algues ou phycophytes (du grec pukos =algue ; phuton = plante) sont des êtres vivants autotrophes qui contiennent toujours de la chlorophylle a et divers autres pigments surnuméraires. Leur cycle de vie se déroule généralement en milieu aquatique.

Les premières algues unicellulaires sont probablement apparues dès la fin du précambrien, c'est-à-dire, il y a 1,5 milliards d'années. Elles se sont différenciées ensuite pour donner plus de 25000 espèces algales pluricellulaires.

Les algues sont des cryptogames, thallophytes, photosynthétique, leurs habitats sont variés, mais leur cycle de reproduction nécessite absolument de l'eau. Leur morphologie est très diversifiée.

Ils sont, typiquement, des organismes aquatiques, se développant dans l'eau et dans les milieux humides. Elles sont plus rares en milieu aérien.

Les phycophytes ont de couleurs différentes dues à la présence de pigments masquant plus au moins la chlorophylle. Ce caractère conduit à subdiviser le groupe en trois grandes lignées (Figure 3), qui s'opposent entre elles par un certain nombre de critères biochimiques, structuraux et fonctionnels :

- *Les Algues vertes (Chlorophycophytes)
- * Les Algues rouges (Rhodophycophytes)
- * Les Algues brunes (Chromophycophytes)

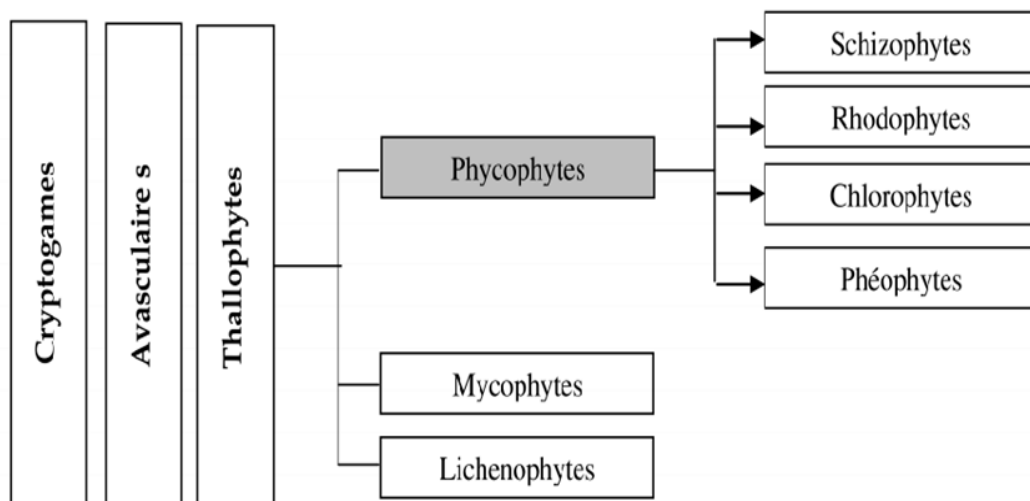


Figure 3 : Position systématique des Phycophytes

1-1- Morphologie et évolution des thalles

L'appareil végétatif des algues est organisé sous forme de thalles dont il existe plusieurs types depuis le type unicellulaire (Thalle unicellulaire) jusqu'au type ramifié (thalle pluricellulaire) : Ces formes de thalle sont classées selon leur degré de complexité : Archéthalle, Nématothalle et en Cladomothalle .

a- **Archéthalle** : Thalle où toutes les cellules ont la même rôle, sous forme

- **Thalle unicellulaire** : sous forme de cellules unique libre qui peut être pourvu de flagelles dans ce cas il est mobile : **monadoïde** (ex : *Chlamydomonas*, *Euglena*), il peut être non flagellé, donc immobile : **coccoïde** (ex : *Chlorella*, *Diatomés*) (Figure 4)

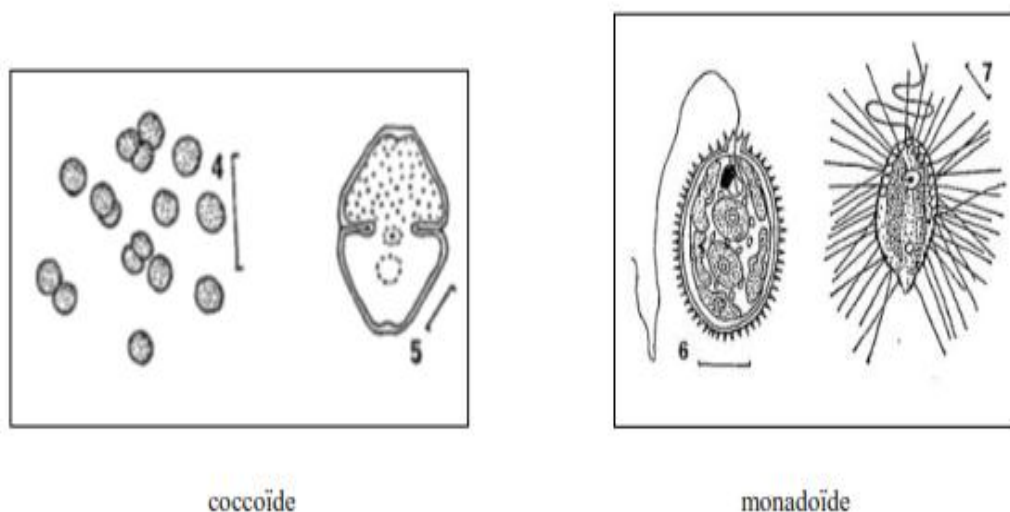


Figure 4 : Archéthalle unicellulaire

- **Thalle en colonie**: ce sont des groupes de cellules souvent unies entre elles par une gelée mais qui reste libres (archéthalle colonial). Ces colonies peuvent être sous forme de cellules liées et attachées (**cénobes**) qui peuvent être immobile (archéthalle cénobien coccoïde) ex : *Scenedesmus*, *Pandorina*, ou mobile (archéthalle cénobien monadoïde) ex : *Volvox*
- **Thalle filamenteux** : avec une seule file de cellules, filaments simples (*Spirogyra*) ou filaments ramifiés prostrés et/ou érigé (nombreux *Ulotrichales*) (Figure 5).

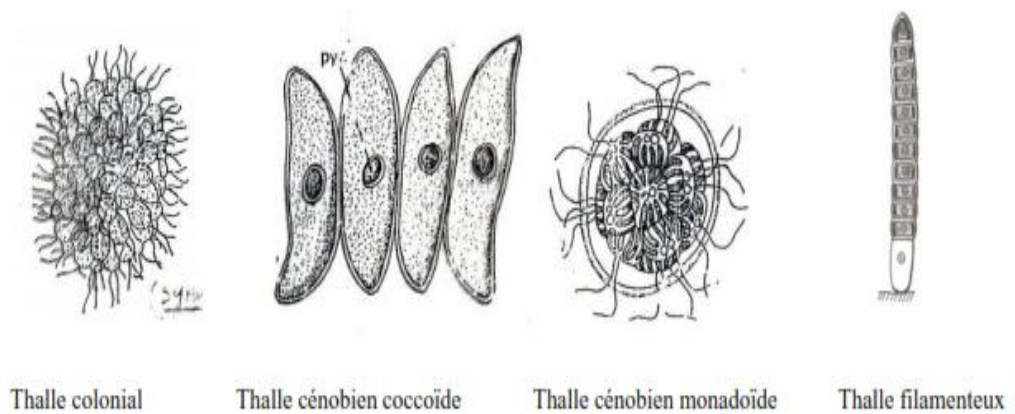


Figure 5 : Archéthalle pluricellulaire

b- Nématothalle

- **Thalle foliacé** : il dérive du thalle filamenteux par juxtaposition de cellules pour former une lame repliée sur elle-même, le thalle est ainsi formé de deux couches de cellules pressées les unes contre les autres (ex : *Ulva*)
- **Thalle tubulaire** : les cellules se sont associés pour former une structure en tube creux avec une seule couche de cellules (ex : *Enteromorpha*) (Figure 6)

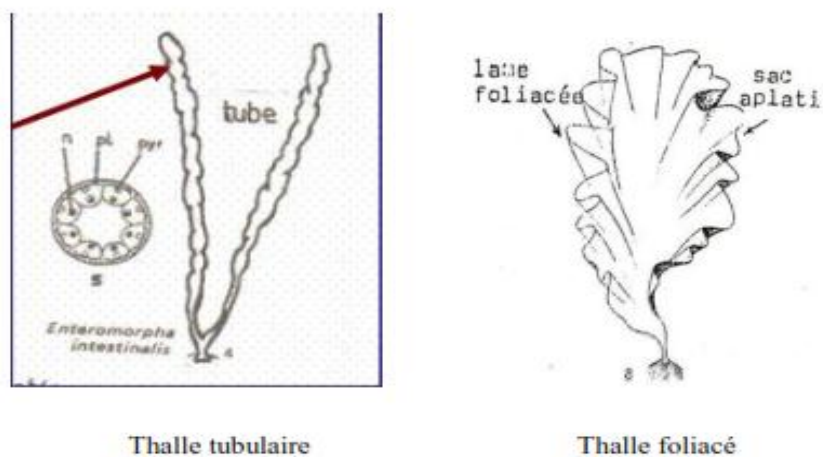


Figure 6 : Nématothalle

c- Cladomothalle

- **Thalle à cladome** : plus complexe le thalle est constitué de plusieurs catégories d'axes à fonction déterminé Ex : *Chara*. Le cladome est une organisation structurale comprenant un axe dressé à croissance indéfinie et des ramifications latérales à croissance définie: **les pleuridies**. La diversité

extrême des thalles à cladome permet de rencontrer des formes très proches de celles de certaines cormophytes (Figure 7).

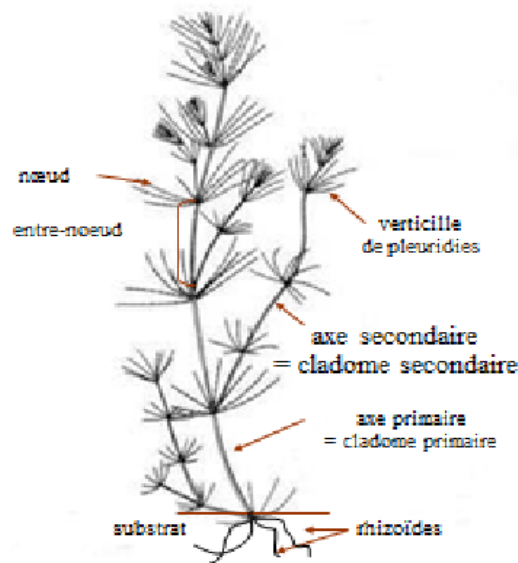


Figure 7 Cladomothalle

-**Thalle fucoïde** : algues sont toujours de grandes tailles à l'état adulte et montrent une différenciation en trois parties :

-**Lame ou fronde** : la partie élargie qui, en générale, est aplati et flotte.

-**Le stipe** : Support la structure des algues, c'est une fausse tige souvent reliée au substrat par ou plusieurs crampons et supporte la fronde

-**Les crampons** : des crochets qui tiennent l'algue dans la terre.

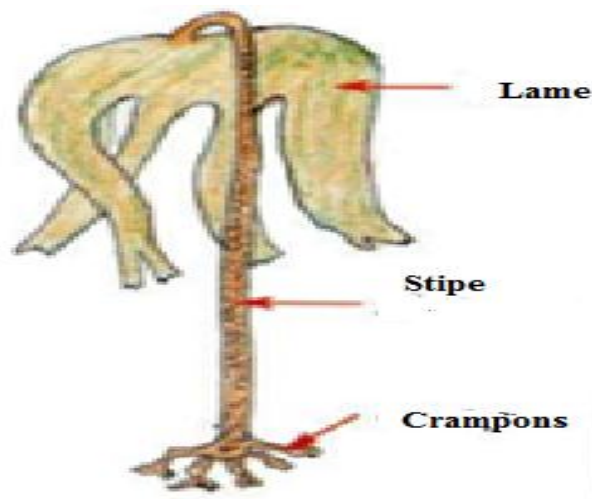


Figure 8 : Thalle fucoïde

- **Thalle siphonné ou coenocytique:** Exemples d'algues à structure siphonné d'organisation simple. Ex : *Valonia* peuvent atteindre la taille d'un œuf de Pigeon (Figure 9)



Valonia

Figure 9 : Thalle siphonné

1-2- Caractères cytologiques :

•Paroi :

De nature surtout pectocellulosique (cellulose + pectine), mais la cellulose est souvent remplacée par d'autres glucides ou dérivés glucidiques (Figure 10).

Elle est plus ou moins développée chez algues unicellulaires (composition chimique variée)

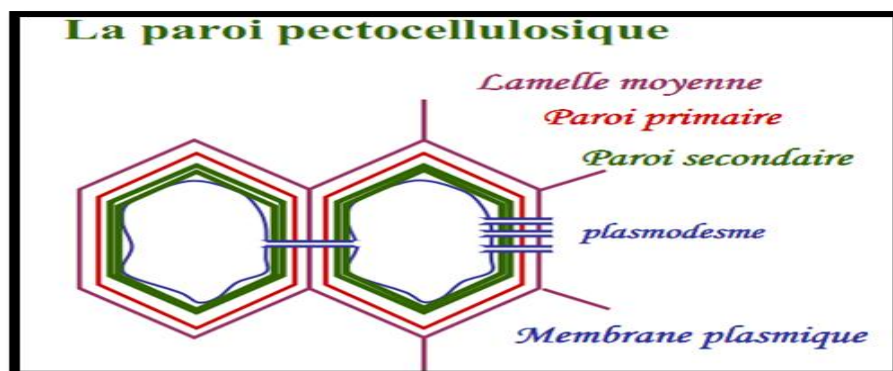


Figure 10 : paroi cellulosique des algues

•Noyau :

Il existe un noyau par cellule (Figure 11), rarement plus, il occupe généralement le centre de la cellule. Comparable à celui des végétaux supérieurs mais en général plus petit.

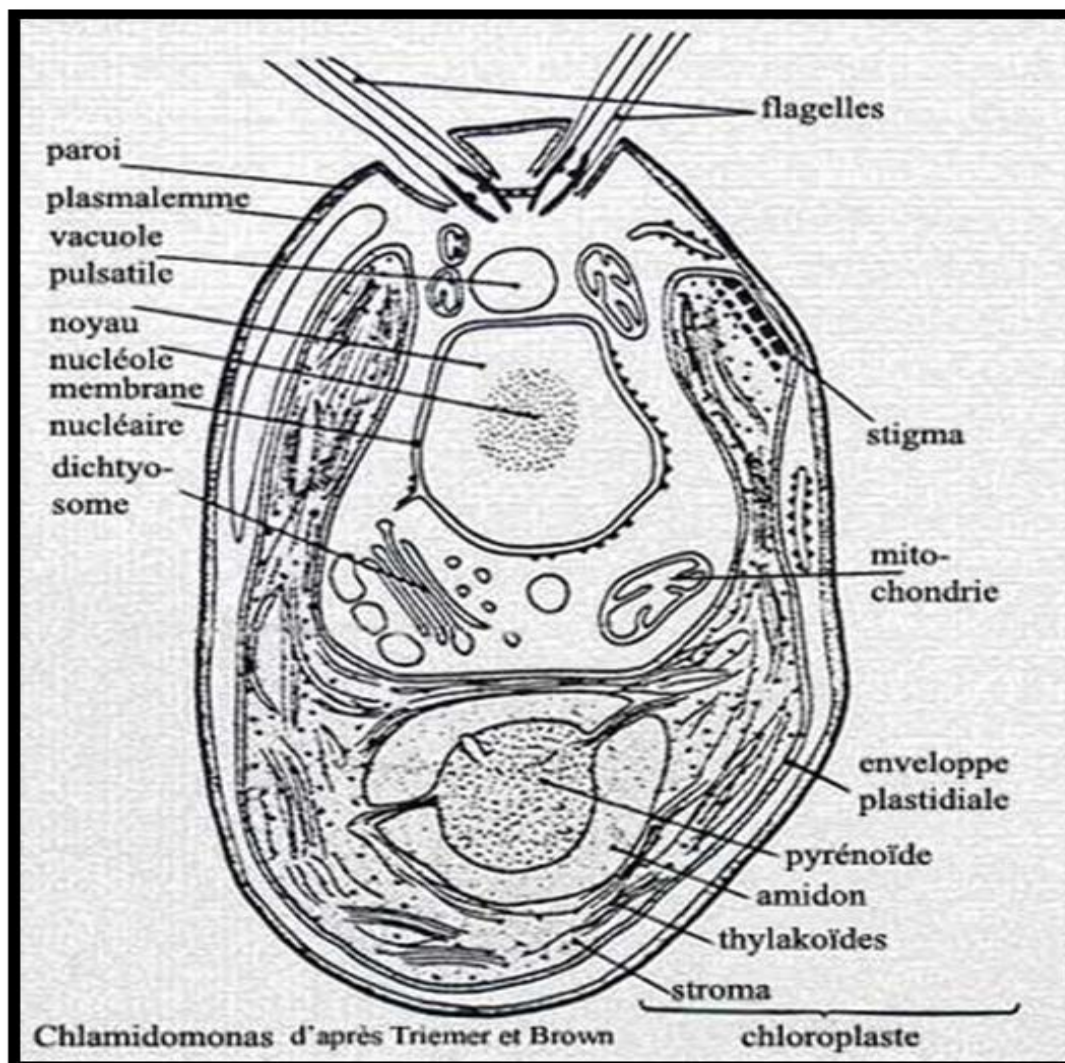


Figure 11 : Ultrastructure de la cellule algale

- **Appareil cinétique = flagelles** : il existe
 - Chez une partie des algues unicellulaires
 - Cellules reproductrices (spores, gamètes) qui se forment au cours de la multiplication chez certaines algues pluricellulaires. Les flagelles sont insérés par un mastigonème uni au centrosome situé contre le noyau par un filament (Figure 12 a et b). Le nombre de flagelles est souvent deux (on en a en général entre 0 et 4).

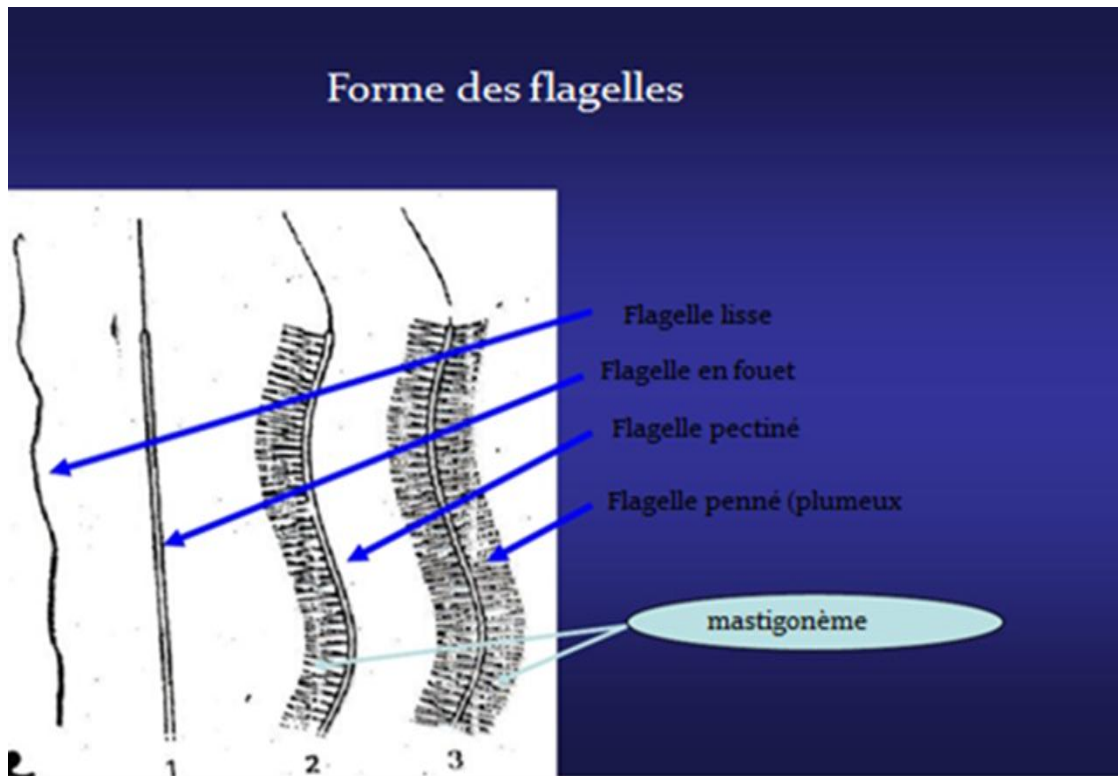


Figure 12 a : les différentes formes de flagelles chez les algues

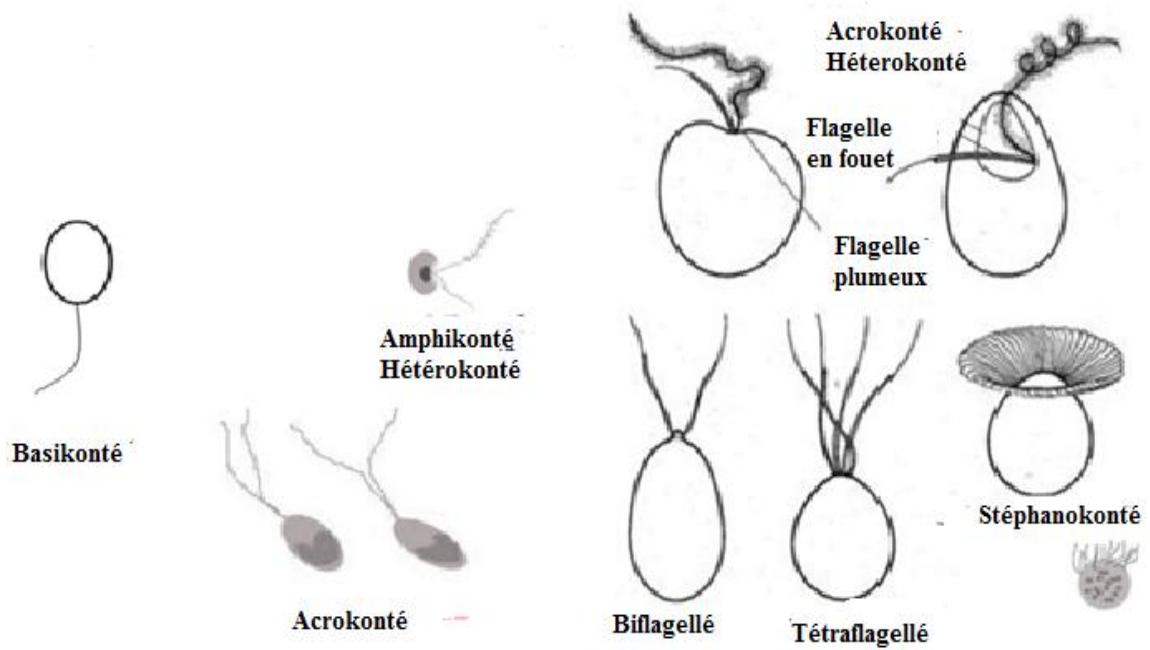


Figure 12 b : les différents modes d'insertion des flagelles chez les algues

•Plastes :

La couleur des algues est variée avec l'abondance des divers pigments. Elle caractérise les différentes algues.

- ❖ Chlorophylle : a,b,c, d
- ❖ -Caroténoïdes : carotène alpha, bêta, xanthophylle : pigment jaune
- ❖ -Phycobillines: phycocyanie et phycoérythrine

-Leur morphologie est variable,

- Les algues les plus primitives possèdent un plaste unique (Ex : Chlamydomonas)
- Souvent : Pyrénoides formation de grains de réserves glucidiques (amidon chez algues vertes)

•**Réserves** : - Nature chimique différentes selon les classes d'algues

Algues Vertes ----- Amidon

Algues Rouges---- un autre glucide voisin du glycogène

Algues Brunes ----variable mais jamais l'amidon

•Taille des algues:

Deux à trois microns pour les plus petites unicellulaires, de 50 à 60 m pour la plus grande des pluricellulaires (*Macrocystis pyrifera*); les différences de taille sont extrêmes dans le monde des algues. Ces différences restent importantes au sein de l'ensemble des algues pluricellulaires

1-3/ Reproduction :

1-3-1/ Reproduction asexué :

Le mode de reproduction le plus fréquent se fait par :

- ✓ Division mitotique des espèces unicellulaires ou scissiparité (algues bleues).
- ✓ Fragmentation du thalle : chaque fragment régénère un thalle entier (Cas des cladomes).
- Formation des spores ou sporulation
- Formation des propagules (petits massifs cellulaires d'aspects variés qui se différencient à la marge ou à l'extrémité du thalle) (Figure 13).

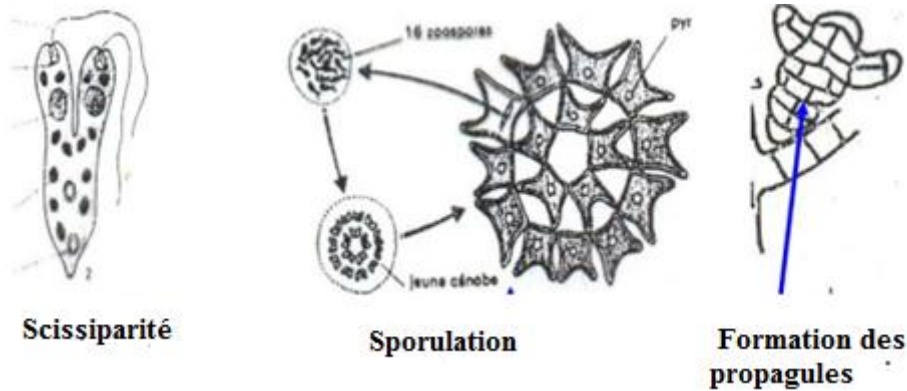
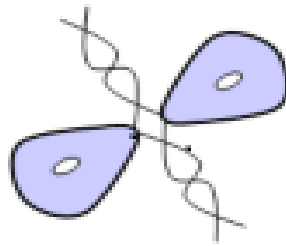


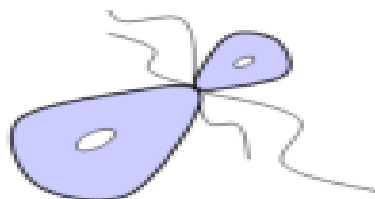
Figure 13 : Mode de reproduction asexuée chez les algues

1-3-2-Reproduction sexuée : Elle implique la méiose et la fécondation. Elle fait intervenir la formation de gamètes et des spores méiotiques. Les types de fécondation sont très divers (Figure 14).

- **Isogamie** : Fécondation mettant en présence deux gamètes morphologiquement et physiologiquement identiques.



- **Anisogamie** : Fécondation mettant en présence deux gamètes morphologiquement et physiologiquement différents.



- **Oogamie** : Fécondation mettant en présence un gamète mâle petit, mobile produit en grand nombre (anthérozoïdes) et un gamète femelle gros, immobile (oosphère).



- **Trichogamie** : Le gamète femelle (oosphère) reste dans le gamétophyte et émet un poil appelé trichogyne. Le gamète mâle (spermaties) immobile se colle sur le trichogyne.



- **Cystogamie ou conjugaison** : pas de vrais gamètes, la fécondation se fait par la formation d'un pont cytoplasmique ou pont de conjugaison, fusion entre deux cytoplasmes.

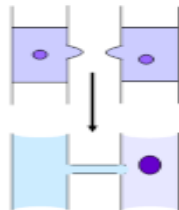


Figure 14 : les différents modes de fécondation chez les algues

1-3-3/ Cycles de vie :

Le développement des algues se caractérise par l'alternance de génération et de phases

Il existe deux phases

- ✓ **L'haplophase ou phase haploïde** (n chromosomes) qui s'étend de la méiose jusqu'à la fécondation (fusion des gamètes) et la formation du zygote.

- ✓ **La diplophase ou phase diploïde** ($2n$ chromosomes) qui dure de la fécondation à la méiose.

L'alternance de génération se compose de deux parties :

- ✓ **Un gamétophyte (n)** : qui produit les gamètes mâles et femelles de la plante. Il commence avec la germination de la spore. Le gamétophyte n'est pas toujours haploïde
- ✓ **Un sporophyte ($2n$)** : qui produit les spores (n) après la méiose.

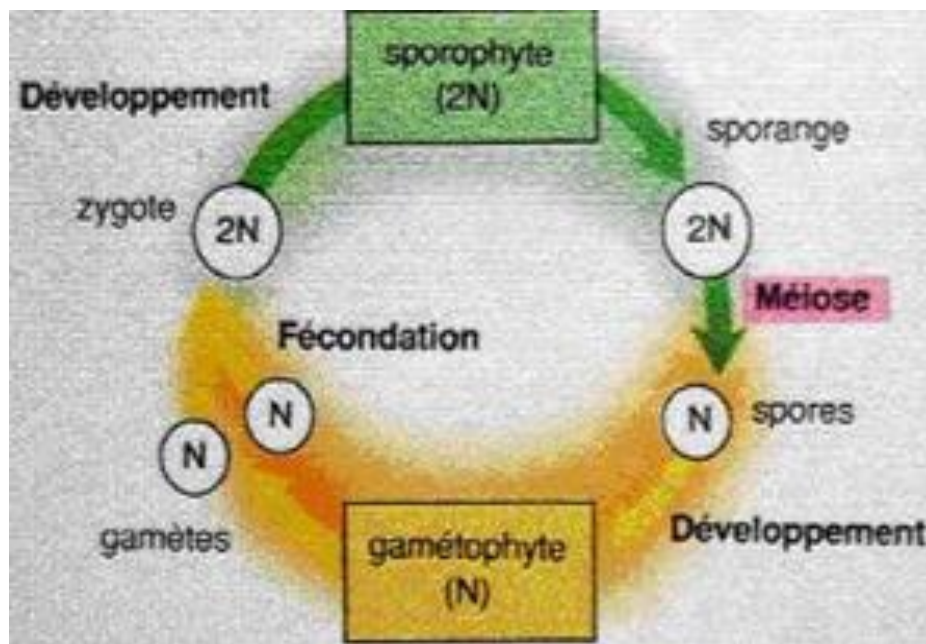


Figure 15 : Cycle de vie général d'une algue

Un cycle de vie peut comporter une ou plusieurs générations. D'une manière générale il existe 3 types de cycle de vie chez les algues:

- **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 gamétophyte appelé : **cycle monogénétique haplophasique** Ex *Spirogyra* soit par un sporophyte : **cycle monogénétique diplophasique** Ex *Fucus* (Figure 16).

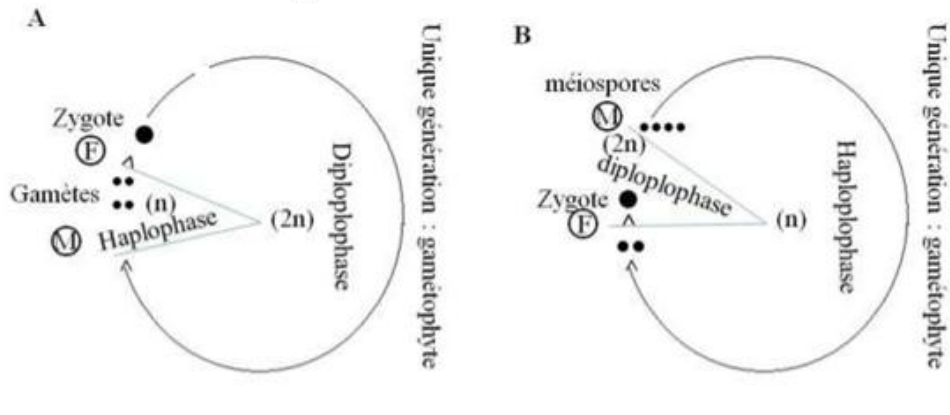
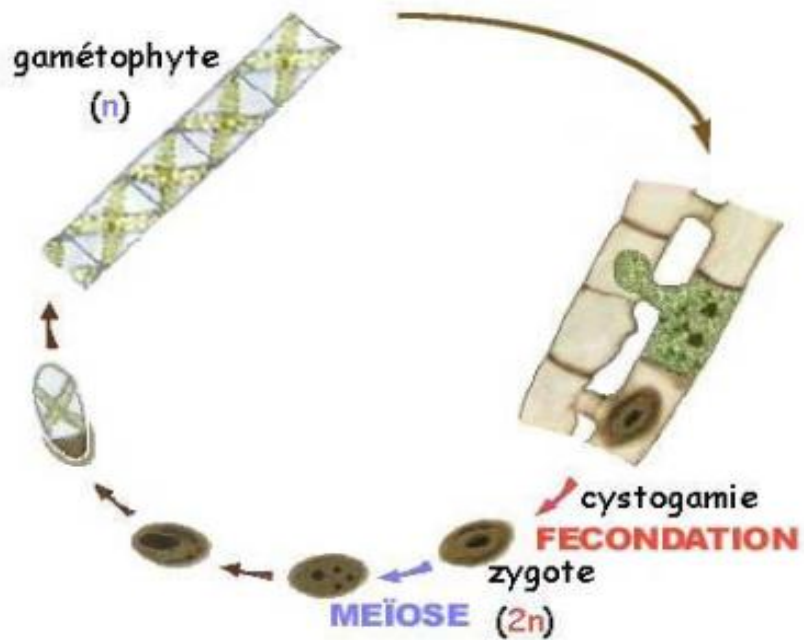
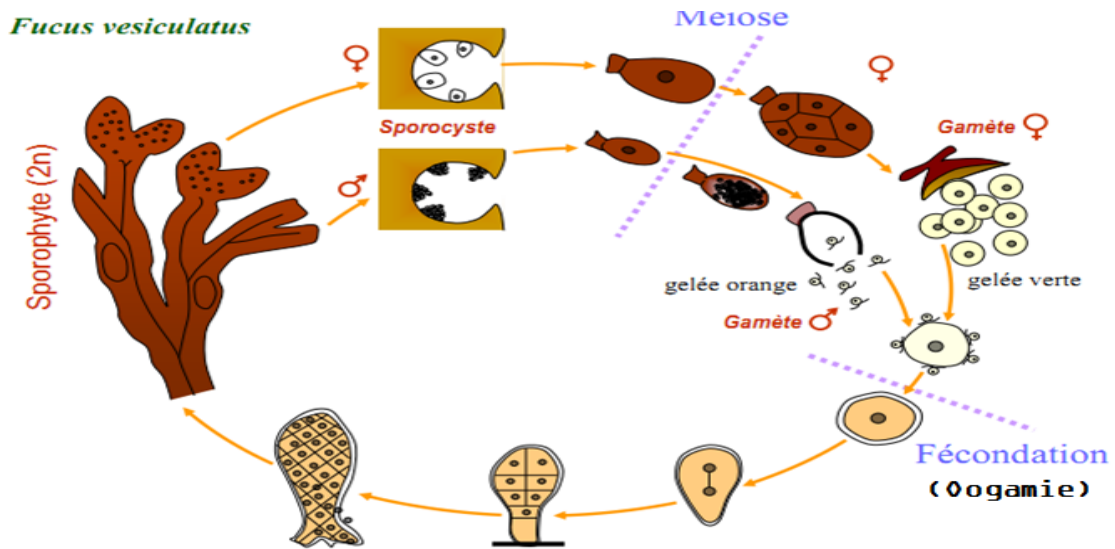


Figure 16: Cycles monogénétiques A : diplophasique B : haplophasique



A/ Cycle monogénétique haplophasique de *Spirogyra*



B/ Cycle monogénétique diplophasique du *Fucus vesiculosus*

- **Cycle digénétique** : dans lequel deux générations se succèdent alternativement : un gamétophyte issu d'une méiospore et un sporophyte issu d'un œuf. Ce cycle présente plusieurs variantes en fonction de la morphologie des deux générations (Figure 17).. 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 et spores) Ex : *Ulva lactuca*, (Figure 17 A), il est hétéromorphe si le gamétophyte et le sporophyte sont morphologiquement différents Ex *Laminaria* (Figure 17 B).

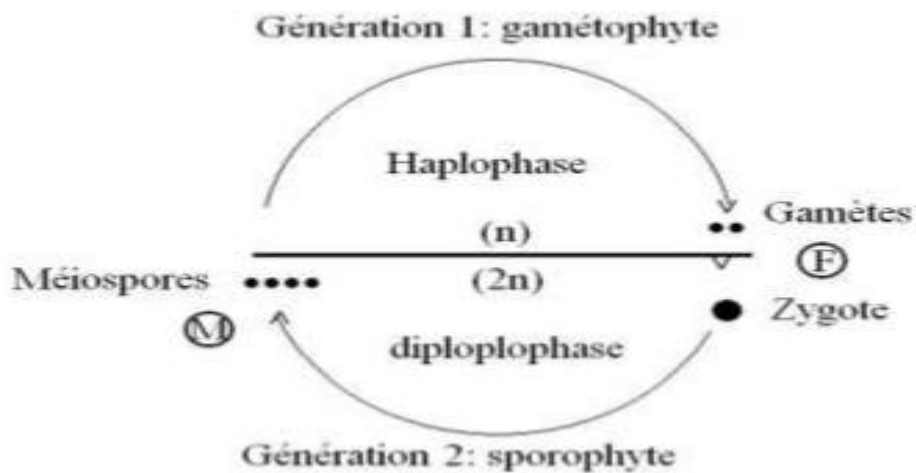


Figure 17 : Cycle de vie digénétique général

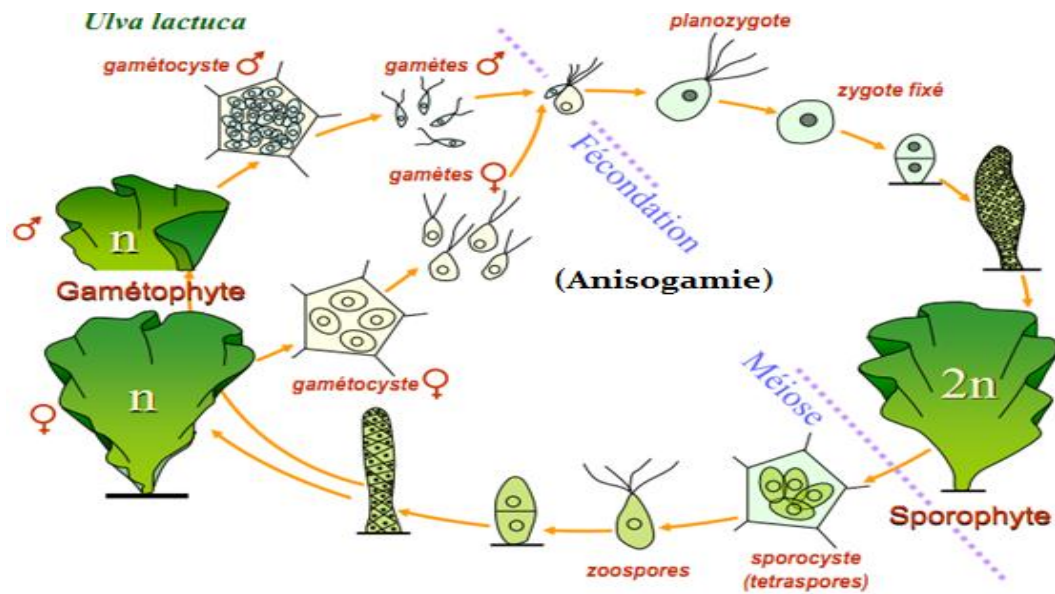


Figure 17A/ Cycle digénétique isomorphe *Ulva lactuca*

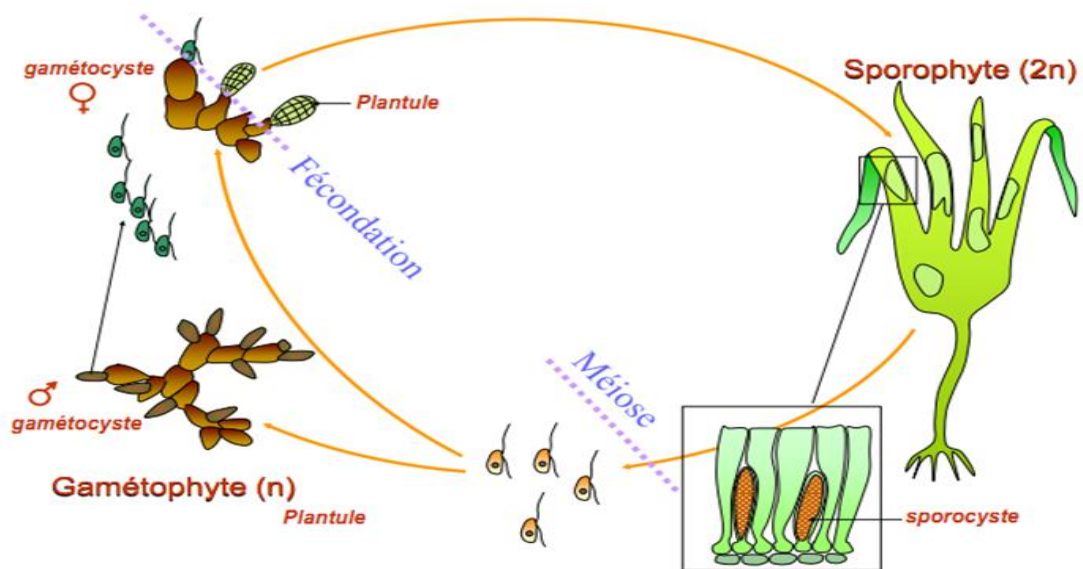
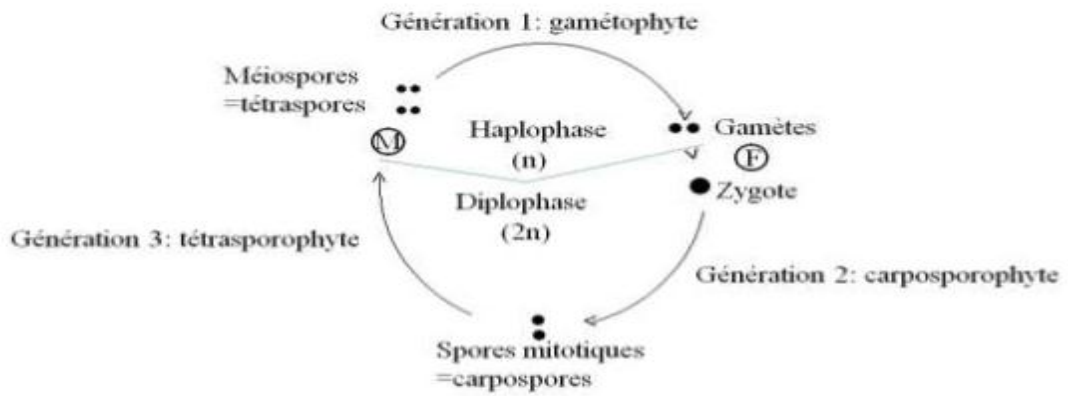


Figure 17B/ Cycle digénétique hétéromorphe *Laminaria digitata*

- **Cycle trigénétique** est caractéristique des algues rouges (Rhodobiontes) avec une génération supplémentaire qui un **carposporophyte** (sporophyte 1) intercalé entre le gamétophyte et le deuxième sporophyte (**tétrasporephyte**) Ex *Anthitamnion plumula*. Le carposporophyte est caractérisé par sa taille très réduite et son caractère parasite du gamétophyte femelle (Figure 18).



