

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



Université 8 mai 1945-Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de
l'Univers
Département SNV

**Polycopié pour la deuxième année Biologie Tronc
Commun**

Botanique

Elaboré par Dr. ZEBSA Rabah

Année Universitaire 2020/2021

Préface**Liste des figures****Introduction générale 1****PREMIERE PARTIE : Algues et Champignons****1. Les Algues.....1**

1.1. Les Algues procaryotes (Cyanophytes / Cyanobactéries)..... 1

1.2. Les Algues eucaryotes.....5

1.2.1. Morphologie.....6

1.2.2. Cytologie.....10

1.2.3. Reproduction (notion de gamie, de cycle de développement).....12

1.3. Systématique et particularités des principaux groupes.....19

1.3.1. Les Glaucophyta.....19

1.3.2. Les Rhodophyta.....21

1.3.3. Les Chlorophyta et les Streptophyta..... 24

1.3.4. Les Haptophyta, Ochrophyta, Dinophyta, Euglenozoa, Cryptophyta, Cercozoa.....32

2. Les champignons et lichens.....41

2.1. Problèmes posés par la classification des champignons.....42

2.2. Structure des thalles (mycéliums, stroma, sclérote).....45

2.3. Reproduction.....49

2.4. Systématique et particularités des principaux groupes de champignons.....51

2.4.1. Les Myxomycota.....51

2.4.2. Les Oomycota.....56

2.4.3. Eumycota (Chytridiomycota, Zygomycota, Glomeromycota, Ascomycota, Basidiomycota).....58

2.5. Une association particulière algue-champignon : les lichens.....80

2.5.1. Morphologie.....81

2.5.2. Anatomie.....83

2.5.3. Reproduction.....83

DEUXIEME PARTIE : Les Embryophytes**1. Les Bryophytes : Morphologie et reproduction des différents embranchements.....88**

1.1. Marchantiophytes.....88

1.2. Anthocérotophytes.....93

1.3. Bryophytes <i>s. str.</i>	95
2. Les Ptéridophytes : Morphologie et reproduction des différents embranchements.....	100
2.1. Lycophytes.....	100
2.2. Sphenophytes (= Equisétinées).....	103
2.3. Filicophytes.....	105
3. Les Gymnospermes sensu lato.....	109
3.1. Les Cycadophytes: notion d'ovule.....	111
3.2. Les Ginkgophytes.....	112
3.3. Les Coniférophytes: notion de fleur, d'inflorescence et de graine.....	114
3.4. Les Gnétophytes: groupe charnière.....	117
4. Les Angiospermes.....	120
4.1. Appareil végétatif et notion de morphogénèse: croissance des tiges, feuilles et Racines.....	120
4.2. Morphologie florale (organisation de la fleur, inflorescences).....	121
4.3. Biologie florale: microsporogénèse et macrosporogénèse.....	125
4.4. Graines et fruits.....	128
4.5. Notion de systématique moderne, cladogénèse et principaux taxons. Présentation des classifications (Engler 1924, APG II).....	130

PREFACE

Le cours de Botanique est programmé pour les étudiants du 2^{ème} année Biologie Tronc Commun. Le but principal de cette matière est de faire une formation à la description, la nomenclature et la classification des espèces végétales, et leur représentation dans un seul corps hiérarchisé phylogénétiquement ordonné. Egaleme^{nt}, ce cours nous a permet d'expliquer la physiologie et la reproduction des plantes.

La botanique joue un rôle essentiel dans de nombreux domaines de la vie. L'étude des plantes dans les soins de santé contribue au développement de nouveaux médicaments et traitements pour les grandes maladies. Le travail de botanique dans l'agriculture aide les agriculteurs à utiliser des techniques de plantation et de culture optimales pour améliorer l'efficience et l'efficacité lors de la culture des cultures.

A travers ce cours, les étudiants ou les botanistes étudient des divers aspects des plantes. Certains botanistes étudient les effets de différents types de pollution sur les plantes. Ils utilisent ce qu'ils ont appris pour conseiller les décideurs et aider à protéger les espèces menacées et les zones naturelles. L'important travail des botanistes est essentiel à la conservation de l'environnement.

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1 : Structure et organisation d'une cellule de cyanobactérie.....	3
Figure 2 : Synechococcus.....	4
Figure 3 : <i>Chroococcus</i>	5
Figure 4 : Principaux plans d'organisation des cyanobactéries.....	6
Figure 5 : Les différents types de thalle.....	8
Figure 6 : Thalle à cavité interne.....	9
Figure 7 : Les types de ramification.....	9
Figure 8 : Les bases de fixation des thalles.....	10
Figure 9 : Type archéoplastidié.....	12
Figure 10 : Type mésoplastidié.....	12
Figure 11 : Type néoplastidié.....	13
Figure 12 : Reproduction asexuée ou végétative chez les algues.....	14
Figure 13 : Reproduction sexuée chez les algues	14
Figure 14 : Reproduction sexuée et asexuée chez les algues.....	15
Figure 15 : Un cycle trigénétique chez les algues.....	16
Figure 16 : Cycle monogénétique haplophasique : Cas de la Spirogyre.....	17
Figure 17 : Cycle monogénétique diplophasique : Cas du Fucus.....	18
Figure 18 : Cycle digénétique : cas de <i>Ulva lactuca</i>	19
Figure 19 : Cycle trigénétique : cas d' <i>Antithamnion</i>	19
Figure 20 : Les glaucophyta.....	21
Figure 21 : Les algues rouges « Rhodophytes » ou « Rhodophyta »	22
Figure 22 : Les chlorophyta (algues vertes)	26
Figure 23 : Les Zygomycètes	27
Figure 24 : Les plastes des Zygomycètes.....	28
Figure 25 : Les Chlorophycées	29
Figure 26 : Les Charophycées	30
Figure 27 : Les Streptophyta	32
Figure 28 : Les Haptophyta	33
Figure 29 : (A) Pavlovophyceae ; (B) Prymnesiophyceae	34
Figure 30 : Les Ochrophyta	35
Figure 31: Les Dinophyta	37

Figure 32 : Les Euglenozoa	38
Figure 33 : Les Cryptophyta	40
Figure 34 : les types des filaments des champignons.....	47
Figure 35 : Septomycètes (Filaments cloisonnés appelés hyphes) et Siphomycètes (Filaments non cloisonnés appelés siphons)	48
Figure 36 : (A) Thalle unicellulaire, (B) thalle plasmodial.....	49
Figure 37 : Morphologie d'un champignon.....	49
Figure 38 : Les formes des périthèces, des apothécies ou des cléistothèces chez les ascomycètes	50
Figure 39 : Les éléments de reproduction.....	51
Figure 40 : Les myxomycètes.....	54
Figure 41 : Cycle de vie des myxomycètes.....	55
Figure 42 : Les Oomycota.....	57
Figure 43 : Cycle de vie des Oomycota.....	58
Figure 44 : Les Eumycota.....	60
Figure 45 : Présentation de la phylogénie fongique.....	61
Figure 46 : Les Chytridiomycota.....	62
Figure 47 : Fraises moisies couvertes de mycélium de <i>Rhizopus</i>	64
Figure 48 : Les zygomycota.....	65
Figure 49 : Reproduction sexuée (A, B) et asexuée (C, D) chez les zygomycota.....	66
Figure 50 : Cycle de vie de Zygomycota.....	66
Figure 51 : Glomeromycota.....	68
Figure 52 : Un mycorhize arbusculaire.....	69
Figure 53 : Spores d'un champignon Glomeromycota (les cercles brunâtres).....	71
Figure 54 : Les Ascomycota.....	74
Figure 55 : Cycle de vie d'Ascomycota.....	76

Figure 56 : Les Basidiomycota.....	79
Figure 57 : Des basides sur les branchies d'un champignon. Chaque baside produit quatre tiges (sterigmata) et les basidiospores se développent aux extrémités de ces tiges.....	80
Figure 58 : Les lichens.....	82
Figure 59 : Les différentes formes des lichens.....	83
Figure 60 : Morphologie interne des lichens.....	84
Figure 61 : Les Marchantiophytes.....	89
Figure 62 : cycle de vie des Marchantiophytes.....	91
Figure 63 : Les Anthocérotophytes.....	93
Figure 64 : Cycle de vie des Anthocérotophytes.....	95
Figure 65 : Exemples des Bryophytes.....	97
Figure 66 : Schéma simplifié d'une mousse du genre <i>Phylum</i>	98
Figure 67 : Cycle de reproduction des Bryophytes.....	98
Figure 68 : Cycle biologique des Bryophytes.....	99
Figure 69 : Les Lycophytes.....	101
Figure 70 : Cycle de vie des Lycophytes.....	102
Figure 71 : Les Sphenophytes.....	103
Figure 72 : L'appareil sporifère d'un Sphénophyte.....	104
Figure 73 : Prothalles de Prêles.....	105
Figure 74 : Les Filicophytes.....	106
Figure 75 : Sporange et prothalle des Fougères.....	108
Figure 76 : Reproduction des Filicophytes.....	109
Figure 77 : Les Gymnospermes.....	110
Figure 78 : Les Cycadophytes.....	111
Figure 79 : Les Ginkgophytes.....	112
Figure 80 : Les Coniférophytes.....	115
Figure 81 : Les Gnétophytes.....	118
Figure 82 : Structure d'une fleur.....	121
Figure 83 : Inflorescences de type monopodial.....	123
Figure 84 : Quelques exemples de cymes.....	124
Figure 85 : Structure de l'anthère.....	125

Figure 86 : Structure du grain de pollen.....	125
Figure 87 : Etapes de la formation d'un grain de pollen.....	126
Figure 88 : Classification moderne des Angiospermes.....	130
Tableau 1 : Caractéristiques des différents embranchements des algues eucaryotes.....	42

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

La Botanique est la branche de la biologie qui traite de l'étude des plantes, y compris leur structure, leurs propriétés et leurs processus biochimiques. Sont également inclus la classification des plantes et l'étude des maladies des plantes et des interactions avec l'environnement. Les principes et les découvertes de la botanique ont fourni la base de sciences appliquées telles que l'agriculture, l'horticulture et la sylviculture.

Les plantes font partie intégrante de la vie humaine. Ils sont utilisés dans divers aspects de la vie quotidienne. La botanique étudie les caractéristiques et les utilisations de ces plantes et est donc très importante.

L'importance de la botanique peut être comprise par les points suivants :

- La botanique traite de l'étude de différents types de plantes, de ses utilisations et de ses caractéristiques pour influencer les domaines de la science, de la médecine et de la cosmétique.
- La botanique est la clé du développement des biocarburants tels que la biomasse et le méthane qui sont utilisés comme alternatives aux carburants fossiles.
- La botanique est importante dans le domaine de la productivité économique car elle est impliquée dans l'étude des cultures et des techniques de culture idéales qui aident les agriculteurs à augmenter le rendement des cultures.
- L'étude des plantes est également importante pour la protection de l'environnement. Les botanistes énumèrent les différents types de plantes présentes sur terre et peuvent sentir quand les populations végétales commencent à décliner.

Enfin, l'objectif général de cette brochure est d'avoir une idée sur la taxinomie (description des caractères diagnostiques et différentiels) et la systématique (dénombrement et classification des taxons dans un certain ordre), la morphologie végétale (décrivant les organes ou parties des végétaux)...etc. Egalement, la connaissance fine des végétaux trouve des applications dans les domaines de la pharmacologie, la sélection et l'amélioration des plantes cultivées en agriculture, en horticulture, et en sylviculture...etc.

PREMIERE PARTIE: Algues et Champignons

PREMIERE PARTIE : Algues et Champignons**1. Les Algues**

Les algues comprennent un embranchement de procaryotes (les cyanobactéries) et, d'autre part, dix groupes d'eucaryotes :

- Embranchement des Cyanophyta
- Embranchement des Glaucophyta
- Embranchement des Rhodophyta
- Sous-règne des Chlorobionta = Viridiplantae
- Embranchement des Cryptophyta
- Embranchement des Euglenozoa, classe des Euglenophyceae
- Embranchement des Cercozoa, classe des Chlorarachniophyceae
- Embranchement des Haptophyta
- Embranchement des Dinophyta
- Embranchement des Ochrophyta

1.1. Les Algues procaryotes (Cyanophytes / Cyanobactéries)**1.1.1. Définition et systématique**

Les cyanobactéries appartiennent au règne des bactéries dans l'arbre du vivant. Ce sont des organismes phylogénétiquement anciens, de type procaryotes Gram négatifs, vivant dans un large éventail d'écosystèmes. Morphologiquement, les cyanobactéries sont très diverses allant des petites formes unicellulaires (formant le picoplancton, dont la taille est inférieure à 2-3 μm), jusqu'aux formes de plus grandes tailles, coloniales, filamenteuses ou ramifiées.