Cycle de vie trigénétique général

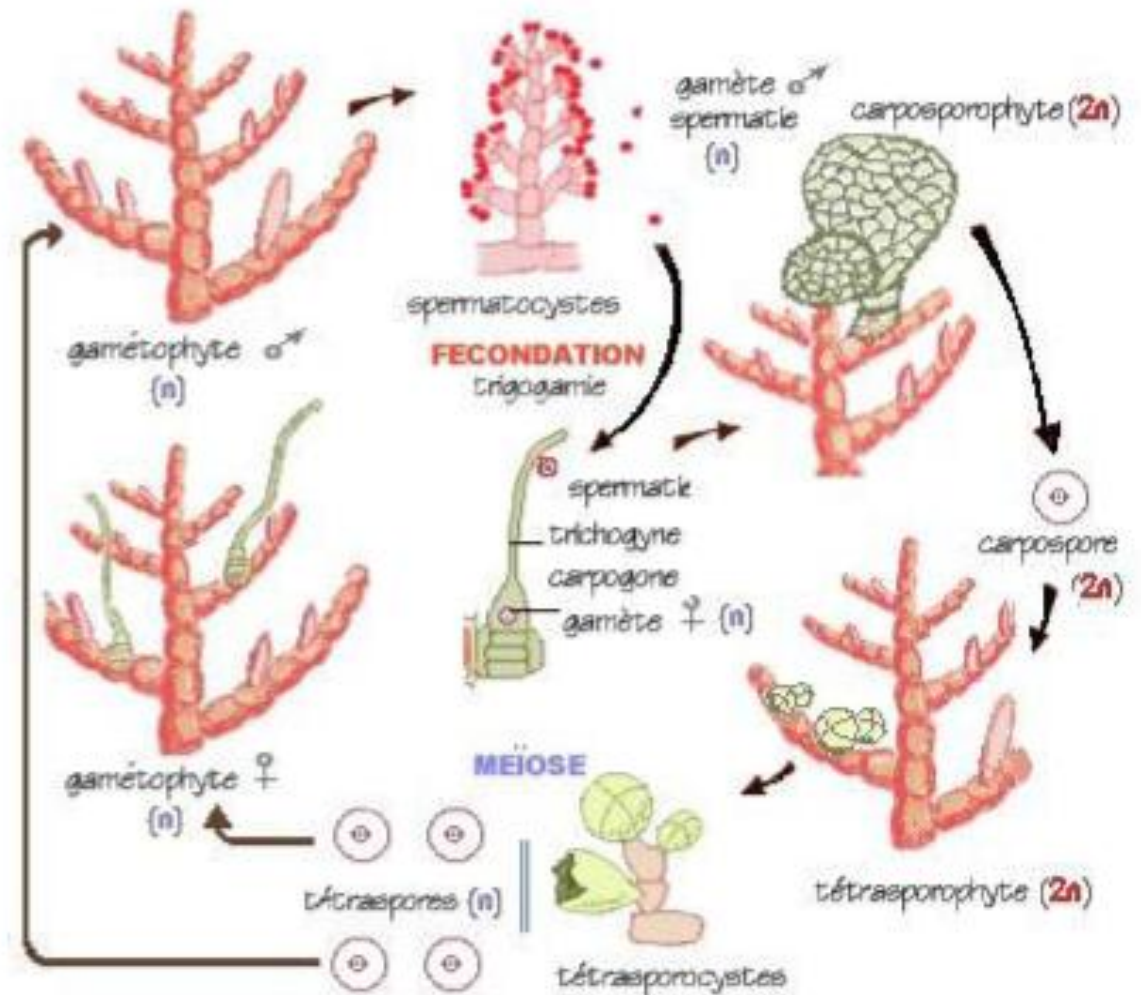


Figure 18 : Cycle de vie trigénétique d'*Anthitamnion plumula*

1-4/Systématique de particularité des principaux groupes des Algues

Actuellement les bases de classification (De Riviers, 2002) de grandes lignées d'algues (Figure 19) sont :

- *L'ultrastructure des plastides
- *La présence des pigments chlorophylles a,b,c et pigments surnuméraires
- *La morphologie des thalles
- *Le type de réserve et leur localisation
- *Le nombre de membranes plastidiales
- *L'appareil flagellaire
- *La reproduction sexuée

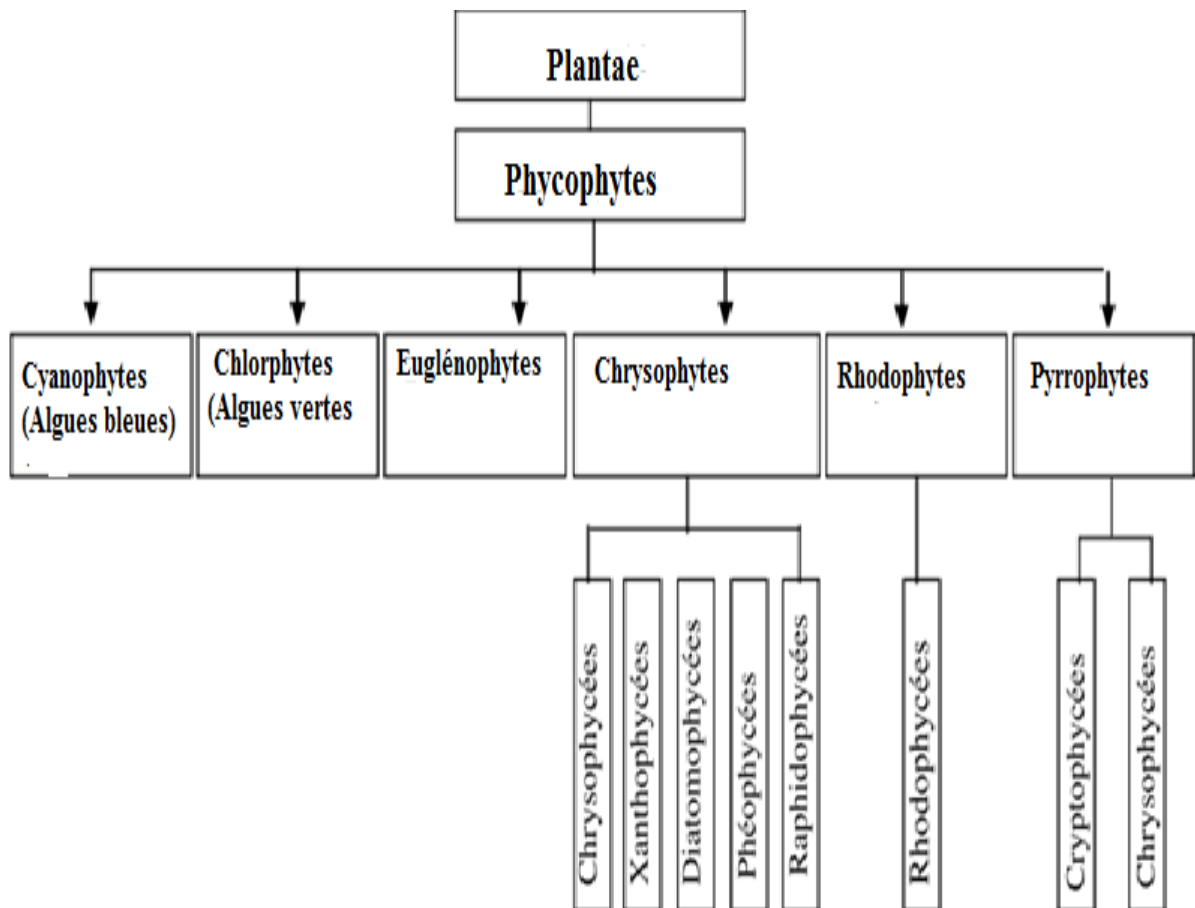


Figure 19 : Classification des principaux phylums des algues

1-5/ Les Algues procaryotes : Cyanoschisophytes - Cyanobactéries

Les algues bleues sont microorganismes uni-ou pluricellulaires autotrophes, ubiquistes et très anciens (2700 millions d'années). Elles s'apparentent à des bactéries (absence de membrane nucléaire : procaryotes avec son aptitude de fixer l'azote atmosphérique), mais elles partagent aussi des caractéristiques communes avec les algues (avoir un système photosynthétique producteur d'oxygène et de sucre à partir d'eau et CO₂ à l'aide de la chlorophylle a).

Les **cyanophytes** sont des organismes procaryotes du domaine des **Eubacteria**. appelés algues bleues, regroupées au sein d'une seule classe **Cyanophyceae**, qui forme à elle seule cet embranchement. Cette classe compte environ 120 genres avec plus de 1500 espèces. Les formes dulçaquicoles et subaériennes sont les plus importantes.

Cette classe est aussi appelée Myxophyceae à cause de la présence de la gaine mucilagineuse, ou encore Schizophyceae du fait de leur mode de division (par scissiparité) et enfin, elle est aussi appelée Cyanobactéries du fait de leur affinité avec les bactéries Gram négatif (nature de la paroi).

1-5-1/ Caractéristiques cytologiques des cyanobactéries

Les cyanophytes sont des organismes autotrophes grâce à la présence de chlorophylle a et des pigments surnuméraires « phycobilines » qui sont des phycocyanines (bleues) et des phycoérythrine (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 plastes, de mitochondries, d'appareil de Golgi et de réticulum endoplasmique. Elles ne possèdent jamais de flagelle.

Au microscope électronique, une cellule cyanophytes (Figure 20) on distingue 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 gaine est souvent épaisse avec une consistance gélatineuse, elle n'existe pas chez certaines espèces.
- **La paroi feuilletée** constituée de 4 couches: les trois premières couches, sont composées de glucides, lipides et protéines. Alors que la couche interne qui tapisse le cytoplasme est complexe, composée d'une couche de muréine. Cette couche est un peptidoglycane complexe rencontré chez les bactéries Gram-, où

l'unité glycoprotéine élémentaire est constituée d'un dioside sur lequel se fixe un tétrapeptide latéral.

- **La membrane plasmique** : c'est la membrane unitaire de tous les êtres vivants. Elle est constituée d'une bicouche lipidique ou de glycoprotéines. Chez les procaryotes, cette membrane joue un rôle dans la respiration.
- Une zone périphérique de la cellule ou **chromoplasme**, contenant des thylakoïdes isolés ne formant pas de granna donc pas de chloroplastes, elles portent à leur surface des phycobilisomes: complexes de phycobiliprotéines (qui peuvent être composés de phycocyanines, de phycoérythrocyanines, d'allophycocyanines, ou encore de phycoérythrine). Ils permettent le captage du flux lumineux (en lien avec la photosynthèse et les thylacoïdes) En plus de ces pigments on trouve de la chlorophylle a et d'autres pigments accessoires tels que le carotène β , la zeaxantine et la myxoxanthophylle caractéristique des cyanophytes.
- Une partie centrale (**centroplasma**) ou nucléoplasme de couleur plus claire, dans laquelle baigne un réseau d'ADN qui se présente généralement sous forme d'aiguilles circulaires: c'est l'appareil chromatique, équivalent à un noyau diffus. On y trouve également différentes inclusions : des ribosomes (70s), des granules de réserves : Des cyanophycines, lieux de stockage du diazote fixé (sous forme de polymères d'arginine et d'acide aspartique); des polyglucoses et des gouttelettes lipidiques (réserves énergétiques), des carboxysomes (réserve de rubisco, enzyme qui permet la fixation du CO₂) et des grains métachromatiques (volutine). On observe également des vésicules à gaz dites **aérosomes** chez les espèces planctoniques, dont la paroi, est exclusivement composée de protéines, hydrophobe et perméable aux gaz (permet aux cyanobactéries d'ajuster leur flottaison).

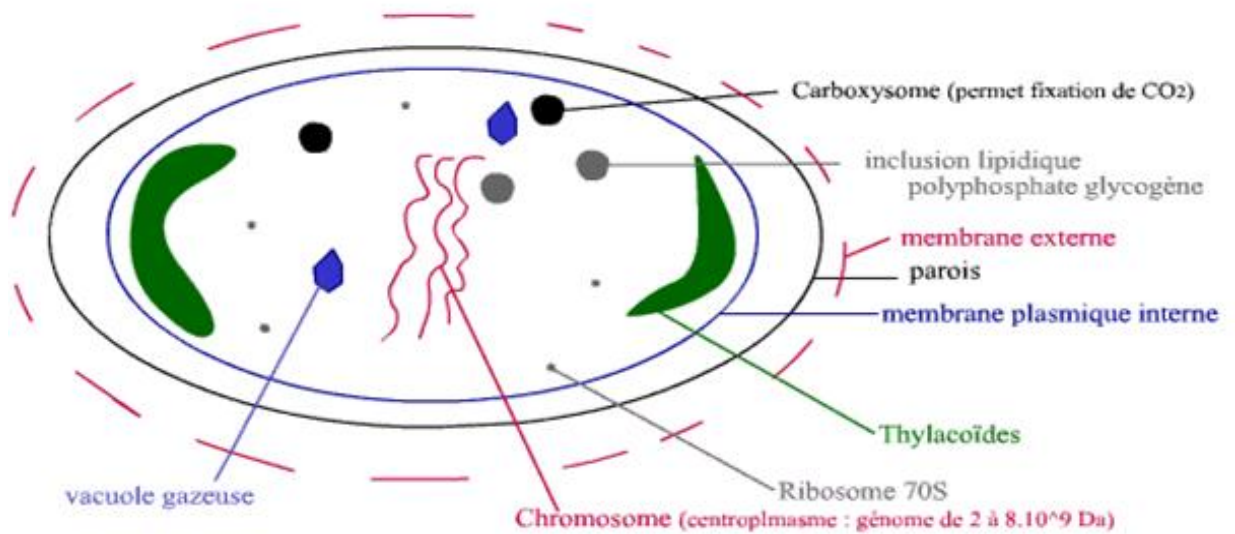
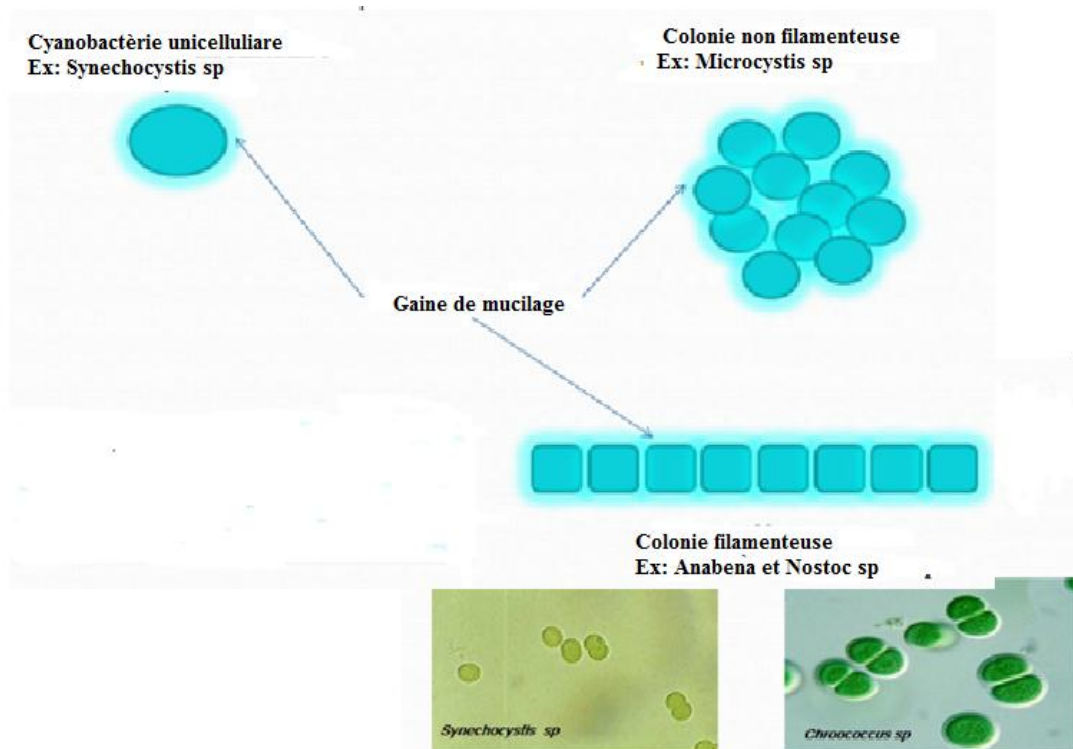


Figure 20: Ultrastructure d'une cyanobactérie

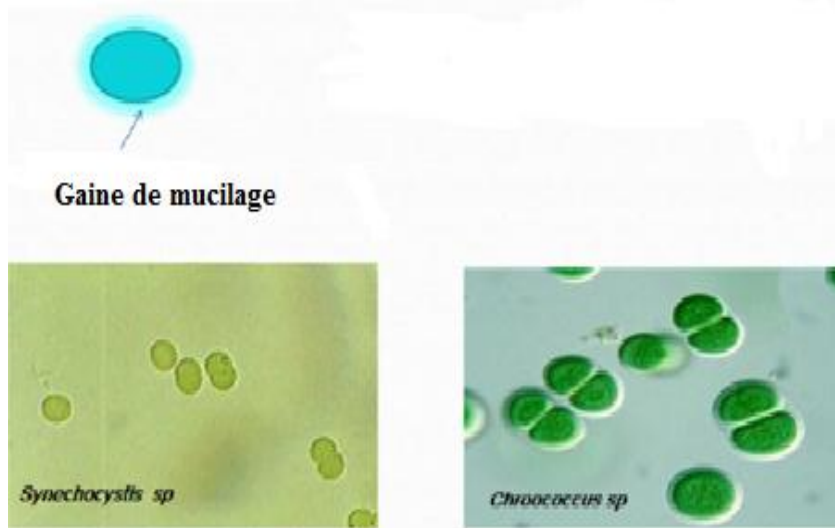
1-5-2/Morphologie des cyanobactéries :

Les cyanobactéries présentent une grande diversité morphologique (Figure 21). Elles présentent des formes unicellulaires ou en colonie (forme filamenteuse ou non).

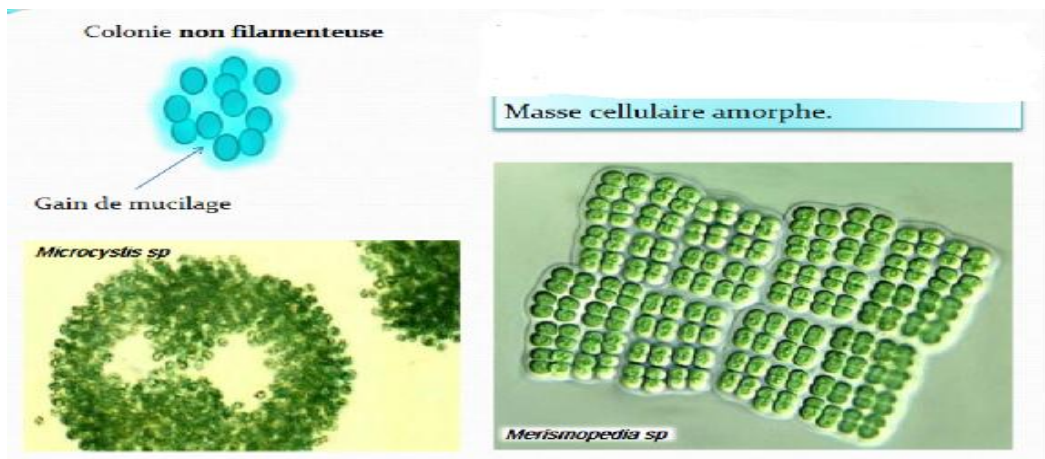


➤ **Forme unicellulaire**

Cyanobactérie unicellulaire



➤ **Forme non filamenteuse**



➤ **Forme filamenteuse : Trichome**

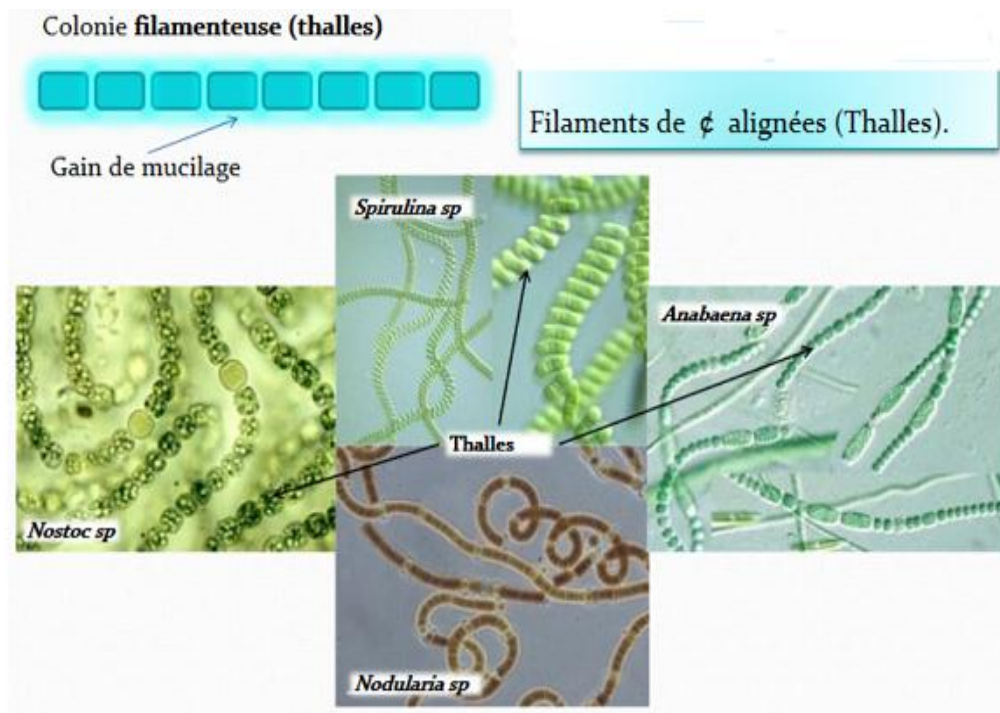


Figure 21 Morphologie des cyanobactéries.

Au maximum de leur complexité, les formes filamenteuses présentent trois sortes de cellules:

- ❖ **Les cellules végétatives**; responsables de l'activité photosynthétique et de la nutrition carbonée de l'organisme.
- ❖ **Les hétérocystes** cellules spécialisées responsables de l'activité fixatrice d'azote et de la nutrition azotée de l'organisme. C'est une cellule transparente à paroi épaisse, qu'on rencontre chez certaines bactéries dites **Hétérocystées**. Caractérisée par la présence des nodules polaires aux points d'attache aux cellules végétatives. Suivant les espèces on rencontre des hétérocystées intercalaires et/ou terminaux.
- ❖ **Les spores ou akinètes**, organes de conservation et de dissémination. Ce sont des spores immobiles produites chez les formes hétérocystées. On les distingue par leur grande taille par rapport aux hétérocystes, par leur forme et la présence de nombreux granules cytoplasmiques. Les akinètes peuvent être lisses ou ornementés, elles peuvent aussi se former n'importe où sur le filament. On observe cependant une localisation préférentielle au voisinage des hétérocystes (Figure 22).

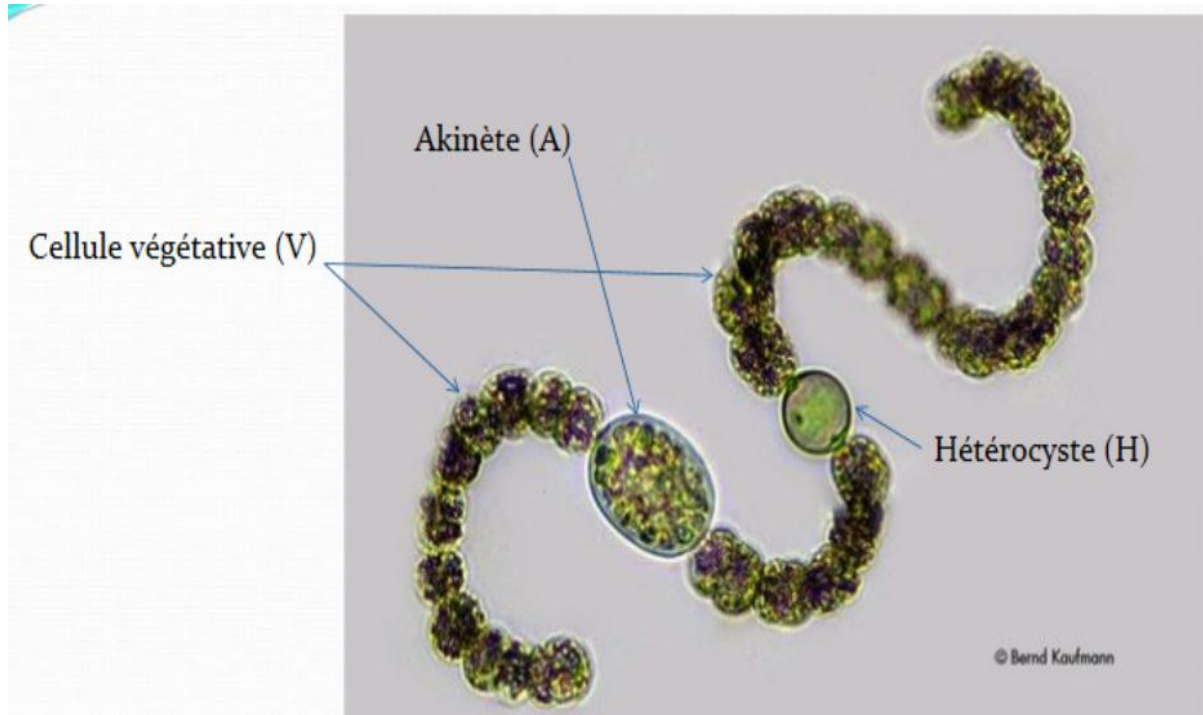

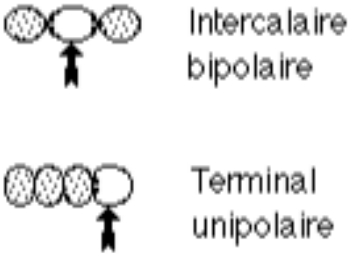
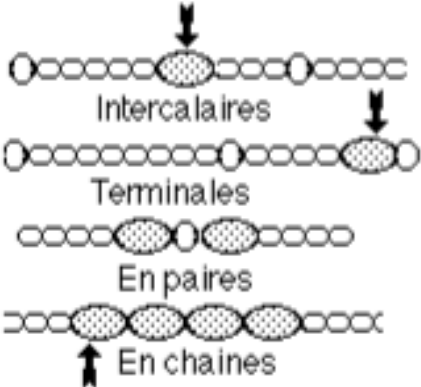


Figure 22 : les différents types de cellules du trichome (V, A , H)

A partir de caractères morphologiques majeurs facilement observables en microscopie optique, on peut distinguer sept grandes formes morphologiques de cyanobactéries (Tableau 3 et Figure 23)

Tableau 3 : Les différentes positions des hétérocystes et des Akinètes au niveau du trichome

| Cellules végétatives | Hétérocystes | Spores ou Akinètes |
|---|---|--|
| Activité photosynthétique | Fixation de l'azote | Conservation Dissémination |
|  |  |  |

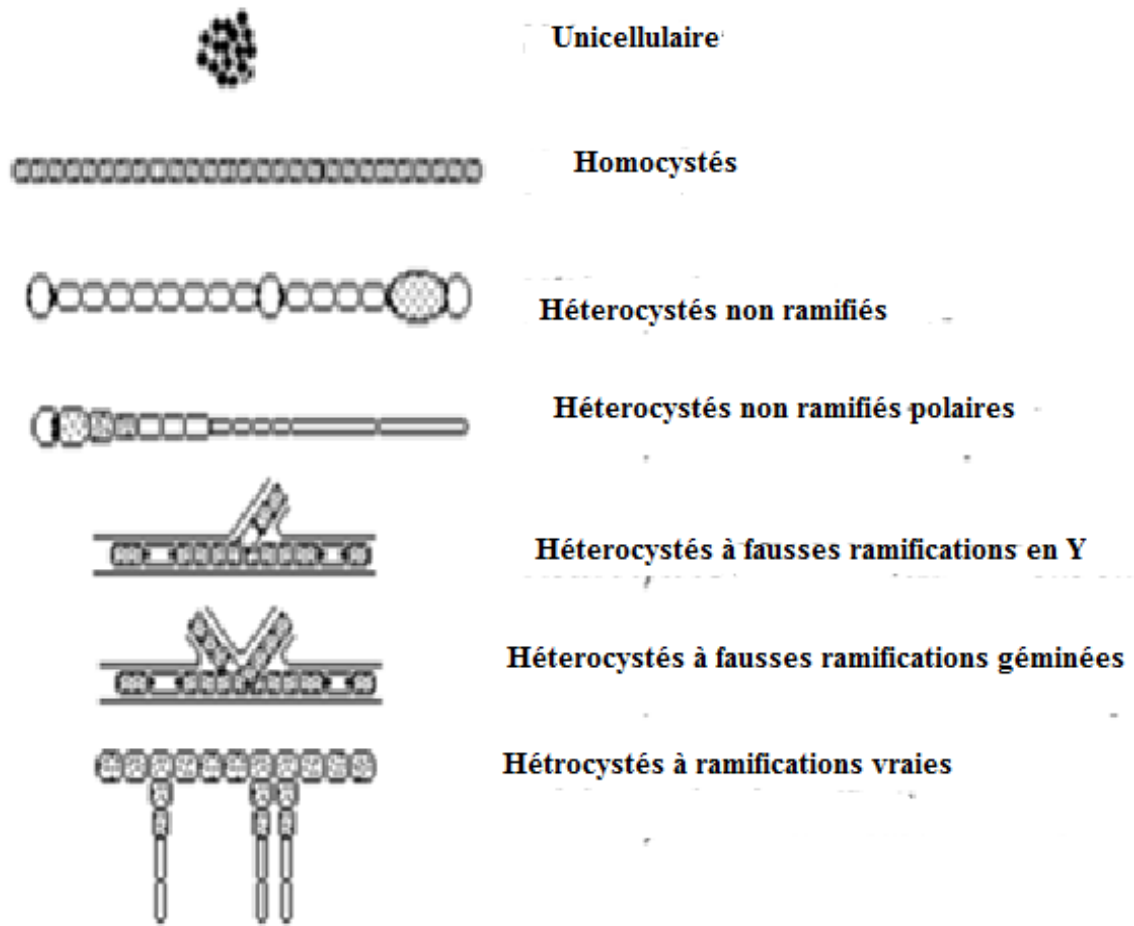


Figure 23 : les différents types d'hétérocystes chez les algues bleues

1-5-3/ Reproduction des cyanobactéries :

Les algues bleues ne produisent pas de gamètes, par suite la reproduction sexuée est absente. Elles ne se reproduisent que par voie asexuée, parmi les modes de division on rencontre :

- ❖ **La scissiparité** ou division binaire ou encore division végétative : cette division se fait par apparition d'une membrane annulaire qui se développe vers le centre en se refermant à la manière d'un diaphragme (Figure 24).

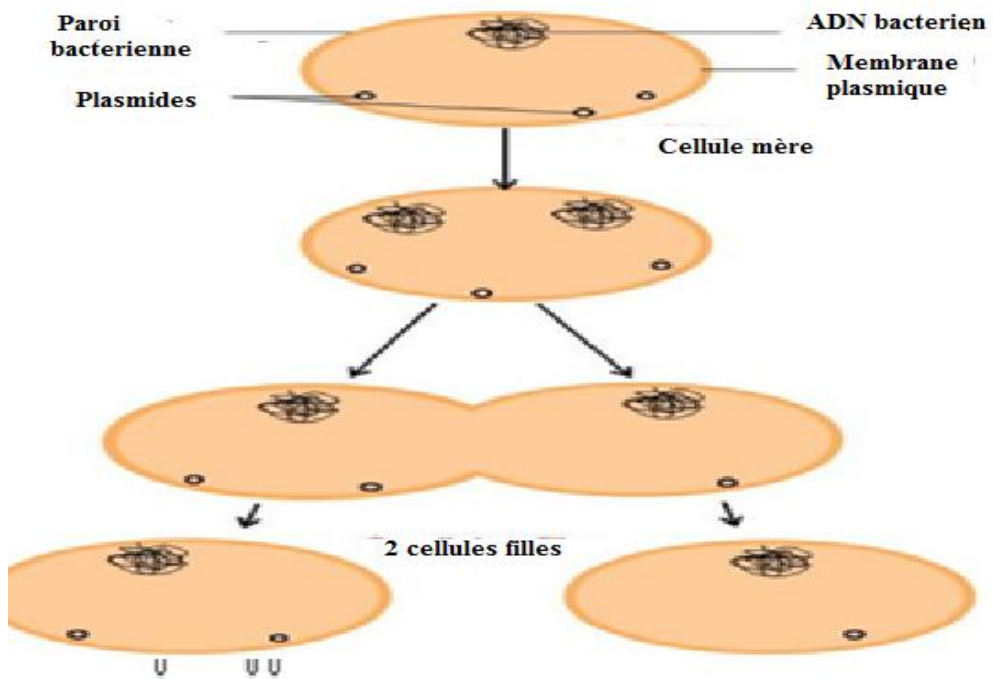


Figure 24 : Scissiparité d'une cyanobactérie.

- ❖ **La sporulation** : cette multiplication se fait à travers des spores unicellulaires appelés Coccospores qui peuvent être de deux types soit endogènes (à l'intérieur du sporocyste) ou exogènes (à l'extérieur du sporocyste) (Figure 25).

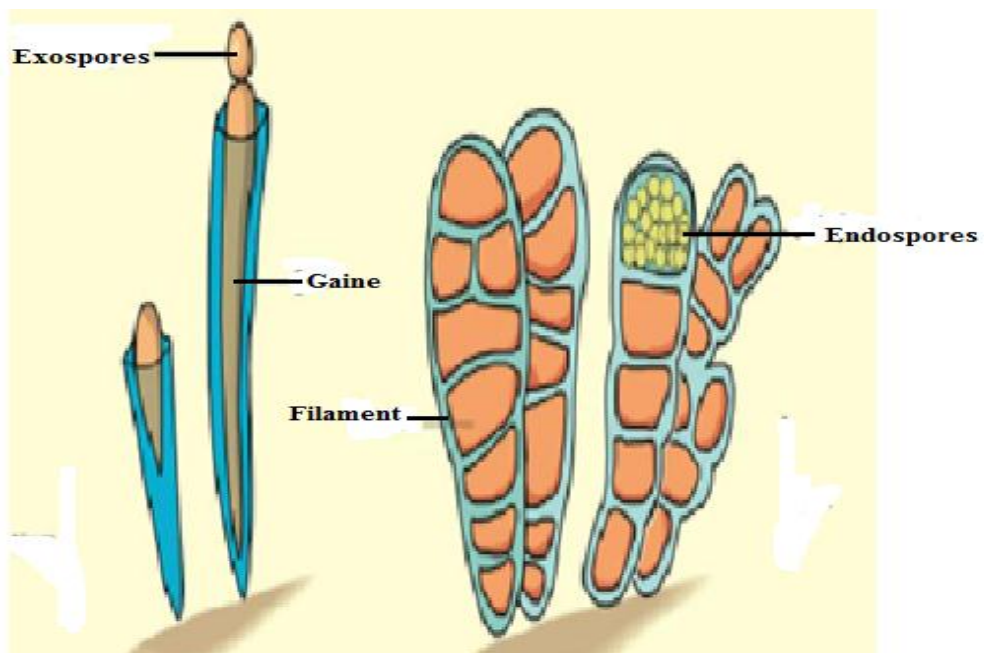


Figure 25 : Les coccospores

- ❖ **Hormogonie** : ce sont des formes de multiplication asexuée sous formes de groupes de cellules (le filament adulte divisé en plusieurs petits fragments) qui s'échappent à l'extrémité de la gaine ou qui résultent de la germination d'akinètes (Figure 26).

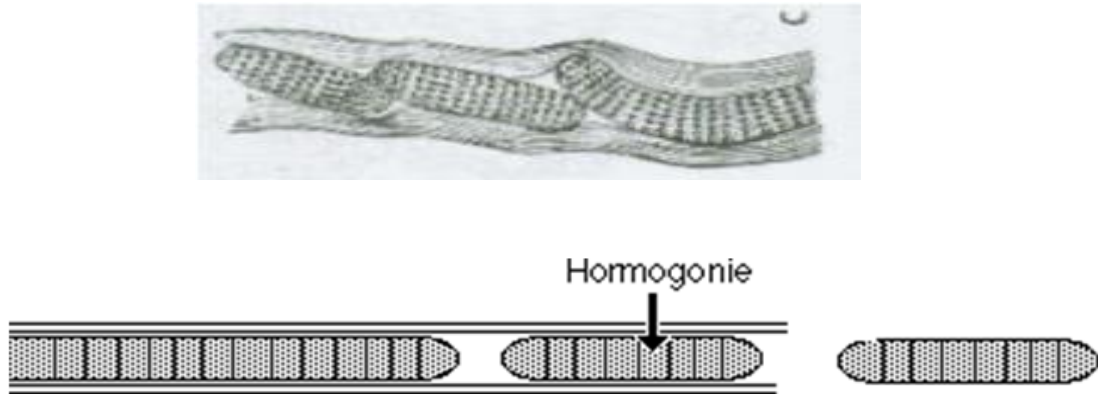


Figure 26 : les hormogonies

- ❖ A travers des cellules particulières : nécriides, et des akinètes surtout en conditions défavorables.

1-5-4/ Mobilité :

Les cyanophytes n'ont pas d'appareil locomoteur. Certaines espèces comme *Cyanothece aeruginosa* glissent et laisse derrière elle une quantité de mucilage. *Oxillatoria* comme son nom l'indique est l'objet d'oscillations facilement observables sous microscope optique.

1-5-5/ Ecologie

Grâce à leur grande capacité d'adaptation les cyanobactéries sont capables de coloniser un grand nombre de milieux terrestres (endolithes, épiphytes, symbiose) et aquatiques (eaux douce et salée) par exemple les sources chaudes de YELLEWSTONE en USA. Certaines espèces sont adaptées à des environnements extrêmes tels que glaciers, sources chaudes ou cendres volcaniques, car elles peuvent supporter des températures extrêmes, des pH faibles ou encore des conditions variables d'éclairage. En effet, les cyanobactéries sont photo-autotrophes c'est-à-dire qu'elles tirent leur énergie de la lumière par photosynthèse. Par conséquent, la lumière est un des facteurs essentiels à leur développement. Cependant certaines espèces peuvent survivre dans des conditions d'obscurité totale pendant de longues périodes.

En milieu aquatique, les cyanobactéries sont soit planctoniques (vivant dans la masse d'eau) ou encore pélagiques si elles prolifèrent en suspension dans une colonne d'eau, soit benthiques (organismes fixés à un substrat immergé) quand elles se développent fixées à un support

1-5-7/ Systématique des cyanophytes :

L'embranchement des **Cyanophyta** (Figure 27) forme une seule classe les **Cyanophyceae**, elle-même divisée en deux sous classes : **Coccogonophycidae** et **Hormogonophycidae**

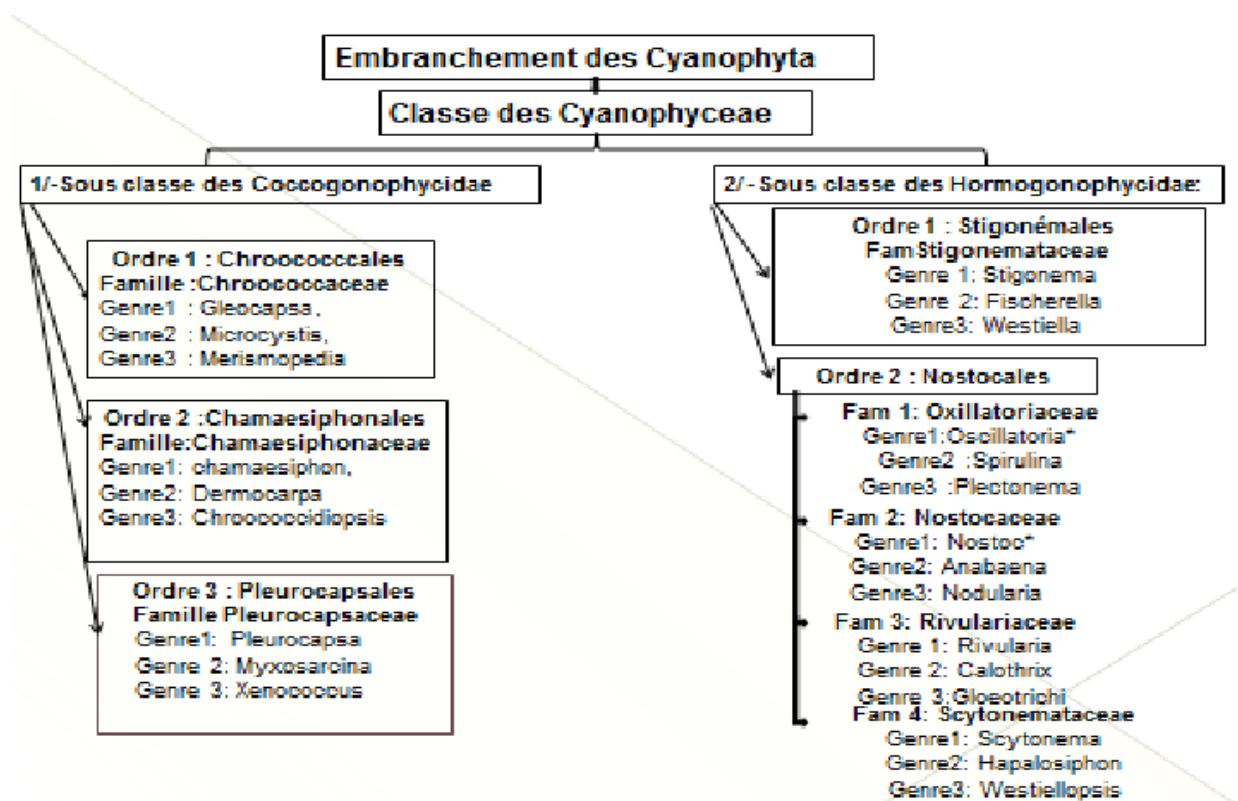


Figure 27 : Systématique des cyanophyta

- ❖ *Les coccogonophycidées* qui groupent des formes solitaires ou coloniales et parfois filamenteuses mais sans hormogonies et à multiplication exclusivement par spores unicellulaires, alors que les *Hormogonophycidées* groupent les formes filamenteuses se multiplient par hormogonies pluricellulaires.

Sous classe 1 : *Les Coccogonophycidées*:

Elles sont partagées en trois ordres, suivant leur type de structure.

Ordre 1 : Les *Chroococcales* : comprenant des cyanophycées unicellulaires, ou groupées en colonies de formes variées ou en archéthalle (paquets de cellules sans différenciation) se reproduisant par bipartition et spores (coccospores). Les genres de la famille des **Chroococcacées** les plus fréquemment rencontrés sont les suivants :

Genre 1 : *Merismopedia* : forme des colonies tabulaires monostromatiques flottantes de cellules globuleuses, ellipsoïdales ou cylindriques dans une gelée homogène.

Genre 2 *Microcystis* : où les cellules sphériques sont groupées en colonies dans une gelée homogène le plus souvent incolore. Les colonies sont de formes variées : sphérique, cylindrique, lobée. *Microcystis* est très fréquent dans les eaux douces, surtout stagnantes (mares, bassins et lacs). Les espèces les plus communément rencontrées sont : *M. elachista*, *M. delicatissima* pour les petites formes et *M. aeruginosa* pour les grandes formes.

Ordre 2 : Les *Chamaesiphonales*: comprenant des formes filamenteuses simples et des formes unicellulaires présentant le plus souvent une base fixée et au sommet différencié. Ils se reproduisent par endospores ou exospores.

Ordre 3 : Les *Pleurocapsales*: sont des cyanophycées fixées sur les rochers et formant des prothalles, constitué de filaments rampants et parfois associés à des filaments dressés, présente des divisions végétatives et des endospores.

Sous classe 2 : Les *Hormogonophycidées*:

Elles renferment deux ordres:

Ordre 1 : les *Stigonématales*: forment des prothalles parfois complexes (filaments rampants et dressés) avec hétérocystes; leur multiplication se fait par hormogonies.

Ordre 2 : Les *Nostocales*, ou *Oxillatoriales* comprenant des cyanophycées constituées par des trichomes avec ou sans hétérocystes, se multipliant par hormogonies ou akinètes sans ramifications véritables,. Dans cet ordre, chez la plus part des familles, on note la présence de gaines gélatineuses entourant un ou plusieurs trichomes.

L'ordre renferme six familles mais nous allons citer uniquement les trois importantes familles tels que la famille des Nostocaccées , oxillatoriacées et Rivulariacées

Famille 1 : *Oxillatoriaceae* représentée par le genre le plus connu *Oxillatoria* avec des trichomes libres, solitaires, non ramifiés, dépourvus de gaine et d'hétérocystes (Figure 28). Le trichome est cylindrique dont l'apex présente parfois

une forme particulière (courbée, capité, atténué.....etc) (Figure 29). Les filaments sont mobiles et ces mouvements pendulaires hélicoïdaux sont caractéristiques du genre. Elles peuvent être aussi très abondantes dans le plancton et former des fleurs d'eau.



Figure 28 : Trichome d'*Oxillatoria*

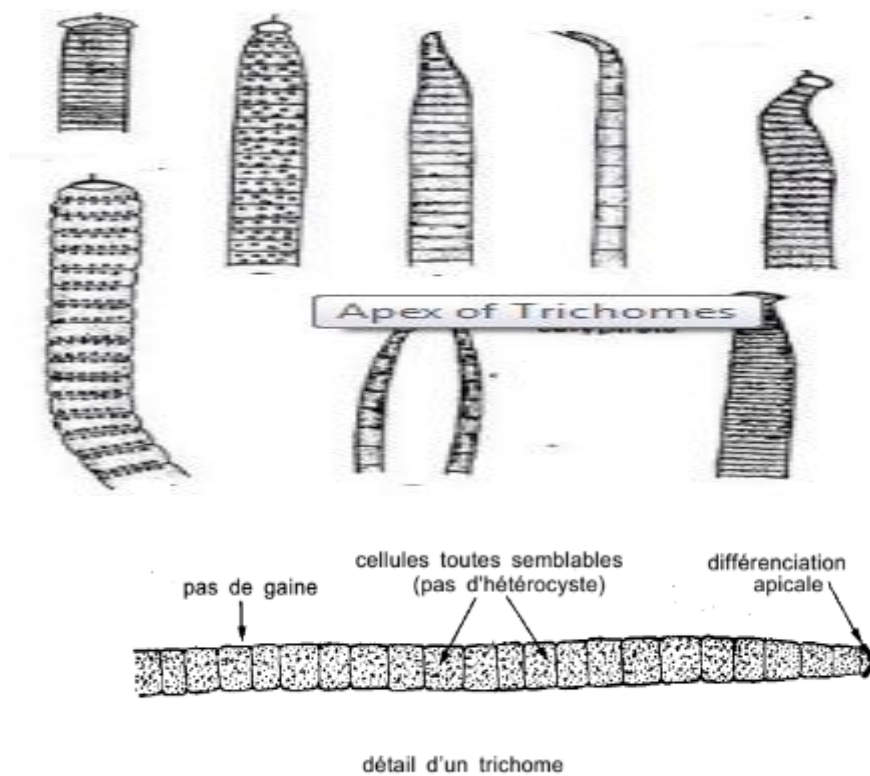


Figure 29 : différents types de trichomes et d'apex du genre *Oxillatoria*

Famille 2 : *Nostocaceae* représenté par le genre *Nostoc* (Figure 30) forme des thalles de grande taille (plusieurs centimètres) très gélatineux, refermant de nombreux filaments enchevêtrés, non ramifiés. Hétérocystes et akinètes sont intercalaires.

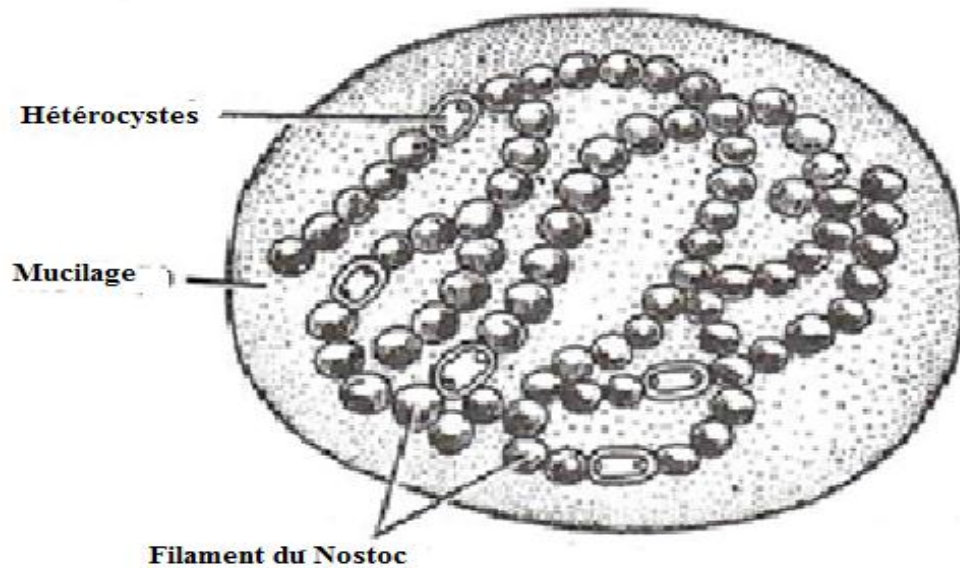


Figure 30 : Trichome du genre *Nostoc*

Famille 3 : *Rivulariaceae* représenté par le genre *Rivularia* forment des colonies gélatineuses sur les végétaux et les débris immergés. Les thalles globuleux fixés sont constitués de filaments disposés radialement. Chaque filament possède une gaine avec un trichome à hétérocyste basal ; à l'apex le trichome s'effile en poil articulé

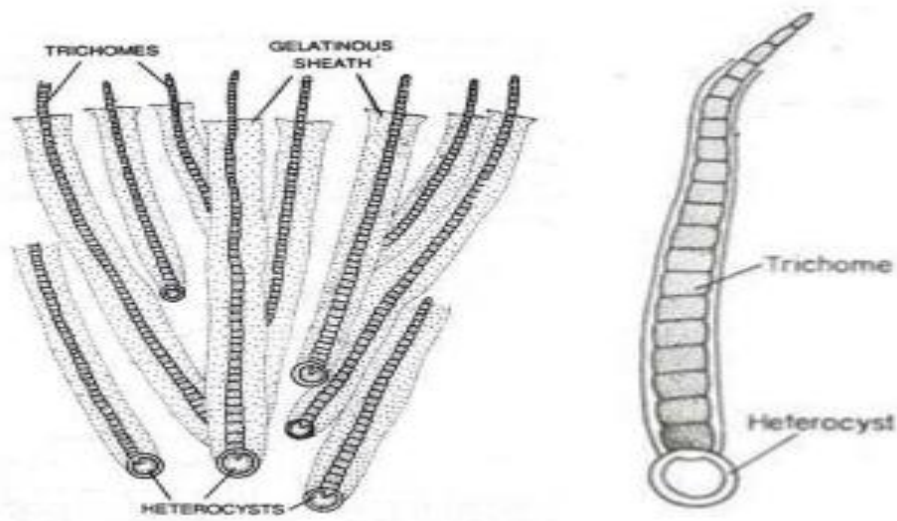


Figure 31 : Trichome du genre *Rivularia*

1-5-6/ Utilisation des cyanophytes.

Au plan de leur utilisation par l'homme, *Spirulina maxima* = *Spirulina platensis*, *Oscillatoria*, *Pseudoplatensis* (Bourrely, 1970),) des lacs plus ou moins salés (Tchad, Mexique) ont été consommées depuis longtemps par les riverains et sont commercialisées tant pour l'alimentation humaine qu'animale. Elles ont fait l'objet d'importantes études depuis 25 ans :

- En raison de leur richesse en protéines et vitamines (la teneur en protéines atteint 70% chez certaines spirulines commercialisées),
- En vue d'en extraire les pigments bleus, jaunes ou rouges, peu fréquents dans les organismes vivants et donc particulièrement recherchés par les industries alimentaires,
- Pour produire une biomasse mécanisable comme source d'énergie

Les algues remplissent plusieurs rôles essentiels au sein de l'écosystème aquatique. Elles ne sont donc pas néfastes en soi. Toutefois, lorsque l'eau est anormalement riche en éléments nutritifs, les algues se multiplient excessivement, ce qui perturbe l'équilibre de l'écosystème. Dans ce cas, les algues créent des amas gluants que l'on appelle **bloom d'algues**, fleur d'eau ou bien efflorescence. C'est alors que les algues deviennent néfastes : elles peuvent envahir et étouffer un plan d'eau. Certaines cyanobactéries produisent des toxines (appelées cyanotoxines). Lorsque les cyanobactéries et, par conséquent, les cyanotoxines, sont trop abondantes dans un plan d'eau, elles peuvent occasionner des perturbations écologiques et nuire à la santé des usagers. Il existe plusieurs types de cyanotoxines différentes regroupées en 3 familles : les hépatotoxines, les neurotoxines et les dermatotoxines moins dangereuses que les deux premières. Certaines de ces toxines peuvent causer des irritations de la peau ou des effets allergiques. D'autres causent des problèmes au niveau du foie (cancer de foie). D'autres encore peuvent affecter le fonctionnement du système nerveux. C'est pourquoi il faut éviter tout contact et toute ingestion d'eau présentant un bloom de cyanobactéries.

En Bretagne, au moins 17 genres et 30 espèces de cyanobactéries sont toxiques. Les genres suivants sont dangereux et fréquents : *Microcystis*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermopsis*, *Nodularia* et *Planktothrix*, etc Leur toxicité est très variable dans le temps. La plus grande partie des cyanotoxines produites s'accumulent au sein des cellules et l'ampleur de la production semble être corrélée avec la phase de croissance des cyanobactéries. Par la suite, quand les

bactéries sont à la fin de la période de sénescence, elles meurent et se lysent, provoquant le relâchement des toxines dans le milieu environnant. Ainsi, quand la période de floraison est en progression, on retrouve particulièrement peu de toxines extracellulaires tandis que vers le déclin de celle-ci, la concentration de toxines extracellulaires augmente énormément.

L'évaluation de la toxicité d'une efflorescence ne peut se faire par l'unique reconnaissance des espèces en présence, car une même cyanotoxine peut être synthétisée par plusieurs genres. A titre d'exemple, on sait que les genres *Microcystis* et *Anabana* produisent des cyanotoxines de type microcystine.

1-6/ Les Algues Eucaryotes ou Phycophytes

On considère le plus souvent que le règne végétal se partage en deux grandes lignées:

- Une lignée brune, caractérisée par des chloroplastes à trois ou quatre membranes résultant de phénomènes d'endosymbiose secondaire, correspond aux *Chromophytes* (Algues brunes et diatomées).
- Une lignée verte, caractérisée par des chloroplastes à deux membranes résultant d'une endosymbiose primaire simple comprend tous les autres végétaux. Elle se subdivise en *Rhodophytes* (Algues rouges) et *Chlorobiontes* caractérisés par la présence des chloroplastes contenant les chlorophylles a et b et de l'amidon.

Les Chlorobiontes se partagent eux-mêmes en *Chlorophytes* ou Algues vertes et *Embryophytes* caractérisés par la formation d'un embryon pluricellulaire

A/ Evolution biologique des Procaryotes aux Eucaryotes : Théorie d'endosymbiose

Dès le début du 20^{ème} siècle, les chercheurs ont pensé que les plastes et les mitochondries pouvaient provenir de bactéries. Celles-ci auraient été ingérées par des cellules primitives et vivaient à l'intérieur d'elles en symbiose. Cette théorie endosymbiotique de l'origine des plastes et des mitochondries est devenue parfaitement plausible lorsque l'on a découvert (1950-1960) que ces organites contenaient de l'ADN et des ribosomes.

La théorie endosymbiotique est une théorie évolutionniste qui soutient que les organites des eucaryotes sont issus de l'endosymbiose de procaryotes comme des bactéries ou des archées. Ces organites seraient :

- Le réticulum endoplasmique et les membranes nucléaires ;
- Les mitochondries qui dériveraient des *rickettsiales*, une classe de l'ordre des alpha-proteobacteria appartenant au phylum des *Proteobacteria*, phylum majeur des bactéries à gram négatif ;
- Les plastes (ou plastides), présent dans les cellules eucaryotes chlorophylliennes (algues et plantes) comme les chloroplastes qui seraient apparentés aux cyanobactéries (algues bleues) filamenteuses fixant l'azote.

Cette théorie a été énoncée en 1905 par le botaniste russe Konstantin Mereschkowski (1855-1921), puis étayée en 1967 par la microbiologiste américaine Lynn Margulis (1938-2011) dans son article : *On «the Origin of Mitosing Cells »*.

L'ensemble de ces observations représente aujourd'hui des arguments forts de la théorie endosymbiotique. Les endosymbioses ont pu se réaliser à différents moments et de diverses façons.

❖ Endosymbiose primaire (plastides de Rhodophycés et des Chlorophycées)

Les plastes à deux membranes seraient issus de la phagocytose d'une Cyanobactérie (Figure 32 a) par un organisme unicellulaire eucaryote hétérotrophe. La Cyanobactérie hébergée par l'Eucaryote lui aurait conféré l'autotrophie. 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.

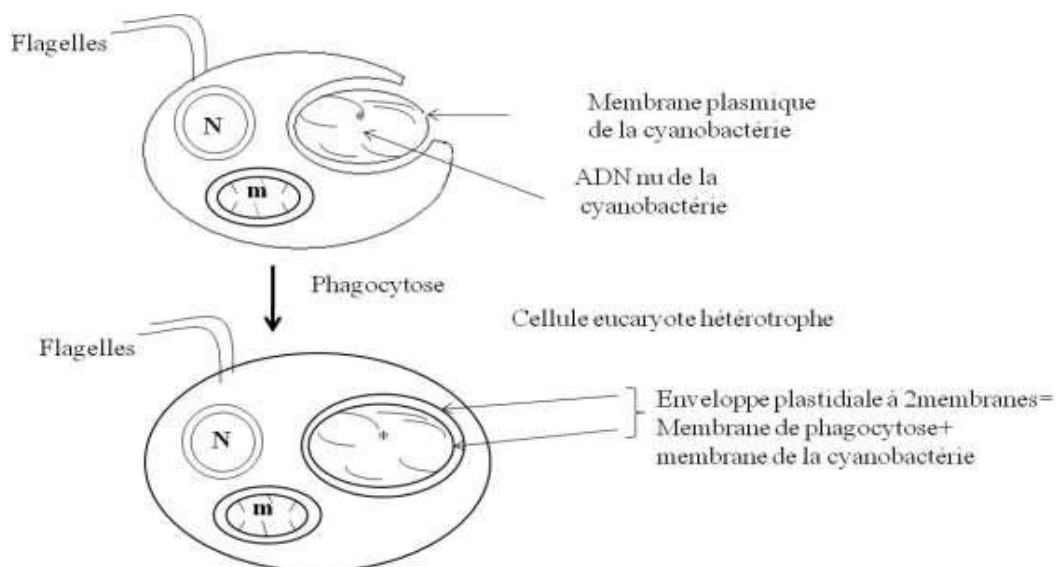


Figure 32 a : Théorie d'endosymbiose primaire

❖ **Endosymbiose secondaire (plastides des Chromophytes)**

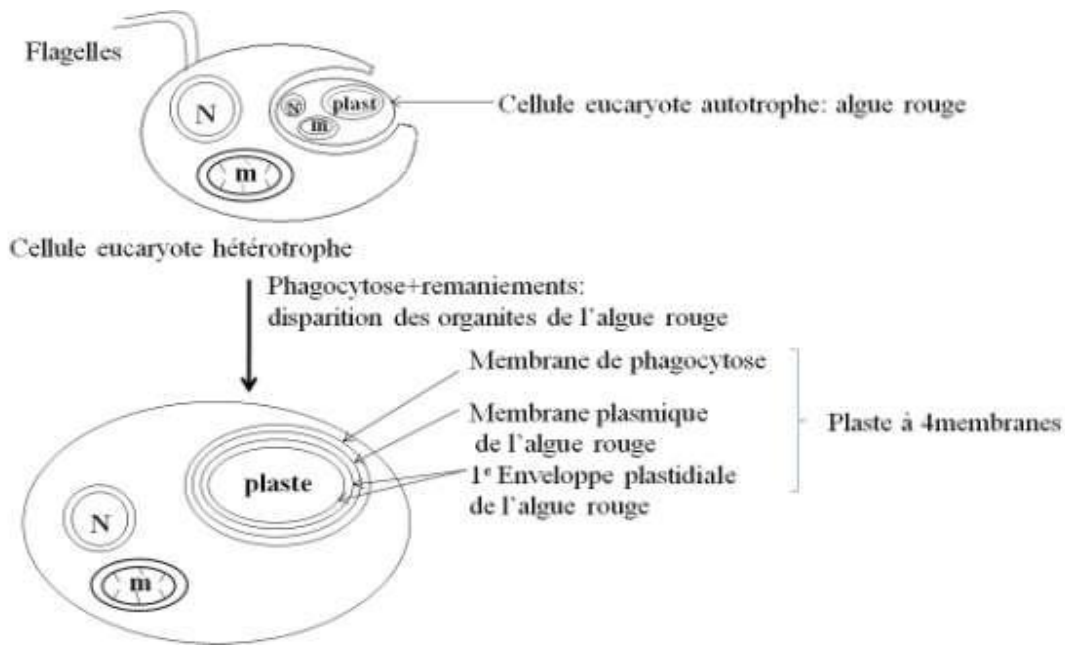


Figure 32 b : Théorie d'Endosymbiose secondaire

Elle pourrait expliquer l'existence de plastides à 4 membranes.

Les plastides à quatre membranes : Ces plastides 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 plastide à quatre membranes (Figure 32b).

Classiquement on regroupe les chromophytes, les rhodophytes et les chlorophytes sous le terme général d'Algues. En fait, ce groupe d'algues n'est pas monophylétique puisque il réunit des lignées différentes. On peut parler d'un groupe polyphylétique dont le regroupement est basé sur un mode de vie commun.

Le groupe des algues (chromophytes, les rhodophytes et les chlorophytes) sont des eucaryotes autotrophes, unicellulaires ou pluricellulaires, avec un appareil végétatif très diversifié (sous forme de thalle), et qui sont parfaitement adaptés au milieu aquatique.

Leurs cellules contiennent toujours de la chlorophylle a, soit seule chez les algues rouges, soit associée à la chlorophylle b, chez les algues vertes ou c chez les algues brunes. On note aussi la présence de pigments accessoires (phycoérythrine,

caroténoïdes) le tout regroupé dans des organites spécialisés appelés chloroplastes à deux, trois ou quatre membranes.

Leur cycle de reproduction est souvent très complexe avec parfois trois types d'appareils végétatifs à nombres chromosomiques différents, morphologiquement différents ou identiques. A la suite de ce cours, tous ces différents points seront développés par types d'algues

B/ Ecologie des Algues eucaryotes

Selon leur habitat, on observe trois types d'algues :

- ✓ **Algues pélagiques** : se déplacent dans l'eau
- ✓ **Algues symbiotiques** : elle se développe avec l'aide, et en aidant un hôte. Elles produisent de la matière organique et de l'oxygène à partir des sels minéraux déchet de l'hôte.
- ✓ **Algues benthiques** : fixés au substrat. Regroupés en trois familles dont leur répartition varie selon la profondeur et leur couleur (type de chlorophylle détenue par l'algue) appelé aussi Etagement des Algues (figure 33).

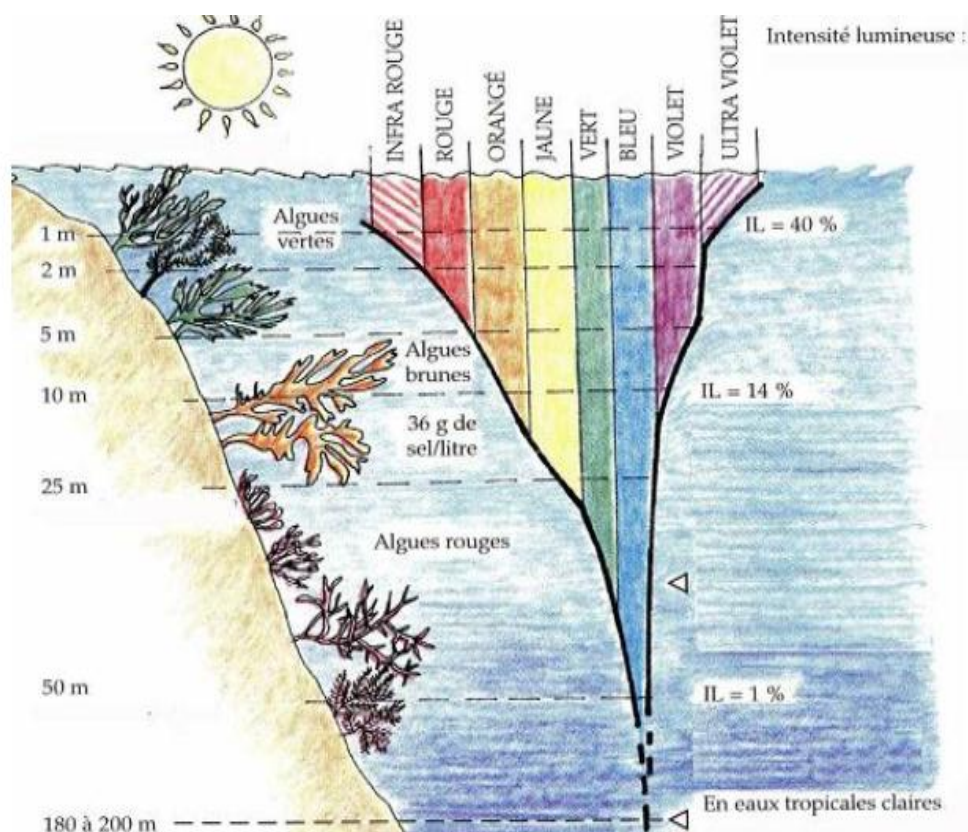


Figure 33 : Etagement des algues en fonction des longueurs d'ondes

Cette disposition particulière est due à deux causes : les différentes longueurs d'ondes qui composent la lumière solaire ne pénètrent pas jusqu'à la même profondeur et les trois groupes d'algues n'ayant pas le même équipement chimique de captation de la lumière.

Les algues vertes, qui contiennent essentiellement de la chlorophylle, absorbent de l'énergie dans le rouge dont les longueurs d'ondes ne descendent pas en dessous d'une quinzaine de mètres. Les algues brunes contiennent, en plus de la chlorophylle, des caroténoïdes et autres pigments accessoires leur permettant d'absorber de l'énergie des radiations bleues qui pénètrent à une profondeur d'une trentaine de mètres. Enfin, les algues rouges contiennent, en plus de la chlorophylle, des pigments tel que la phycoérythrine leur permettant d'absorber de l'énergie dans le vert-jaune dont les longueurs peuvent atteindre une centaine de mètres de profondeur.

1-6-1/ Les Rhodophycophytes (Rhodophyta), Rhodobionta ou algues rouges

Le plus ancien fossile multicellulaire d'eucaryote découvert à ce jour est une algue rouge filamenteuse vieille de 1,7 milliard d'années. Les rhodophycophytes sont ainsi apparues après les cyanobactéries (algues bleues).

On dénombre environ 700 genres (Kraft, 1981). Il existe plus de 10 000 espèces décrites, mais, en raison des nombreux synonymes, on estime généralement un nombre effectif d'espèces situé entre 4000 et 6000 espèces (Woelkerling, 1990).

Les algues rouges sont presque toutes marines : on ne connaît qu'une vingtaine de genres d'eau douce (Sheath, 1984) et quelques 150 espèces (Bourrelly, 1985). Elles sont presque toutes benthiques sauf pour les trois genres unicellulaires (*Porphyridium*, *rhodella* et *rhodosorus*) sont planctoniques.

En eau douce, la couleur des rhodophytes est très souvent bleu vert, rouge-violacé. Ce sont des algues des profondeurs car ce sont les seules capables de descendre jusqu'à une centaine de mètres grâce à la présence, dans leurs chloroplastes, des phycobilines (pigments rouges masquant la chlorophylle), avec aussi leur développements qui nécessite des conditions de faible éclaircissement, vivant fixées aux rochers, elles peuvent être épiphytes, endophytes ou parasites d'autres algues.

Les algues rouges sont pluricellulaires dans leurs très grandes majorités et possèdent des thalles ne dépassant pas quelques dizaines de centimètres (1 à 4 cm).

A/ Caractères généraux

Les algues rouges se présentent sous différentes formes de thalles : elles sont rarement unicellulaires mais le plus souvent filamenteuses simple ou ramifié, thalle foliacé ou fucoïde ou cladomien avec une structure qui peut être uni ou multiaxiale (Figure 34).

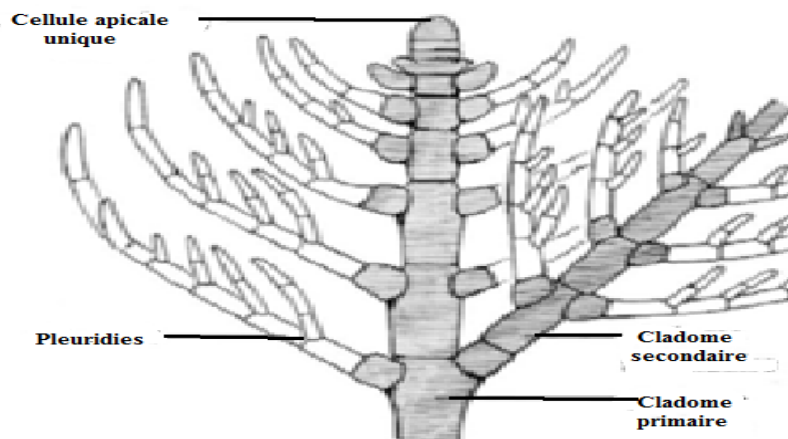
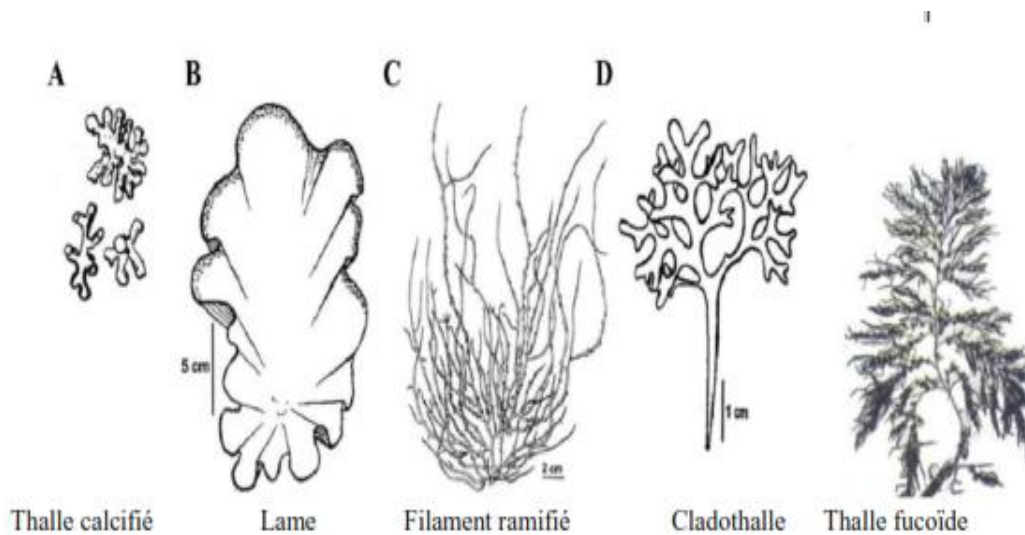


Figure 34 : types de thalles des algues rouges

Leur paroi cellulaire est constituée de cellulose (ou de xylanes chez certaines espèces). Chez la très grande majorité des algues rouges une particularité de la paroi située entre deux cellules : est la Synapse (Figure 35) structure mettant en relation les cytoplasmes entre deux cellules voisines, constitue probablement un caractère

morphologique dérivé propre permettant de caractériser le groupe. Les phycologues s'accordent pour considérer les algues rouges comme monophylétique et toutes les phylogénies moléculaires réalisées jusqu'à présent l'ont confirmé.

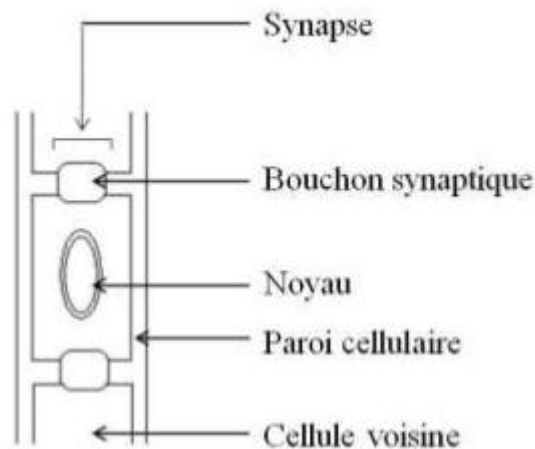


Figure 35 : Schéma d'une synapse des algues rouges

Les pigments sont constitués généralement par la chlorophylle a et d, α β carotène, Des pigments surnuméraires existent aussi tel que la phycoérythrine rouge, masquant ainsi la couleur verte (couleur rouge de l'algue), le chloroplaste peut alors être appelé rhodoplaste, la phycocyanine (bleu) et allophycocyanine sont disposés dans des phycobilisomes. Les principaux xanthophylles sont la lutéine et la zéaxanthine.

Les réserves sont constitués de rhodamylon ou amidon floridien, amidon particulier toujours extraplastidial prenant une couleur brun acajou par le lugol et une teinte rougeâtre par l'iode.

En effet, les cellules des algues rouges sont toujours dépourvues de flagelles, même les gamètes mâles; il n'existe pas de spermatozoïdes mais des spermaties

B/ Reproduction

a/- Reproduction asexuée

Se fait par fragmentation du thalle ou par la production de structures spécialisées (spores).

b/- Reproduction sexuée : Chez la plus part des algues rouges, la fécondation est du type trichogamie. Le trichogyne, un poil capte et véhicule les gamètes mâles (ou spermaties) dépourvus de flagelles jusqu'aux gamètes femelles immobile (ou carpogone). Ces gamètes sont des cellules nues, sans paroi.

c/ Cycle de vie

Les rhodophytes ont atteint la complexité maximale pour les cycles de reproduction. Les cycles sont généralement trigénétiques (Ex : genre *Antithamnion*) avec la succession de trois générations : gamétophyte (n), carposporophyte (2n), tétrasporophyte (2n). Comme il peut y avoir des espèces ayant un cycle de vie digénétique (ex : genre *Porphyra*).

C/ Systématique

Selon la nouvelle classification (Rivers, 2003), l'embranchement des Rhodophycophytes comprend trois classes (Figure 36) au lieu d'une seule classe Rhodophyceae (ancienne classification) qui étaient divisée en deux sous classes (Bangiophyceae et Florideophyceae). Chaque classe est divisée elle aussi en plusieurs ordres, seuls les principaux ordres seront cités dans ce polycopié

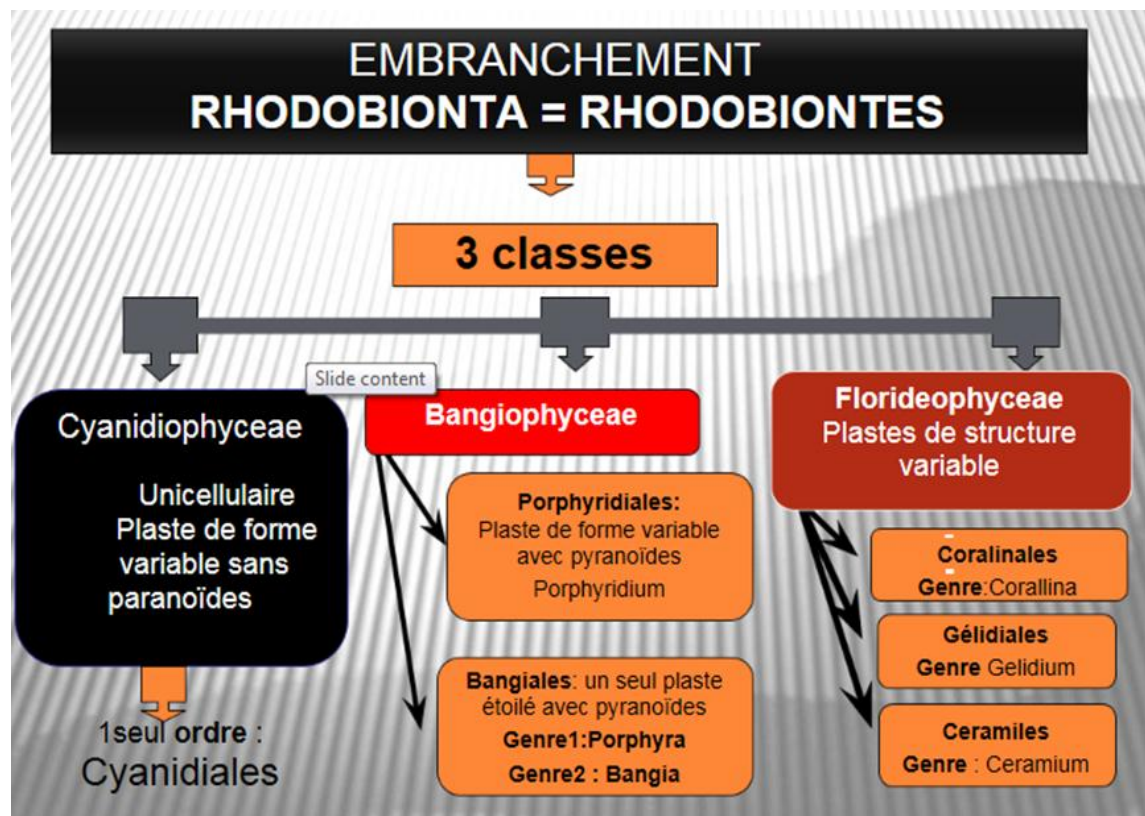


Figure 36 : Systématique des Rhodophytes

Classe 1 : Cyanidiophyceae : espèces unicellulaires, elle renferme un seul ordre

Ordre des Cyanidiales : dotés d'un plaste de forme variable, sans pyrénoïdes, jamais de synapses et la sexualité est inconnue.