Les cyanobactéries ont la particularité de présenter des propriétés communes à la fois aux organismes photosynthétiques eucaryotes (appelées communément « les microalgues ») et/ou aux bactéries. Les caractéristiques communes aux cyanobactéries et aux bactéries sont :

- ❖ l'absence de membranes nucléaire et plastidiale, de mitochondries, de réticulum endoplasmique et de dictyosome .
- ❖ la présence d'une paroi cellulaire caractéristique des bactéries Gram- comprenant de la muréine).

Comme les microalgues eucaryotes, les cyanobactéries possèdent de la chlorophylle a et deux photosystèmes (les photosystèmes I et II). Elles utilisent l'eau comme donneur d'électrons et font une photosynthèse productrice d'oxygène. Elles possèdent des pigments photosynthétiques particuliers communs à certaines algues (e.g. les Rhodophytes ou les Cryptophytes) appelées les phycobiliprotéines. Certains genres de cyanobactéries ont aussi de vraies ramifications et des jonctions cellulaires permettant les échanges de cellule à cellule (Figure 1).

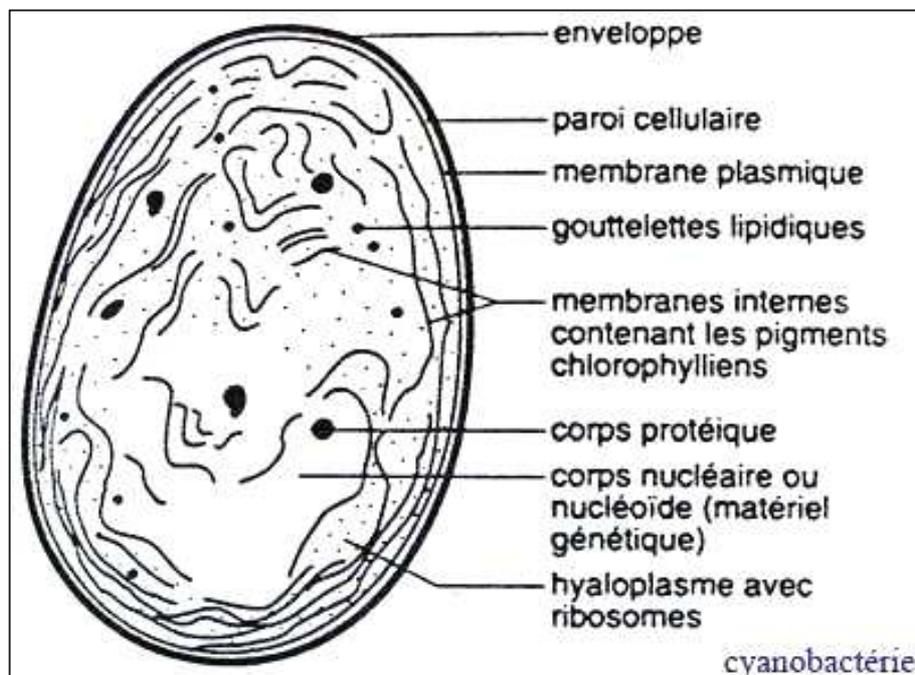


Figure 1 : Structure et organisation d'une cellule de cyanobactérie.

La classification des cyanobactéries, d'un point de vue taxonomique, est gouvernée par deux codes

- le Code international de nomenclature botanique (ICBN : Code of botanical nomenclature) :
- le Code international de nomenclature des procaryotes (ICNP International code of nomenclature of prokaryotes).

La classification botanique est basée sur la morphologie des cellules, la présence d'enveloppes ou de gaines, le type de division cellulaire et des données de phylogénétique moléculaire.

La classification des procaryotes, considère les caractéristiques morphologiques et certaines propriétés physiologiques, cytologiques et biochimiques de cultures de cyanobactéries

axéniques ; elle n'est pas basée sur le concept d'espèce . Cependant, ces deux classifications reconnaissent les mêmes sections ou ordres et les différences se situent principalement dans les taxons inférieurs (e.g. le niveau de l'espèce).

1.1.2. Morphologie

Les cyanobactéries présentent une grande diversité de formes et de tailles .Elles sont cependant regroupées en trois grands types d'organisation morphologique :

- Unicellulaire ;
- coloniale ;
- filamenteuse pluricellulaire.

Les cyanobactéries unicellulaires peuvent présenter des formes de type sphérique, cylindrique ou encore ovoïde. La multiplication cellulaire de ces individus se fait par fission binaire .Les organismes présentant ce type de morphologie et ne formant pas de colonies sont généralement des picocyanobactéries dont la taille est $< \text{à } 2\text{-}3 \mu\text{m}$ (e.g. *Synechococcus*) (Figure 2).

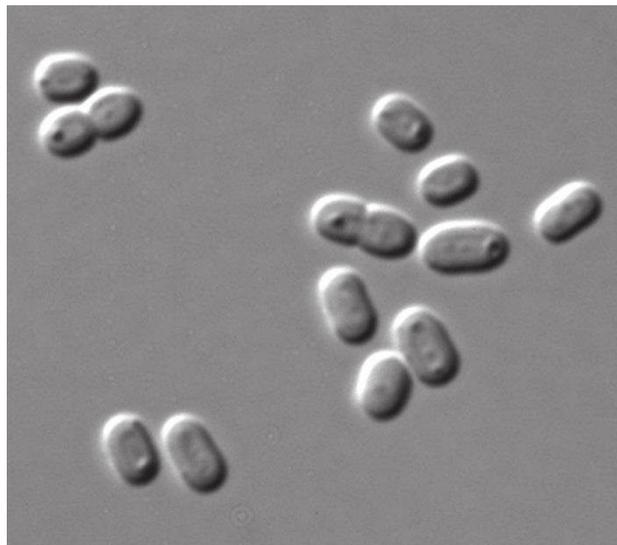


Figure 2 : *Synechococcus*

Les formes unicellulaires peuvent également former des agrégats au sein d'un mucilage (composé entre autres d'exopolysaccharides) suite à des divisions cellulaires multiples et former des colonies de forme plus ou moins régulière selon les espèces considérées (O/Chroococcales) (Figure 3).



Figure 3 : *Chroococcus*

Les formes filamenteuses (ou trichomes) issues de divisions cellulaires sur un plan unique, présentent des organisations de type unisériées (O/Oscillatoriales, O/Pseudanabaenales, O/Nostocales) ou plurisériées (une ou plusieurs séries de cellules jointives). Certaines d'entre elles sont pourvues d'une gaine de polysaccharides, ou sont entourées d'une couche de mucilage ou encore présentent des ramifications (vraies ou fausses, O/Stigonematales). Les formes filamenteuses se dispersent généralement par fragmentation du trichome au niveau de cellules dégénérantes appelées nécriidies (Figure 4).

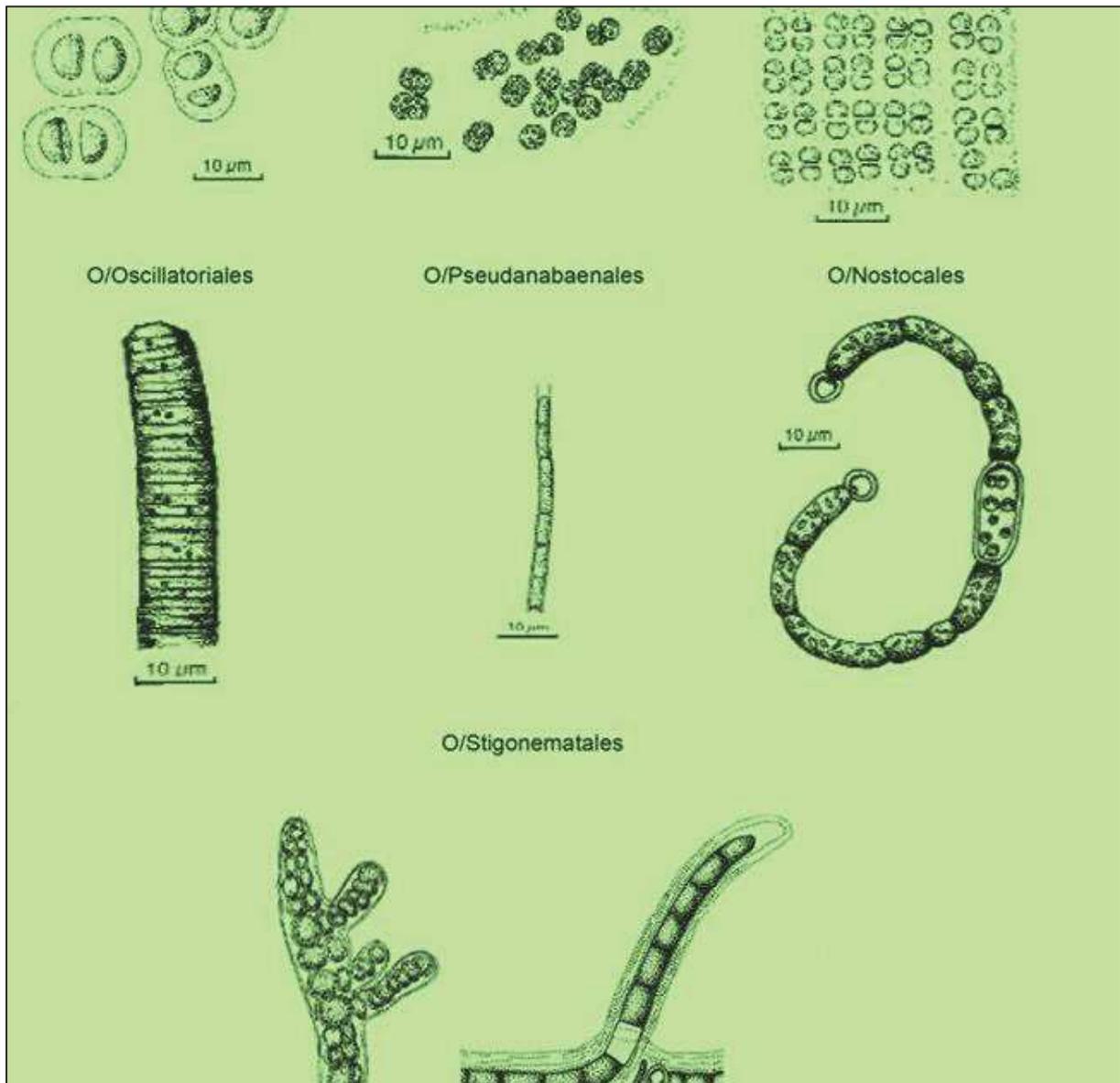


Figure 4 : Principaux plans d'organisation des cyanobactéries

1.2. Les Algues eucaryotes

Les Algues, ou Phycophytes sont des Thallophytes chlorophylliens, c'est à dire des organismes capables de photosynthèse. Elles sont donc autotrophes. Les Algues sont typiquement des organismes aquatiques. Elles sont fréquentes aussi en eau douce (lacs, mares, ruisseaux). Elles sont plus rares en milieu aérien. Pour réaliser la photosynthèse, les Algues sont tributaires de la lumière. Or celle-ci est absorbée par l'eau et à quelques mètres de profondeur l'éclairage devient insuffisant pour assurer une assimilation compensant les pertes dues à la respiration. Les Algues sont limitées pour cette raison en milieu aquatique à une zone

superficielle qui en général ne dépasse pas 40 à 60 mètres de profondeur (ce qui à l'échelle océanique représente une mince pellicule ; au-delà, le milieu marin est dépourvu de producteurs).

On distingue dans les populations algales deux grands ensembles. Le premier est constitué d'espèces qui flottent ou nagent en pleine eau ; elles sont en général microscopiques et souvent unicellulaires. Elles forment la partie végétale et productrice du plancton et phytoplancton (du gr. plankton = errant). Le second ensemble – appelé phytobenthos (du gr. benthos = fond) – est constitué par des espèces fixées au fond. Elles constituent en particulier une riche frange de végétation sur le littoral. Parmi ces Algues côtières se rencontrent des espèces dont les thalles atteignent de grandes dimensions et un degré élevé d'organisation pluricellulaire. Les Algues ont des couleurs variées dues à la présence de pigments masquant plus ou moins la chlorophylle. Ce caractère conduit à subdiviser le groupe en trois grandes lignées qui s'opposent par un ensemble de caractères biochimiques, structuraux et fonctionnels : les Algues Vertes, les Algues Brunnes et les Algues Rouges. Chaque lignée renferme des espèces unicellulaires, considérées souvent comme primitives et des espèces pluricellulaires de complexité croissante dans lesquelles la division du travail physiologique est progressivement plus marquée.

L'identification des espèces des algues fait fréquemment appel aux caractéristiques de la structure et de la croissance (parfois observables à la loupe) et à celles qui sont liées à la cytologie ou à la reproduction (qui ne sont bien analysables qu'au microscope). En conséquence, l'étude d'une algue nécessite d'envisager successivement les rubriques suivantes: morphologie, structure, croissance, cytologie et reproduction.

1.2.1. Morphologie

Il convient d'envisager quatre sous-rubriques correspondant:

- ✓ A la forme générale du thalle ;
- ✓ A la base de fixation du thalle sur le substrat ;
- ✓ Au type général de ramification ainsi qu'au port ;
- ✓ A la taille des individus.

A. Forme générale du thalle :

- Filamenteux ;
- En cordon cylindrique ;
- Légèrement aplati, elliptique en coupe ;
- Foliacé, très aplati ;
- En lame ou ruban ou lanière, toujours aplati mais plus étroit que dans la catégorie précédente ;
- Toujours de grande taille à l'état adulte et montrant nettement une différenciation en trois parties: une base importante, un stipe cylindrique ou plus ou moins aplati, une fronde de forme variée.

Il faut enfin noter que certains thalles présentent une cavité interne ou d'autres particularités morphologiques les rendant facilement identifiables ; certains autres sont plus ou moins calcifiés (Figure 5 et 6).



Figure 5 : Les différents types de thalle

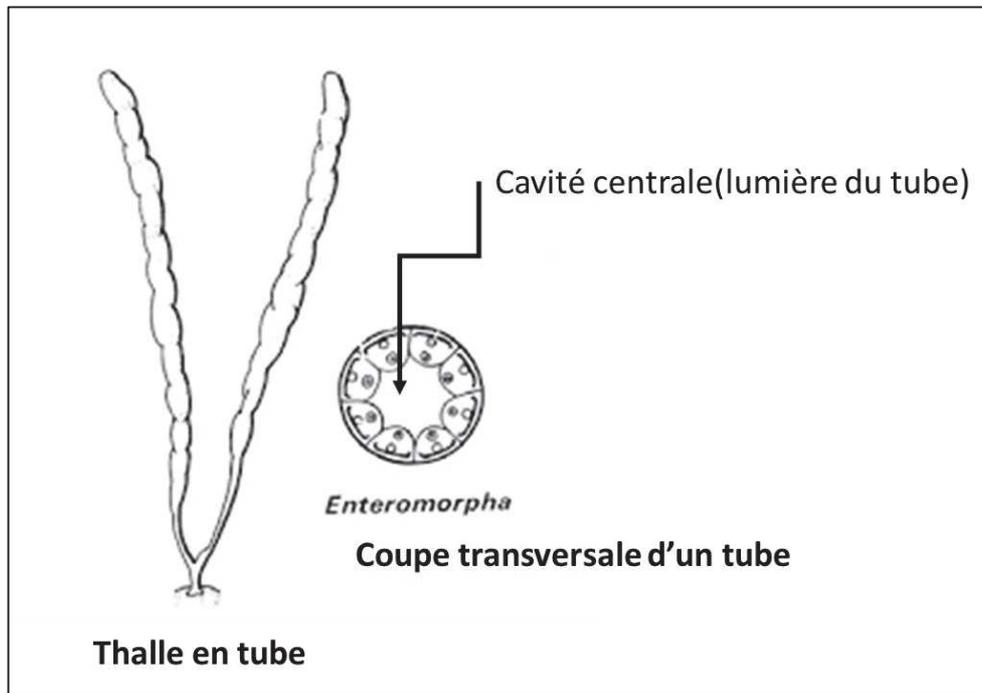


Figure 6 : Thalle à cavité interne

B. Type de ramification

La ramification peut être: dichotome, verticillée, alterne ou opposée (Figure 7).

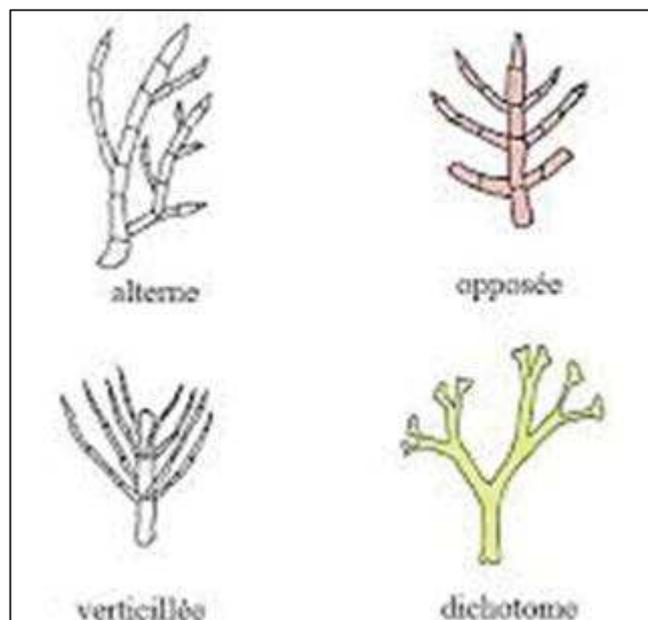


Figure 7 : Les types de ramification

C. Fixation du thalle sur le substrat

Il faut noter que les macro-algues sont très généralement fixées (les exceptions étant rares, comme *Chaetomorpha linum*), mais ces végétaux marins sont fréquemment arrachés par la mer et rejetés en épaves sur les côtes. A cette occasion, soulignons qu'il ne faut collecter pour détermination que des thalles entiers possédant leur base dont on peut schématiquement considérer les types ci-dessous:

- simple différenciation du thalle plus ou moins discoïde appliquée sur le substrat et difficile à distinguer du reste du thalle ;
- système rhizoïdal plus ou moins cylindrique ou ramifié et visible à l'oeil nu ;
- système de rhizoïdes unisériés ou en tout cas très simples et visibles seulement au microscope (parfois discernables à la loupe);
- base très large pouvant être en forme de cal (*Fucus*) ou de haptères (*Laminaria*) ;
- la base peut être enfouie plus ou moins dans le substrat (stolons) et dans ce cas une grande attention doit être portée à la récolte des échantillons (*Caulerpa*) (Figure 8).

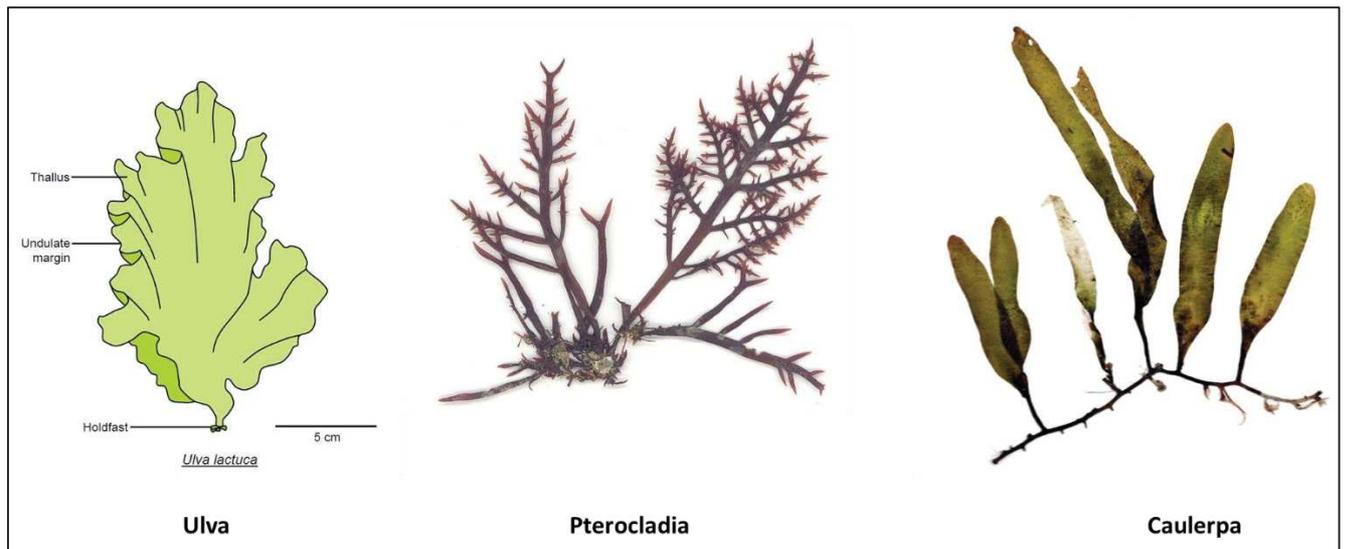


Figure 8 : Les bases de fixation des thalles

D. La taille des individus

On distingue classiquement :

- Individus adultes de taille relativement grande, dépassant généralement 0,3 m et formant la strate arborescente.
- Individus de taille moyenne (de 0,1 à 0,3 m) formant la strate arbustive (ou buissonnante).

- Individus de petite taille ($< 0,1$ m) formant la strate gazonnante.
- Individus plus ou moins étroitement appliqués sur le substrat et formant la strate encroûtante.

1.2.2. Cytologie

La prise en compte de l'organisation cellulaire qui nécessite l'utilisation du microscope est fondamentale dans l'étude des algues. Elle concerne l'étude du noyau, des vacuoles et du cytoplasme cellulaire qui comprend de nombreux éléments figurés avec en tout premier lieu le système plastidial.

Les plastes contiennent les pigments photosynthétiques. Ils sont constitués d'une membrane limitante entourant un stroma au sein duquel on distingue :

(a) les thylacoïdes qui portent les pigments ; (b) des différenciations particulières nommés pyrénoides, (c) des substances de réserve comme l'amidon chez les Chlorophytes.

On peut distinguer 3 types d'organisation plastidiale correspondant sans doute à une évolution :

- ❖ *Type archéoplastidié* : la cellule ne contient qu'un seul plaste qui peut être pariétal (appliqué contre la paroi de la cellule) comme chez *Ulva* ou central et dans ce dernier cas généralement étoilé comme chez *Porphyra*. Ce type de plaste peut ou non contenir des pyrénoides et des substances de réserves (Figure 9).

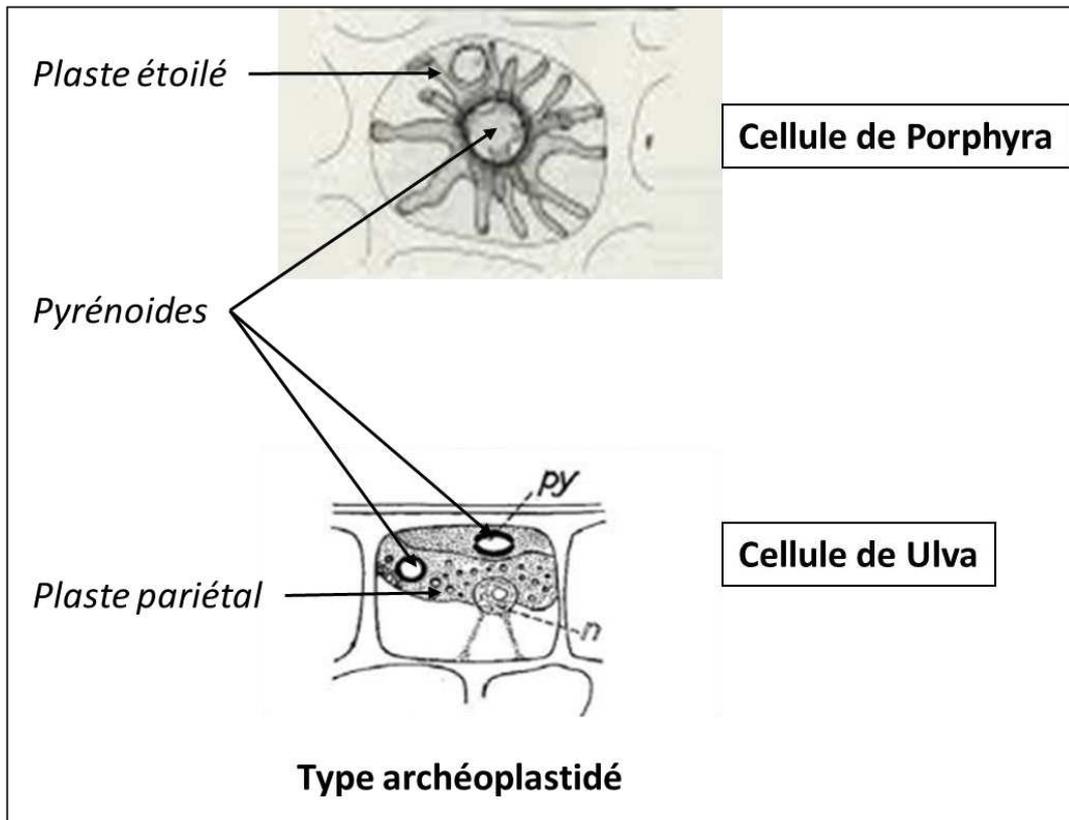


Figure 9 : Type archéoplastidié

- ❖ **Type mésoplastidié** : la cellule contient un réseau de territoires plastidiaux réunis entre eux par de simples trabécules plus ou moins colorés et chaque territoire plastidial peut ou non posséder un pyrénioïde (exemple Cladophora) (Figure 10).