Représenté par les genres *Cyanidium*, *Cyanidioschyzon*, *Galderia*..

Classe 2 : *Bangiophyceae*

Rassemble les espèces de structure simple

Cellule souvent à plaste

Thalle unicellulaire ou filamenteux

Présence de chloroplastes en forme étoilé ou variable

La reproduction se fait uniquement par voie asexuée sauf pour le genre *Porphyra* et *Bangia*

Cette classe renferme trois principaux ordres

Ordre 1 : *Bangiales* : un seul plaste étoilé avec un pyrénoides

Genre 1 : *Porphyra* forme de lames ou de filaments plus ou moins polystiques non ramifiés

Genre 2 : *Bangia*

Ordre 2 : *Compsopogonales* : Ce sont des filaments ramifiés. Les nombreux plastes pariétaux sont bleu-vert, sans pyrénoides.

Genres : *Compsopogon, Boldia et Compsopogonopsis*.....

Ordre 3 : *Porphyridiales* : Ce sont des unicellulaires ou des agrégats palmelloïdes. Ils possèdent un plaste focal ou un plaste pariétal, ou plusieurs discoïdes, pourvus de pyrénoides. La multiplication se fait par divisions cellulaires végétatives. Il n'y a pas de cystes.

Genres : *Porphyridium, Dixoniella, Rhodosorus*.....

Classe 3 : *Floridéophyceae*

Regroupe des formes complexes, dont les parois cellulaires portent toujours des synapses.

Le carpogone porte un trichogyne

Présence de reproduction sexuée de type trigénétique (Ex Antithamnion)

Elle comprend 14 ordres dont les plus importants sont

Ordre 1 : *Ceramiales* : touffes d'axes ou lames foliacées

Genres : *Ceramium et Polysiphonia*

Ordre 2 : *Corallinales* : Thalle multiaxiales calcifiés, encroûtants. Les cellules possèdent plusieurs plastes pariétaux sans pyrénoides. Le cycle trigénétique

Genre : *Corallina*

Ordre 3 : *Gelidiales* : Thalle cartilagineux, cylindriques ou aplatis, ramifiés uniaxiaux. Les cellules possèdent plusieurs plastes pariétaux, sans pyrénoides

Genre : *Gelidium*

Ordre 4 : *Nemaliales* : Thalle cylindriques ou légèrement aplatis, ramifiés uni ou multiaxiale. Les cellules possèdent un ou plusieurs plastes pariétaux pourvus ou non de pyrénoides.

Genre : *Naccaria* et *Atractophora* : plastes rubanés sans pyrénoides dans chaque cellule.

Genre *Nemalion* plaste étoilé pourvu d'un pyrénouide.

Ordre 5 : *Gigartinales* : Thalles filamenteux, uni ou multiaxiaux. Les cellules possèdent plusieurs plastes pariétaux sans pyrénoides. Le cycle trigénétique.

Genre *Chondrus* et *Gigartina*

1-6-2/ Les chromophytes (Algues brunes) (pyrro-chryse-algeno-pheo) Les Chromalvéolés

Les Chromophytes ou "algues colorées" souvent appelées Chrysophytes (qui contiennent des pigments caroténoïdes leur donnant une couleur proche du jaune).

Le terme chromophyte désigne un grade évolutif paraphylétique regroupant tous les organismes du règne Chromista possédant de la chlorophylle-c, c'est-à-dire ceux qui ont conservé leur chloroplaste à quatre membranes résultant de l'endosymbiose secondaire.

Ce sont des algues qui possèdent principalement les chlorophylles a, c et d'autres pigments surnuméraires sont les caroténoïdes. Leur pigment dominant est la phycobiline et aussi d'autres pigments comme la fucoxanthine.

Ce sont des algues marines pouvant atteindre plusieurs mètres de longueur, côte rocheuse à faible profondeur ou en eau douce.

A/ Systématique

La lignée brune est un groupe très hétérogène. Elle renferme des algues de différentes couleurs (brune, jaune et doré). Dans ce clade, on retrouve plusieurs embranchements : les Pyrrophytes, les Haptophytes et les Dinophytes et les Ochrophyta appelés aussi chrysophytes représentées essentiellement par les algues brunes (Phéophytes), les Diatomées,

❖ Embranchement des *Pyrrophyta* appelés aussi *Dinophyta* (dinoflagellés) ou Péridiniens

Cet embranchement compte environ 4000 espèces, dont la moitié est fossile. Ils occupent actuellement une position incertaine dans la classification phylogénétique.

Ce sont des organismes unicellulaires essentiellement marins, en grande majorité monadoïdes, le plus souvent flagellés, parfois agglomérés en colonies, ou en formes filamenteuses. Ces organismes sont revêtus d'une carapace de plaques (thèques), cellulósiques, généralement interrompus par 2 sillons ; l'un transversal et l'autre longitudinal. Les 2 flagelles sont situés l'un en position antérieure pour la rotation de la cellule sur elle-même, l'autre en position postérieure dans le sillon longitudinal. Ce dernier est plus long que la cellule elle-même dont il assure la propulsion. Le noyau est particulier, il est dinocaryon. Les plastes sont pariétaux avec 3 membranes
Reproduction :

- Asexuée par bipartition ou endosporulation
- Sexuée : très rare et/ou mal connue

Ecologie : Plancton marin, avec adaptations morphologiques et physiologiques favorisant la flottabilité. Nombreuses espèces vivant en symbiose dans des cellules de certains animaux. Chez les coraux : péridiniens symbiotiques : "zooxanthelles" dépourvues de paroi cellulósique et de flagelles ; rôle clé dans le fonctionnement du récifcorallien (dépôt de carbonate de calcium).

Fossiles : Tests (= paroi cellulaire plus ou moins incrustée de minéraux) abondants dans divers types de sédiments marins au moins depuis le début du Cambrien.

Affinités évolutives : Par leurs pigments et leurs cellules pleuro-hétérokontées, se rapprochent des *Chrysophycées*. La présence de pseudopodes (permettant la phagocytose) chez certaines espèces de Dinophycées est un des arguments qui permettent de rapprocher cet embranchement de certains Protozoaires (Foraminifères, Radiolaires, Thécamibiens).

Divers : Dans des conditions climatiques particulières, les pullulations de Péridiniens peuvent conduire à des phénomènes de "marées rouges", fréquemment observés sur les côtes atlantiques. De telles pullulations sont redoutables qui secrètent une substance toxique pour les animaux marins, poissons et mollusques notamment. Cette toxicité est transmissible à l'homme par ingestion de fruits de mer. La toxine paralyse la fonction respiratoire.

Cet embranchement est divisé en trois classes

Classe 1 : *Dinophyceae*

Ordre 1 *Peridinales*

Genre *Peridinium*

Ordre 2 : *Gymnodinales*

Genres : *Gymnodinium, Didinium et Ceratium*

Classe 2 : *Noctiluiphyceae*

Classe 3 : *Syndiniophyceae*

❖ **Embranchement *Ochrophyta* appelés aussi *chrysophytes***

Cet embranchement de la ligné brune appartient au sous règne des *Heteroconta* ou *Straménophiles*. Il est caractérisé par la présence de plastes de 4 membranes

Les Pigments : Chl a, c1, c2, masquées par des caroténoïdes (fucoxanthine, lutéine, diadinoxanthine, etc). Couleur jaune à brun-doré. Le pyrénolide, lorsqu'il est présent, est extraplastidial

Hétérotrophie obligatoire ou facultative chez certaines espèces.

Parois : Cellulose et/ou composés pectiques, avec imprégnation fréquente de silice amorphe (opale) ou de calcaire (CaCO₃).

Réserves : Chrysolaminarine, lipides

Flagelles : (1)-2, apicaux présents parfois uniquement chez les gamètes mâles; totalement absents chez certaines espèces. hétérocontés dont l'un des flagelles possèdent des mastigonèmes tubulaires triparties ;

Cytologie : Présence de corps mucifères (corpuscules sous-membranaires accumulant un mucilage polysaccharidique susceptible d'être expulsé dans certaines circonstances) et ce corps physoïdes (corpuscules situés près du noyau et accumulant des composés chimiques fortement colorables, dont la fonction est mal connue).

Cet embranchement comprend 11 classes dont 5 sont considérées comme les plus importantes :

Chrysophyceae (algues dorés)

Diatomophyceae* ou *Bacillariophyceae (*Diatomées*)

Xanthophyceae (*algues jaunes*)

Eustigmatophyceae

Phaeophyceae (vraies algues brunes)

Seules les classes les plus importantes seront détaillées dans ce polycopié tel que les *Diatomophyceae* et les *Phaeophyceae*

Classe 1 : *Diatomophyceae*

Les diatomées (du grec : diatomos : coupé en deux) sont des microalgues brunes

unicellulaires de (2µm à 1mm) appartenant au phytoplancton. Les diatomées vivent dans l'eau douce et l'eau salée et sont présentes dans toutes les mers du monde. Mais sont prédominantes dans les mers froides et tempérées

❖ **Caractères généraux des diatomées :**

Aussi appelées Bacillariophycées, les Diatomées sont des microorganismes unicellulaires photosynthétiques, aujourd'hui placées dans le clade des Hétérocontes (ou Straménopiles), qui comprend aussi, en particulier, les algues brunes (Phéophycées).

Leur taille varie de 20 à 200 µm environ, quoique certaines puissent atteindre 2 mm. Elles peuvent se présenter en cellules isolées ou regroupées en colonies. Elles se caractérisent par une paroi rigide faite de silice hydratée insérée dans une matrice organique

Le frustule cette paroi finement ornée (pores, excroissances, épines, etc.) est divisée en deux valves emboîtées de taille différente (Figure 37) : **l'hypothèque**, la plus petite des deux valves, vient s'emboîter dans **l'épithèque** (à la façon d'une boîte de Pétri). La bordure verticale de l'épithèque, appelé **l'épicingulum**, recouvre et cache le bord de l'hypothèque, ou **hypocingulum**.

Chez de nombreuses espèces, les deux valves présentent également des ornements différents.

*Présence de chlorophylle a et c.

*Présence de pigments de carotènes et de Xanthophylle dont la Fucoxanthine

*Les chloroplastes sont de couleur jaune et vert olive ou bruns.

*Substance de réserve est constituée essentiellement par de la Chrysolaminarine

*Les diatomées excrètent des substances mucilagineuses à travers des pores spéciaux.

Ces excrétions jouent un rôle important dans leur locomotion, leur flottaison, leur reproduction et dans la constitution et la protection des colonies.

*Les Diatomées occupent à l'heure actuelle la zone photique des eaux marines fraîches et froides, mais aussi les eaux douces et les sols. En milieu marin, on en connaît des espèces planctoniques et benthiques.

*Les premières Diatomées marines remonteraient au Jurassique (~ 185 Ma), mais leur authentification est discutée et on les connaît surtout à partir du Crétacé (Albien / Aptien). On ne connaît des Diatomées d'eaux douces qu'à partir du Paléocène

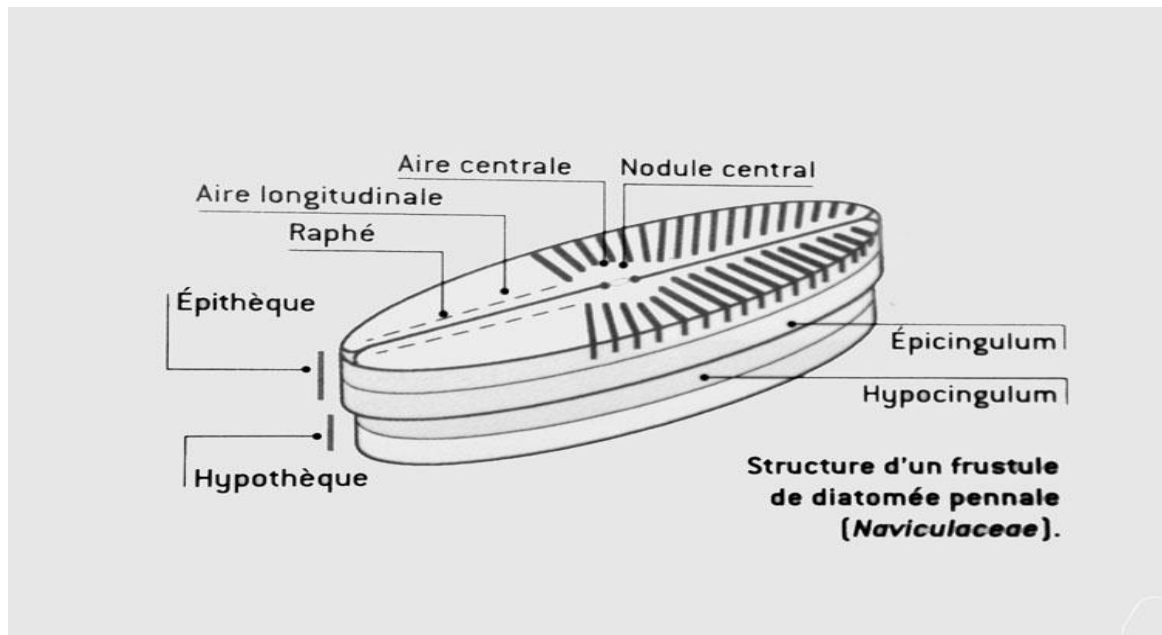


Figure 37 : Schéma d'une diatomée.

❖ Reproduction des Diatomées

a-Reproduction asexuée

La multiplication cellulaire végétative est la principale méthode de multiplication des Diatomées et se fait lorsque les conditions sont favorables à leur prolifération. Le frustule inextensible, impose aux cellules un mode de division particulier. Le noyau se divise et chaque nouveau noyau entraîne une des valves de la paroi. Chaque partie reconstitue l'autre frustule à l'intérieur de celle existante. Les Diatomées sont de plus en plus petites. Quand la cellule devient trop petite intervient la reproduction sexuée.

b-Reproduction sexuée

- La multiplication asexuée, induisant une diminution progressive de la taille des générations successives de diatomées (Figure 39). À partir d'une taille minimale (30 % de la taille initiale), la reproduction intervient entre deux diatomées afin de générer des individus de taille normale, Le processus est complexe et diffère chez les diatomées centrales et les pennales.

- **Chez les diatomées centrales**, les cellules se transforment les unes en gamètes femelles, les autres en gamètes mâles. Les gamètes mâles sont munis d'un flagelle avec lequel ils s'introduisent dans les diatomées gamètes femelles.

- **Chez les diatomées pennales**, la fécondation se fait par cystogamie : il y a d'abord adhésion des deux diatomées, facilitée par du mucilage. Chacune évolue alors en un ou deux gamètes actifs (mâles, sans flagelle) ou passifs (femelles) qui fusionnent ensuite par divers moyens.

Dans tous les cas, l'œuf résultant de la fusion des gamètes, appelé auxospore, s'entoure d'une épaisse paroi mucilagineuse et grossit considérablement avant de sécréter un frustule et donc devenir une nouvelle diatomée de grande taille.

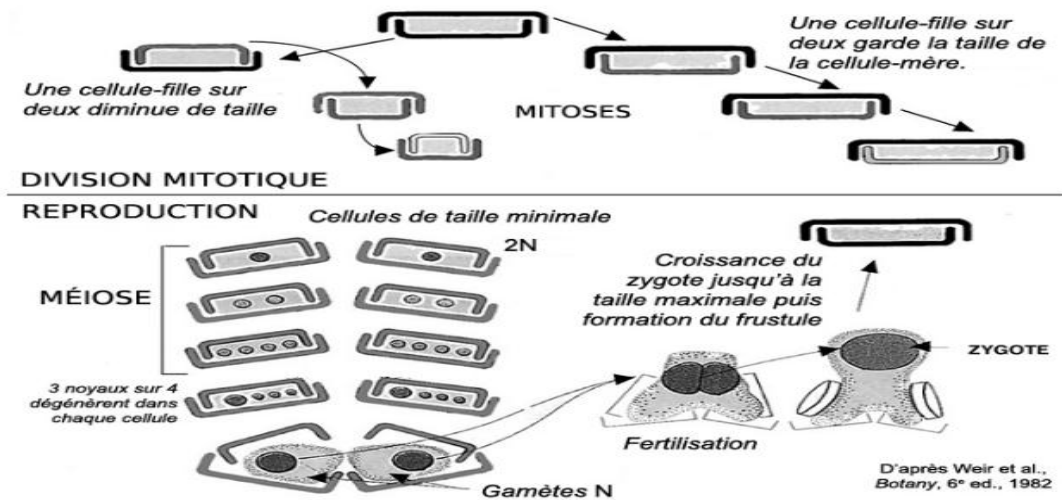


Figure 39 : Schéma de la division mitotique et de la reproduction méiotique des Diatomées.

❖ Classification des Diatomées

On distingue deux grandes catégories de Diatomées selon la géométrie de leur frustule

- **les Diatomées centrales**, à symétrie radiale (Figure 40): le frustule circulaire porte des stries, rayonnant depuis un point ou une aréole (qui n'est pas forcément situé au centre de la valve), ou une réticulation.

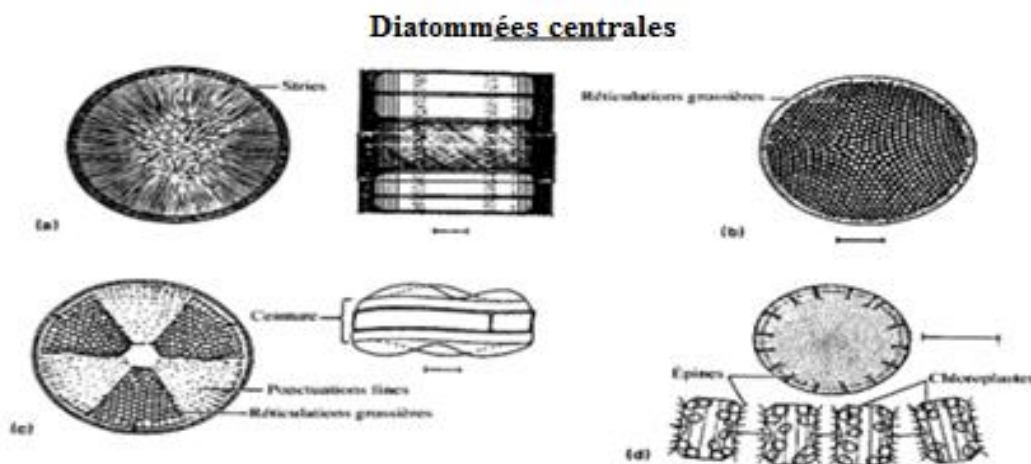


Figure 40 : les Diatomées centrales

- **les Diatomées pennales**, à symétrie bilatérale (Figure 41) : le frustule allongé présente des stries disposées autour d'un plan de symétrie bilatérale. De nombreuses Diatomées Pennales présente sur ce plan de symétrie une fente, le raphé, interrompue par un nodule de silice central. Elle permet une communication avec le milieu extérieur et l'excrétion de mucilage. Si cette fente est atrophiée ou peu marquée, on parle de pseudo-raphé. Les Pennales sans raphé sont appelées Diatomées araphidées ou crypto-raphidées.

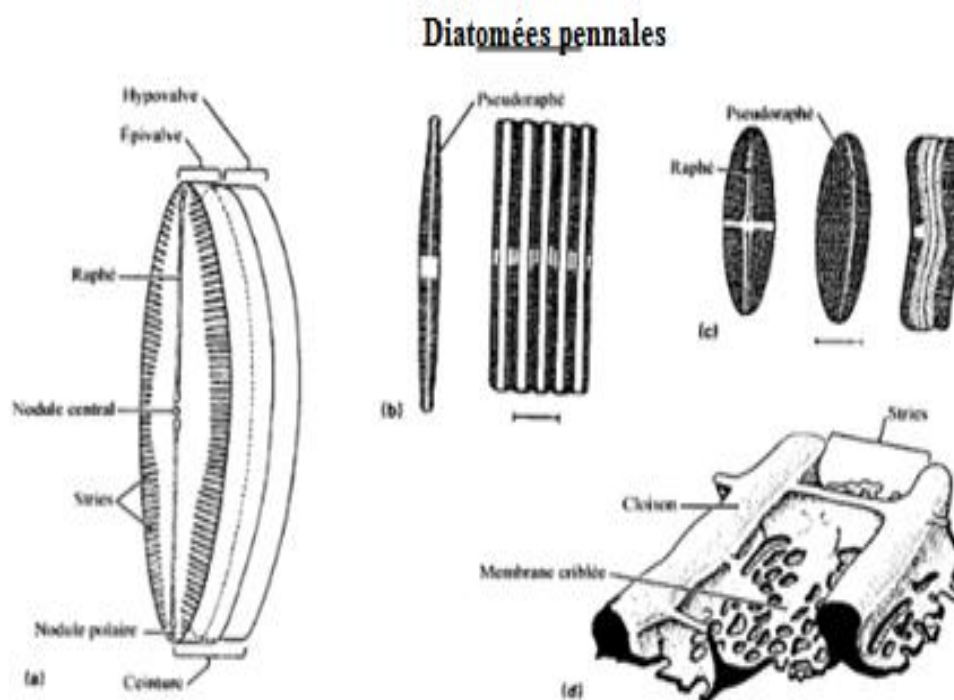


Figure 41 : Diatomées pennales

Une classification plus récente divise les diatomées en trois classes (Tableau 3) :

Les diatomées centriques (Coscinodiscophyceae)

Les diatomées pennées

***sans raphé (Fragilariophyceae)**

***avec un raphé (Bacillariophyceae)**

Tableau 3 : Nouvelle classification des Diatomées

| Classes | Ordres |
|----------------------------|--|
| <i>Coscinodiscophyceae</i> | <i>Anaulales</i> <i>Arachnoidiscales</i> <i>Astérolamprales</i> <i>Aulacoséirales</i> <i>Biddulphiales</i> <i>Chaétocérotales</i> <i>Coréthrales</i> <i>Coscinodiscales</i> <i>Cymatosirales</i> <i>Ethmodiscales</i> <i>Hemiaulales</i> <i>Leptocylindrales</i> <i>Lithodesmiales</i> <i>Melosirales</i> <i>Paraliales</i> <i>Rhizosoléniales</i> <i>Thalassiosirales</i> <i>Tricératiales</i> |
| Fragilariophyceae | <i>Climacosphéniales</i> <i>Fragilariales (Diatoma, Fragilaria),</i> <i>Licmophorales</i> <i>Protoraphidales</i> <i>Rhabdonematales</i> <i>Rhaphonéidales</i> <i>Striatellales</i> <i>Tabellariales</i> <i>Thalassionematales</i> |
| Bacillariophyceae | <i>Achnanthes</i> Bacillariales (Bacillaria) Centrales Cymbellales <i>Eunotiales</i> Mastogloiales Naviculales Pennales <i>Rhopalodiales</i> <i>Surirellales</i> <i>Thalassiophysales</i> |

Classe 2 des *Pheophyceae*

❖ Caractères généraux

La classe des *phéophyceae* représente les algues proprement dites, avec 1500 espèces allant de quelques millimètres de longueur à plus de 10 mètres.

Ce sont des plantes marines, elles vivent dans les mers froides et tempérées où elles vivent fixées au fond des rochers. Il n'y a que le genre sargasse qui prolifère dans les mers chaudes. Plusieurs d'entre elles renferment des vésicules remplies d'azote qui leur servent de flotteurs.

Les cellules contiennent plusieurs plastes pourvus ou non de pyrénoides lorsqu'il est présent, il est pyriforme et pédonculé. Leurs plastes contiennent de la chlorophylle a et c et de la fucoxanthine (pigment spécial de coloration noire), ce qui lui permet d'utiliser la lumière solaire avec une certaine profondeur.

Leur appareil végétatif est diversifié, il peut se présenter sous forme de filaments microscopiques comme chez *Sphacelaria*, il peut être formé de thalles constitués de rameaux minuscules comme chez *Cladostephus*, il peut se présenter sous forme de rubans comme chez *Dictyota*, de lames de grande taille (*Laminaria*), de lanières rubanées avec ou sans aérocytes, nervurés ou non (*Fucus*). Il peut former des thalles buissonnants comme chez *Cystoseira*.

Ce type d'algues brunes possèdent des organes reproducteurs particuliers uni ou pluricellulaires (conceptacles mâles et femelles chez le genre *Fucus*). Le cycle de reproduction peut être mono ou digénétique

❖ Reproduction

a/- Reproduction asexuée

La reproduction asexuée par fragmentation du thalle

b/- Reproduction sexuée

La nature des organes reproducteurs et le cycle de reproduction permet de distinguer deux grandes sous classes Les *Phéosporophycideae* et les *Cyclosporophycideae*

***Chez les phéosporophycideae**

Les organes de reproduction sont nommés zoïdocytes uniloculaires ou pluriloculaires) qui libèrent des zoïdes (gamètes ou spores) généralement biflagellés et hétérocontés. Le cycle de développement est digénétique.

***Chez les cyclosporophycideae** : la fécondation est toujours une oogamie, les gamètes femelles immobiles (oosphère) et les gamètes (anthérozoïdes) mobiles. Ces

deux types sont inclus dans des cavités appelées Conceptacles creusés dans des parties différenciés appelées Réceptacles. Le cycle de développement est monogènetique haplodiplophasique

❖ **Systematique des phéophyceae**

C'est une classe qui comprend deux sous classes

Sous classe 1 : *Phéosporophycideae* comporte 11 ordres dont les plus importants sont

Ordre 1 : *Ectocarpales*

Famille 1 : *Ectocarpaceae*

Genre *Ectocarpus*

Famille 2 : *Ralfsiaceae*

Genre : *Ralfsia*

Ordre 2 : *Cultérialiales*

Famille : *Cultériaceae*

Genre *Cultéria*

Ordre 3 : *Syctosiphoniales*

Ordre 4 : *Laminariales*

Famille 1 : *Phyllariaceae*

Genre : *Phyllaria*

Famille 2 : *Laminariaceae*

Genre *Laminaria*

Famille 3 : *Lessioniaceae*

Genre : *Macrocystis*

Sous classe 2 : *Cyclosporophycideae* comporte un seul ordre

Ordre *Fucales*

Famille 1 : *Fucaceae*

Genre 1 : *Fucus*

Genre 2 : *Pelvetia*

Genre 3 : *Ascophyllum*

Famille 2 : *Saragassaceae*

Genre : *Saragassum*

1-6-3/ Les chlorophycophytes (algues vertes)

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 (Figure 42), on peut regrouper les *Glaucophyta*, 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.

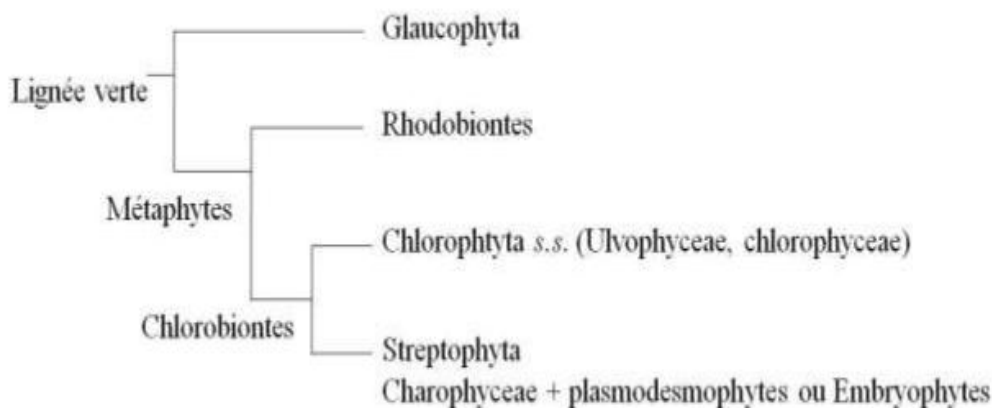


Figure 42 : Arbre phylogénétique de la lignée verte (ss : sens stricto)

Les *Chlorobionta* (*Chlorobiontes*) ou Viridiplantae définissent l'ensemble des organismes couramment reconnus comme les « végétaux verts ». Ils forment un groupe monophylétique comprenant les algues vertes et les plantes terrestres. Ils sont notamment caractérisés par la présence de chlorophylle a et de chlorophylle b. Ils correspondent à l'image typique du végétal, de couleur verte, les chlorophylles n'étant généralement pas masquées par d'autres pigments. Les *Chlorobiontes* se subdivisent eux-mêmes en deux clades principaux, les *Chlorophyta* sensus stricto qui constituent au sein des plantes vertes un groupe monophylétique renfermant (*Chlorophyceae*, *Ulvophyceae*) qui rassemblent la plupart des algues vertes les plus connues et les *Streptophyta*, groupe paraphylétique 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.

Les *Chlorobiontes* tiennent une place écologique considérable sur Terre, représentant toute la végétation terrestre et une part importante de la biomasse des océans

Les algues vertes ou chlorophycophytes ou chlorobiontes réunissent entre 550 et 570 genres et 16 000 et 17 000 espèces, constituent le plus grand groupe d'algues. Généralement ce sont des espèces d'eau douce. Il y a des espèces marines et des espèces terrestres. Elles sont très répandues dans le monde entier.

Comme les végétaux supérieurs, elles possèdent deux chlorophylles a et b mais aussi des carotènes et d'xanthophylle.

Leurs formes et leurs tailles sont très variables (Figure 43): elles peuvent être microscopiques et unicellulaire comme la chlorelle (*Chlorella vulgaris*), le genre *Cosmarium* et le genre *Chlamydomonas*, grandes et pluricellulaire, en forme de lames plates, comme la laitue de mer (*Ulva lactuca*) et d'autres filamenteuses se présentent sous la forme d'un tube (*Enteromorpha intestinalis*).

Ces algues qui vivent dans des eaux peu profondes sont très sensibles à la pollution organique ou en nitrates, elles se multiplient au point de provoquer de véritables marées vertes.



Figure 43 : la diversité de thalle des algues verte

A/ Caractères généraux

Généralement les cellules des algues vertes se caractérisent par :

- leurs parois cellulaires ont la cellulose pour principal composant
- Le chloroplaste possède deux membranes
- Les thylakoides sont groupées par paquets de plus de trois
- Le nombre et la forme des chloroplastes sont différents d'un groupe à un autre
- Leurs réserves carbonées issues de la photosynthèse sont constituées de d'amidon accumulées dans les plastes.
- Présence des pyrénoides qui sont des corps protéique autour duquel s'accumule l'amidon.
- Présence de flagelles (2 à 4) chez certaines espèces : Isokontés et acrokontés. Certains flagelles présentent des mastigonèmes sur un seul côté (mastigonème pectiné) ou sur les deux côtés (mastigonème penné)

B/ Reproduction des chlorophycophytes

a/- Reproduction asexuée

Chez les espèces unicellulaires elle se fait par bipartition transversale ou bien par bourgeonnement au niveau de chaque hémisomate (Ex : *Cosmarium*). Par formation de renflement unicellulaire ou pluricellulaire (bulbiles) au niveau des rhizoïdes qui se détachent et donnent de nouveaux thalles (genre : *Chara*)

b/- Reproduction sexuée

Il y a une grande variation dans les formes de reproduction sexuée chez les algues vertes. Des espèces se fécondent par cystogamie (Ex : *Spirogyra*) d'autres par oogamie (Ex : *Chara*), d'autres par anisogamie (Ex : *Ulva*) ou isogamie (Ex *Chlamydomonas*).....

c/Cycle de vie

Le cycle de vie des chlorophycophytes peut monogénétique haplophasique (Ex *Sirogyra*) ou bien digénétique haplodiplophasique isomorphe (Ex : *Ulva lactuca*) ou hétéromorphe (*Laminaria digita*).

C/ Systématique

Les algues vertes ne contiennent plus un groupe homogène ou un seul embranchement, or la nouvelle classification de ce type d'algues est représentative afin de l'insérer dans un cadre phylogénétique cohérent. Pour cela d'autres critères sont utilisés. On reconnaît actuellement deux embranchements au sein des

Chlorobionta : les *Chlorophyta* et le *Streptophyta*. Les *Chlorophyta* ne renferment que des algues alors que les *Streptophyta* regroupent des algues et les Embryophytes (ou Archégoniates).

❖ **Les *Chlorophyta***

On ne reconnaît pas de caractères réels propres pour définir ce groupe mis à part les séquences génétiques. On distingue cinq classes : *Prasinophyceae*, *Pedinophyceae*, *Ulvophyceae*, *Chlorophyceae*, *Trebouxiophyceae*.

Classe 1 : *Chlorophyceae*

Ce sont essentiellement des algues d'eau douce. L'appareil végétatif et coccoïde ou monadoïde, unicellulaires, ou cénobiales filamenteux. Ces algues peuvent présenter 2 à 4 flagelles égaux et lisse ou une couronne de flagelles. Leur cycle de reproduction est monogénétique haplophasique. Cette classe est hétérogène, est divisée en 12 ordres. Dont les plus importants sont

Ordre 1 *Chamydomonales*

Famille *Chlamydomonadaceae*

Genre *Chlamydomonas*

Ordre 2 *Vovocales*

Famille *Volvocaceae*

Genre : *Volvox*

Ordre *Chlorococcales*

Famille 1 : *Chlorococcaceae*

Genre *Chlorococcum*, *Characium*, *Coccomyxa*, *Sykidion*

Famille 2 : *Endosphaeraceae*

Genres : *Chlorochytrium*, *Gomontia*

Famille 3 : *Scenedesmaceae*

Genre : *Scendesmus*

Ordre *Chaetophorales*

Genre : *Chaetophora*

Classe 2 : *Ulvophyceae* :

Les *Ulvophyceae* lato sensu ne contiennent pas d'algues monadoïdes. La grande majorité des taxons sont pluricellulaires. Les cellules flagellées possèdent deux

(généralement les gamètes) ou quatre (généralement les spores). Elles présentent des flagelles égaux et lisses ou parfois en couronne de flagelles, structure « stéphanoconté ». Leur cycle de reproduction est variable monogénétique haplophasique ou digénétique haplodiplophasique iso ou hétéromorphe. Les Ulvophyceae sont essentiellement marines et benthiques. Il existe cependant des nombreuses espèces d'eau douce qui peuvent supporter d'énormes variations de salinité depuis l'eau de mer jusqu'à l'eau douce, exemple de l'espèce *Enteromorpha intestinalis*). .

❖ **Systematique**

Les analyses des séquences moléculaires sont encore insuffisantes pour établir une classification phylogénétique. Ces analyses montrent parfois que les *Ulvophyceae* ne constituent pas un taxon monophylétique. La classification actuelle varie selon les auteurs. 7 ordres sont reconnus :

Ordre 1 : les *Ulothricales* ou *Codiolales* sensu : On compte environ 10 genres et 90 espèces. Les thalles sont coccoïdes, filamenteux (ramifiés ou non), un seul plaste pariétal pourvu d'un ou plusieurs pyrénoides. Le cycle de reproduction est monogénétique ou digénétique hétéromorphe. Cet ordre renferme 8 familles :

Famille 1 : *Acrosiphonaceae*

Genres *Acrosiphonia*, *Spongomorpha*, *Urospora*

Famille 2 : *Aphanochaete*

Genre : *Aphanochaete*

Famille 3 : *Borodinellaceae*

Genre : *Planophila*

Famille 4 : *Capsosiphonaceae*

Genre : *Capsosiphon*

Famille 5 : *Kornmanniaceae*

Genre : *Kornmania*

Famille 6 : *Monostromataceae*

Genre : *Monostroma*

Famille 7 : *Chlorocystidaceae*

Genre : *Chlorocystis*

Dont la plus importante est celle des **Ulotrichaceae**

Genre : *Ulothrix*

Ordre 2 : *Ulvales* : on dénombre 24 genres et 175 espèces, formes foliacées avec une ou deux couches de cellules ou en tube creux. Presque toute marines. Il est divisé en deux familles

Famille 1 : *Ulvaceae*

Genres : *Blidingia, Percursaria, Ulva, Enteromorpha*

Famille 2 : *Ulvellaceae*

Genres : *Achrochaete, Ulvela*

Ordre 3 : Les *Cladophorales* lato sensu (ensemble *Cladophorales*+*Siphonocladales*) : On dénombre 32 genres et 420 espèces. Cet ordre regroupe celui des *Cladophorales* stricto sensu et celui *Siphonocladales*, la délimitation de ces deux ordres est complexe et varie avec les concepts adoptés par les différents auteurs ; en l'attente d'analyses de séquences moléculaires suffisantes dans ce groupe, ces deux ordres, probablement distincts, ne sont donc pas séparés pour l'instant. Généralement marines (on reconnaît cependant quelques espèces d'eau douce). Leur cycle de reproduction est digénétique haplophasique isomorphe, la fécondation est iso ou anisogamie. Cet Ordre comprend 6 familles différentes

Famille 1 : *Anadyomenaceae*

Genres : *Anadyomene, Microdictyon*

Famille 2 : *Wittrockiellaceae*

Genre : *Wittrockiella*

Famille 3 : *Boodleaceae*

Genres : *Boodlea, Phyllodictyon, Struvea*

Parmi les familles les plus importantes sont :

Famille 4 : *Cladophoraceae*

Genres : *Cladophora, Chaetomorpha et Rhizoclonium*

Famille 5 : *Siphonocladaceae*

Genres : *Cladophoropsis, Siphonocladus*

Famille 6 : *Valoniaceae*

Genres : *Valonia*, *Dictyosphaeria, Ernodesmis et Ventricaria*

Ordre 4 : les *Bryopsidales*

On dénombre 29 genres et environ 150 espèces, le thalle est siphonné, leur cycle de reproduction est digénétique haplodiplophasique hétéromorphe ou monogénétique

haplophasique. La fécondation est anisogamie. Il comprend trois familles, les deux premières familles sont les plus importantes dans cet ordre :

Famille 1 : *Bryopsidaceae*

Genres : *Bryopsidella, Bryopsis et Trichosolen*

Famille 2 : *Codiaceae*

Genres : Codium, *Flabellia, Ostreobium*

Famille 3 : *Derbesiaceae*

Genres : *Derbesia, Pedobesia*

Ordre 5 : Les Halimadales

Cet ordre comprend aussi 3 familles

Famille 1 : *Caulerpaceae* (importante famille dans cet ordre) avec un seul genre, **Genre : *Caulerpa***

Famille 2 : *Halimedaceae* un seul genre aussi

Genre : *Halimeda*

Famille 3 : *Udoteaceae*

Genres : *Avrainvillea, Udotea*

Ordre 6 : Les *Dasycladales*

On dénombre environ 11 genres et 50 espèces, les thalles siphonnés. Leur cycle de reproduction est monogénétique haplophasique. La fécondation est isogame. On distingue deux familles.

Famille 1 : *Dasycladaceae*

Genres : *Batophora, Cymopolia, Dasycladus*

Famille 2 : *Polyphysaceae*

Genre : *Acetabularia*

Ordre 7 : *Trentepohliales*

Il regroupe cinq ou six genre ainsi qu'une soixantaine d'espèces. Ces algues sont terrestres (sols humides, murs, rochers, troncs d'arbres et feuilles) parfois endophytes de phanérogames. Certaines espèces des Trentepohliales participent à des associations lichéniques. Leur cycle de reproduction est digénétique haplophasique isomorphe pour des espèces et hétéromorphe pour d'autres. On compte une seule famille

Famille : *Trentepohliaceae*

Genres : *Cephaleuros, phycopeltis, stomztochroom, Printzinia.....*

Classe 3 : *Prasinophyceae*

Ces algues sont unicellulaires, monadoïdes ou coccoïdes, parfois coloniales. La morphologie et la nature l'appareil flagellaire sont des critères de distinction des ordres. Elle renferme 4 ordres du plus au moins important.

Ordre 1 : *Chlorodendrales*

Famille : *Chlorodendraceae*

Genre : *Prasinocladus*

Genre : *Tetraselmis*

Genre : *Sherffelia*

Ordre 2 : *Pseudoscourfieldiales*

Famille : *Pycnococcaceae*

Genre *Nephroselmis, Pycnococcus, Pseudoscourfieldia.....*

Ordre 3 : *Pyramimonadales*

Famille : *Monomasticaceae*

Genre : *Monomastix*

Ordre 4 : *Mamiellales*

Famille : *Mamiellaceae*

Genre : *Bathycoccus, Ostreococcus et Mamiella*

Classe 4 : *Pedinophyceae*

On compte un seul ordre, les *Pedinomonadales*, comprenant quatre espèces monadoïdes marines et deux d'eau douce.

Classe 5 : *Trebouxiophyceae*

La classe compte une quinzaine de genres. Elle regroupe des algues unicellulaires ou filamenteuses, leur cycle de reproduction est monogénétique haplophasique. Ces algues sont uniquement dulçaquicoles, subaériennes ou symbiotes de lichens. La classe compte trois ordres :

Trebouxiales, Microthamniales et Prsiolales

❖ Les Streptophyta

L'embranchement des streptophyta comprend 13000 espèces, le caractère propre à ce groupe n'est pas évident. Les flagelles sont disposés d'une manière unilatérale. La fécondation est oogame. On distingue 6 classes

Classe 1 : *Mesostigmatophyceae*

L'ordre ne compte qu'un seul genre *Mesostigma* ('algue unicellulaire flagellé d'eau douce')

Classe 2 : *Chlorokybophyceae*

Au sens de Van den Hoek et al (1995), cette classe contenait aussi les *Colcochaetophyceae* mais les séquences génétiques indiquent qu'elles ne leur sont pas directement apparentées.

L'ordre ne compte qu'un seul genre *Chlorokybus* (algue subaérienne vivant sur substrat rocheux).

Classe 3 : *Klebsormidiophyceae*

On dénombre 3 genres : *klebsormidium*, *Stichococcus* et *Entransia*

Classe 4 : *Colcochaetophyceae*.

L'ordre compte trois genres : *Coleochaete*, *chaetosphaeridium* et *Awadhiella*.

Classe 5 : *Zygnematophyceae* appelées encore *Conjugatophyceae*

Cette classe regroupe entre 56 genres et 10 000 et 13 000 espèces. Elle regroupe des algues unicellulaires ou filamenteuses. Les cellules sont uninucléées, sont haploïdes (excepté le zygote), le noyau généralement situé au centre de la cellule. Les parois sont pectocellulosiques, la forme du plaste (étoilé, en lame ou en ruban) et contiennent un ou plusieurs pyrénoides. Les chloroplastes ont souvent les thylacoïdes empilées à la manière des granas des végétaux supérieurs. Ces algues sont caractérisées par une absence totale de flagelles et par un type de reproduction sexuée (conjugaison), les gamètes sont amiboïdes. Leur cycle de reproduction est monogénétique haplophasique. Dans cette classe, il y a formation des zygospores qui peuvent épaissir leur paroi et faire office d'organes de résistance à la dessiccation. La multiplication végétative peut aussi s'effectuer par fragmentation ou aplanospores (spores dépourvus de flagelles).

La classe des *Zygnematophyceae* se subdivise en deux principaux ordres *Zygnematales* et *Desmidiiales*, ces dernières se distinguent par leurs cellules partagées en deux parties symétriques (les hémisomates) par rapport au noyau, la membrane cellulosique comportant de ce fait une suture ou sillon.

Ordre 1 : *Zygnematales* (algues filamenteuses)

Famille : *Zygnemataceae* plusieurs genres dont les plus importants sont

Genre : *Zygnema Spirogyra Mougeotia*

Ordre 2 Desmidiiales

C'est un ordre des algues unicellulaire (micro-algues) vertes qui comprend une quarantaine de genres et de 5 à 6 000 espèces. Les Desmidiiales sont microscopiques, divisées en deux compartiments symétriques séparés par un isthme au milieu duquel se trouve le noyau. Chaque compartiment renferme un chloroplaste pourvu de pyrénoides. Elles vivent dans les eaux douces du monde entier ; beaucoup sont dans les eaux acides (pH 4 à 6) des tourbières à sphaignes

Il contient 5 familles

Mesotaeniaceae, Gonatozygaceae, Closteriaceae, Peniaceae et Desmidiaceae, cette dernière est la principale famille de l'ordre des Desmidiiales, dont les principaux genres sont : *Micrasterias, Closterium, Cosmarium, Desmidium, Staurostrum*

Les plus anciens fossiles des Desmidiiales connus remontent au milieu du Dévonien ; les plus anciennes Zynematales fossiles remontent au Carbonifère.

Elles sont utilisées comme aliment en aquaculture et indicateur de la qualité des eaux par l'étude des associations des desmidiées).

Classe 6 : *Charophyceae* :

Cette classe est très homogène comportant un seul ordre des Charales qui contient 6 genres et une centaine d'espèces.

L'appareil végétatif est cladome ramifié en une succession de nœuds et d'entre-nœuds. A chaque nœud se trouve des **Pleuridies** (Figure 45) .

Les rhizoïdes des charales contiennent des statolithes (vacuoles referment des cristaux de sulfate de baryum), les parois cellulaires sont cellulose souvent calcifiées (incrustées d'aragonite). Les plastes sont nombreux sans pyrénoides, les thylacoïdes s'agencent en pseudo-grana.

Les organes reproducteurs particuliers et sont situées au niveau des nœuds, ce qui rappelle l'organisation des Embryophytes (Figure 45a).

- L'organe male ou appelé aussi globule à forme sphérique, est un ensemble de spermatozytes de couleur orangée car très riche en caroténoïdes.
- L'organe femelle ou nucules est recouvert d'un verticille de rameaux bicellulaires de forme allongée, et de couleur noirâtre.

La fécondation est oogame, le zygote est souvent appelé oospore, il est résistant, c'est un organe de survie aux mauvaises conditions environnantes. Leur cycle de vie et

monogénétique haplophasique. Les charales ne produisent pas de spores, la multiplication végétative s'effectue par fragmentation ou « **bulbilles** ».

Les charales sont dulçaquicoles, avec quelques espèces d'eaux saumâtres. Elles vivent dans des eaux faiblement acides à très alcalins (pH 5 à 10), à faible profondeur généralement moins de 3 m.

Les charales possèdent un certain nombre de caractères morphologiques et cytologiques qui les rapprochent des bryophytes et des trachéophytes, leurs spermatozoïdes ont beaucoup d'affinités avec ceux des mousses. L'analyse des séquences génétiques de Karol et al (2001) et celle de Delwiche et al(2002) indiquent que les charales seraient les algues vertes les plus proches des Embryophyta.



Figure 45 : Organisation générale d'une Characée : a) axe principal ; b) axe secondaire ; c) ramification ; d) nœud ; e) entrenœud

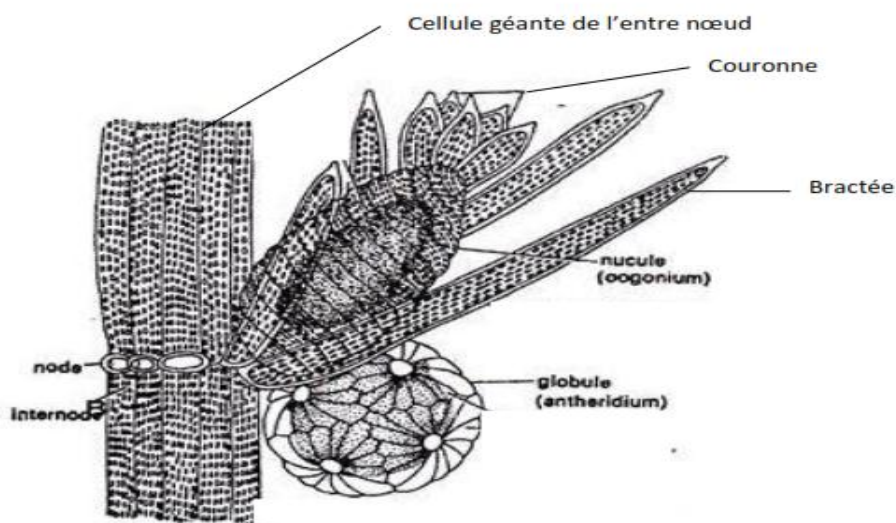


Figure 45 a : Organe reproducteurs de l'espèce Chara

Chapitre 2

Les Champignons
et

Les Lichens

Les champignons = Les Mycètes ou *Mycota* sensu stricto

Les champignons ou Mycètes ou *Mycota* (mycète du grec *Mukes* = champignon), constituent un règne, ce sont des organismes eucaryotes, thallophytes apparentés aux végétaux, ils ne possèdent ni fleurs, ni graines, ni tissus conducteurs de sève, mais s'en distinguent, en particulier, par le mode de nutrition non photosynthétique.

Le groupe des champignons compte 120 000 espèces décrites aux intérêts économique et médical très importants. Les premiers champignons seraient apparus au précambrien, il y a 600 millions d'années.

Ces organismes nécessitent beaucoup d'eau pour accomplir leur cycle biologique et ils ne vivent donc que sur des milieux terrestres très humides. Ne possédant ni chlorophylle, ni plaste, ils sont hétérotrophes pour le carbone.

Les champignons étaient autrefois classés comme faisant partie du règne végétal du fait de la présence d'une paroi cellulaire et plusieurs similitudes entre leurs cycles de reproduction et ceux des algues. En 1949, Jahn et Jahn, suivis par Whittaker en 1969, qui les premiers proposent de classer les champignons et de les placer dans un règne particulier « les *Fungi* » ou « *Mycota* » ceci principalement sur la base du mode de nutrition. En effet, les comparaisons des séquences génétiques des différentes espèces du monde vivant ont permis d'établir un arbre phylogénétique dans lequel les champignons prennent une place bien individualisée. Ils sont nettement séparés des divers groupes de plantes. On définissait alors les champignons comme étant des organismes eucaryotes, hétérotrophes (incapables d'utiliser l'énergie solaire, ils absorbent de nombreuses molécules carbonées fabriquées par d'autres êtres vivants) et absorbotrophes (se nourrissent par absorption et non pas par ingestion), thallophytes (appareil végétatif diversifié) et cryptogames (reproduction par des spores).

2.1. Problèmes posés par la classification des champignons

L'origine des champignons est ancienne, ils sont connus depuis l'ère primaire et leur filiation est discutée. Longtemps classé avec les végétaux. La biologie moléculaire confirme que leur individualisation s'est produite très tôt au cours de l'évolution. Les formes les plus primitives passent par des stades aquatiques mobiles avec un flagelle (zoospores, gamètes) ce qui suggère une parenté avec des Protistes.

Il y a 2 hypothèses pour l'origine des Mycophytes :

❖ 1^{ère} hypothèse :

Ils dériveraient tous d'algues eucaryotes ayant perdu leur plastes et leur complexes pigmentaires. L'origine serait multiple (Algues rouges ou algues brunes) : les champignons seraient un groupe polyphylétique

❖ 2^{ème} hypothèse :

Ils dériveraient tous (des plus complexes au plus simples) d'un ancêtre commun : Un protiste indifférencié parmi les cellules eucaryotes.

On parle dans ce cas d'une origine monophylétique et les champignons constitueraient un règne distinct dans le domaine Eucaryota du règne végétal et du règne animal. Ils présentent des formes variées et un mélange de caractères

Caractères communs avec les végétaux

- Cycle de développement avec alternance de génération.
- Paroi cellulaire glucidique (cellulosique ou chitineuse) au moins à un stade du cycle de développement
- Absence de motilité sauf pour quelques formes de champignons
- Grande vacuole turgescentes riche en eau
- Multiplication par spores
- Présence de thalle (appareil végétatif filamenteux ramifié)

Caractères communs avec les animaux

- Absence de plastes et de pigments photosynthétiques
- Hétérotrophie vis-à-vis du carbone (saprophytes ou parasites)
- Réserve formée par des matière grasses et du glycogène
- Dépôt de chitine (paroi chitineuse).

2-2 Structure des thalles (mycellium, stroma, sclérote)

L'organisation cellulaire de base des champignons est le thalle qui constitue l'appareil végétatif (généralement en phase haploïde). Celui-ci se caractérise par une grande variété de structures : Il peut être

- **Thalle unicellulaire**

Constituant l'appareil végétatif. Il se transforme à maturité en un ou plusieurs organes reproducteurs (champignons holocarpiques ou bien il donne naissance

à une partie reproductrice (champignons eucarpiques). Les cellules peuvent être associées en colonies Ex : Les levures (Figure 46)

Ou bien **Thalle pluricellulaire** : on distingue différents types de thalles

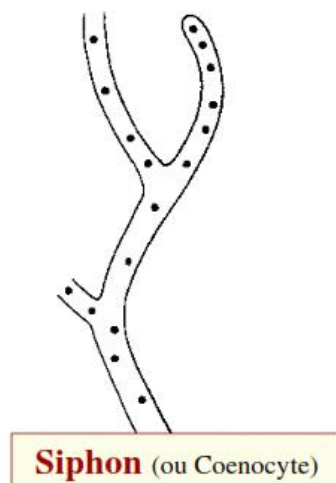
***Thalle plamodial** : vient du mot plasmode : masse cytoplasmique molle, déformable sans paroi squelettique et multinucléée qui se déplace et se nourrit comme une amibe Ex Myxomycètes (Figure 46)

***Thalle filamenteux ramifié** : C'est un thalle constitué de filaments ramifiés latéralement ou par dichotomie appelés **hyphes**. L'ensemble des hyphes constitue un **Mycelium**.

- Les hyphes peuvent être cloisonnés ils sont appelés **septés ou septomycètes** (Figure) avec des cloisons cellulaires ou septa qui possèdent un pore simple. Ces pores interviennent directement dans la croissance de la partie terminale de l'hyphe.

- Les hyphes peuvent être non cloisonnés; ils sont dits **siphonnés ou siphonomycètes** (Figure 44) . Leur cytoplasme continu possède plusieurs noyaux.

Filaments non cloisonnés



Filaments cloisonnés

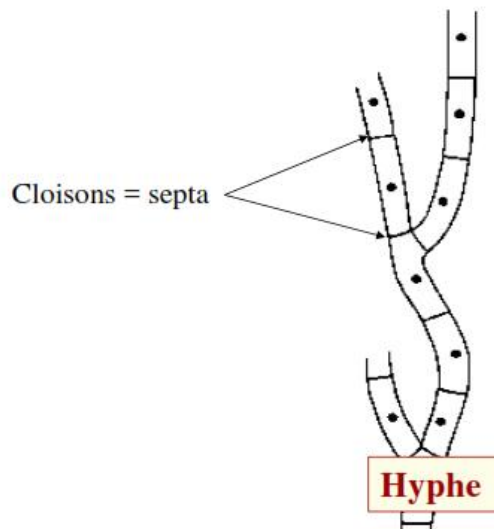


Figure 46 : différents types de thalle des champignons

Il existe deux catégories d'hyphes : les hyphes végétatifs et les hyphes reproducteurs.

***Les hyphes végétatifs** sont plus ou moins enfouis dans la matière organique qu'ils décomposent à l'aide d'enzymes digestives.

***Les hyphes reproducteurs** sont habituellement aériens. Ils s'élèvent au dessus de la surface où se trouve le mycélium. Ils produisent des spores qui assurent la reproduction du champignon

Le mycelium végétatif peut s'organiser pour donner un enchevêtrement de filaments plus ou moins soudés entre eux. Ces filaments fins et ramifiés forment des amas en réseau qui traverse le substrat (mycelium) constituant ainsi un pseudoparenchyme ou appelés aussi plectenchymes

Ces plectenchymes peuvent prendre différents aspects

- Aspect massif plus ou moins compact sous forme de coussins ou **stroma**,
- Gros nodons ramifiés noirâtres appelés aussi **rhizomorphes**
- Aspect tubercule ou **Sclérotés** (formes de résistance) (Figure 47)

Chez certaines espèces de champignons, au moment de la reproduction sexuée, le mycélium s'organise en **Carpophore** (pied et chapeau)

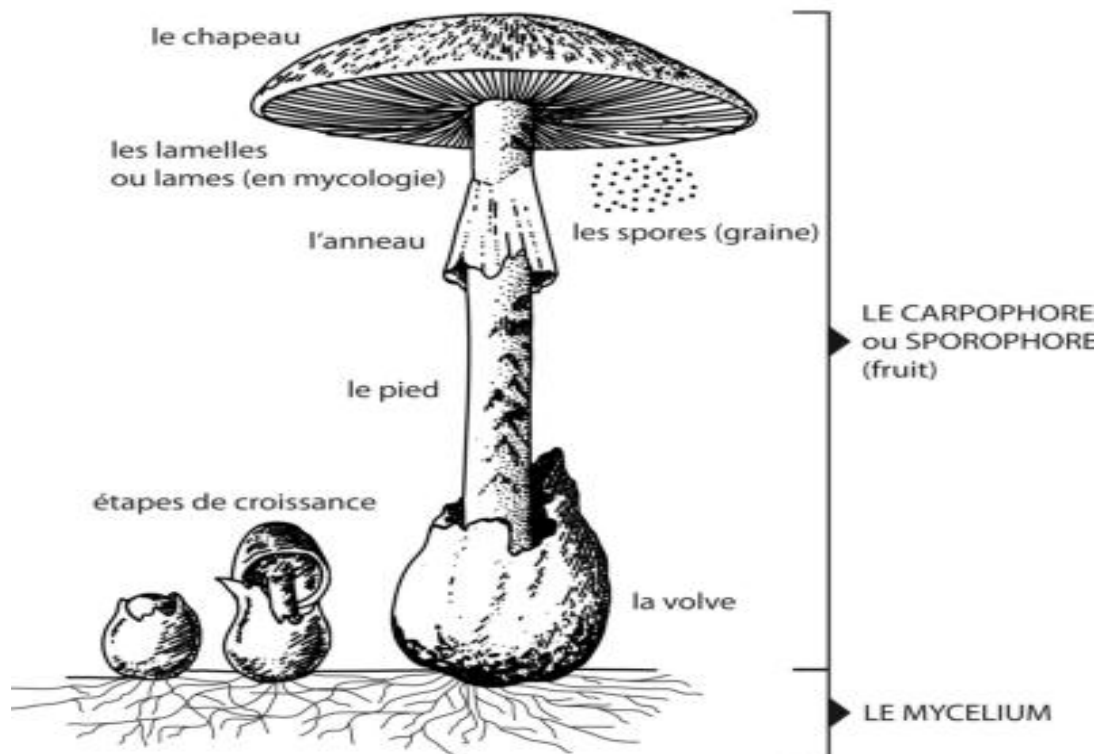


Figure 47 : schéma d'un carpophore

A/Caractères cytologiques :

- ✓ **Paroi** : structure complexe, différente en fonction de la classe. composée de glucides, de polysides simples (mananes, glucanes, celluloses), polysides aminés (chitine, chitosane), stérols principalement l'ergostérol et des polyols. Les champignons noirs possèdent de la mélanine à des concentrations parfois importantes à la paroi.
- ✓ **Noyau** : petit identique à celui à celui des plantes avec 3 types d'organisations
 - Hyphe monocaryotique haploïde (n).
 - Hyphe monocaryotique diploïde (2n).
 - Hyphe dicaryotique (n+n').
- ✓ **Vacuole** : elle est centrale, repoussant le cytoplasme en périphérie réserves : de nature diverse mais le plus souvent : glycogène ou inclusions lipidiques dans le cytoplasme.
- ✓ **Réserves**

Les réserves chez les champignons sont sous forme de glycogène ou de gouttelettes lipidiques dans le cytoplasme

B/ Reproduction

La reproduction des champignons est complexe reflétant ainsi l'hétérogénéité de leur mode de vie. Le cycle biologique des champignons peut se faire

- Soit avec des fructifications uniquement sexuées
- Soit avec des fructifications uniquement asexuées
- Soit avec des fructifications sexuées et asexuées
- Soit en absence de fructifications et dans ce cas la reproduction se réalise par les sclérotes ou par des fragments de mycélium.

a/ -Reproduction asexuée

La reproduction asexuée se fait sans fusion de gamètes. C'est un mode de reproduction commun à presque tous les champignons. La Figure 48 représente le cycle général de la reproduction asexuée chez les champignons:

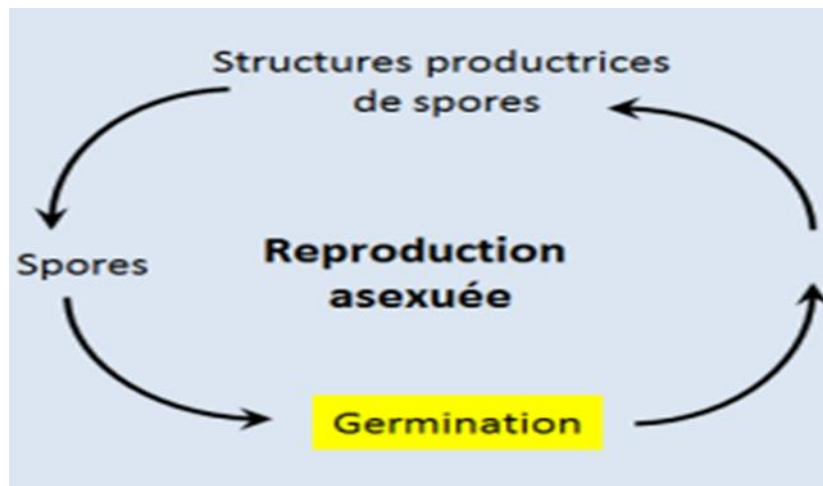


Figure 48 : Cycle de reproduction asexuée chez les champignons

La reproduction asexuée chez les champignons se fait selon trois modes différents (figure 49 et 50).

* **Bourgeoisement** : sont les formes de reproduction asexuée les plus simples. Le bourgeoisement est une division inégale du cytoplasme, résultant en une cellule parent et une cellule fille, celle-ci étant plus petite que la cellule parent. Ex : les levures

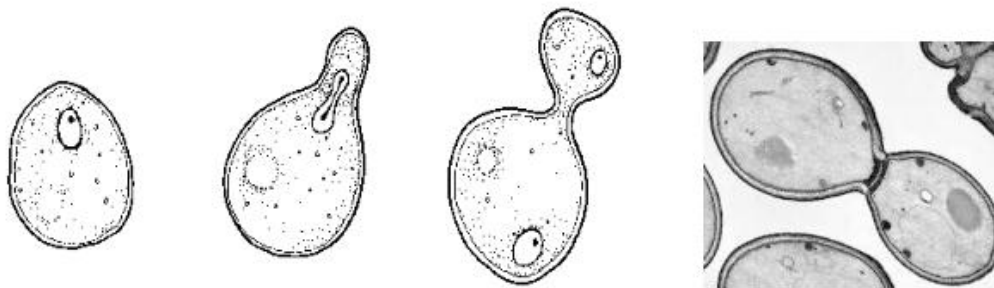


Figure 49 : Bourgeoisement des levures

Les levures (unicellulaires) font une copie du noyau et un petit bourgeois commence à se former sur la paroi cellulaire. Le bourgeois qui contient le noyau continue à grandir et forme une nouvelle cellule.

***Fission binaire** : aboutit à deux cellules identiques.

Ces deux formes de reproduction suivent la mitose.

* **Fragmentation** : est une forme de reproduction asexuée où un nouvel organisme se développe à partir d'un fragment parent.

Plus précisément, des morceaux de l'hyphse se détachent et forment de nouveaux mycéliums.

***Sporulation** : est la plus importante forme de reproduction asexuée chez les champignons. Une particularité remarquable des champignons est leur aptitude à former des types de spores extrêmement variés : **spores asexués** et **sexués** formées au cours de la phase asexuée du cycle de vie des champignons (phase anamorphe). Suite à une mitose, ces spores se transforment en cellules reproductives appelées respectivement mitospores ou meiospores. Elles peuvent être haploïdes ou diploïdes qui, après dispersion, se développent en de nouveaux organismes.

Les spores asexuées ou mitospores se divisent en deux types :

***Spores endogènes** formées à l'intérieur du sporocyste soit en spores mobiles; **Zoospores** avec 1 ou 2 flagelles ou bien en spores immobiles; **Aplanospores**

***Spores exogènes** (Figure 50)

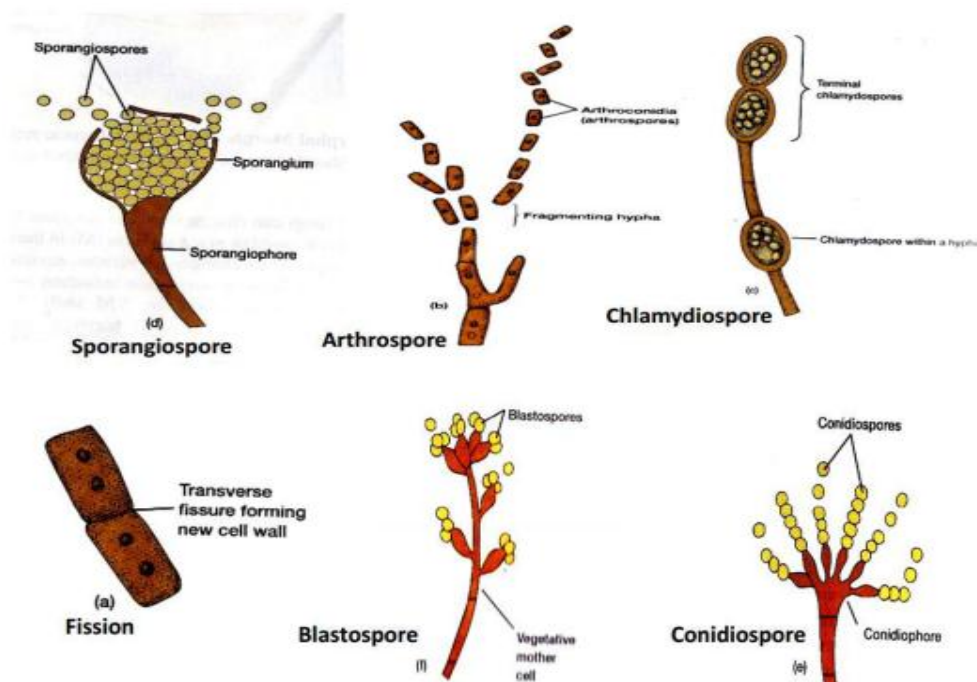


Figure 50 : les différents types de spores asexuées chez les champignons

b/ Reproduction sexuée :

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

Les spores sexuées

Elles résultent de la fusion d'un élément mâle et d'un élément femelle qui donne naissance à un zygote. Par divisions successives, il produit une série de spores :

***Spores unicellulaires et diploïdes**, sorte de formes de résistance auxquelles ont recours les champignons pour passer la mauvaise saison appelées **oospores** ou **zygospores**

***Spores endogènes haploïdes**

Si le développement ultérieur se fait à l'intérieur de l'œuf: celui-ci prend le nom d'asque et les endospores sont appelées ascospores (Figure 51).

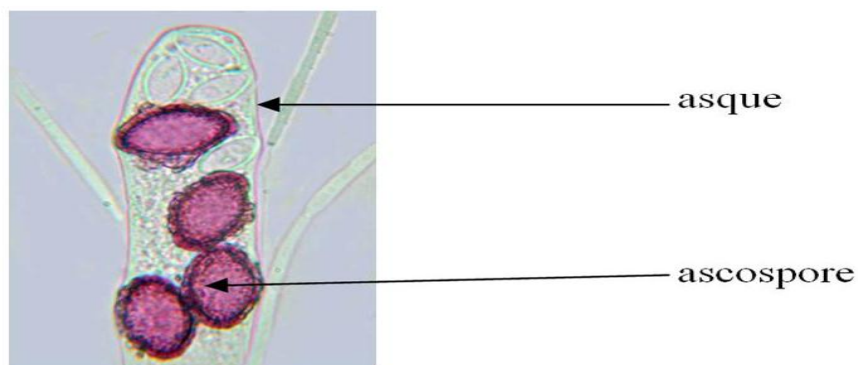


Figure 51 : Schéma d'un Asque

***Spores exogènes haploïdes**

Si les spores sortent de l'œuf mais y restent attachées par des petits "tubes" (= stérigmates): l'œuf porte le nom de baside et les spores sont appelées basidiospores (Figure 52)

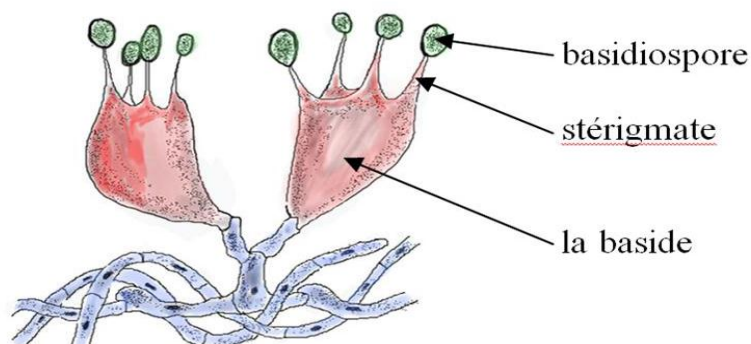


Figure 52: Spores exogènes (basidiospores)

Caractéristique des spores asexuées et spores sexuées

| Spores d'origine asexuée | Spores d'origine sexuée |
|----------------------------------|----------------------------|
| *Dispersion | *Survie ou conservation |
| *Formes de spores très variables | * Nombre limité de formes |
| *Produites en très grands nombre | *Produites en petit nombre |
| *Petite taille | *Grande de taille |
| *Sans substance de réserve | *Avec substance de réserve |
| *Sans dormance | *Avec dormance |

Le cycle sexué des champignons comporte 3 phases :

La première étape est la **plasmogamie** qui réunit dans un même thalle deux noyaux compatibles (à noter que deux thalles fusionnent, non pas parce qu'ils sont de sexe différent, mais parce qu'ils sont dotés d'une compatibilité génétique : on désigne les thalles complémentaires par + et - ou A et a) ; avant de fusionner, les noyaux vont cohabiter durant une phase (dicaryophase) plus ou moins longue (le couple de noyaux compatibles prend le nom de dicaryon) ; la deuxième étape, appelée **caryogamie**, correspond à la conjugaison de noyaux haploïdes pour donner un noyau diploïde ; la troisième étape est une division réductrice ou **méïose**, qui conduit à des noyaux à nouveau haploïdes.(figure 53)

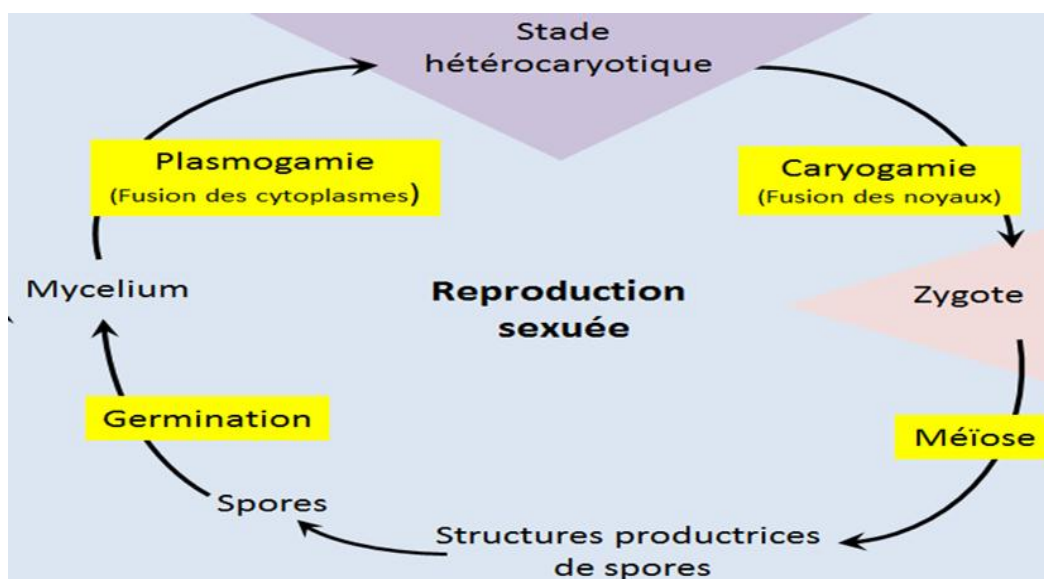


Figure 53 : les différentes étapes du cycle de vie d'un champignon

On distingue plusieurs **Plasmogamie** :

***Conjugaison planogamétique (planogamie)** : c'est la fusion de 2 gamètes dont l'un ou les deux sont mobiles

***Contact gamétocystique (trichogamie)** : c'est le contact du gamétocyste femelle avec le gamétocyste mâle sans fusion des protoplasmes. Les noyaux mâles migrent ensuite à travers un pore

* **Conjugaison gaétocystique (Cystogamie)** : c'est la fusion de 2 gamétocystes l'un mâle l'autre femelle pour donner un zygote qui peut se développer en spore de résistance

***Spermatisation** : c'est la fusion du contenu d'une spore non mobile et uninucléée (spermatie)

***Somatogamie (perritogamie)** : c'est la fusion de 2 cellules somatique équivalentes

Le cycle de développement des champignons est haplodiplophasique; les spores sont haploïdes (n chromosomes), ou le carospore correspond à la phase diploïde (2n)

Il existe trois types de cycle de développement chez les champignons (Figure 54a, b,c):

- **Cycle monogénétique haplophasique Ex le genre Mucor**

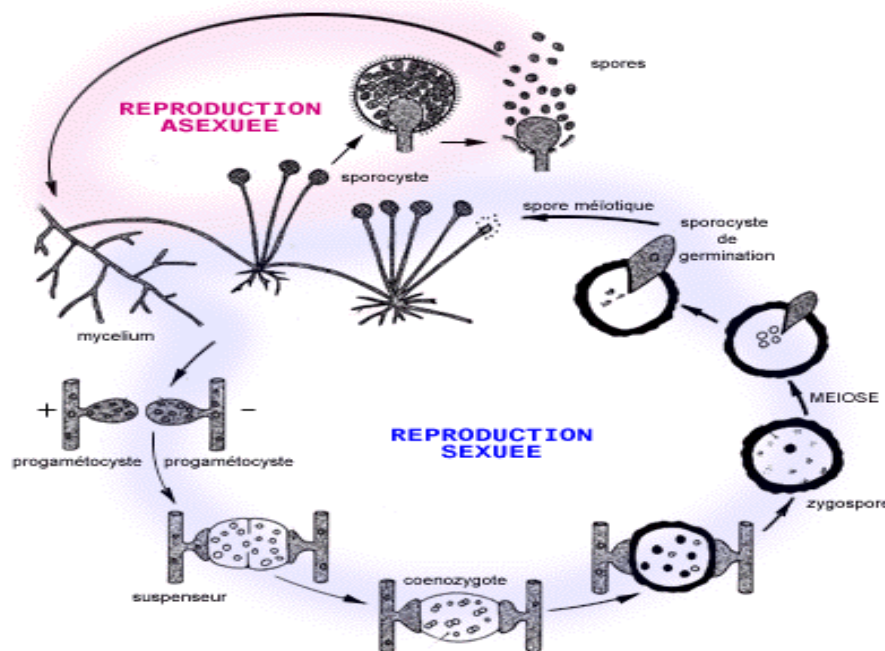


Figure 54a Multiplication végétative (en haut du schéma) et Cycle monogénétique haplophasique du Mucor (en bas du schéma)

La reproduction sexuée se fait par cystogamie : les progamétocystes grandissent et se divisent chacun en deux segments, le suspenseur et la gamétocyste plurinucléé. Les gamétocystes fusionnent pour former un coenozygote contenant plusieurs noyaux diploïdes. La paroi du coenozygote s'épaissit, pour former une structure résistante aux conditions défavorables du milieu extérieur. Lorsque les conditions redeviennent favorables, un sporocyste se développe. Les noyaux subissent la méiose pour former des spores méiotiques qui après dissémination se développeront pour former de nouveaux mycéliums (dissémination des spores par formation d'un "sporocyste de germination"(Figure 54a).

- **Cycle digénétique**

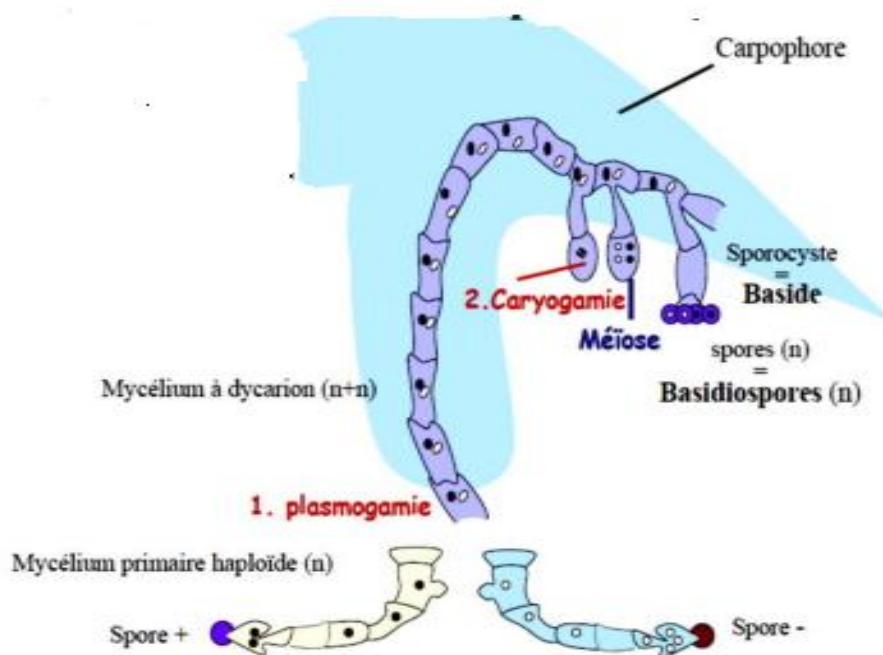


Figure 54 b : Cycle digénétique chez le genre Coprinus (basidiomycète)

Chez les basidiomycètes, comme les coprins par exemple, la génération gamétophytique est représentée par des filaments mycéliens haploïdes. Ces filaments (= le mycélium primaire) réalisent la reproduction sexuée en s'unissant deux à deux, c'est une somatogamie ou périttogamie

Dans un premier temps, seuls les cytoplasmes des cellules fusionnent, on dit qu'il y a plasmogamie. Ceci donne naissance à un mycélium dicaryotique (=mycélium secondaire), c'est à dire constitué de cellules à deux noyaux haploïdes. Cette phase

dicaryotique spécifique des champignons constitue la génération sporophytique. Le mycélium dicaryotique s'organise en pseudotissus et forme le carpophore.

Au niveau des sporocystes a lieu la fusion de deux noyaux haploïdes, ou caryogamie, bientôt suivie d'une méiose qui générera quatre spores méiotiques exogènes. Les sporocystes sont des basides et les spores méiotiques des basidiospores. Ces spores seront à l'origine du mycélium gamétophytique haploïde et le cycle est bouclé (Figure 54 b).