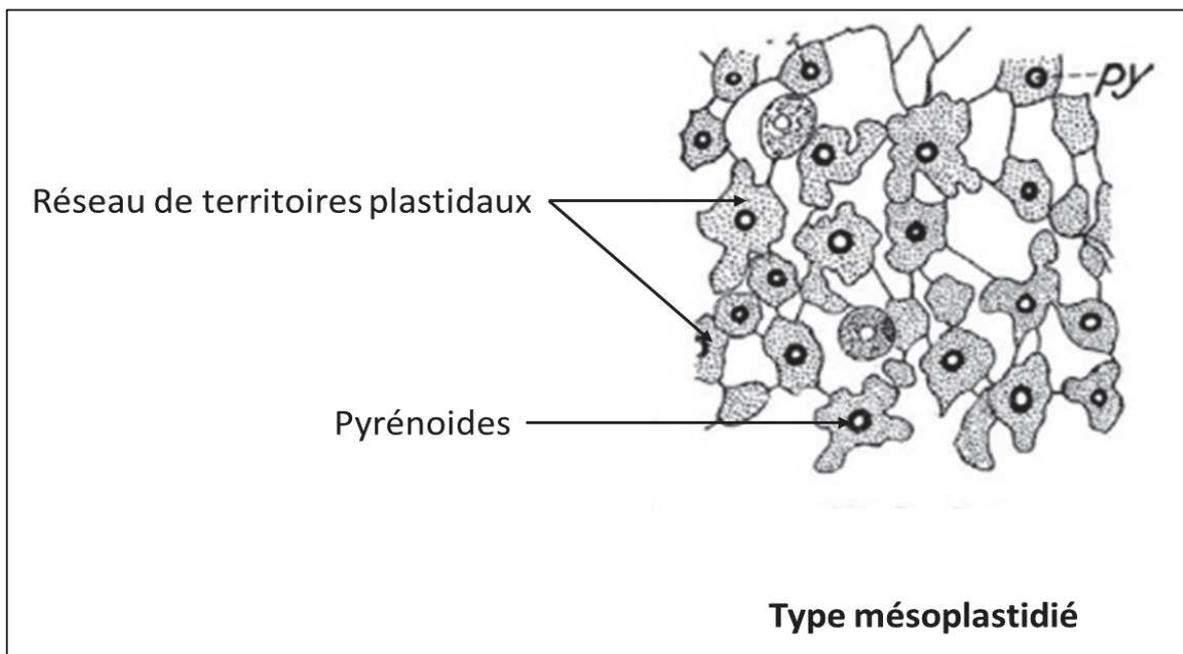


Figure 10 : Type mésoplastidié

- ❖ **Type néoplastidié** : chaque cellule contient un grand nombre de plastes indépendants qui peuvent ou non porter des pyrénoïdes. Chez les Chlorophytes on distingue le type homoplastidié correspondant à des plastes ayant tous la même structure et le type hétéroplastidié dans lequel il y a une différenciation entre des chloroplastes assurant la photosynthèse et des amyloplastes assurant le stockage de l'amidon (*Caulerpa*) (Figure 11).

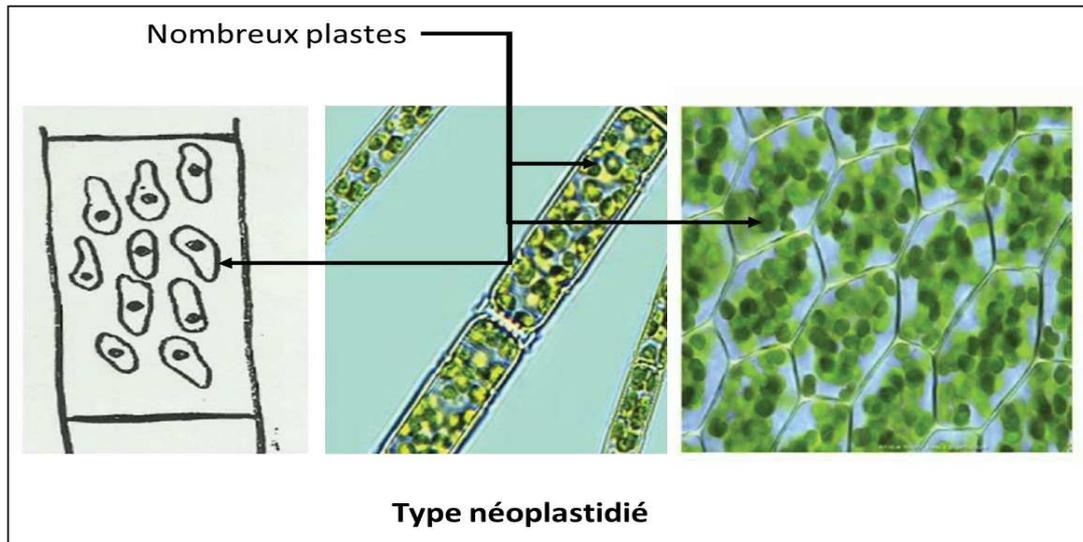


Figure 11 : Type néoplastidié

1.2.3. Reproduction (notion de gamie, de cycle de développement)

1.2.3.1. Reproduction

a) Reproduction asexuée ou végétative

C'est le mode de reproduction le plus fréquent se fait par :

- ✚ Bipartition végétative ou Division mitotique des espèces unicellulaires
- ✚ Fragmentation de thalles : chaque fragment régénère un thalle entier.
- ✚ Formation des spores directes formées à l'intérieur du sporocyste par division équationnelle ou mitose, ces spores directes redonnent un individu identique avec le même nombre de chromosomes. Ces spores sont à n (gamétophyte) ou à $2n$ (sporophytes) (Figure 12)

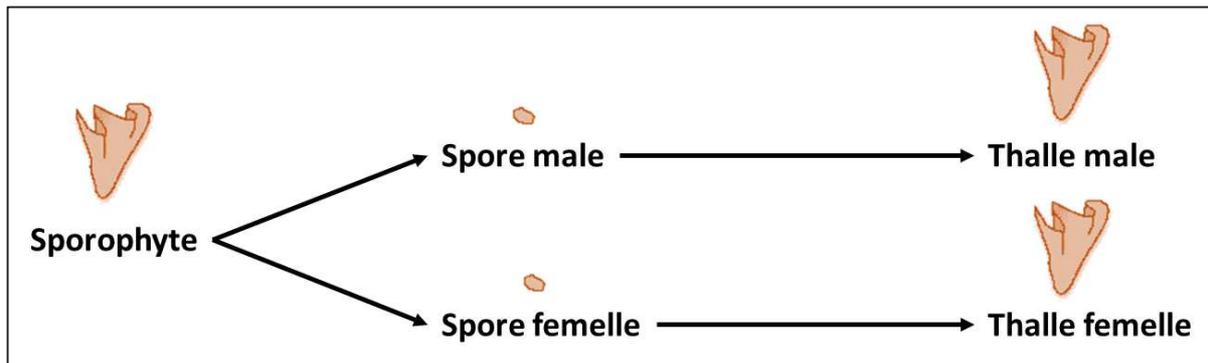


Figure 12 : Reproduction asexuée ou végétative chez les algues

b) Reproduction sexuée

À partir de cellules sexuelles, (gamètes) qui fusionnent et donne naissance à un œuf puis une nouvelle algue.

En général les gamètes sont produits et contenues dans un sac : le gamétocyste. L'enveloppe se déchire et les gamètes sont libérés en pleine eau. Les gamètes mâles et femelles peuvent provenir :

- D'un même thalle (monoïque) ;
- De thalles différents (dioïque) (Figure 13)

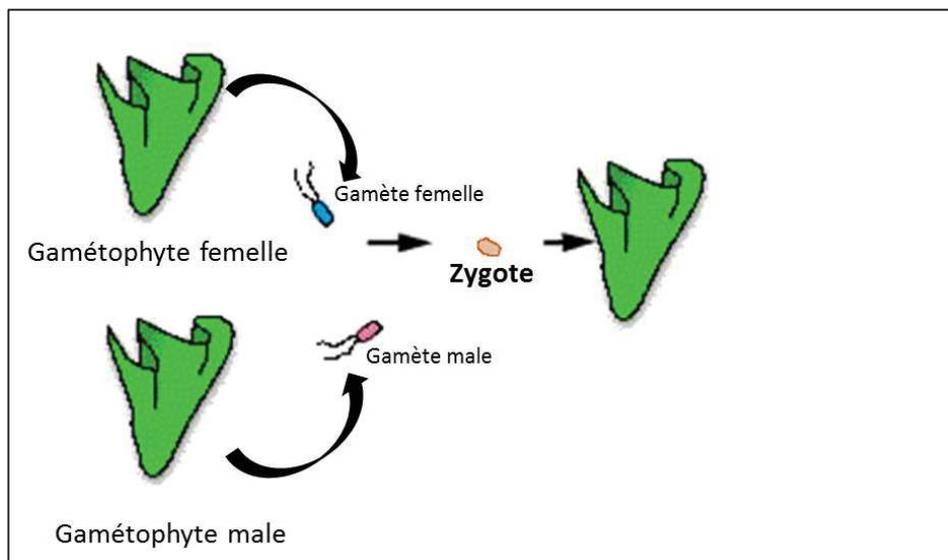


Figure 13 : Reproduction sexuée chez les algues

Des algues associent la reproduction sexuée à la reproduction asexuée. Ce sont les algues brunes et certaines algues vertes. Le sporophyte peut avoir une forme apparente aux gamétophytes mais il peut avoir une forme différente (Figure 14).

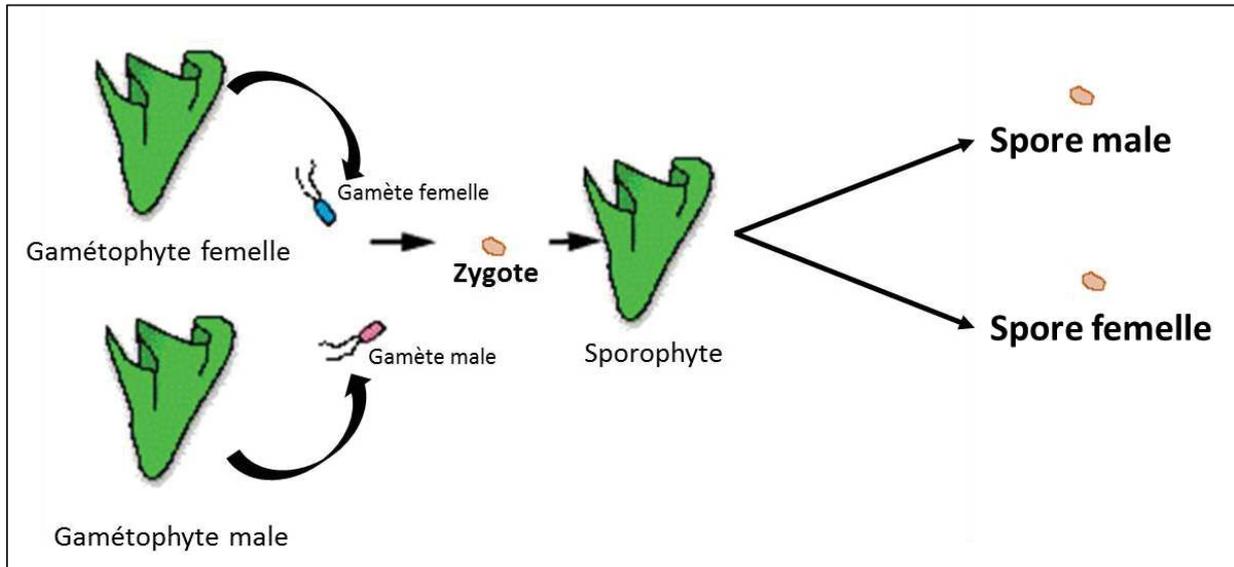


Figure 14 : Reproduction sexuée et asexuée chez les algues

Les algues rouges ont un cycle trigénétique (trois générations successives). Le thalle intermédiaire peut avoir une forme apparente aux gamétophytes mais il peut avoir une forme différente (Figure 15).

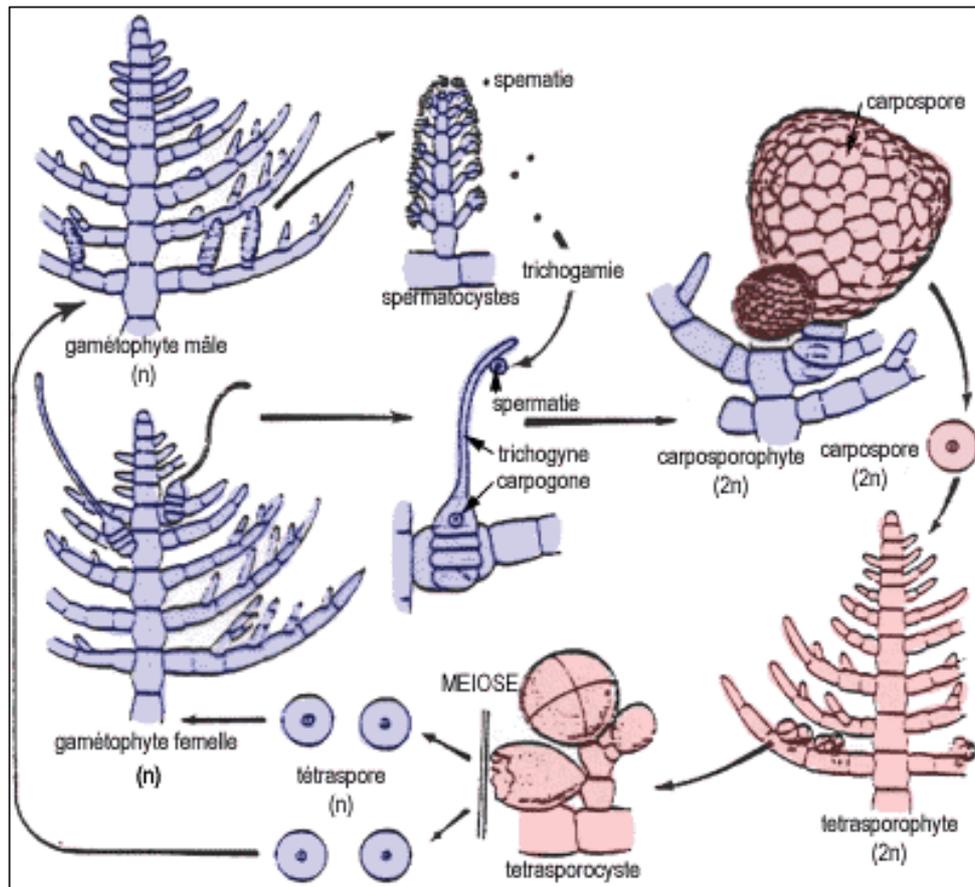


Figure 15 : Un cycle trigénétique chez les algues

1.2.3.2. Cycle de développement

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

- ✚ Les cycles digénétiques
- ✚ Les cycles monogénétiques
- ✚ Les cycles trigénétiques

a) Le cycle monogénétique :

➤ Cycle monogénétique haplophasique : Cas de la Spirogyre.

Dans le cas du **cycle monogénétique haplophasique**, on a un gamétophyte haploïde qui donne des gamètes. La fusion de deux gamètes mâle et femelle conduit à la formation d'un zygote diploïde qui va donner par méiose des spores haploïdes. Dans ce cas, la phase chromosomique diploïde est réduite au zygote. La méiose a lieu directement dans le zygote (Figure 16).

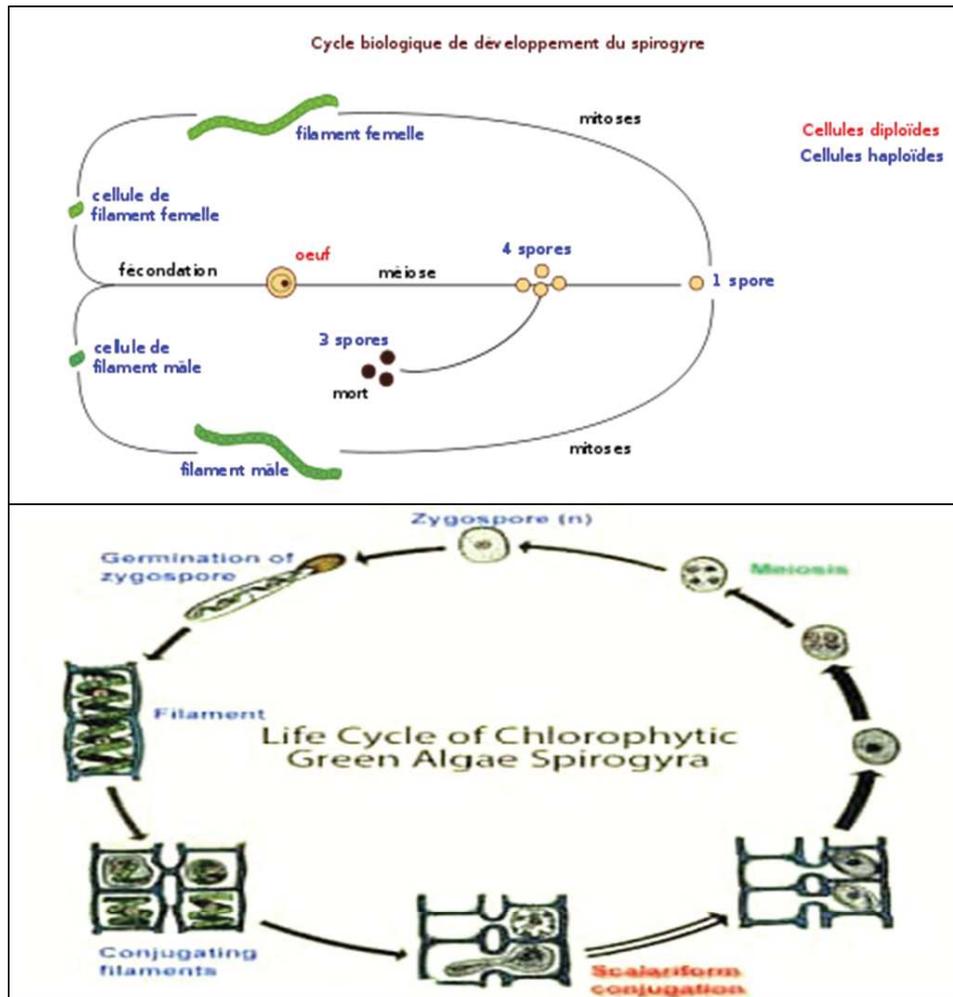


Figure 16 : Cycle monogénétique haplophasique : Cas de la Spirogyre

➤ **Cycle monogénétique diplophasique : Cas du Fucus.**

Pour le **cycle monogénétique diplophasique**, on a un individu diploïde qui donne naissance à des gamètes haploïdes par méiose. L'union de ces gamètes donne un zygote diploïde qui par mitoses successives donne naissance à un nouvel individu diploïde. La phase chromosomique haploïde est réduite aux gamètes et on a une seule génération qui est un gamétophyte diploïde si on se réfère uniquement à l'éthymologie du mot gamétophyte (= plante à gamètes). Par contre, si on prend en considération l'état de ploïdie de la cellule, cette génération unique serait un sporophyte diploïde et le gamétophyte haploïde aurait disparu, les cellules méiotiques (=spores) se "transformant" directement en gamètes (Figure 17).

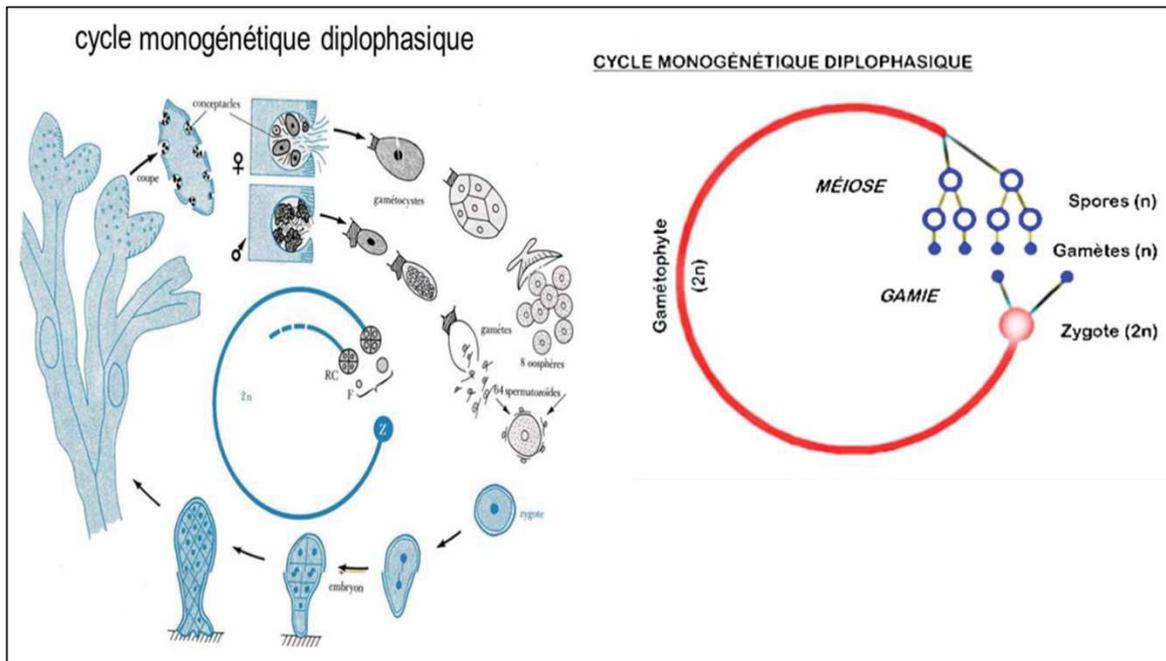


Figure 17 : Cycle monogénétique diplophasique : Cas du *Fucus*

b) Les cycles à deux générations ou digénétiques : cas de *Ulva lactuca* (la laitue de mer).

Typiquement à ces deux périodes correspondent deux sortes d'organismes, deux générations. La première est constituée de cellules haploïdes (n chromosomes). Au sein de ses organes reproducteurs, elle élabore par simples mitoses des cellules reproductrices à n chromosomes : les gamètes.

Cette génération est donc le gamétophyte (végétal qui génère les gamètes).

La fusion d'un gamète mâle et d'un gamète femelle (=fécondation ou gamie) donne naissance à un œuf (=zygote) diploïde dans les divisions successives par mitose sont à l'origine d'un organisme à cellules diploïdes qui représentent la seconde génération. Celle-ci forme par méiose (réduction chromatique) dans ses organes reproducteurs des cellules haploïdes appelés spores méiotiques ou tétraspores ou méiospores.

Cette génération est donc le sporophyte qu'il est préférable de nommer tétrasporophyte ou méiosporophyte. Chacune des spores par mitoses successives se développe en un nouveau gamétophyte haploïde (Figure 18).

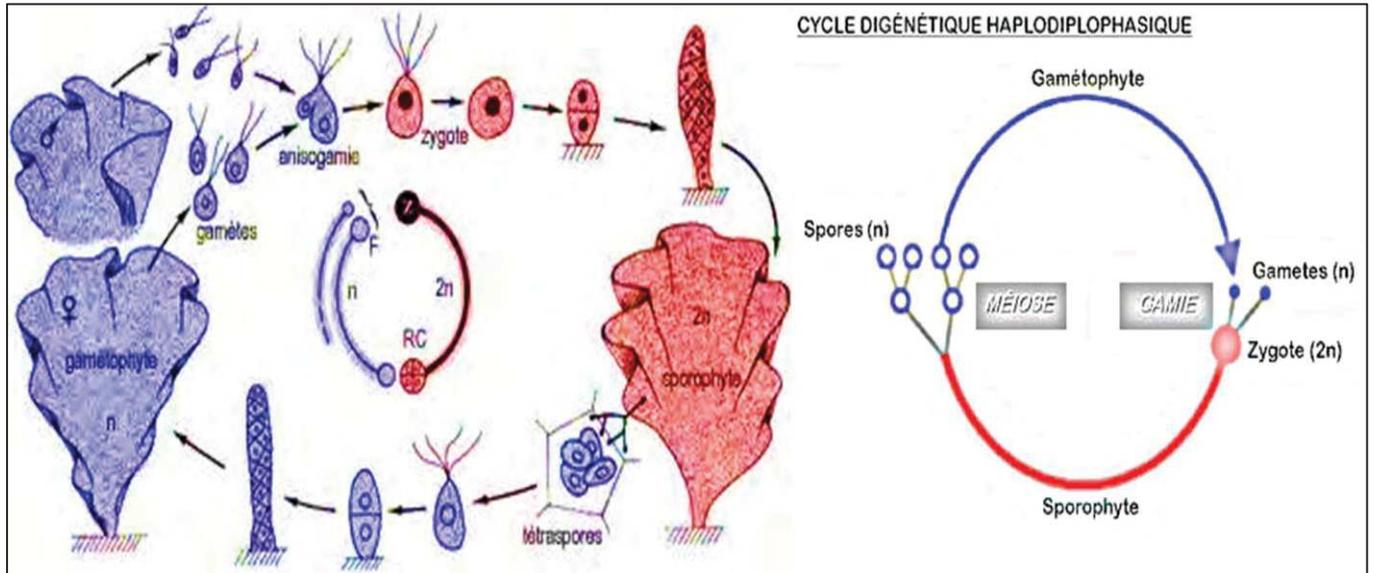


Figure 18 : Cycle digénétique : cas de *Ulva lactuca*

c) Cycle trigénétique : cas d'Antithamnion.