- **Cycle trigénétiq**

Le cycle trigénétiq à deux sporophytes

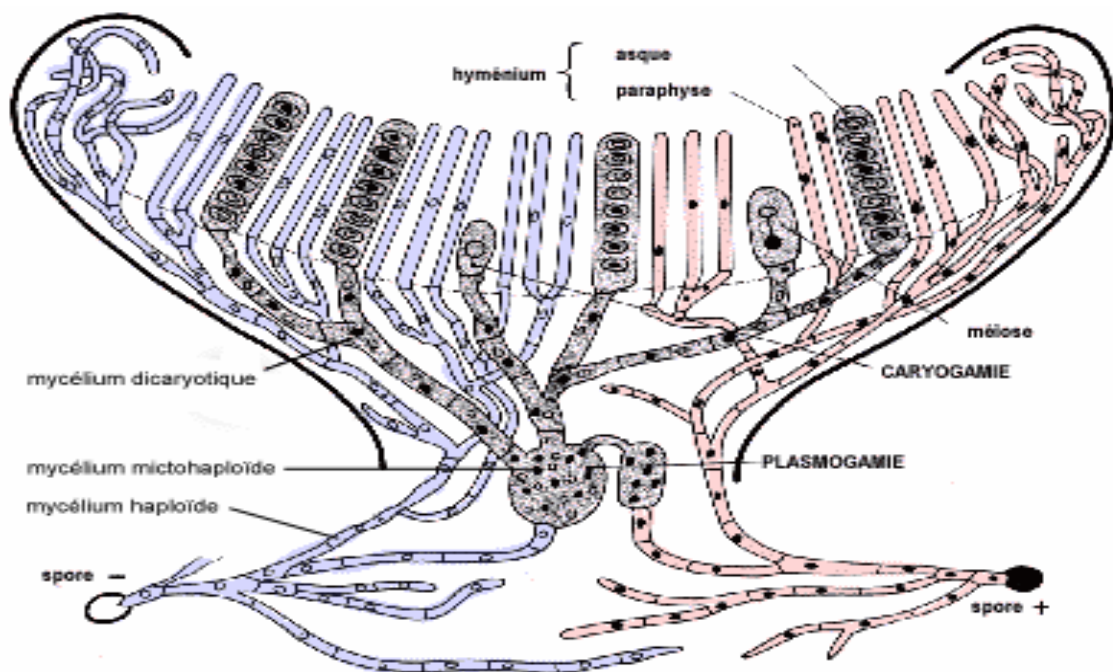


Figure 54 c : Cycle trigénétiq des champignons. Ex : Pezize (ascomycètes)

Chez les ascomycètes, comme la pézize par exemple, la génération gamétophytique est représentée par un mycélium primaire haploïde. La plasmogamie donne naissance à une structure très particulière, un mycélium myctohaploïde qui représente la première génération sporophytique. De cette première génération sporophytique est issue la seconde génération sporophytique constituée d'un mycélium dicaryotique.

Au niveau des sporocystes ou asques, a lieu la fusion des noyaux ou caryogamie suivie d'une méiose et d'une mitose complémentaire pour engendrer huit spores méiotiques endogènes, les ascospores. Chaque ascospore sera à l'origine d'un mycélium primaire haploïde (Figure 54 c).

Notion de compatibilité

Sur la base de la compatibilité sexuelle on distingue :

***Les champignons homothalliques**; chaque thalle du champignon est autofertile pouvant se reproduire sexuellement par lui-même sans le recours à un autre thalle.

* **Les champignons hétérothalliques**; chaque thalle du champignon est autostérile et exige le recours à un autre thalle compatible pour se reproduire sexuellement

❖ Mode de vie hétérotrophe des champignons :

L'hétérotrophie a imposé aux champignons plusieurs modes de vie :

Saprophytes : Se nourrissent de matières organiques mortes dont ils provoquent avec l'aide des bactéries la décomposition des débris végétaux, les cadavres d'animaux et les excréments). Ce sont des détritivores qui dégradent toutes sortes de substrats et jouent un rôle essentiel dans la nature, notamment dans l'élaboration de l'humus et des sols. Ex: Mucor du pain et Penicillium → veinures d'un fromage de type bleu et croûte blanchâtre du camembert.

Parasites : S'accroissent aux dépens d'autres cellules vivantes. Ils sont pathogènes et peuvent causer des dégâts considérables notamment aux plantes cultivées.

Ex : Quelques champignons parasites de spermatophytes : Mildiou de la vigne (*Plasmopora viticola* : Phycomycètes) et Hernie de chou au niveau du collet (excroissance) Mixomycètes.

Même l'homme est sujet à diverses affections mycosiques : teignes, muguet, mycétomes....dont certaines peuvent être mortelles.

Symbiotiques (Lichens): D'autres champignons préfèrent la symbiose ou le mutualisme, association avec un végétal autotrophe, chacun des deux organismes tirant profit de cette association (bénéfice réciproque). La symbiose permet parfois de créer des êtres nouveaux, comme les lichens et les mycorhizes

*Symbiose avec les algues formant les Lichens : ils sont les premiers à avoir colonisés le milieu terrestre. C'est une association permanente et stable établie entre un champignon (Septomycètes) et une algue (cyanobactérie ou algue verte unicellulaire « chlorelle »). L'algue assure la nutrition et le champignon va fournir l'eau et les sels minéraux Ce sont des bio-indicateurs de la pollution atmosphérique.

.* Symbiose avec les racines de plantes supérieures en formant les Mycorhizes

-Ecotomycorhizes :

Le champignon forme un feutrage entourant la racine, peut pénétrer entre les cellules mais jamais à l'intérieur : Fréquente chez les basidiomycètes

- Endomycorhizes

Le mycélium pénètre dans les cellules en formant des vésicules sans dépasser le péricycle, elles sont arrêtées par la lignification du cadre de Caspari : Fréquente chez les Ascomycètes

Chez les mycorhizes le champignon fournit les minéraux qu'il tire du sol alors que la plante apporte les éléments organiques qu'elle synthétise. Plus de 95% de tous les végétaux vasculaires possèdent des mycorhizes ex : l'orchidée

*Symbiose avec les insectes (coleoptères ,xylophages, fomis, Termites....

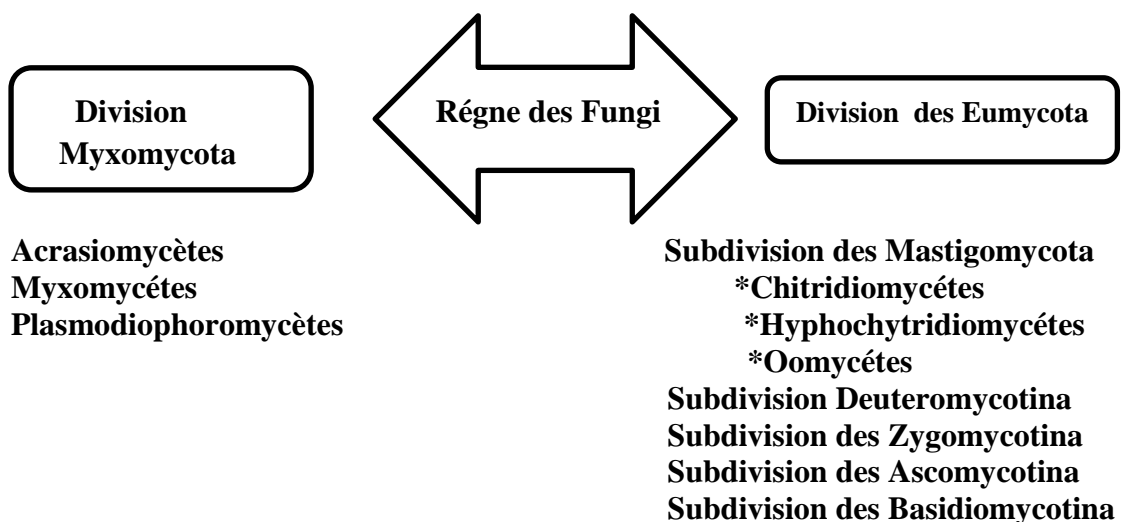
C/ Systématique :

La classification des mycètes était et reste toujours difficile à établir vues l'importance diversité et l'hétérogénéité observées au sein de règne.

Les classifications proposées sont multiples...Elles sont en constante évolution...

La classification de Hawksworth, Sutton et Ainsworth (1970) modifiée par Kwon Chung et Bennett (1992), puis par de Hoog (1995), est la plus utilisée actuellement

a/ -Classification classique



La classification classique était basée sur la constitution de l'appareil végétatif et la mobilité des spores :

Champignons à spores mobile ou zoides

- *Thalle plamodial, zoides flagellées **Myxomycètes**
- *Thalle siphoné, zoides flagellés **Phycomycètes**
- *Thalle tubuleux, plurinucléé, zoides, amiboïdes..... **Thricomycètes**

Champignons à spores immobiles

- *Thalle siphoné, la fécondation produit des zygospores **Zygomycètes**
- * Thalle cloisonné..... **Eumycètes ou Septomycètes**
 - *Après fécondation, formation d'un Asque..... **Ascomycètes**
 - * Après fécondation, formation d'une baside **Basidiomycètes**

b/-Systématique Phyllogénétique

La systématique actuelle se base sur les données phyllogénétiques (biologie moléculaire, séquençage d'ADN et d'ARN)

Seuls les Eumycota constituent le règne des champignons on y distingue actuellement Cinq divisions ou embranchement (Figure 55).

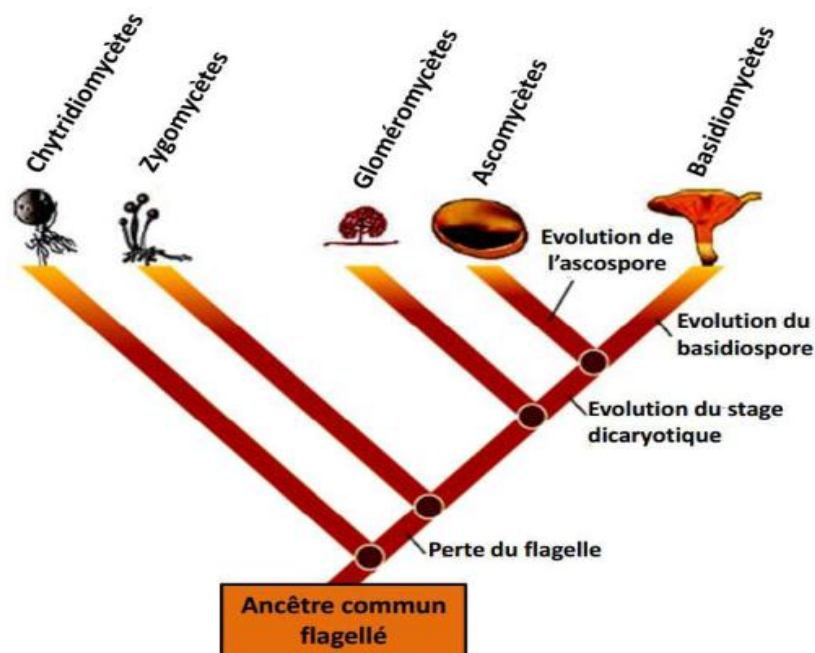


Figure 55 : Différents groupes des Mycophytes

2-3-1/Myxomycota :

Les myxomycètes sont une classe de protistes appartenant à l'embranchement des amibozoaires, ce sont des organismes à plasmode. Le radical « myxo » fait référence à la formation du plasmode, un des stades de développement, caractérisé par une masse gélatineuse. Cette masse correspond à une seule cellule non segmentée, dans laquelle baignent de nombreux noyaux. Les myxomycètes ont été longtemps considérés comme des végétaux, puis des champignons, et inclus dans les anciens Mycetozoa. Pour cela leur appartenance aux champignons est aujourd'hui réfutée. Les travaux sur la composition chimique de la paroi ainsi que les recherches en biologie moléculaire confirment qu'ils sont distincts. Ils ne possèdent pas de mycélium.

Ils possèdent un plasmode et assurent leur nutrition par phagocytose, qui est un mode de nutrition par ingestion, ce qui les exclut également des *Fungi* qui ont pour mode de nutrition exclusif l'absorption.

Ils ne possèdent pas les caractères propres au règne fongique et ne sont donc plus des champignons au sens strict ; ils ne peuvent pas non plus s'intégrer dans l'un des quatre autres règnes, à l'exception des Mycetozoa. Leur reproduction sexuée se fait par formation des spores inertes entourées par une paroi glucidique dans sporocyste nu et entouré d'une tunique appelé le peridium. Ils sont pour la plus part des saprophytes sur les feuilles en décomposition ou bois pourri. Sous des conditions d'humidité forte, ils peuvent se développer sur les plantes vivantes sans les parasiter :

Ils sont répartis en plusieurs classes

1/ *Protostéliomycètes*

2/ *Ceratiomycètes*

3/ *Dictyostéliomycètes*

4/ *Acrasiomycètes*

5/ *Myxomycètes*

6/ *Plasmodiomycètes*

7/ *Labyrinthulomycètes*

Le phylum des Myxomycètes est composé de 600 espèces environ, répartie en une cinquantaine de genres eux-mêmes répartis par Van Tieghem en quatre familles-:

Endomyxées, Céatiées, Acrasiées et Plasmodiophorées. Les critères de cette classification sont résumés dans le tableau 4 :

Tableau 4 : Les critères de classification des Myxomycètes

| | | | |
|-------------------------------|---|-----------------|--|
| Thalle pluricellulaire | Plasmode fusionné | Spores internes | Endomyxées : 35 genres environ à spores blanches (<i>Bursulla</i>) ou vioiolettes (<i>Fuligo</i>) |
| | | Spores externes | Cératiées : <i>Ceratium</i> |
| | Plasmode agrégé | | Acrasiées : <i>Acrasis</i> , <i>Dictyostelium</i> , <i>Guttulina</i> |
| Thalle unicellulaire | Plasmodiophorées : <i>Plasmodiophora</i> | | |

2-3-2/ Phycomycota

On envisage sous le terme de phycomycètes un ensemble de champignons qui se distinguent des autres Eumycètes par leur caractère coenocytique de leur thalle. Le mycélium est réduit à une seule cellule uninuclée ou plurinuclée ou bien est constitué par un système continu de tubes ramifiés dépourvus de cloisons transversales (siphons) où les phycomycètes ont été longtemps appelés siphomycètes. La multiplication végétative s'effectue par le moyen de spores d'origine endogène, formées à l'intérieur de sporocystes ou sporanges ou par des sporanges modifiés en pseudoconidies. La reproduction sexuelle est assurée le plus souvent par des zygotes enkystés, oospores ou zygosporés

2-3-3/Zygomycota

Les Zygomycètes stricto sensu (Zygomycetes) constituaient, avec les Trichomycètes (Trichomycetes), les deux classes des Zygomycètes lato sensu (Zygomycota), l'une des cinq divisions des Mycètes autrefois reconnues. Ils doivent leur nom à leur mode de reproduction sexuée, qui se fait par cystogamie avec formation de zygosporés (du grec ancien zugos = couple). Ce sont des moisissures très discrètes, de taille le plus souvent microscopique, ce sont des champignons à spores dépourvues de flagelles, dans lesquels les cellules ne sont pas séparées par des cloisons, leurs hyphes étant cœnocytiques ou siphonnés, avec de nombreux noyaux dans un même siphon. Leur paroi est chitineuse, les spores ont asexuées uni ou plurinuclées, formés dans des sporocystes.

Ces champignons sont également caractérisés par une abondante reproduction asexuée et une croissance rapide qui leur permettent de coloniser rapidement leur

milieu. Leur reproduction sexuée se fait par une conjugaison gamétocystique (cystogamie), formation des zygospores avec un cycle monogénétique haplophasique.

C'est un groupe qui comporte 1000 espèces, rassemblent des champignons saprophytes, ainsi que des champignons parasites d'insectes, de Nématodes et d'Amibes et de racines de végétaux pour former des mycorhizes.

Le nom de cet embranchement vient des zygosporanges, leurs structures résistantes qui se forment lors de la reproduction sexuée.

L'Enbranchement des Zygomycota se divise en deux classes importantes

❖ *Classe des Trichomycètes*

Ce sont des organismes filamenteux simples ou ramifiés, coenocytique ou discrètement septés dans leur phase végétative à paroi cellulosique ; ils se fixent par un pavillon adhésif à la paroi de l'intestin postérieur ou à la cuticule externe d'arthropodes (adultes et larves des myriapodes, crustacés et insectes) avec ils vivent en commensalisme, on les rencontre dans le sol que dans la mer, les eaux plus ou moins saumâtres et les eaux douces. Leurs modes de reproduction sont variés.

Cette classe regroupe trois Ordres

Ordre 1 *Amoebidiales* : entomogènes, parasites d'insectes

Genre : *Amoebidium, Paramoebidium*

Ordre 2 *Eccrinales*

Genre : *Eccrina, Arundinula*....

Ordre 3 : *Harpellales* (parasites)

Genre : *Harpella, Spartiella*

❖ *Classe des Zygomycètes*

Cette classe regroupe deux ordres selon le nombre de spores produites au sein des sporocystes et sont libérées après rupture de la paroi de celui-ci.

Ordre 1 : des *Mucorales* : un grand nombre de spores

Les Mucorales comprennent un grand nombre de moisissures saprophytes, mais aussi quelques espèces parasites des champignons, des animaux et des hommes (mucormycoses). Cet ordre comprend deux familles

Famille 1 : *Mucoraceae*

Genre : *Mucor, Mortierella, Rhizopus*.....

Famille 2 : *Endogonaceae*

Genre : *Glaziella*

Ordre 2 : *Entomophtorales* une spore unique

Famille 1 : *Basidiobolaceae*

Genre *Basidiobolus*.

Famille 2 : *Entomophthoraceae* :

Genre *Entomophthora, Massospora, etc*

2-3-4 / *Basidiomycota*

C'est un groupe qui constitue un embranchement des mycètes très divers avec environ 32 000 espèces, désignées dans la langue courante par le non de « champignon à chapeau ».

Ils sont caractérisés par une reproduction sexuée qui se résume en un schéma général dans la Figure 56.

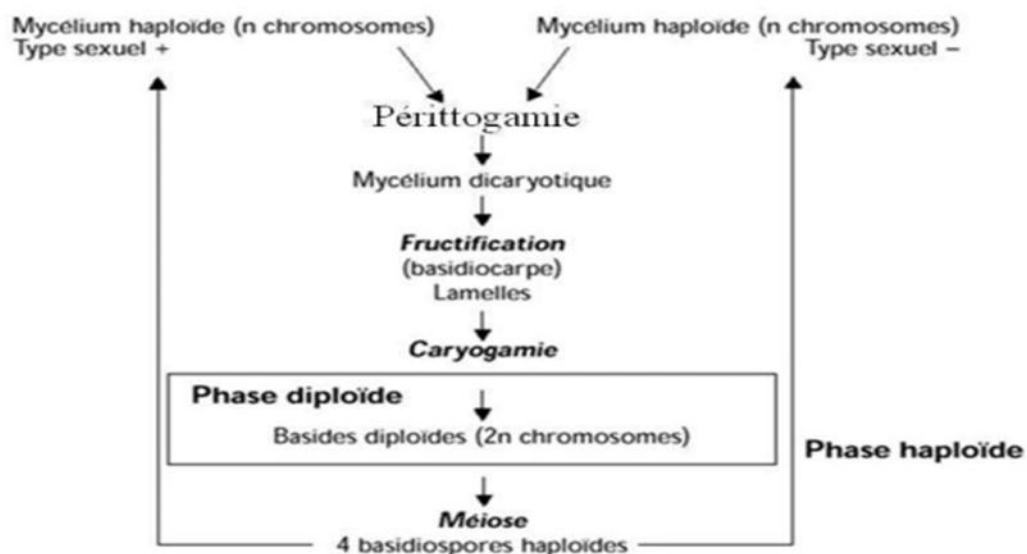


Figure 56 : Schéma de la reproduction d'un basidiomycète

S'effectuant au moyen d'exospores (**basidiospores**) disposées à l'extérieur et généralement au sommet d'un hyphe modifié : **la baside** (Figure 57)

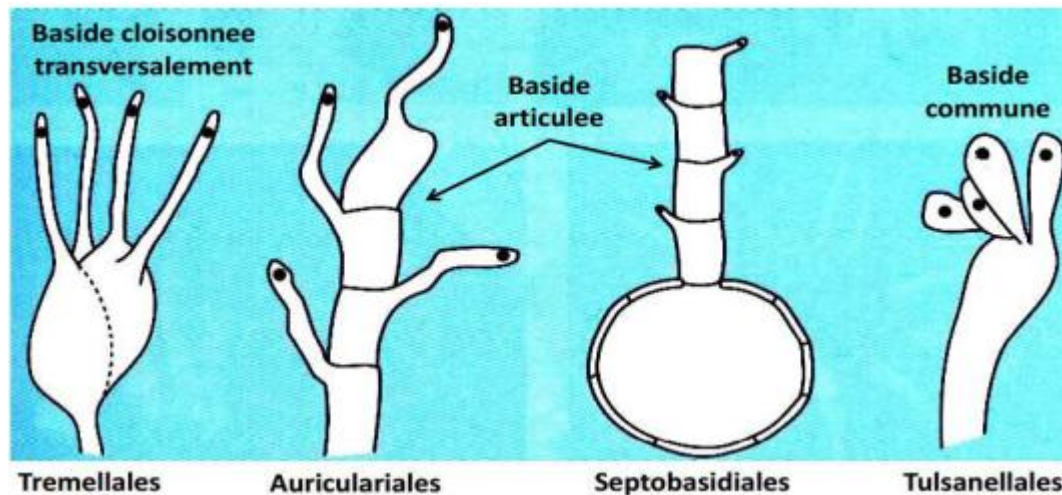


Figure 57 : différents types de baside

Ce sont des champignons sans zoïdes avec un thalle septé (cloisonné).

La reproduction asexuée se fait au moyen de conidiospores (spores asexuées) produites par le mycélium gamétophytique. La plupart sont hétérothalliques.

La reproduction sexuée ne se réalise plus avec des organes sexuellement différenciés ; il y a une simple fusion entre deux cellules morphologiquement indifférenciées appartenant à deux filaments voisins. La gamie est une périttogamie ou somatogamie. Cette fusion, à l'origine du mycélium secondaire, ne concerne que les cytoplasmes des cellules (plasmogamie), plus tard la fusion des deux noyaux parentaux à lieu dans les basides (caryogamie), qui correspond au passage de l'état dicaryotique ($n+n'$) à l'état diploïde ($2n$ chr). La méiose transforme le noyau diploïde en quatre noyaux haploïdes. Ces derniers sortent de la baside grâce à des filaments où ils poursuivent leurs maturités et intègrent chacun une basidiospore. Le nombre de noyaux dans les basidiospores est variable. Les basidiospores (Figure 58) sont ensuite émises dans le milieu extérieur grâce à une augmentation de la turgescence de la baside mûre. Ces basidiospores peuvent ensuite être disséminées par le vent, la pluie ou le déplacement des animaux.

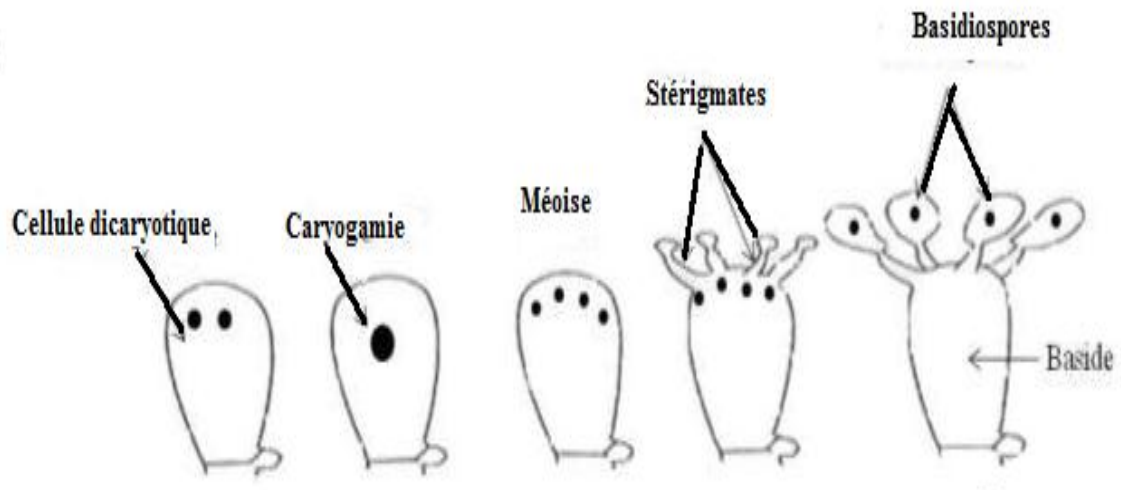


Figure 58 : Formation des Basidiospores

La baside peut être cloisonnée (**hétérobaside**) ou bien rester entière (**homobaside**). Les basides cloisonnées sont de deux types selon le sens de cloisonnement. Chaque baside produit 4 basidiospores qui bourgeonnent à l'extrémité. La basidiospore est généralement unicellulaire, entourée d'une paroi sporale complexe ornementée ou lisse et formée d'une épispore et d'une endospore. Cette ornementation est devenue un critère de classification. L'hyménium d'un basidiomycète est formé par plusieurs basides terminées par des basidiospores et entre les basides sont disposées des cystides stériles (Figure 58 a et b).

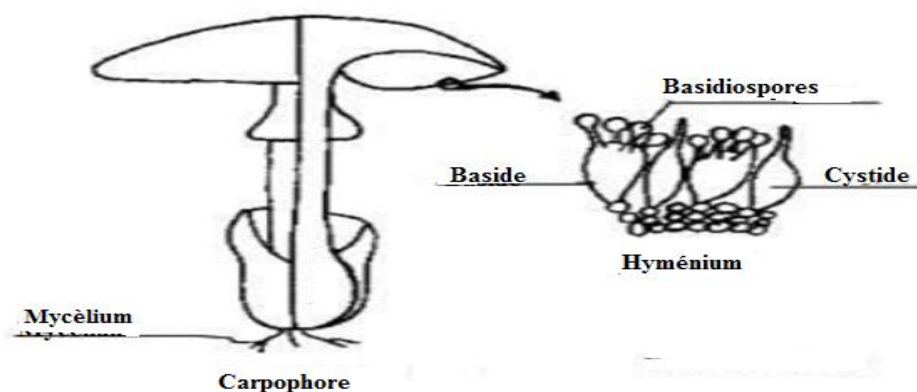


Figure 58a : Le Thalle des basidiomycètes



Figure 58 b : différents types de carpophore

Ce sont des parasites (rouilles et charbons), des saprophytes et des symbiotes (ectomycorhizes). Ils jouent un rôle extrêmement important dans les écosystèmes terrestres notamment les forêts.

❖ **Systématique des basidiomycètes**

L'embranchement des Basidiomycota en grandes classes qui diffère par la morphologie de la baside, l'absence ou la présence de sporophore :

Classe 1 : *Hétérobasidiomycètes* ou *Phragmobasidiomycètes* à basides cloisonnées longitudinalement ou transversalement. Cette classe comporte des champignons non parasites comportant un sporophore. Cette classe comporte deux ordres :

Ordre 1 : *Auriculariales*

Ordre 2 : *Tremellales* : l'hyménium tapisse directement la surface du carpophore

Deux groupes saprophytes à carpophore gélatineux se développant sur bois mort.

Classe 2 : *Homobasidiomycètes* : constitue la classe la plus importante des champignons basidiomycètes. Ils se caractérisent à basides non cloisonnés de forme clavée ou cylindrique, ne produisant pas de spores secondaires. Tous sont saprophytes mycorrhiziens. Très peu sont parasites. Cette classe comporte la plupart des champignons charnus. Leur cycle de développement est simplifié, il ne diffère pas d'un groupe à un autre sauf que certains sont homothalliques d'autres hétérométhalliques. Cette classe est divisée en trois sous classes :

Sous classe 1 : *Agaricomycetidae* Ils sont subdivisés en plusieurs ordres, les plus importants sont :

Ordre 1 : *Agricales* comprend 3 familles

Famille 1 : *Agaricaceae*

Genre : *Agaricus*

Famille 2 : *Lepiotaceae*

Genre : *Melanophyllum, Lepiota, Leucocoprinus*.....

Famille 3 : *Coprinaceae*

Genre : *Coprinus*

Ordre 2 : *Amanitales*

Genres : *Amanita, Limacella et Torrendia*

Ordre 3 : *Boletales*

Famille 1 : *Paxillaceae*

Genres : *Phylloporus, Paxillus, Hygrophoropsis*.....

Famille 2 : *Gomphidiaceae*

Genre : *Gomphidius, Chroogomphus*

Famille 3 : *Boletaceae*

Genres : *Boletus, Xerocomus, Leccinum*

Famille 4 : *Strobilomycetaceae*

Genre : *Strobilomyces*

Ordre 4 : *Cortinariales*

Famille 1 : *Cortinariaceae*

Famille 2 : *Crepidotaceae*

Genres : *Crepidotus, Ramicola, Pleurotellus*.....

Famille 3 : *Pholiotaceae*

Genres : *Pholiota, Hemipholiota, Kuehneromyces*.....

Famille 4 : *Strophariaceae*

Genres : *Stropharia, Psilocybe, Panaeolus*

Famille 5 : *Bolbitiaceae*

Genre : *Bolbitius*

Sous classes 2 : *Aphylophoromycetideae*, sont une ancienne sous-classe de champignons à hyménophore non lamellé. Cette sous classe comporte trois principaux ordres sont :

Ordre 1 : *Polyporales* comprend 20 familles

Genres : *Polyporus, Corticium,*

Ordre 2 : *Aphylophorales* dont le nom signifie "qui ne possède pas de lames", (jadis polyporales), cet ordre renferme 15 familles dont deux d'entre elles sont très importantes :

Famille 1 : *Coriolaceae*

Genres : *Fomitopsis, Piptoporus, Tyromyces*

Famille 2 : *Polyporaceae*

Genres : *Abundisporus, Daedaleopsis, Trametes*

Ordre 3 : *Hymenochaetales*

Sous classe 3 : *Gasteromycetidae* les ordres les plus importants

Ordre 1 : *Hymenogastrales* (8 familles)

Ordre 2 : *Lycoperdales* (5 familles)

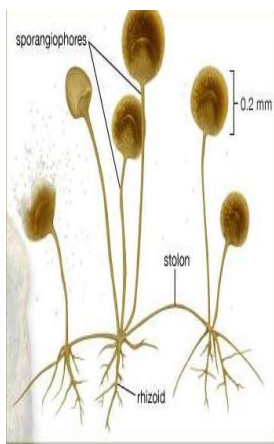
Ordre 3 : *Phallales* (8 familles)

Classe 3 : *Téliomycètes* à basides cloisonnés, tous parasites de végétal supérieur tel que les Rouilles des végétaux supérieurs ou les caries de charbons des graminées
Cette classe comprend deux ordres :

Ordre 1 : *Urédinales* actuellement appelés ***Puccinales* (Rouilles)**

Ordre 2 : *Ustilaginales* (Caries de Charbons)

À ces trois classes, il convient d'ajouter des groupes de transition comportant des champignons difficilement classables, comportant des caractéristiques appartenant à des classes différentes. (Figure 59).



Rhizopus



Coprinus



Corticium,



Polyporus



Bolbitis



Agaricus

Figure 59: Les champignons non classables

2-4/ Une association particulière algue-champignon : les lichens

A/- Structure :

Un lichen est le résultat de la symbiose entre un champignon et une algue procaryote (cyanobactérie dans 10% des cas) ou eucaryote (algue verte chlorophyceae) dans 80% des cas. Pour le champignon, c'est le plus souvent un ascomycète, plus rarement un basidiomycète. C'est le mycobionte.

La cyanobactérie est généralement une nostocale (genre Nostoc) alors que la chlorophyceae est une chlorococcales. C'est la phytobionte. Un même mycobionte peut s'associer à différentes espèces de phytobiontes. Dans la construction du thalle, l'algue est représentée par des cellules ou gonidies et le champignon est représenté par des hyphes. Le lichen est un organisme autotrophe.

B/ Nature de l'association :

Les observations au microscope électronique ont apporté des précisions sur les relations cytologiques. Il s'agit d'une pénétration de suçoirs fongiques dans les cellules de l'algue.

Sur le plan physiologique, les hyphes, grâce aux gonidies, disposent d'une source de glucides. Les gonidies sont ravitaillées en eau et sels minéraux par l'intermédiaire du mycélium. Il s'agit de la confrontation de l'autotrophie de l'algue et l'hétérotrophie du champignon :

- * L'algue cède les substances organiques qu'elle produit par photosynthèse.
- * Le champignon alimente l'algue en eau et sels minéraux provenant du milieu extérieur et du substrat (par capillarité ou diffusion). Il lui offre une protection contre la dessiccation et les fortes intensités de lumière.

C/ Ecologie :

Les lichens se développent dans les milieux les plus divers dans le monde entier, sous toutes les latitudes et aux altitudes les plus hautes. Ils colonisent les substrats naturels ou artificiels, vivant dans des conditions que ni les gonidies ni le mycélium ne supporteraient s'ils étaient seuls.

Les lichens ont une propriété de reviviscence très grande. En effet, ils ont le pouvoir de passer très rapidement de l'état sec à l'état humide en quelques minutes. C'est un phénomène physique que physiologique. L'absorption d'eau se fait par toute la surface du thalle. Les lichens sont bien adaptés à des variations hydriques de courtes durées et peuvent résister à de très fortes dessiccations (2% de teneur en eau).

Ils résistent aux températures extrêmes en particulier les basses températures (- 70°C +70°C). C'est pourquoi les régions du nord et les hautes montagnes sont riches en lichens. Ce sont des bioindicateurs de pollution car ils sont sensibles à celle-ci.

D/ Morphologie :

La structure des lichens est très variée (Figure 60). Les principaux types sont représentés par :

- ✓ **Thalles gélatineux** : ils contiennent des cyanobactéries réparties dans toute l'épaisseur du thalle. A l'état sec ils sont noirs, coriaces et friables. En présence d'eau ils gonflent pour donner des masses gélatineuses
- ✓ **Thalles crustacés** : ils forment une croûte fortement adhérente au substrat. Plus de 4/5 des lichens ont des thalles crustacés ; la plus part d'entre eux sont souvent appelés les microlichens.
- ✓ **Thalles foliacés** : ils forment des lames plus ou moins lobées, facilement séparables du substrat auquel ils sont parfois fixés par des rhizines. Ex : *Xanthoria parietina*.

Certains thalles foliacés n'adhèrent au substrat que par une petite zone (crampon) souvent située au centre de la face inférieure.

- ✓ **Thalles fruticuleux** : Ils n'adhèrent au substrat que par une surface très réduite, ils sont plus ou moins buissonnants, plus ou moins ramifiés, à section ronde ou aplati.

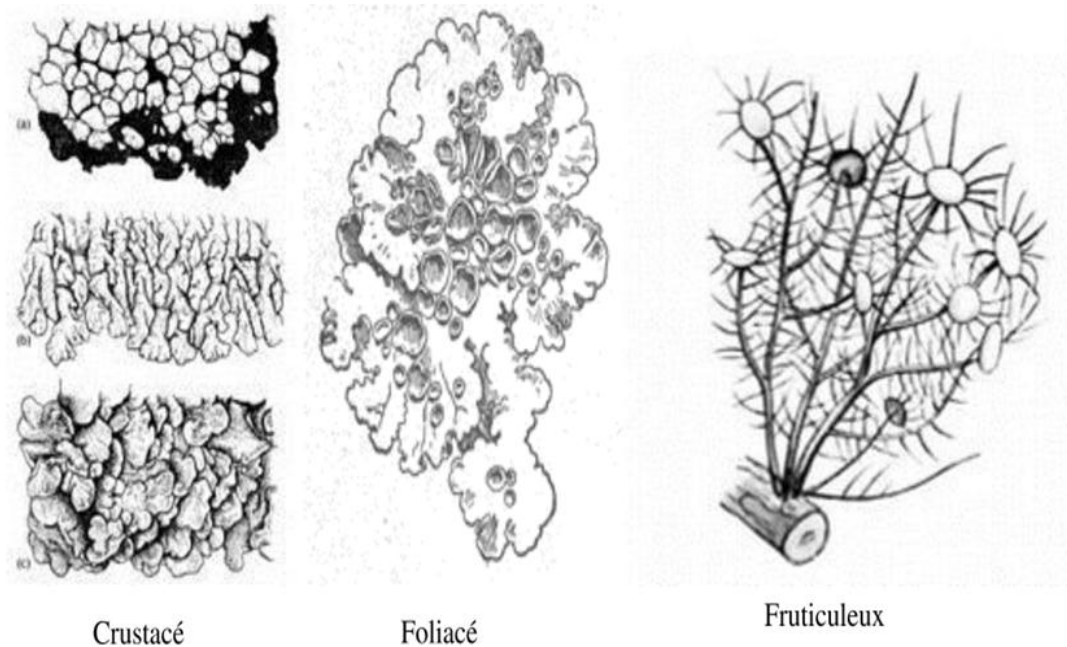


Figure 60 : Aspects morphologiques des lichens

E/ Structure anatomique :

L'examen d'une coupe d'un lichen montre une structure homéomère ou hétéromère avec la structure morphologique :

***Thalles homéomère** des couronnes : Les gonidies ou cellules de l'algue isolées ou formant des couronnes sont mélangées aux hyphes du champignon dans toute l'épaisseur du thalle.

***Thalles hétéromère** : Quand le thalle est limité par plusieurs couches :

- Un cortex supérieur et un cortex inférieur. Les gonidies et les hyphes sont réparties en couches superposées ou concentriques : -une couche gonidiale, -une couche médullaire (hyphes).

Le cortex inférieur peut présenter des filaments destinés à la fixation. Ce sont des rhizoïdes ou rhizines. (Figure 61)

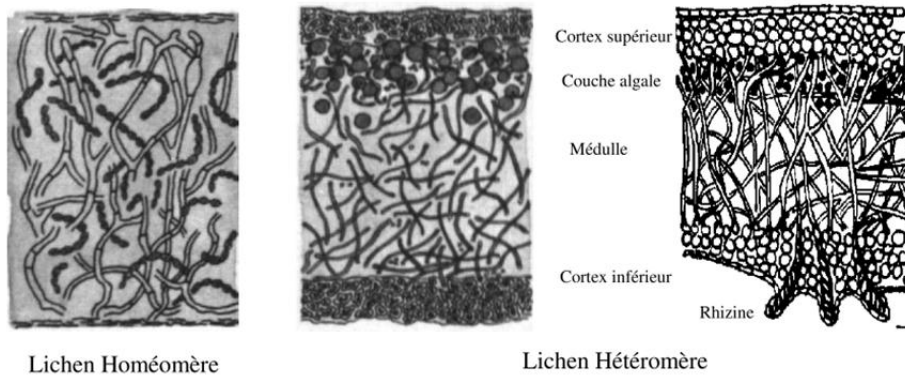


Figure 61 : Structure anatomique des lichens (homo et hétéromère)

F/-Reproduction :

a/ Reproduction asexuée

Le seul mode de reproduction chez le lichen est la reproduction asexuée ou végétative. La reproduction asexuée se fait par la dissémination du complexe lichénique :

-Fragmentation du thalle

-Par formation de structures particulières : les propagules qui sont les :

* **Sorédies** : elles sont constituées par des gonidies et des hyphes regroupés en soralies en forme de verrue ayant une couleur différente du thalle qui ont un poids léger, sont transportées par le vent, la pluie, les insectes colonisant ainsi d'autres endroits (Figure).

***Isidies** : ce sont des éclatements du thalle, sortes de bourgeonnement éminent par le thalle, formées par des gonidies et des hyphes, de la même couleur que l'algue et plus lourdes que les soralies, ne peuvent être transportées, elles assurent une colonisation du substrat (Figure 62).