On a successivement trois formes distinctes du végétal; il y a trois générations. La première génération est un gamétophyte haploïde, elle produit les gamètes. Les deux autres générations sont des sporophytes diploïdes. Le premier sporophyte (génération supplémentaire toujours parasite du gamétophyte) produit par mitose des spores équationnelles diploïdes donnant naissance au deuxième sporophyte qui produira des spores méiotiques à l'origine des nouveaux gamétophytes (Figure 19).

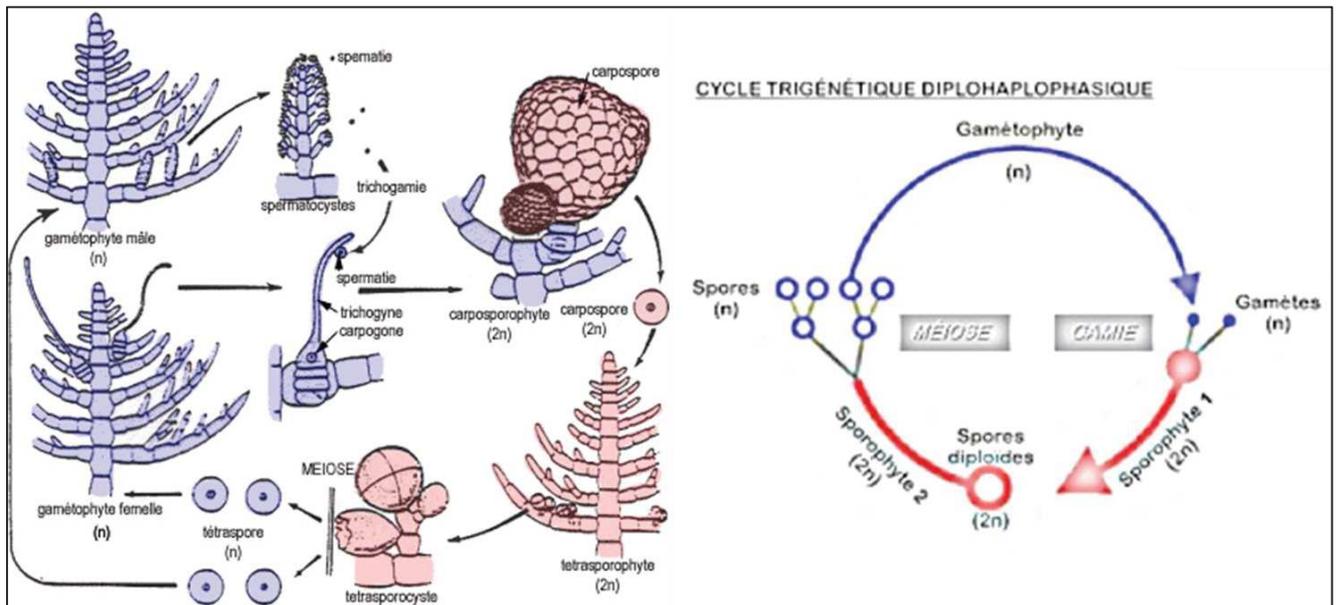


Figure 19 : Cycle trigénétique : cas d'Antithamnion

1.3. Systématique et particularités des principaux groupes

La classification moderne des algues accorde une importance prépondérante aux critères biochimiques (nature des pigments, des matières de réserve et des parois cellulaires) et cytologiques (organisation cellulaire, présence d'organites particuliers).

Sur base de la composition de l'équipement pigmentaire, trois grands ensembles peuvent être dégagés:

1°) Dominance de phycoérythrine: algues rouges. Un seul embranchement: **les Rhodophyta**. La chlorophylle a (éventuellement accompagnée de chl d) est toujours masquée par des phycobilines (seul groupe d'Eucaryotes, avec les Cryptophyta, possédant ces pigments!).

2°) Dominance de xanthophylles: lignée des algues brunes et dorées (jadis réunies sous l'appellation de Chromophytes). Quatre embranchements morphologiquement et cytologiquement très divers (**Cryptophyta, Chrysophyta, Phaeophyta, Pyrrophyta**) ont en commun un équipement pigmentaire comprenant: chl a + chl c et des xanthophylles abondantes masquant les chlorophylles; leur couleur varie du jaune doré au brun.

3°) Dominance des chlorophylles: lignée des algues vertes. Deux embranchements (**Euglenophyta** et **Chlorophyta** sensu lato) possèdent les chl a et b comme pigments dominants déterminant leur couleur verte caractéristique.

3.1.1. EMBRANCHEMENT DES GLAUCOPHYTA OU GLAUCOCYSTOPHYTA

Les Glaucophytes (*Glaucophyta*), ou Glaucocystophytes, du grec γλαυκός [glaukos], « glauque » c'est-à-dire « vert ou bleu tirant vers le gris », et φυτ(o) [phyt(o)], « végétal », constituent un groupe de diversité réduite : seules 14 espèces ont été décrites et sont actuellement acceptées. Ce sont des organismes unicellulaires structurés dorso-ventralement, au dos arrondi et au ventre aplati et présentant deux flagelles de longueurs inégales. Ils nagent dans les mares d'eau douce des régions tempérées (Figure 20).

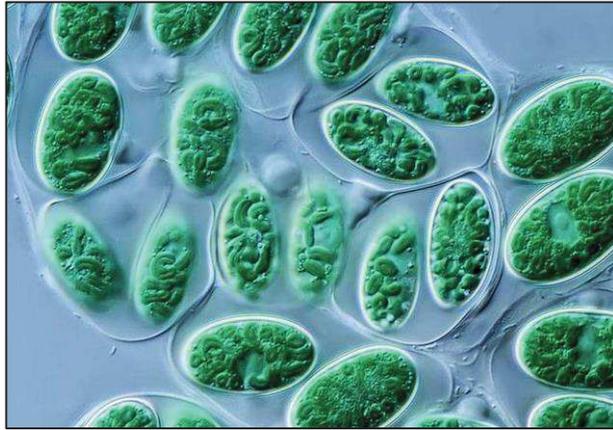


Figure 20 : Les glaucophyta

3.1.1.1. Caractères générales

Les chloroplastes des glaucophytes, comme les cyanobactéries et les chloroplastes des algues rouges, utilisent des phycobiliprotéines pour capturer certaines longueurs d'onde de la lumière; les algues vertes et les plantes supérieures ont perdu ce pigment. Les membres sont uniques en ce qu'ils contiennent des plastes inhabituels (appelés à l'origine "cyanelles") ayant deux membranes, avec plusieurs caractéristiques similaires aux cyanobactéries. Les plastes ne contiennent que de la chlorophylle a et des phycobilines. Semblables aux algues rouges, les plastes ont des thylakoïdes non empilés et des protéines collectant la lumière organisées en phycobilisomes. Actuellement, treize espèces ont été décrites dans cinq genres.

Les glaucophytes ont des mitochondries avec des crêtes plates et subissent une mitose ouverte sans centrioles. Les formes mobiles ont deux flagelles inégaux, qui peuvent avoir des poils fins et sont ancrés par un système multicouche de microtubules, tous deux similaires aux formes trouvées dans certaines algues vertes.

3.1.1.2. Classification

- Embranchement des *Glaucophyta*
- Classe des *Glaucophyceae*
 - Ordre des *Glaucocystales*
 - Famille des *Glaucocystaceae*
 - Genre *Cyanophora*
 - Genre *Glaucocystis*
 - Genre *Glaucocystopsis*
 - Genre *Gloeochaete*
 - Genre *Peliaina*
 - Genre *Strobilomonas*

3.1.2. EMBRANCHEMENT DES RHODOPHYTA

Les algues rouges, ou Rhodophytes (Rhodophyta), sont un grand groupe d'algues pour la plupart marines et pour la plupart multicellulaires (et le plus souvent fixées sur les rochers, les coquillages ou d'autres algues).

Elles sont caractérisées par une composition pigmentaire avec un seul type de chlorophylle, la chlorophylle a, des caroténoïdes et des pigments caractéristiques, les phycobiliprotéines (Figure 21).

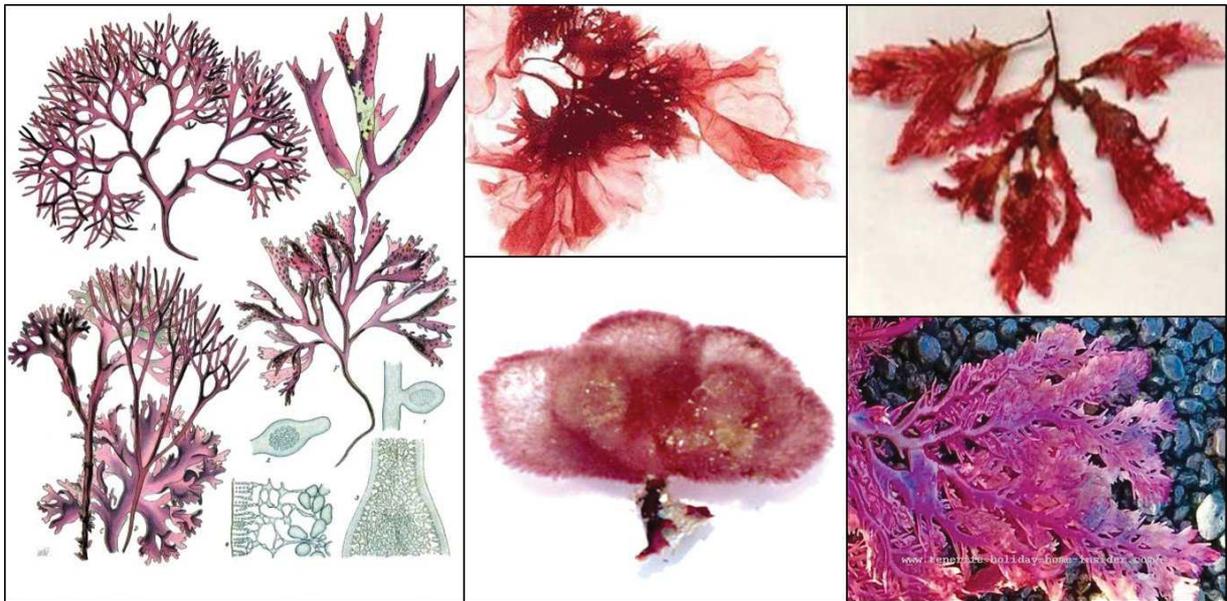


Figure 21 : Les algues rouges « Rhodophytes » ou « Rhodophyta »

3.1.1.1. Organisation

❖ Les pigments photosynthétiques

Les Rhodophytes contiennent des pigments rencontrés chez les autres végétaux, la chlorophylle a et des caroténoïdes, mais leur originalité consiste dans la présence de phycobilisomes comprenant les phycobiliprotéines : allophycocyanine (bleu), phycocyanine (bleu) et phycoérythrine qui donne la couleur rouge. Le chloroplaste peut alors être appelé rhodoplaste. L'organisation du chloroplaste est la suivante : les thylakoïdes sont libres et ne forment pas de grana (ceci est lié à la présence des phycobilisomes à la surface des thylakoïdes), ils sont répartis concentriquement dans le chloroplaste mais occupent tout l'espace, contrairement à ceux des Glaucophytes et des Cyanobactéries.

❖ Substances de réserves

L'amidon est stocké sous forme de vésicules dans le cytoplasme (et non dans le plaste comme chez les plantes et algues vertes) : l'amidon floridéen (aussi appelé rhodamylon).

❖ Organisation cellulaire

Les Rhodophytes sont caractérisées par une organisation cellulaire de type eucaryote, mais il faut noter l'absence de cils et de flagelles (à aucun stade du développement), par un gamète mâle non-mobile et par un cycle de vie digénétique ou trigénétique (comportant successivement des générations de gamétophytes, de carposporophytes dans les cycles trigénétiques et de (tétra)sporophytes).

❖ La paroi

Leur paroi pectocellulosique est de composition complexe. Elle contient de la cellulose dans sa partie interne ; mais également d'autres polysaccharides source d'agar (utilisé pour les milieux de culture bactérienne) et de carraghénanes (stabilisants industriels, présents dans les dentifrices, l'alimentation, les peintures...) dans sa partie externe.

3.1.1.2. Taxinomie

Les termes de Rhodoplantae ou de Rhodobiota (Rhodobiontes) proposés assez récemment par certains auteurs sont discutés. La dernière phylogénie en date propose de ne retenir que le terme de Rhodophyta (Rhodophytes) pour l'embranchement, avec deux sous-embranchements : Cyanidiophytina et Rhodophytina.

- Règne *Eukaryota*
- Embranchement *Rhodophyta*
 - Sous-embranchement *Cyanidiophytina*
 - Classe *Cyanidiophyceae*
 - Sous-embranchement *Rhodophytina*
 - Classe *Bangiophyceae*
 - Classe *Compsopogonophyceae*
 - Ordre *Compsopogonales*
 - Ordre *Erythropeltidales*
 - Ordre *Rhodochaetales*
 - Classe *Florideophyceae*
 - Sous-classe *Hildenbrandiophycidae*
 - Sous-classe *Nemaliophycidae*
 - Sous-classe *Ahnfeltiophycidae*
 - Sous-classe *Rhodymeniophycidae*
 - Classe *Porphyridiophyceae*
 - Ordre *Porphyridiales*
 - Famille *Porphyridiaceae*
 - Classe *Rhodellophyceae*
 - Ordre *Rhodellales*
 - Famille *Rhodellaceae*
 - Classe *Stylonematophyceae*
 - Ordre *Stylonematales*
 - Famille *Stylonemataceae*

3.1.1.3. Ecologie

Presque toutes marines, surtout des régions chaudes et tempérées. Epilithes ou épiphytes, parfois parasites. Grâce à leur équipement pigmentaire particulier, elles sont capables d'utiliser la lumière verte et peuvent vivre à des profondeurs d'où sont exclues les algues vertes et brunes (jusqu'à 100 m). Une espèce a été notée à 268 m de profondeur, record absolu chez les algues: à cette profondeur, l'intensité lumineuse n'atteint que 0,0005% de sa valeur à la surface.

Chondrus crispus et *Mastocarpus stellatus* (*Gigartina stellata*) sont souvent associées et vivent fixées au rocher. Ces deux espèces sont récoltées afin d'extraire les carraghénanes utilisés comme gélifiant dans l'industrie alimentaire.

Certaines algues rouges comme *Porphyra* sont consommées en Extrême-Orient. *Porphyra* est cultivée au Japon, sous le nom de nori elle intervient dans la confection des sushis. Certaines algues rouges sont abondantes dans les récifs de coraux. Les corallines produisent une enveloppe extracellulaire de carbonate de calcium et peuvent participer à la construction du récif de corail. Certaines algues rouges sont très résistantes à des conditions extrêmes et sont donc extrémophiles : par exemple, *Cyanidium caldarium* vit à un pH inférieur à 1 dans les sources acides.

3.1.3. EMBRANCHEMENT DES CHLOROPHYTA (ALGUES VERTES) ET LES STREPTOPHYTA

Embranchement très homogène au point de vue biochimique, très hétérogène au point de vue morphologique. Ces algues sont caractérisées par une couleur verte et des pigments de Chl a, b, (alpha), bêta-carotène, xanthophylles diverses (lutéine, zéaxanthine). Ces réserves sont sous forme d'Amidon vrai, accumulé dans les chloroplastes ou dans des plastes incolores particuliers (amyloplastés). Ces caractères rapprochent les Algues vertes des Plantes supérieures (Règne des Métaphytes), qui en seraient issues. Les plus anciens fossiles rapportés aux algues vertes sont des unicellulaires du Précambrien en Californie, datés d'environ 1,3 milliard d'années. Parmi les groupes pluricellulaires, seules les espèces à paroi calcifiée, en particulier les Characées, ont laissé des fossiles abondants mais aucun n'est plus ancien que 500 millions d'années (Figure 22).

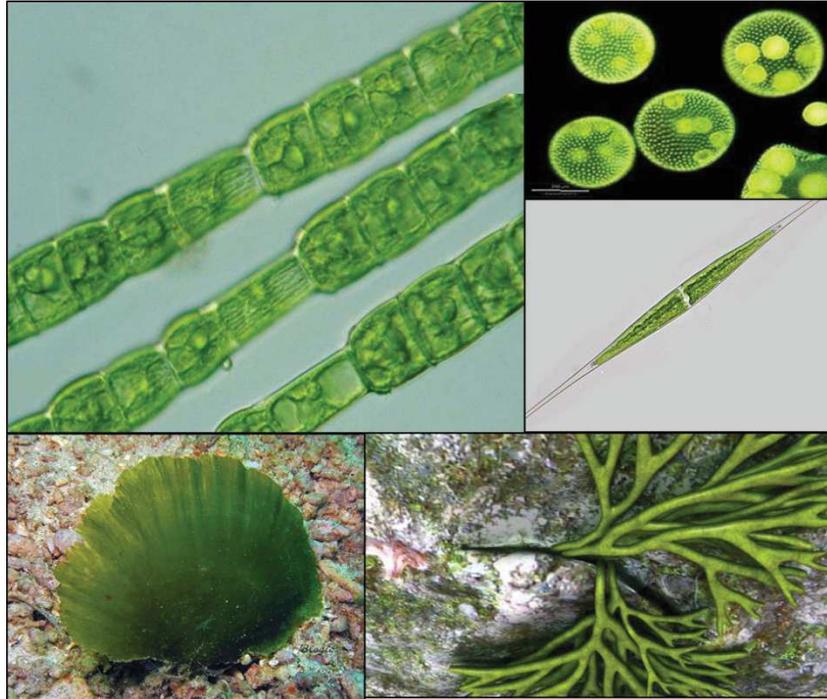


Figure 22 : Les chlorophyta (algues vertes)

Les systèmes anciens sont basés sur la morphologie externe du thalle et les modalités de la reproduction et reconnaissent 3 classes parfois élevées au rang d'embranchements autonomes: Zygothécées, Chlorophycées, Charophycées.

Cette classification apparaît actuellement artificielle et un système nouveau, fondé sur les caractères cytologiques (modalités de la division cellulaire, appareil flagellaire) a été proposé en 1975 :

- Classe des Zygothécées ou Conjugatophycées
- Classe des Chlorophycées
- Classe des Charophycées

A. Classe des Zygothécées ou Conjugatophycées

➤ Caractères générales

Les Zygothécées, appelées encore Conjuguées ou Conjugatophycées, forment l'une des classes des Chlorophytes. Elles se distinguent des autres algues vertes par deux caractères :

-d'une part, l'absence de toute cellule nageuse flagellée ;

-d'autre part, la reproduction sexuée par conjugaison (d'où leur nom) d'isogamètes amiboïdes.

Les cellules, toujours uninucléées, sont haploïdes. Elles peuvent être solitaires ou réunies en

filaments non ramifiés. Les Zygothycées sont divisées en deux ordres : Zygnématales et Desmidiées ; 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 (Figure 23).



Figure 23 : Les Zygothycées

➤ Structure et cytologie

L'étude de la membrane des Zygothycées en microscopie électronique a permis de reconnaître trois types de structure. Dans le premier, la membrane ne comporte ni pore ni sculpture (Zygnématales). Dans le deuxième, la membrane, percée de pores et pourvue d'épines, de stries, de réseau, présente une suture simple entre les deux hémisomates ; cette suture permet une élongation de la cellule après division (Desmidiées de la famille des Clostériacées). Dans le troisième type enfin, la membrane, percée de pores et ornée d'épines, verrues, présente entre les hémisomates non une suture mais un agrafage qui ne permet pas l'élongation de la cellule (famille des Desmidiées).

Les plastes des Zygothycées sont presque toujours munis de pyrénoides. Ces plastes sont de formes très variées : lame plate ou ruban chez *Mougeotia* ; ruban spiralé chez *Spirogyra* ; en forme de deux étoiles chez *Zygnema* et *Zygnematopsis*. Chez les Desmidiées, la structure du plaste est encore plus compliquée : cylindre creusé de sillons longitudinaux et chapelet axial de pyrénoides chez *Closterium* ; rubans parallèles et pariétaux chez *Pleurotaenium* ; double lame parallèle chez *Cosmarium* ; plastes triradiés ou polyradiés chez *Staurastrum* (Figure 24).

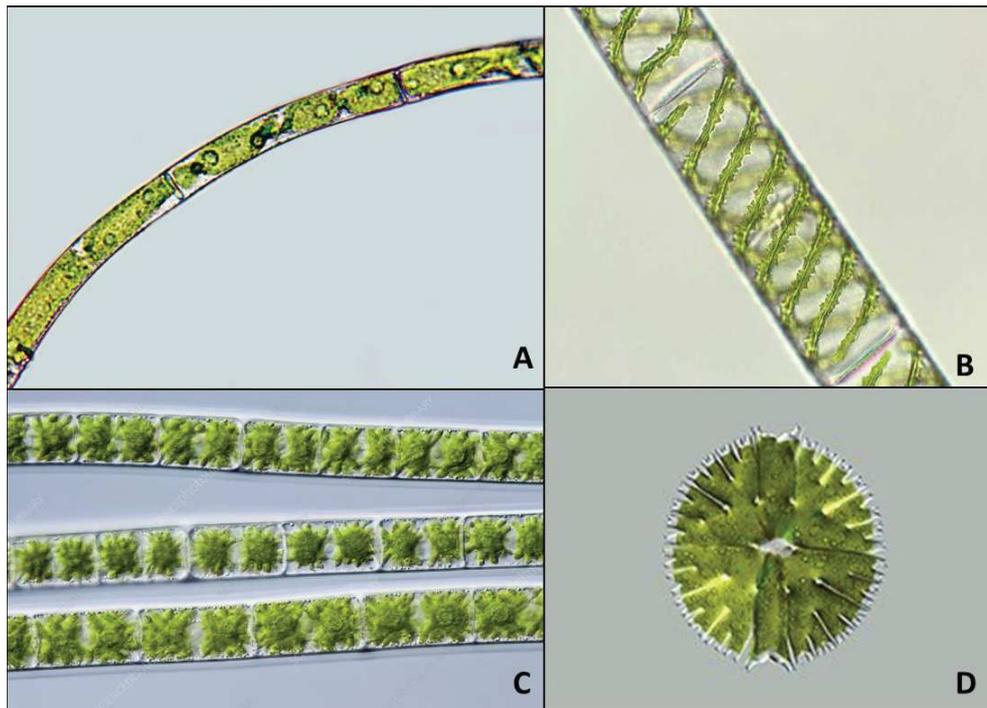


Figure 24 : Les plastes des Zygothécées : A : Lamelle plate (chez Mougeotia), B : Ruban spiralé (chez Spirogyra), C : Deux étoiles (chez Zygnema), D : Forme plus compliquée (chez les Desmidiées).

B. Classe des Chlorophycées

➤ Caractères générales et cytologie

Classe très diversifiée au point de vue de la morphologie du thalle et du cycle de reproduction. Chez la plupart des espèces, au moins un type cellulaire (spores ou gamètes mâles) montre 2 flagelles apicaux égaux et ressemble à des cellules végétatives du type Chlamydomonas.

La classe des Chlorophycées constitue le groupe le plus important et le plus varié de l'embranchement des Algues vertes ou Chlorophycophytes. Elle s'y distingue des Zygothécées par la présence de cellules reproductrices flagellées et par le mode de reproduction sexuée ; les Charophycées doivent aussi en être séparées en raison de la morphologie plus complexe de leur appareil végétatif et de leurs organes reproducteurs.

Les Chlorophycées sont toutes des algues eucaryotes à plastes verts renfermant de la chlorophylle *a* et de la chlorophylle *b*, associées à du β -carotène et à des xanthophylles identiques à celles des plantes supérieures. Toutefois, les Chlorophycées des ordres des Codiales, Derbésielles et Caulerpales, ainsi que quelques autres espèces, renferment en outre

dans leurs plastes des xanthophylles spéciales (siphonéine et siphonoxanthine). La morphologie de l'appareil plastidial est très variable selon les groupes et révèle une évolution très nette depuis les formes archéoplastidiées jusqu'aux formes néoplastidiées. Chez presque toutes les Chlorophycées, la substance de réserve fondamentale est de l'amidon vrai contenu sous forme de grains dans les plastes (Figure 25).

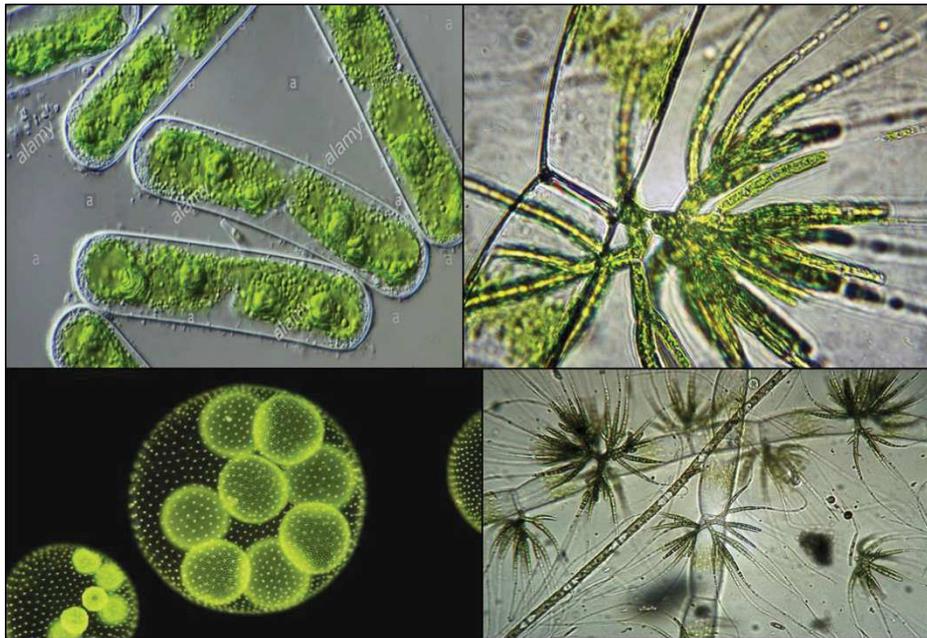


Figure 25 : Les Chlorophycées

➤ Reproduction

Reproduction asexuée par spores directes flagellées ou non. Chez les espèces cénobiales, les mitospores s'organisent immédiatement en cénobe-fils, parfois selon des modalités complexes (Volvox).