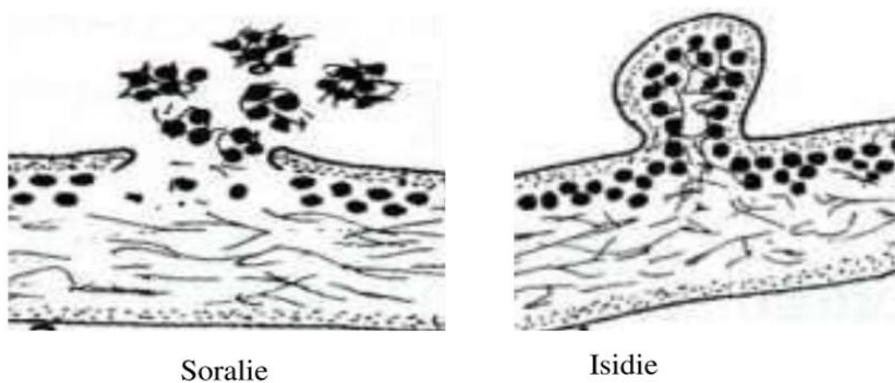


Figure 62 : Reproduction asexuée chez les Lichens

b/- Reproduction sexuée des lichens

Seul le champignon assure une reproduction sexuée issue d'une fusion de deux hyphes différenciés qui aboutit à la formation de fructification sur la surface du thalle. Ce sont des structures en formes de boutons (Apothécies), ou des coupes plus ou moins fermées (Périthèces), dans lesquelles les asques formant l'hyménium, vont élaborer les ascospores. Entre les asques se trouvent des cellules stériles : les paraphyses. Après leur libération, ces spores germent et donnent des hyphes qui capturent des algues pour pouvoir redonner un nouveau thalle lichénique. Les basidiomycètes n'ont pas d'apothécies leur couche à baside est accolé au substrat (Figure 60).

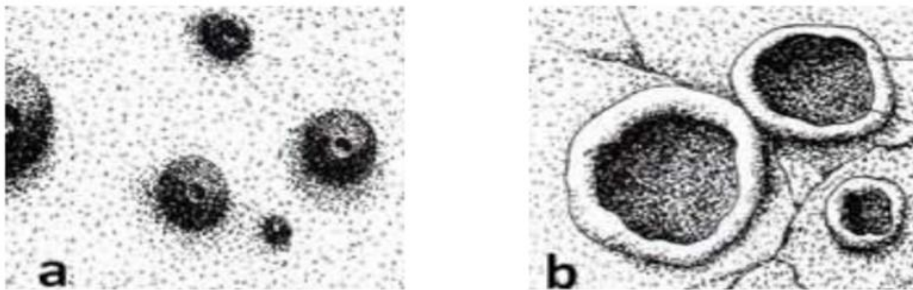


Figure 63 : Reproduction sexuée chez les lichens (a : Périthèce, b : Apothécie)

G/Systématique des lichens :

L'ancienne classification de Zahlbruckner (1907,1926) garde sa valeur pratique face aux classifications récentes incomplètes. Elle sépare les lichens en deux sous classes (Figure 64) :

- **Ascolichens** : (le champignon est un ascomycète) très fréquent, comprenant une cinquantaine de familles, spores produites dans des asques. Ex : *Xanthoria parietina*
- **Basidiolichens** : (le champignon est un basidiomycète) beaucoup moins fréquent avec seulement 3 genres et moins de 20 espèces essentiellement tropicales.

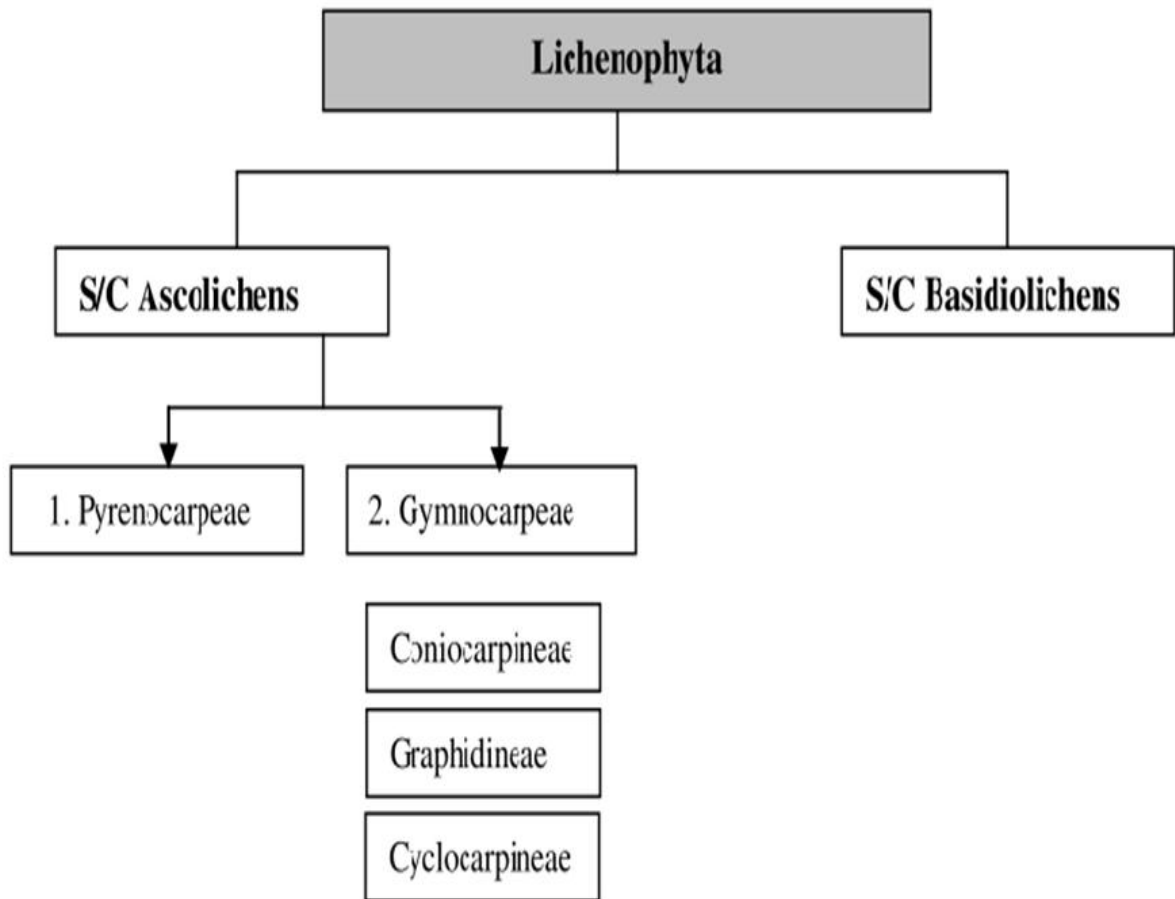


Figure 64 Classification des lichens d'après Zahlbruckner (1907-1929)

Chapitre 3

Les Bryophytes

Introduction :

Les cormophytes réunissent les plantes typiquement terrestres.

- l'habitat terrestre retentit profondément sur les cormophytes au niveau de l'appareil végétatif par la formation de rameaux dressés (cormus en grec).

-Au niveau de l'appareil reproducteur par la formation de gamétanges adaptés à un milieu aérien (**archégonies, anthéridies**).

Les plantes aquatiques peuvent se contenter de structures foliacées et filamenteuses, flottantes au sein de l'eau (et qui en son absence s'appliqueraient sur le fond). L'habitat terrestre impose très vite la nécessité de structures non plus rampantes mais dressées qui réalisent l'utilisation maximum du volume aérien pour un encombrement au sol faible ; de même l'exigence d'un bon rendement de la photosynthèse entraîne la formation sur un axe aérien plus au moins ramifié d'appendices perpendiculaires lesquels augmentent la surface soumise aux rayons solaires. Cette tendance apparaît nettement chez les premières plantes terrestres, les bryophytes, où les individus adultes ont généralement l'aspect d'une petite plante feuillée avec une tige et des feuilles.

De véritables tiges, de véritables feuilles et des racines au sens anatomique du terme, n'apparaîtront cependant chez les cormophytes qu'avec l'acquisition d'un appareil vasculaire assurant la circulation des liquides entre le sommet de la plante et sa base, fixée dans le sol par les racines.

Le milieu aérien conduit à une protection des gamètes qui ne sont plus contenus dans des gamétocystes plus au moins en contact de l'eau, mais dans des gamétanges limités extérieurement par une couche de cellules: la cellule à l'origine des gamètes des cormophytes donne d'abord naissance à un certain nombre de cellules d'enveloppe lesquelles protègent les gamètes du milieu extérieur, puis la ou les cellules les plus centrales engendrent les gamètes proprement dits. Un nouveau type appareil reproducteur s'observe. L'organe mâle est appelé anthéridie, l'organe femelle est appelé archégone d'où le nom d'Archégoniates donné également aux cormophytes.

De plus, contrairement aux thallophytes, le type d'alternance de générations est constant (présence d'un cycle de développement digénétique hétéromorphe) pour chacun des grands groupes de cormophytes dont il devient une des caractéristiques fondamentales.

Le sous règne des **cormophytes** est subdivisé en 3 groupes :

Les Bryophytes avec 25000 espèces.

Les Ptéridophytes avec 11000 espèces.

Les Spermaphytes avec 270 000 espèces

A/-Caractères généraux des bryophytes :

Les bryophytes (du grec Bryon : mousse) sont des végétaux d'organisation relativement simple, de petite taille, terrestres mais se développant dans les endroits humides. Dans les sous bois, ils forment des tapis plus ou moins continus, ils constituent la strate végétale basse. Certains s'établissent sur les murs et les rochers. Ils colonisent tous les milieux à l'exception du milieu marin où ils sont totalement absents.

-Appareil végétatif :

Chez les Bryophytes on voit apparaître une véritable tige avec rameaux portant des feuilles assimilatrices, cet appareil végétatif est nommé **cormus**. Mais celui-ci est incomplet car dépourvu de racines, il porte des rhizoïdes (Figure 65).

La morphologie est variable chez les bryophytes, l'appareil végétatif est :

-Un axe feuillé (cormus) chez les Bryophyta proprement dits (mousses).

-Un axe feuillé ou un thalle chez les Marchantiophyta (Hépatiques).

-Un thalle chez les Anthocérotophyta.

L'appareil végétatif est fixé au sol par des rhizoïdes unicellulaires

Marchantiophyta et pluricellulaires chez les Anthocérotophyta et chez les Bryophyta.

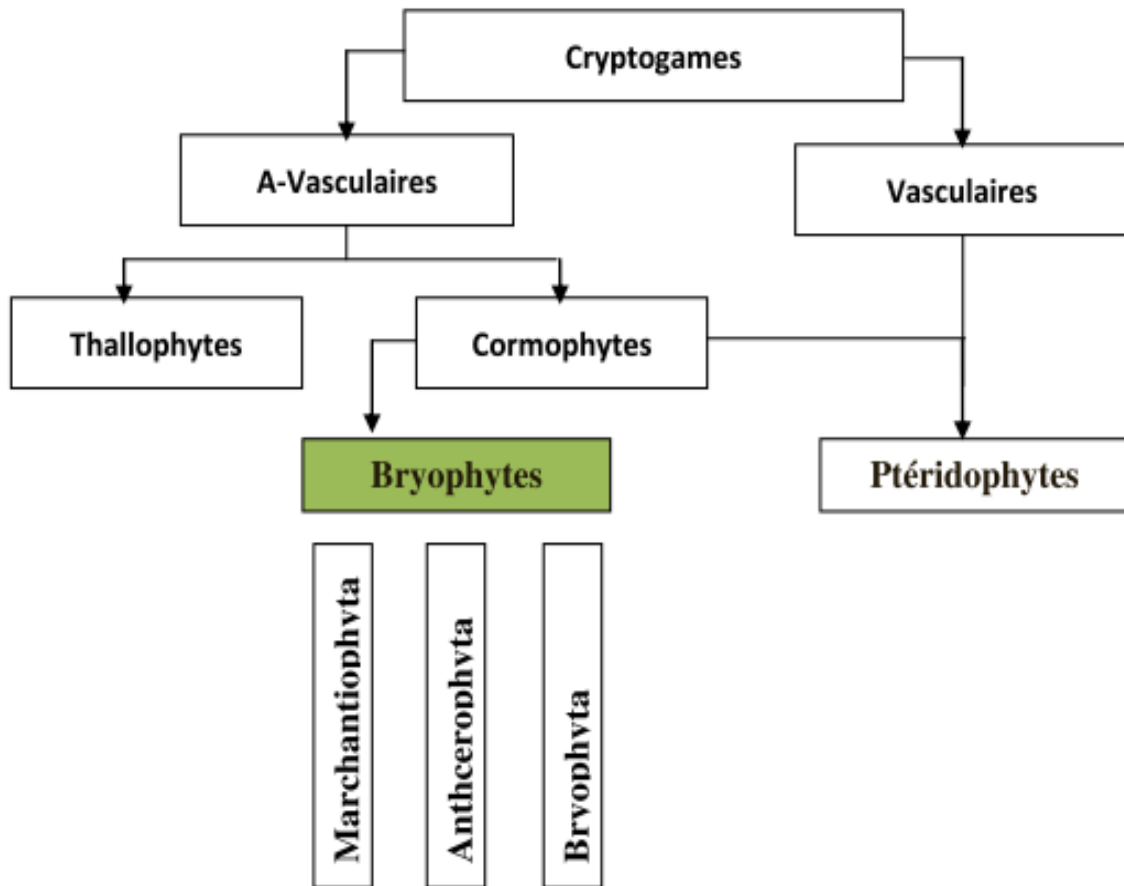


Figure 65 : Position systématique des Bryophytes

B/-Reproduction :

Les bryophyta se reproduisent par voie asexuée et sexuée :

a/Reproduction asexuée :

Elle se fait :

- Par formation d'organes de dissémination spécialisés : les propagules (massifs de cellules) de formes variées et pouvant se former sur des feuilles et les tiges.

b/Reproduction sexuée :

Le cycle de développement des Bryophyta est caractéristique (Figure 66) il présente une alternance régulière de phases : une phase haploïde représentée par le gamétophyte dominant et une phase diploïde constituant le sporophyte qui se développe sur le gamétophyte.

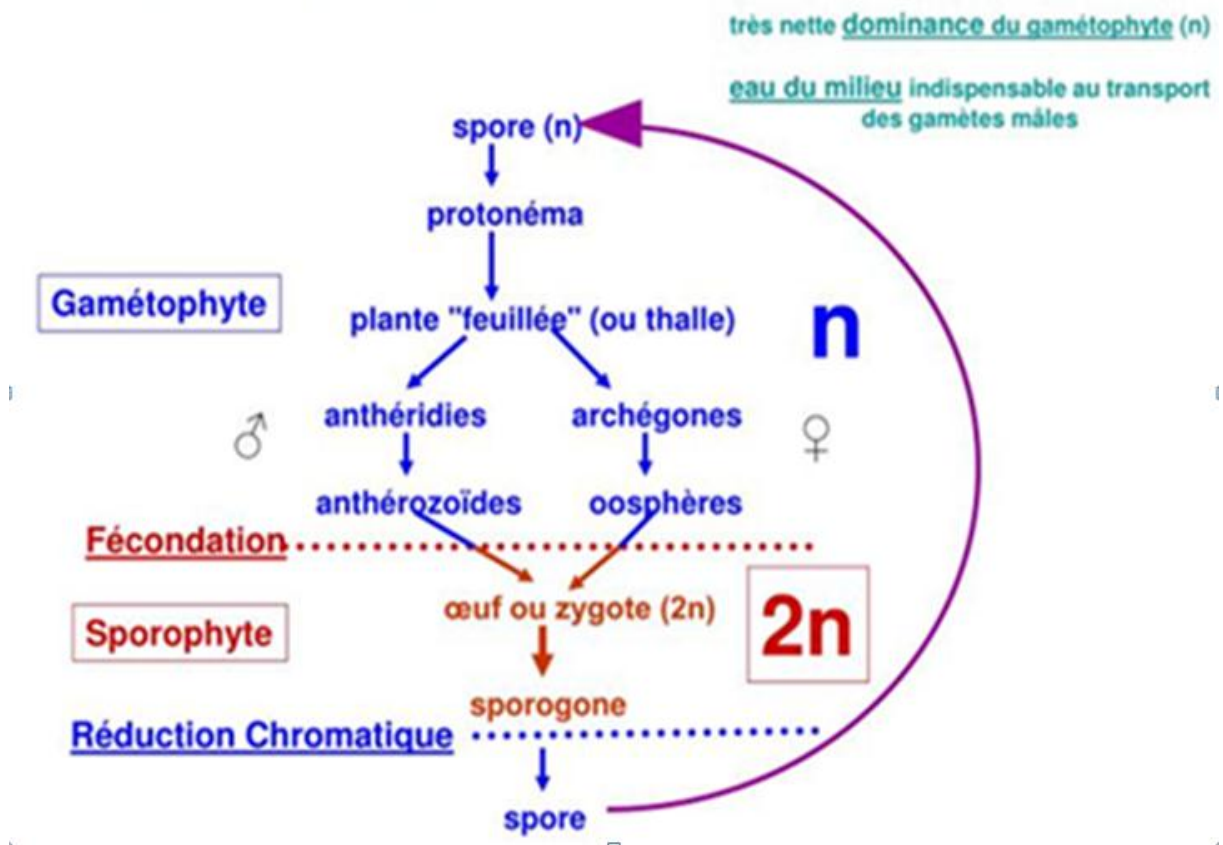


Figure 66 : Cycle de développement d'une mousse

Le gamétophyte (plante feuillée ou thalle) porte les organes sexuels : anthéridies et /ou archégonies. Il donne après fécondation un zygote qui se développe dans l'archégonie en un sporophyte qui vit en parasite sur le gamétophyte. Le sporophyte est constitué d'un sporangie appelé sporogone qui produit des spores. Ces dernières germent pour donner un protonéma sur lequel se développe le gamétophyte.

c/Systématique :

Le terme bryophytes s'applique aux trois embranchements (Figure 67) :

Bryophyta (les mousses au sens botanique strict), *Marchantiophyta* (Hépatiques), *Anthocerotophyta* qui se distingue par leur appareil végétatif et leur mode de reproduction.

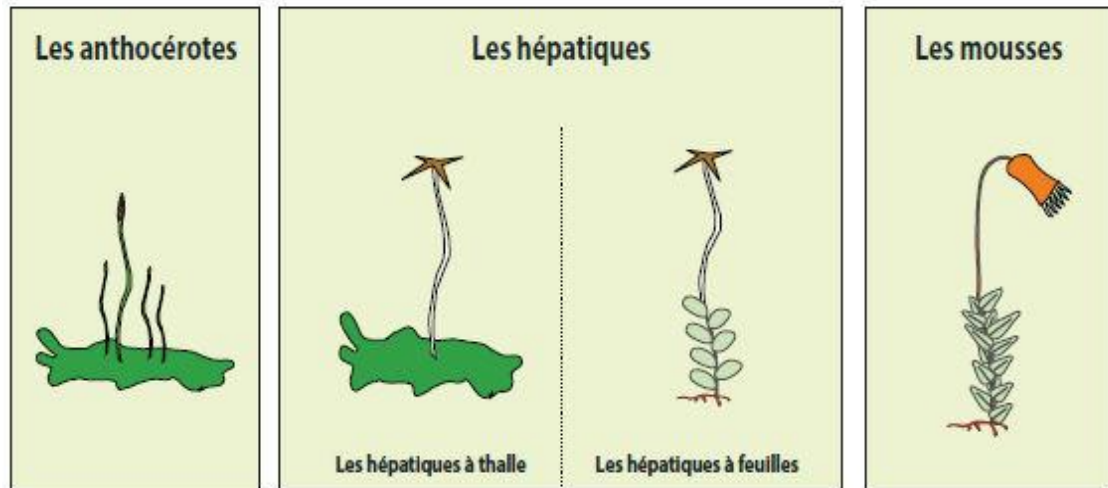


Figure 67a : Aspect morphologiques des différents types des bryophytes

a/ Embranchement des *Bryophyta* :

La classification des *Bryophyta* est divisée en 3 classes (Figure 68) :

Systématique des Bryophytes

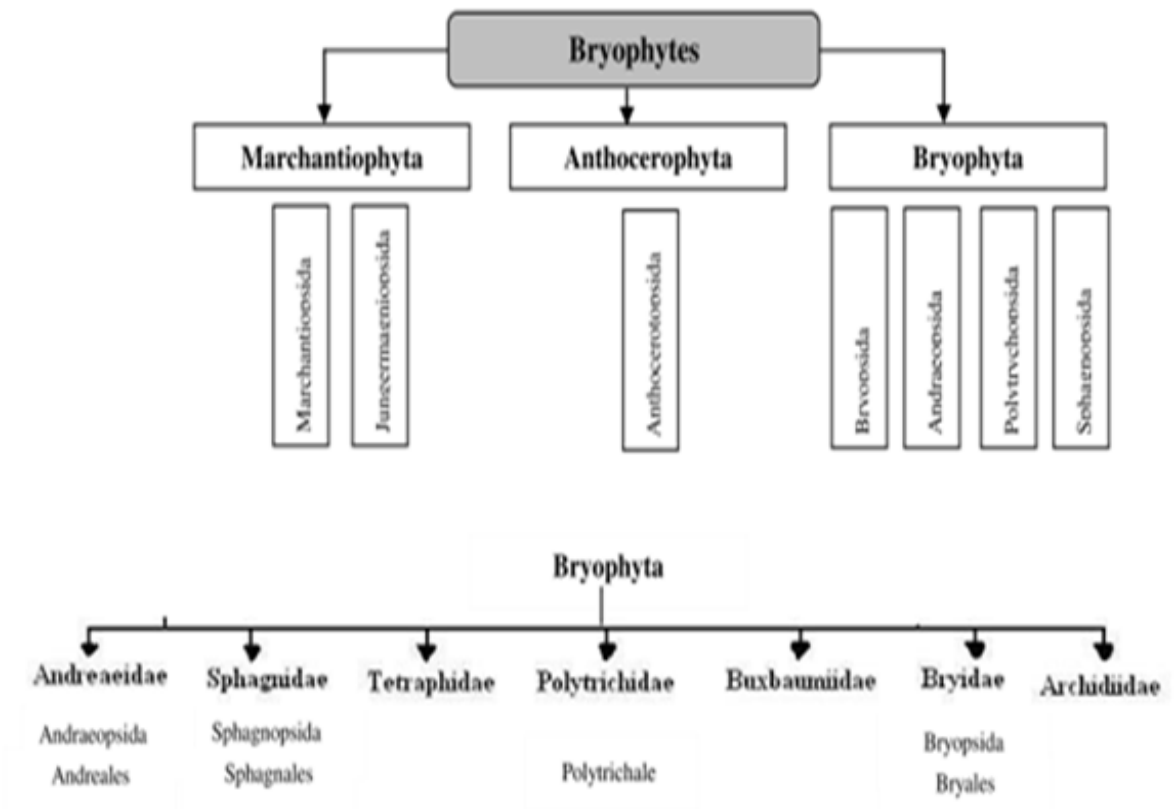


Figure 68 : Systématique des Bryophytes

* **Classe1 : les *Bryopsida***

Ce sont les vraies mousses au sens commun du terme. Elles contiennent le plus d'espèces environ 10 000 espèces. Les bryophyta se rencontrent sur toute la surface de la terre, en plaine et en montagne. Par contre, chaque espèce possède souvent une aire limitée liée à des exigences écologiques assez strictes. Le gamétophyte est un axe feuillé à symétrie axiale. Il présente sur le plan anatomique une certaine différenciation (cordon central : **leptoïdes /hydroïdes**). Les organes sexuels, archégonies et anthéridies, formés au sommet de l'axe. Les anthérozoïdes ainsi formés dans les anthéridies parviennent sur l'archégonie pénètrent dans le col et l'un d'eux fusionne avec l'oosphère; la fécondation est aquatique (oogamie).

L'œuf ainsi formé se développe rapidement en un embryon qui évolue sans phase de repos en un sporophyte :

La partie inférieure du sporophyte s'enfonce dans le sommet de la tige feuillée et forme un suçoir permettant l'absorption de l'eau et des substances minérales.

La partie moyenne constitue **la soie ou pédicelle**.

La partie supérieure porte le sporange ou **capsule** appelé **sporogone**.

Au cours de l'allongement de la soie, le ventre de l'archégonie continue sa croissance formant un calypstre qui protège le développement du jeune sporophyte. Le **calypstre** se rompt à la base, sa partie supérieure est entraînée par la capsule formant **la coiffe** qui tombera ultérieurement. La structure de la capsule montre une organisation complexe, on y distingue (Figure 69 et 70) :

*Une couche externe, constituée d'un épiderme à stomates avec un parenchyme chlorophyllien à lacunes.

*Une couche interne formée par une colonne stérile ou **columelle** et une assise de cellules mères des spores. L'ouverture de la capsule se fait grâce à un **opercule**.

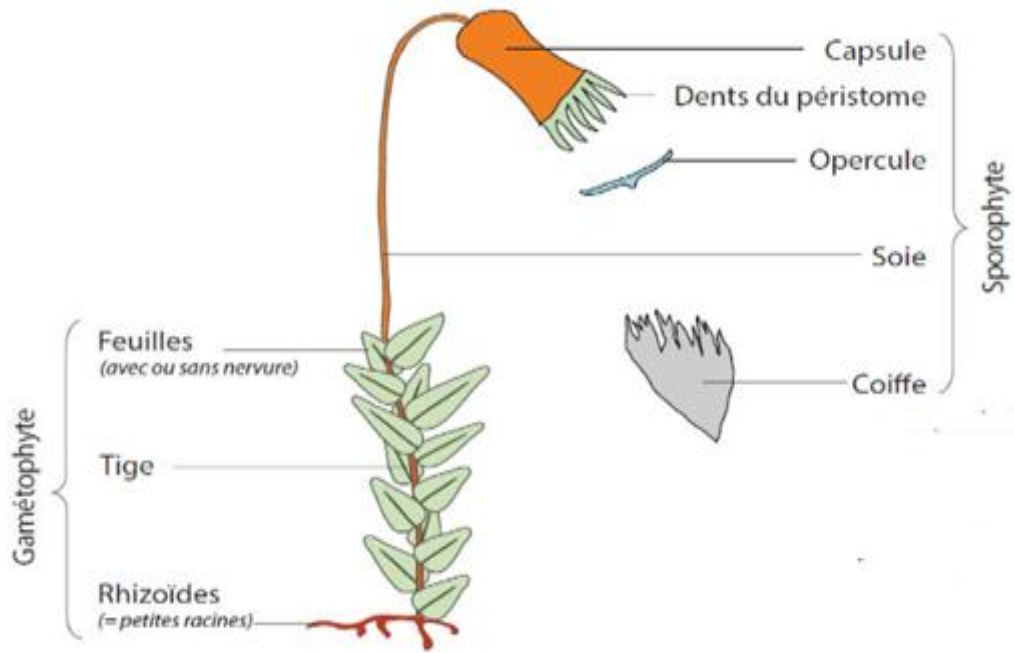


Figure 69 : Morphologie d'une *Bryopsida*

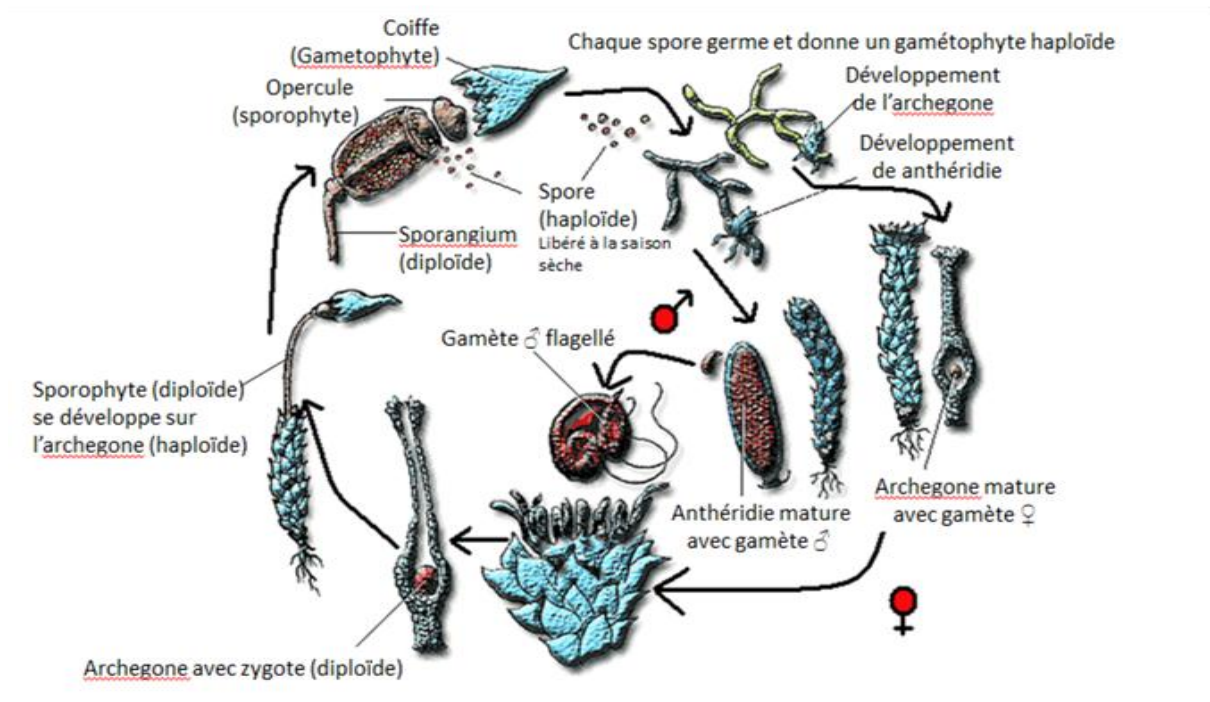


Figure 70 : Cycle de développement d'une *Bryopsida*

Certains auteurs subdivisent les *Bryopsida* en plusieurs ordres. Les principaux ordres retenus sont :

Ordre *Polytrichales* :

Genre *Polytrichum*

Ordre *Bryales*

Genre *Bryum*

-Ordre *Funariales*

Genre *Funaria, Tortula*

- Hypnales

Genre *Hypnum*

*** Classe 2 les *Sphanopsida* :**

Les sphaignes constituent un groupe homogène qui ne comprend qu'un seul genre *Sphagnum* (ordre des *Sphagnales*) qui compte 300 espèces. Ce sont des **Bryophyta** de grande taille très réparties dans tous les continents. Elles constituent des colonies très vastes sur sols marécageux. Les sphaignes peuvent retenir 20 fois leur volume d'eau grâce à la structure particulière des feuilles. Elles sont caractérisées par :

Un sporogone sans pédicelle porté par un **pseudopode** et muni d'un opercule.

Un tissu sporogène développé recouvrant le sommet de la columelle.

Un protonéma thalloïde ne formant qu'une seule tige feuillée.

Chaque tige porte à l'aisselle de certaines feuilles des ramifications courtes portant des anthéridies ou des archégones. Le développement du zygote donne une capsule sans **pédicelle**. A maturité le sommet de l'axe du gamétophyte se développe rapidement en un pseudopode qui porte à son sommet la capsule. La germination de la spore donne un protonéma thalloïde (lame aplatie) aux rhizoïdes pluricellulaires sur lequel se développe un bourgeon unique à l'origine d'une seule tige feuillée.

***Classe des *Andreopsida* :**

Ce sont de petites mousses d'un brun noirâtre qui vivent sur les rochers dans les régions froides en montagne surtout

Le sporogone ne présente pas de pédicelle

La capsule s'ouvre par 4 fentes longitudinales (Figure 71)).

La structure générale du gamétophyte est la même que celle des *Bryopsida*.

La capsule du sporogone est portée comme les sphaignes par un long pseudopode.

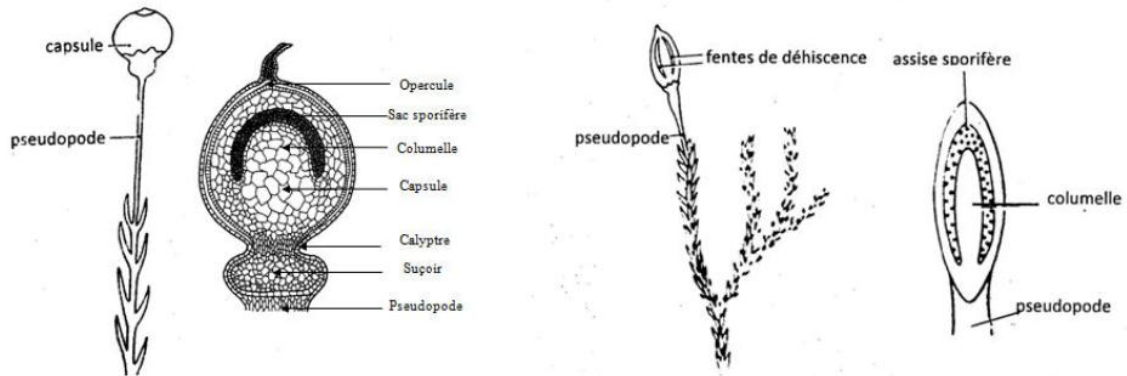


Figure 71 : Capsule des Sphagnopsida et des Andreopsida

3-3/–Embranchement des *Marchantiophyta* ou Hépatiques :

Beaucoup plus diverses dans leurs aspects morphologiques que les mousses, les hépatiques ont le même cycle de développement, mais leur capsule est beaucoup plus simple, sans columelle, et entre les spores se développent des cellules, les **élatères** permettant leur dissémination, le protonéma est très développé. D'après la morphologie de l'appareil végétatif, on distingue les hépatiques à feuilles dont l'aspect rappelle celui des mousses, et les hépatiques à thalle.

*Classification :

La systématique des *Marchantiophyta*, on distingue 2 classes (Figure 72) :

Classe *Marchantiopsida* (Hépatiques à thalle complexe multistratifié)

Classe *Jungermagniopsida* avec 2 sous classes :

***Metzgeriidae** (Hépatiques à thalle simple).

***Jungermaniidae** (Hépatiques à feuille).

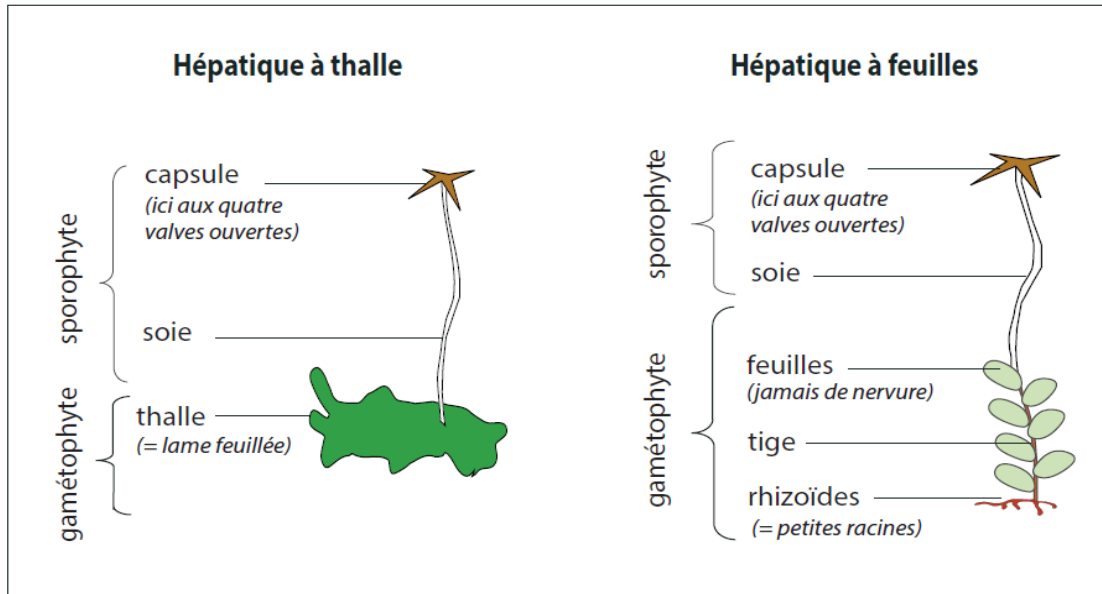


Figure 72 : Morphologie des deux classes des Marchantiophyta (Marchantsiopsida Jungermagniopsida)

***Classe des *Marchantiopsida* :**

L'appareil végétatif est un thalle dépourvu de systèmes conducteurs mais présentant une différence histologique particulière.

Etude d'un exemple : *Marchantia polymorpha* :

Une coupe transversale de *Marchantia polymorpha* montre une organisation des tissus en couches distinctes on distingue

- Un épiderme supérieur avec des pores qui s'ouvrent au-dessus de chambres aérifères
- Un couche dorsale chlorophyllienne
- Un parenchyme incolore renferme des cellules gorgées d'**oléocorps**
- Un épiderme inférieur d'où s'échappent des rhizoïdes unicellulaires et des écailles pluricellulaires.

Les gamétanges se forment sur des appendices dressés portés sur la face supérieure du thalle ce sont les anthéridiophores et les archégoniophores (Figure 73 et 74).

L'anthéridiophore comporte un pédoncule terminé par un disque ou un chapeau à 8lobes portant les anthéridies sur sa face supérieure ; les spermatozoïdes flagellés sont libérés par l'éclatement de l'anthéridie.

L'archégoniophore a la même structure générale mais ses lobes (au nombre de 9) les archégonies se développent sur la face inférieure. La fécondation a lieu avant le développement complet de l'archégoniophore. Chaque zygote se développe en une **capsule sans columelle** dans laquelle sont produites les spores et les élatères. Les élatères sont des cellules très allongées dont les membranes présentent des épaissements spiralés, elles permettent l'ouverture de la capsule et la dissémination des spores. La capsule s'ouvre à son sommet par 4 à 6 valves.

La spore germe en un protonéma très court sur lequel se développe un petit thalle qui s'accroît peu à peu.

La multiplication végétative se fait grâce à des **corbeilles de propagules** qui sur la face dorsale des thalles.

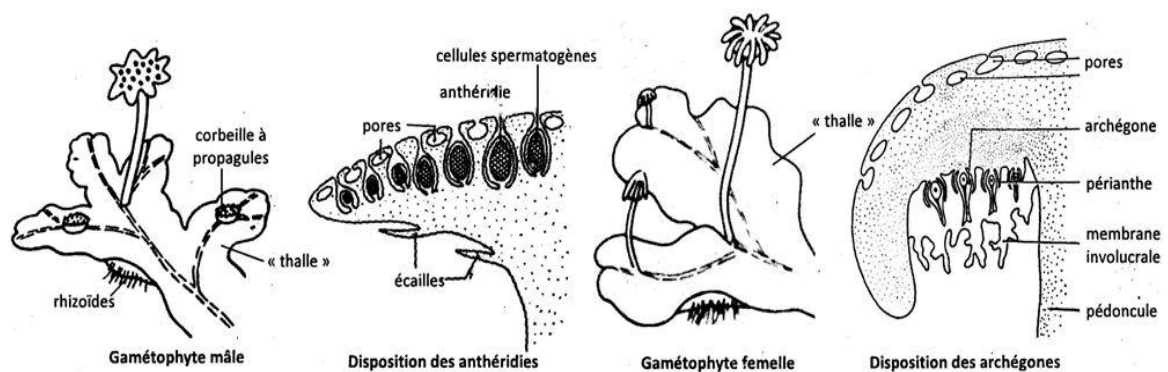


Figure 73 : Gamétophyte mâle (anthéridiophore) et Gamétophyte femelle (archégoniophore)

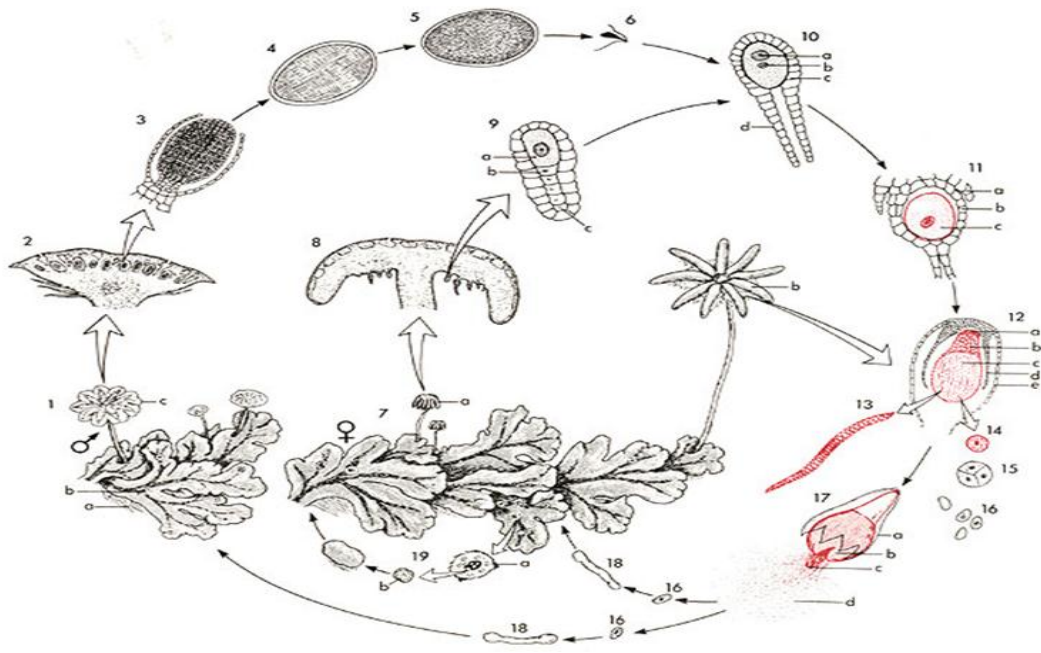


Figure 74 : Cycle de développement d'une *Marchantiophyta*

3-4/- Embranchement des Anthocérophyta

Petit groupe à appareil végétatif thalloïde de couleur gris bleu très abondant en zones tropicales mais également présentes en milieu tempérés. Présentent des rhizoïdes pluricellulaires sur sa face inférieure, présence de stomates sur le sporophyte. Leur protonéma est peu développé et la capsule est sans coiffe ni péristome, ni opercule, présente une columelle et des pseudoélatères. La déhiscence de la capsule se fait par 2 valves. **Ordre des Anthocerotales** avec le **genre Anthocéros** (Figure 75 et 76).

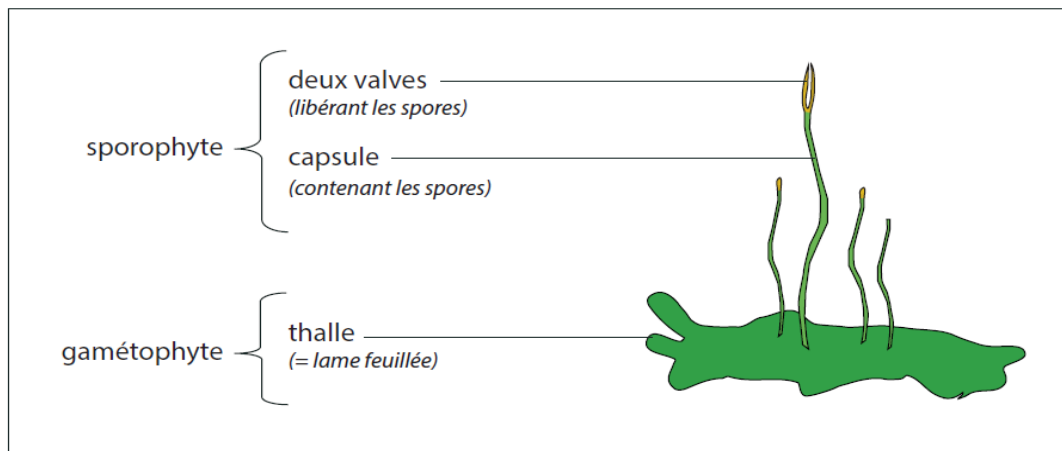


Figure 75 : Morphologie des Anthocérophytes

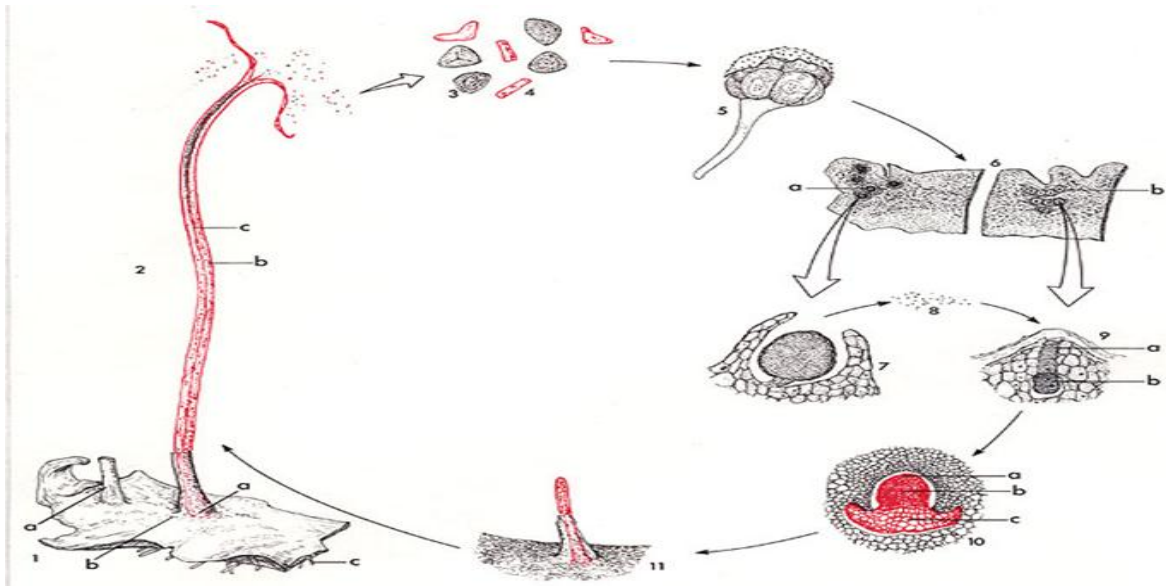


Figure 76 : Cycle de développement d'une Antécérote

* **Systématique des *Anthocerophyta***

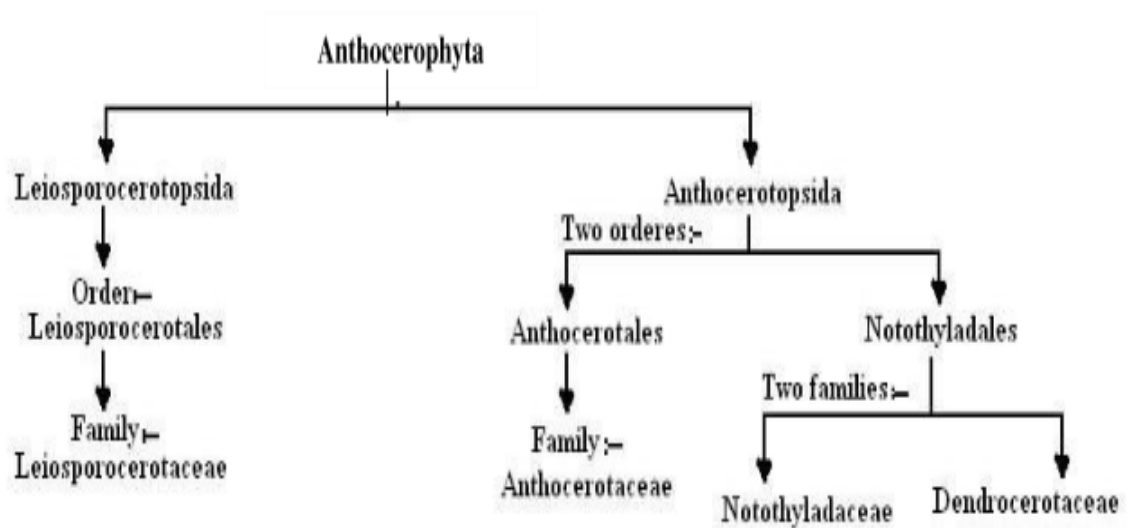


Figure 77 Systématique des Anthécérotés

Chapitre 4

Les Ptéridophytes

4-1- Généralité sur les caractères morphologiques particuliers des Ptéridophytes :

Les ptéridophytes (du grec « Ptéris » = fougère) sont généralement des petites plantes vivaces. Par rapport aux bryophytes, les ptéridophytes montrent un appareil végétatif plus différencié et adapté à la vie terrestre. Ils se sont diversifiées et ont occupé une place importante. Ce sont des **cormophytes** avec de **véritables racines**, racines souterraines ou **rhizome**, des **polysporangiophytes** avec un sporophyte ramifié et plusieurs sporanges (**leptosporanges** ou **eusporanges**), des **trachéophytes** avec des éléments de vascularisation; trachéides à paroi **lignifiée**

Le cycle fondamental des ptéridophytes est un cycle **digénétique** diplo-haplophasique avec **prédominance du sporophyte**. Le gamétophyte est réduit, il porte le nom de **prothalle**. La plupart sont **isospores** et leurs gamétophytes sont bisexués, alors que certains présentent une **hétérosporie** qui entraîne un hétérothallisme.

4-2/- Importance évolutive de la reproduction Réduction de la phase gamétophytique

Au niveau de l'évolution, l'étape ptéridophytes est particulièrement importante puisqu'elle correspond à l'acquisition des tissus conducteurs. Ceux-ci permettent aux plantes de s'affranchir, en partie, de l'eau du milieu ambiant puisqu'elles peuvent aller la chercher dans le sol et la véhiculer dans l'ensemble de leur appareil végétatif, de même que la solution organique résultant de la photosynthèse.

La deuxième évolution importante de ce groupe est sa capacité de synthétiser la lignine permettant ainsi la mise en place de structures élevées pouvant chercher la lumière.

La troisième évolution est que la phase diploïde est dominante par rapport aux bryophytes où cette phase reste dépendante de la phase haploïde pour son alimentation jusqu'à ce qu'il y est maturation des spores.

La quatrième évolution est que le sporophyte est indépendant du gamétophyte. Ce dernier est réduit de plus en plus par rapport à celui des Bryophytes et se réduira encore plus chez les Spermaphytes (Figure 78).

Toutes ces inventions primordiales se sont traduites par l'existence, dès l'ère primaire et principalement au Carbonifère, d'arbres ptéridophytes dépassant les vingt ou trente mètres de haut.

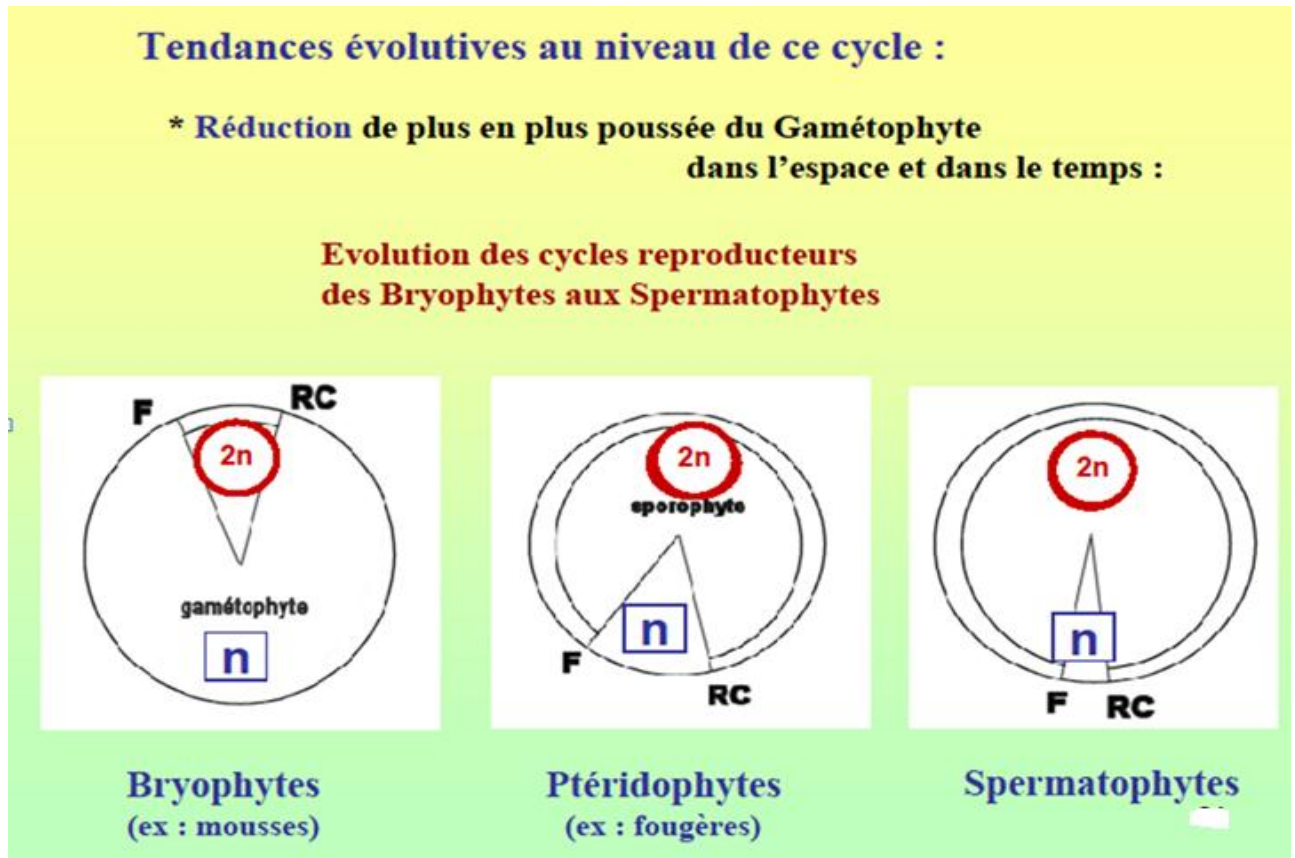


Figure 78 : Phénomène de réduction du gamétophyte

4-3/ Systématique :

Les ptéridophytes sont divisées en trois embranchements : La division fondamentale est basée sur les caractères des feuilles et la disposition de l'appareil reproducteur (Figure 79) :

**Psilophyta*

* *Lycophyta* ou *lycopodiophyta*

**Sphenophyta* ou *Equisétophyta*

**Filicophyta*

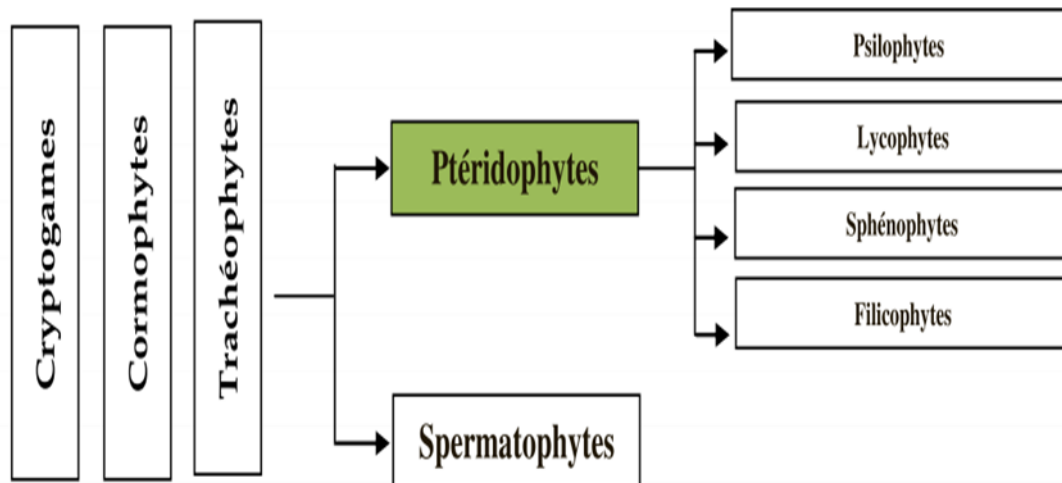


Figure 79 : Position systématique des ptéridophytes

4- 3-1/ Embranchement des *Psilophyta*

De par leur morphologie et leur ancienneté géologique, les Psilophytes constituent un embranchement particulièrement archaïque au sein des ptéridophytes (Figure 80). Les premiers psilophytes connus datent de Dévonien inférieur où elles se sont développées. Les Psilophytes se réduisent à des axes plus ou moins dichotomes, dépourvus de racines et de feuilles. Une tige souterraine ou Rhizome porte des Rhizoïdes et des tiges dressées. Comme tous les ptéridophytes, les Psilophytes se présentent sous forme d'individus haploïdes (gamétophyte) et diploïdes (sporophyte). Le sporophyte est homosporé. Les anthérozoïdes sont souvent multinuclés et l'embryon est dépourvu de suspenseur.

L'embranchement des Psilophytes (*Psilophyta*) comprend une seule classe

Classe *Psilopsida* divisée en trois ordres

Ordre 1 : *Rhyniales*

Ordre 2 : *Psilophytales*

Ordre 3 : *Psilotales*

Famille *Psilotaceae*

Un seul genre *Psilotum* et 3 espèces



Figure 80 : Aspect morphologie des *Psilophyta*

4-3-2/ -Embranchement des *Lycopyta* :

Les lycophyta sont caractérisées par des **tiges ramifiées dichotomiquement** portant des feuilles petites (**microphyll**) nombreuses, uninerviées spiralées ou opposées. L'appareil reproducteur a des **sporophylle** peu différentes des feuilles stériles et qui portent un sporange unique sur la face ventrale. Les sporanges sont **réniformes**, leur déhiscence est réalisée par **2 valves équidistantes**. Ces sporophylle sont souvent groupées en cônes terminaux : Les lycophyta se divisent en trois classes :

***Classe 1 : *Lycopodiaceae*,**

Ordre : lycopodiales : présentent des spores identiques ou **isosporées** à feuilles dépourvues de **ligules**, les lycopodiales comprennent deux genres:

Genres *Lycopodium* et *Phylloglossum*

Exemple : *Lycopodium clavatum* : Une plante herbacée, vivace qui vit sur les terrains siliceux, les tiges grêles et rampantes émettent des rameaux dressés, ramifiées dichotomiquement. Elles sont complètement enveloppées par de nombreuses petites feuilles en forme d'aiguilles ou écailles insérées en spirale. Les tiges portent en outre des racines dont les extrémités se divisent plusieurs fois de façon dichotomique. Les sporanges sont insérés à la base de feuilles spiralées en épis sporifères appelé **strobiles** au sommet des axes dressés, chaque sporophylle comporte un seul sporange (Figure 81).

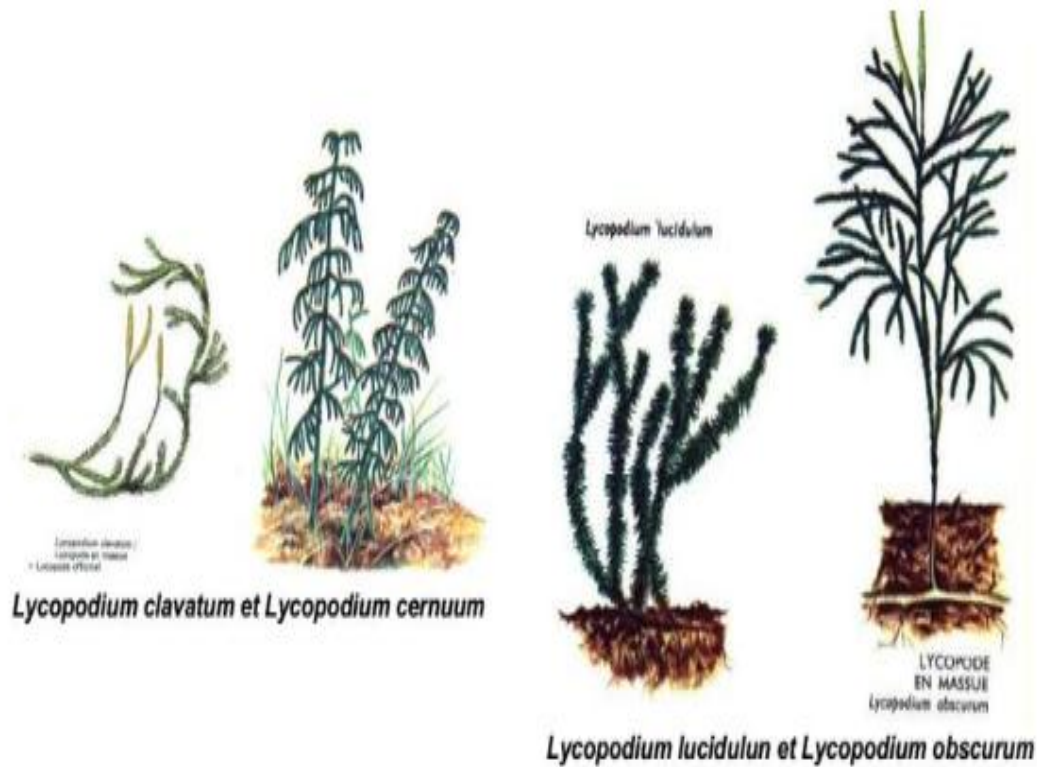


Figure 81 : Aspect morphologique des *lycophyta*

***Classe 2 : Selaginellaceae**

Tige à ramification dichotomique comme les lycopodiales mais ce sont des plantes hétérospores et des feuilles ligulées. Cette classe est divisée renferme un seul ordre :

Ordre Selaginellales sont des plantes herbacées vivaces qui possèdent des tiges grêles diffuses couchées sur le sol se ramifiant par dichotomie. Les sporanges se forment aux extrémités des rameaux (épisodes sporifères). Dans ces épis, les feuilles ou sporophylles sont plus larges et plus serrées les unes contre les autres que les feuilles végétatives. Il existe deux sortes de sporanges différents par la taille des spores. A la base de l'épi se trouvent des **mégasporanges** contenant chacun quatre spores volumineuses ou **mégaspores**, au sommet de l'épi des **microsporangies** contenant un grand nombre de petites spores ou **microspores** (Figure 82 et 83).

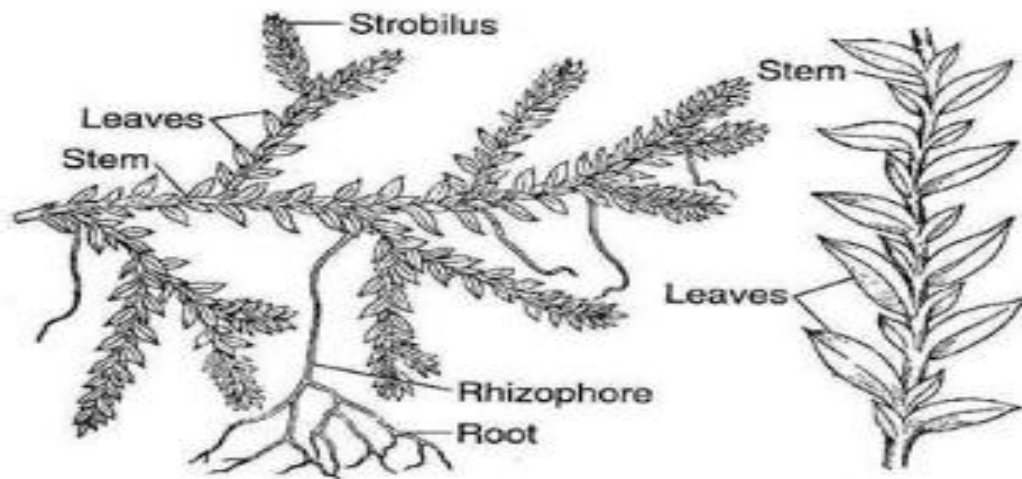


Figure 82 : Morphologie du genre selaginella

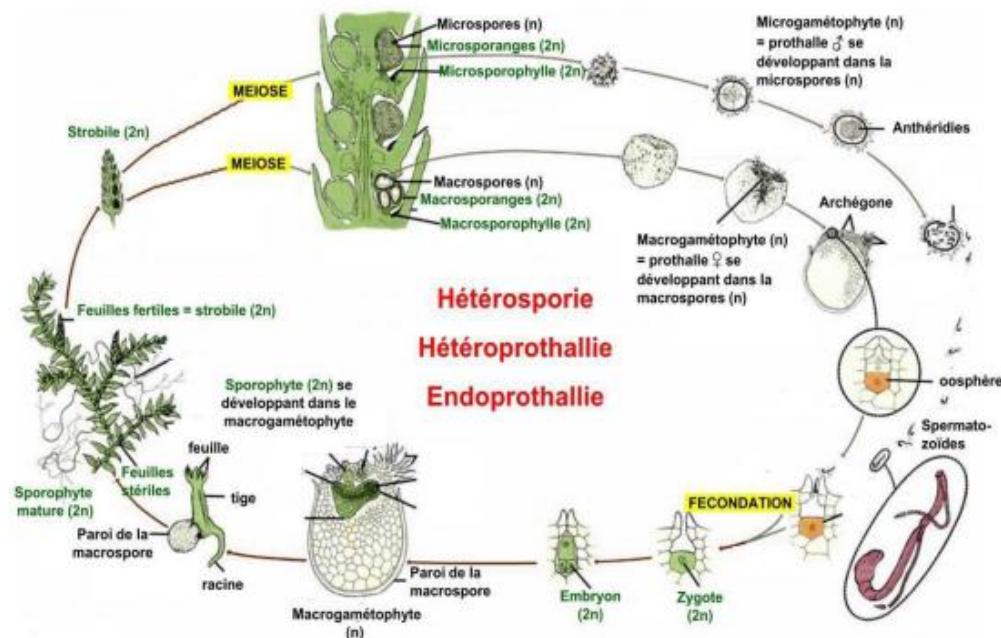


Figure 83 : Cycle de développement d'une sélaginelle

**Classe des Isoétaceae* : Cette classe renferme un seul ordre

Ordre Isoétales comprend une seule famille

Famille des Isoétaceae avec un seul genre

Genre Isoetes comporte 30 espèces

Ce sont des plantes de petites tailles, de milieux aquatiques permanents ou temporaires. Elles possèdent une courte tige souterraine épaissie (corne) portant à sa face inférieure des racines et à sa face supérieure des micropyles dressées et effilées. Toutes les microphylls peuvent

être des sporophylles portant à leur base pour les plus externes des mégasporanges et pour les plus internes des microsporangies. Il existe deux catégories de spores. Les Isoétales sont des hétérosporées.

4-3-3/ Embranchement des *Equisetophyta* ou *Sphénophyta*

Elles sont réduites à un seul ordre

Ordre *Equisétales* avec une seule famille

Famille *Equisetaceae* ne comprenant qu'un seul genre

Genre *Equisetum* ou **prêle des champs.**

Exemple: *Equisetum arvensis* : très répandue dans les lieux sablonneux humides. Son rhizome émet deux sortes de tiges aériennes les unes fertiles, les autres stériles. Ces dernières apparaissent après les fertiles, elles sont plus longues et atteignent 20 à 30 cm de hauteur, elles sont nettement articulées en nœuds et entre –nœuds portent à chaque nœud un verticille de petites feuilles linéaires, ces tiges stériles sont vertes et assimilatrices.

Les tiges fertiles sont plus courtes et plus grosses et dépourvue de chlorophylle et n'ont pas de rameaux secondaires elles portent à leurs extrémité un épi constitué d'écussons hexagonaux sous lequel se trouvent les sporanges (Figure 84 et 85).

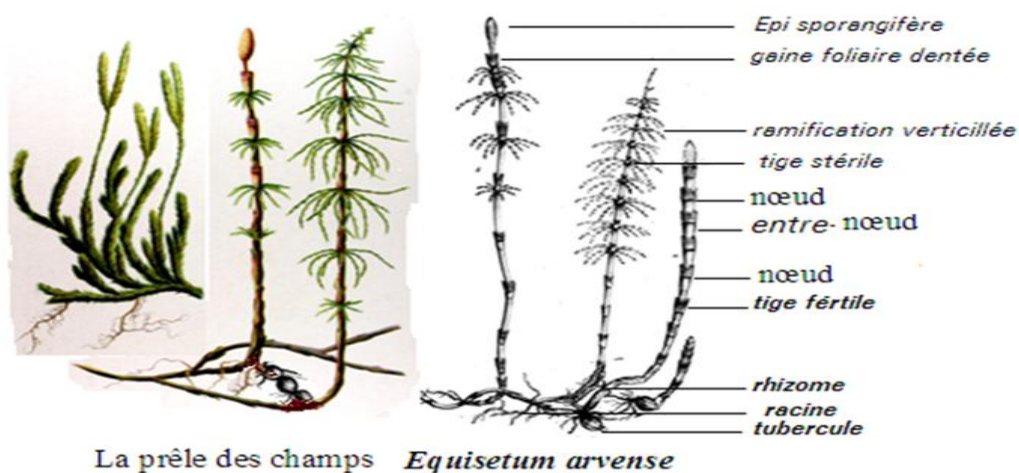


Figure 84 : Morphologie des prêles

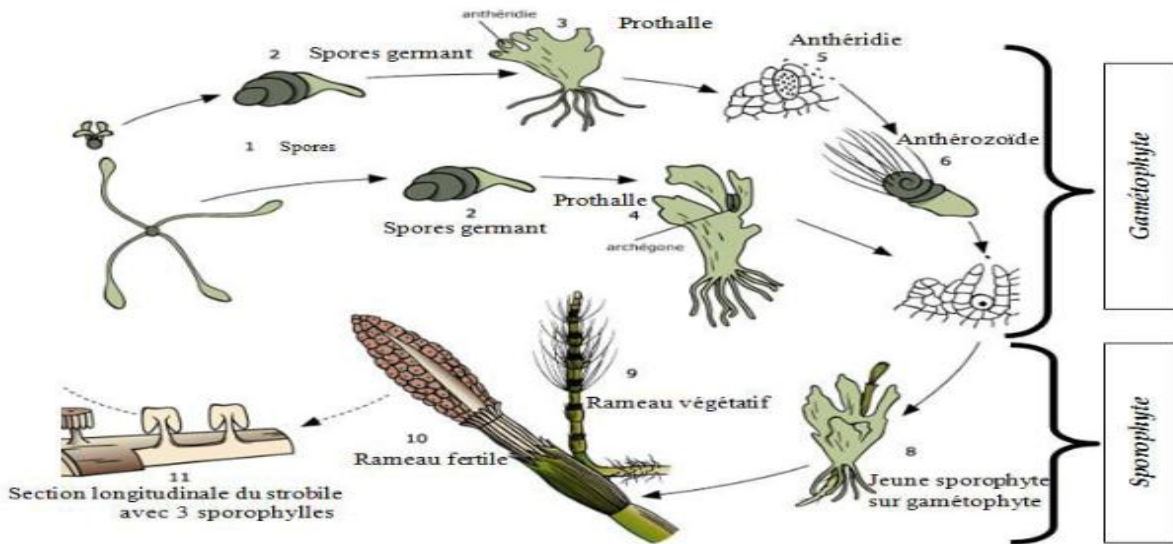


Figure 85 : Cycle de reproduction d'une prêle (*Equisetum arvense Equisetaceae*)

4-3-4/ Embranchement des *Filicophyta*

L'embranchement le plus important des ptéridophytes, c'est un groupe des fougères proprement dite (Figure 86). Ils présentent les caractères généraux suivants qui le distingue des autres embranchements étudiés par :

- a) Les feuilles ou frondes sont des **Mégaphyles** : sont des feuilles de grande taille à nervation complexe.
- b) Sporange nombreux situé sur la face dorsale, ou en position marginale, jamais sur la face ventrale (supérieure).

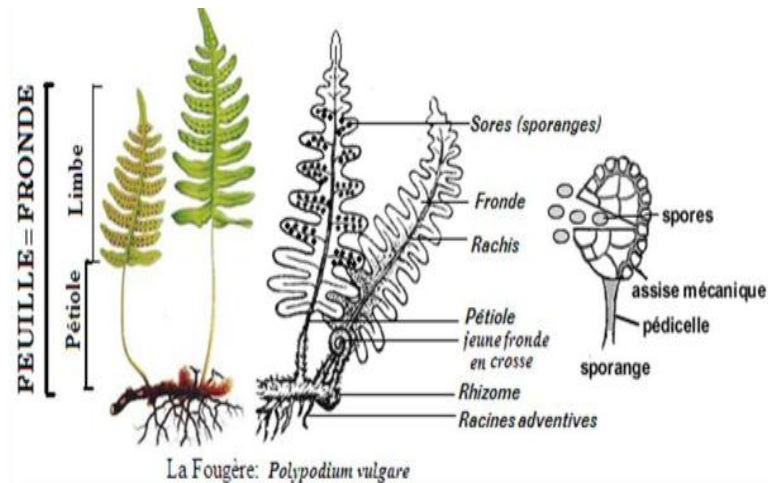


Figure 86 : Aspect morphologique des Filicinées

***Reproduction :**

-Reproduction asexuée :

Elle se fait essentiellement par fragmentation du rhizome à croissance indéfinie.

Certaines espèces ne se reproduisent pas par cette méthode

-Reproduction sexuée

Le cycle de développement des ptéridophytes se distingue par l'indépendance du gamétophyte vis-à-vis du sporophyte. Les gamétophytes sont de petite taille et de forme variable. Ils produisent les oosphères dans les archégones et les anthérozoïdes dans les anthéridies. La fécondation est tributaire de la présence de l'eau. Une spore haploïde (n) germe en donnant un organe de petite taille formé généralement d'une lame verte, fixé au sol par des rhizoïdes: c'est le prothalle, organe indépendant par sa chlorophylle sur lequel apparaissent généralement sur la face inférieure les éléments reproducteurs (anthéridies et archégones) à n chromosomes. En présence d'eau, les anthérozoïdes mûrs nagent jusqu'à l'archégone. La fécondation donne un œuf ou zygote qui se transforme en un embryon; sorte de petite fougère miniature composée de :

*Une ébauche de racine;

*Une ébauche de feuille;

*Un organe transitoire, le pied qui assure sa fixation ainsi que sa nutrition par parasitisme du prothalle.

Lorsque la première feuille et la première racine sont devenues suffisamment grandes, la jeune fougère peut s'alimenter ; elle est devenue autonome : le prothalle disparaît et la plante grandit. Quand la plante est adulte, les feuilles les plus âgées portent des sporanges presque toujours réunis en plages arrondies (sores) situées généralement à la face inférieure des feuilles et protégées par une très mince membrane (indusie) ou simplement par le rebord de la feuille. L'ouverture du sporange se fait le plus souvent grâce à la présence d'un anneau de déhiscence sous l'influence de la dessiccation et fait éclater les sporanges. De très nombreuses spores s'échappent et placées dans des conditions favorables elles germent à nouveau (Figure 87).

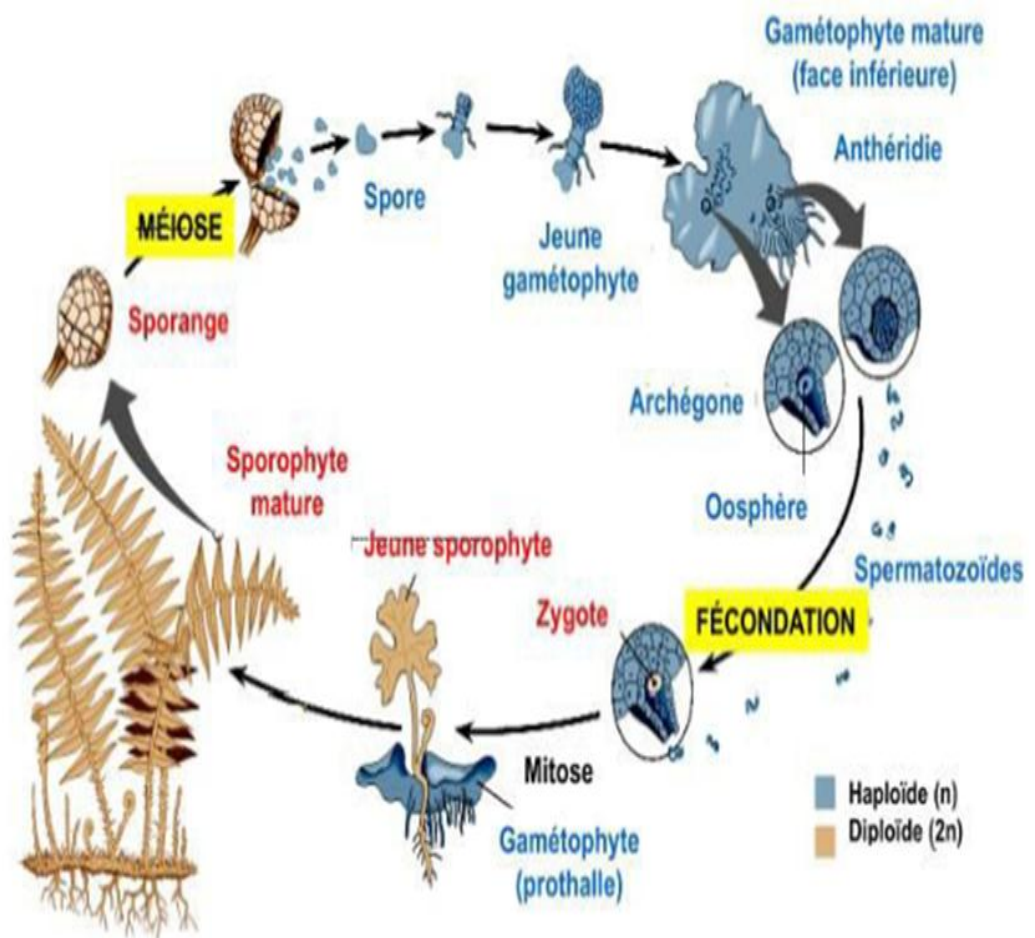


Figure 87 : Cycle de développement d'une filicinée ou fougère proprement dite

Il existe deux sous-embanchement : Les Eusporangiés et les Leptosporangiés (Figure 88)

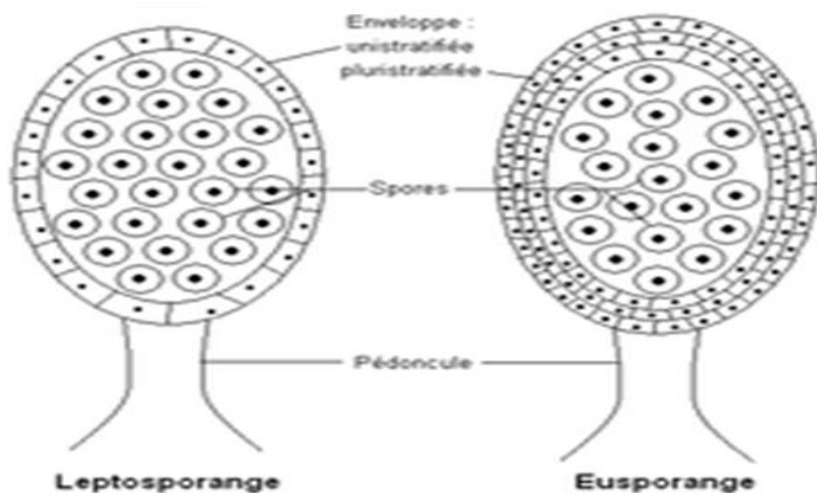


Figure 88 : les différents types de sporanges

*Les Eusporangiés : présentent des sporanges à parois épaisses formés de plusieurs assises cellulaires. Le nombre de spores produits est variable et élevé. Divisé en deux ordres :

Ordre1 : *Ophiglossales* : où les sporanges sont groupés en épis.

Ordre 2 : *Martiales* : où les sporanges sont regroupés sur la face dorsale des feuilles (en sores).

***Les léptosporangiés** : présentent des sporanges à paroi mince formés d'une seule assise cellulaire. Ils comportent un seul ordre

-Ordre *Filicales* :

Cet ordre comprend de nombreuses familles qui sont répartit d'après le mode de développement des sporanges dans un sore.

Famille des *Osmondaceae* : Famille primitive, dans laquelle les sporanges sont portés par la face dorsale des frondes et contiennent un grand nombre de spores.

Famille des *Polypodiaceae* : La famille la plus nombreuse des ptéridophytes avec 200 genres et 5000 espèces environ. Le sporange est pourvu d'un anneau mécanique vertical et libère un nombre réduit de spores (32 à 64). Les sporanges sont portés sur la face dorsale des frondes où ils sont groupés en sores, protégés chez la plupart des espèces par un repli membraneux de l'épiderme ou indusie de forme variable. La disposition des sores permet de différencier les espèces.

- Sores situés dans la face inférieure des pinnules, au voisinage des nervures.

Exemple : *Polypodium vulgare* et *Ceterach officinarum*

- Sores linéaires sur le bord du limbe

Exemple : *Pteridium aquilinum* et *Adiantum capillus veneris*

- Sores allongés ou linéaires situés sur le côté des nervures.

Exemple : *Asplenium felix-femina* et *Adiantum nigrum*