Reproduction sexuée. Les trois types fondamentaux de cycles de développement se rencontrent chez les algues vertes.

Modalités de gamie très diverses, mais jamais de cystogamie. Planogamie isogame (ex. : certaines *Ulva*), anisogame (ex.: certaines *Ulva*), oogamie (ex.: certains *Chlamydomonas*, *Volvox*). Chez les types siphonnés, les gamétocystes se forment par cloisonnement d'un diverticule du thalle; parfois la totalité du thalle se résout en gamètes (holocarpie). Les gamètes mâles ressemblent toujours à des *Chlamydomonas*.

➤ Ecologie

Les Chlorophycées montrent la plus large amplitude écologique de toutes les classes d'algues. Elles sont marines (planctoniques ou fixées), dulcicoles, (planctoniques ou fixées), terricoles, saxicoles ou épiphytiques (ex.: *Pleurococcus* formant une poudre verte caractéristique à la surface des troncs d'arbre). En mer, elles occupent le plus souvent les faibles profondeurs. Certaines Chlorophycées unicellulaires vivent sur neige en montagne; elles produisent de grandes quantités de caroténoïdes, qui les protègent du rayonnement solaire très intense; elles donnent à la neige une teinte rouge ou orange caractéristique. Certaines espèces unicellulaires (zoochlorelles) entrent en symbiose avec des animaux (planaires, mollusques) ou avec des champignons (symbiose lichénique). Les chloroplastes de certaines algues vertes cénocytiques (ex.: *Codium*) peuvent vivre en symbiose avec certains mollusques marins nudibranches. Le mollusque broute l'algue, mais les chloroplastes ne sont pas digérés : ils pénètrent dans certaines cellules du mollusque et y restent actifs; l'animal peut, dans ces conditions, produire plus d'oxygène qu'il n'en consomme et se comporte donc comme un photoautotrophe !

C. Classe des Charophycées

Chez les Algues vertes ou Chlorophycophytes, la classe des Charophycées constitue un groupe végétal isolé, à la fois très ancien (probablement apparu dès le Silurien supérieur) et relativement évolué. Elle comprend une seule famille, celle des Characées, avec sept genres et environ trois cents espèces, représentés principalement par les *Chara* et les *Nitella*. Par certains aspects, les Charophycées annoncent déjà les plantes supérieures. Leur originalité s'exprime surtout par une très haute complexité morphologique des organes reproducteurs. Maintes particularités cytologiques et écologiques s'ajoutent aux caractères morphologiques pour justifier la place à part qu'elles occupent dans le monde végétal actuel (Figure 26).



Figure 26 : Les Charophycées

➤ Morphologie

Le thalle des Charophycées est formé par un ensemble d'axes ramifiés et verticillés, les *cladomes*, offrant l'aspect d'une touffe chez les sujets de petite taille (quelques centimètres chez certaines espèces). Chez les individus de plus grande taille (jusqu'à 1 m) une convergence de formes s'établit avec certaines Phanérogames aquatiques (Cératophylles) dont les tiges sont elles-mêmes garnies d'une succession de verticilles superposés.

La germination de la « graine » (oospore) donne naissance à un petit cladome primaire et rudimentaire d'environ 1 cm de hauteur (le proembryon) qui produit lui-même un système de cladomes ramifiés, ou fronde, fixé par des rhizoïdes. Chaque cladome est formé par un axe à croissance indéfinie qui s'accroît par le jeu d'une cellule initiale apicale. Elle engendre une file de segments dont l'évolution aboutit à une alternance de nœuds très courts et d'entrenœuds allongés à structure en siphon. Le cloisonnement des cellules nodales aboutit à la différenciation de nouveaux cladomes. Ce sont des axes secondaires à croissance indéfinie, semblables aux axes primaires, et des rameaux pleuridiens (phylloïdes) courts, verticillés, à croissance définie, dont la structure rappelle celle des axes primaires et secondaires.

➤ Reproduction

La classe est caractérisée par un cycle oogame, monogénétique haploïde, mais surtout par des gamétocystes de structure complexe, protégés par des cellules stériles, annonçant les gamétanges tuniqués des Métaphytes. L'organe mâle est un globule, entouré d'écussons reliés au centre du globule par un pédoncule unicellulaire, le manubrium, et refermant plusieurs spermatocystes formant des chaînettes cellulaires. L'organe femelle est un nucule, formé d'une

paroi de 5 filaments hélicoïdaux, surmonté d'une couronne à 5 dents, et renfermant une oosphère géante. La fécondation donne un zygote entouré d'une paroi résistante, qui sédimente sur le fond. La méiose a lieu à la germination. Trois des méiospores constituent une poche nourricière, la quatrième produit un nouveau gamétophyte.

✚ Les Streptophyta

Les Streptophyta (ou Streptophytes) sont un infra-règne du sous-règne des Chlorobionta dans le règne des Plantae (Figure 27).

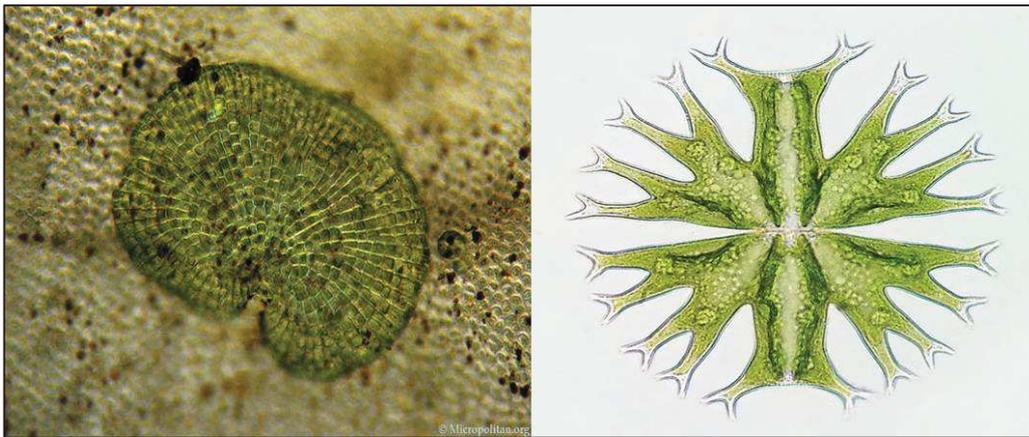


Figure 27 : Les Streptophyta

○ Caractères générales

Les Streptophytes, au sein de la « lignée verte » (les « Archaeplastida ou Plantae »), sont le groupe frère des Chlorophytes.

Elles comprennent celles des algues vertes autrefois regroupées dans le groupe basal paraphylétique des Streptophycophytes (incluant les Charophycées), ainsi que le groupe monophylétique des Embryophytes. Il n'est pas clair si le groupe des Mesostigmatophyceae est le groupe frère de toutes les autres Streptophytes, ou s'il est le groupe frère de l'ensemble {Chlorophytes + Streptophytes}.

On regroupe parfois sous le nom de Streptophytina (ou Streptophytes stricto sensu) les ordres des Charales et des Coleochaetales et les Embryophytes.

La photorespiration est réalisée par la glycolate oxydase (au lieu de la glycolate déshydrogénase). Egalement, elles sont caractérisées par l'absence de matrotrophie et une fécondation par zoïdogamie

- Classification

- les [Mesostigmatophyceae](#)
- les [Chlorokybophyceae](#)
- les [Klebsormidiophyceae](#)
- les [Zygnematophyceae](#)
- les [Charophyceae](#) et les [Coleochaetophyceae](#)
- les [Embryophyta](#) avec
 - les [Marchantiophyta](#) ou [Hepaticophyta](#)
 - les [Anthocerotophyta](#)
 - les [Bryophyta](#)
 - les [Tracheophyta](#) comprenant à leur tour
 - les [Lycophyta](#)
 - les [Monilophyta](#) : [Ophioglossales](#) et [Psilophyta](#), [Marattiales](#) et [Equisetophyta](#), et [Filicophyta](#)
 - les [Spermatophyta](#) : [Gymnospermae](#) et [Angiospermae](#)

1.3.4. Les Haptophyta, Ochrophyta, Dinophyta, Euglenozoa, Crytophyta, Cercozoa

1.3.4.1. Les Haptophyta

L'Haptophyta comprend 500 espèces d'algues principalement marines, dont beaucoup sont caractérisées par des écailles de calcite (carbonate de calcium) qui recouvrent la cellule (coccolithes). En particulier, *E. huxleyi*, qui est un haptophyte très abondant dans l'océan, a été considéré comme un composant critique des environnements marins en raison de sa double capacité à fixer le carbone environnemental par biominéralisation (carbonate de calcium, calcite) et par photosynthèse (Figure 28).

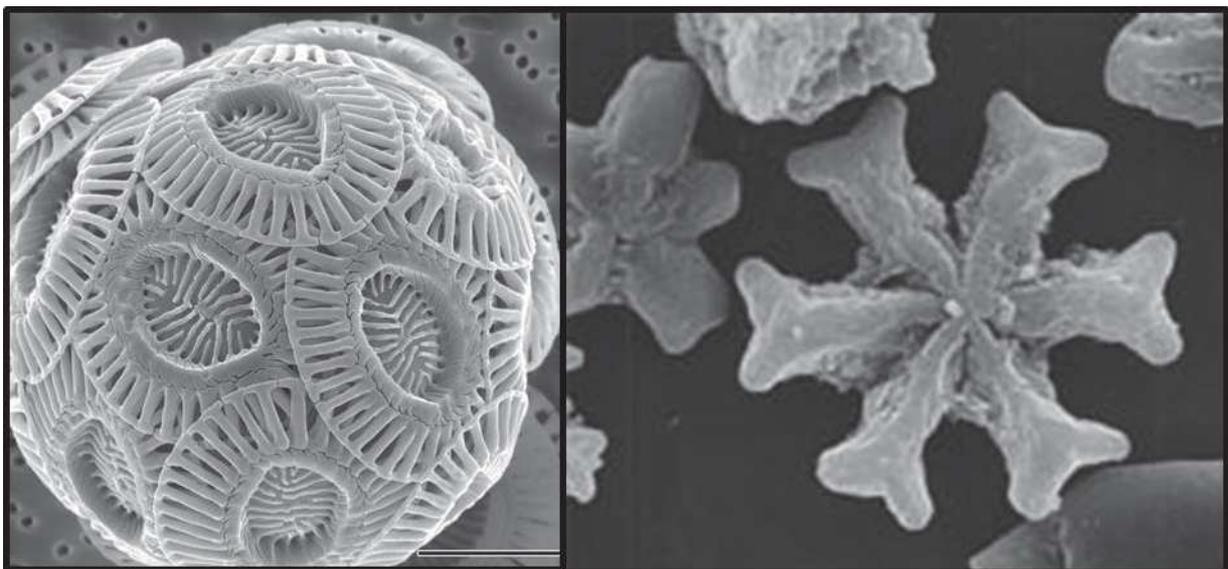


Figure 28 : Les Haptophyta

Les haptophytes ayant des coccolithes sont responsables de 50% des précipitations de carbonate de calcium dans les océans. L'impact des fleurs d'*Emiliana* est suffisamment important pour avoir une influence possible sur le climat mondial.

Parfois, ces fleurs atteignent une taille de 100 000 km² avec des accumulations de cellules pouvant affecter le climat local. Cela est dû aux propriétés optiques des coccolithes qui peuvent refléter une quantité importante de lumière solaire et de chaleur de l'eau.

L'étude de la minéralisation des coccolithes (coccolithogénèse) a également été analysée à l'aide de modèles d'expression génique dans des cultures d'*E. Huxleyi* élevées dans des conditions calcifiantes et non calcifiantes. Ces travaux ont identifié des protéines putativement liées à la coccolithogénèse. Il reste encore beaucoup à faire avec les protéines candidates pour vérifier leurs rôles dans la formation des coccolithes car beaucoup manquent d'homologues identifiables dans les bases de données de séquences publiques.

Comme les autres chromalvéolates (par exemple, les diatomées), les haptophytes contiennent un plaste secondaire dérivé d'un endosymbionte d'algue rouge avec de la chlorophylle c comme photopigment principal.

❖ Classification

La division Haptophyta peut être divisée en deux classes: les Pavlovophyceae contenant des espèces avec des flagelles inégaux et les Prymnesiophyceae contenant des espèces avec des flagelles égaux (Figure 29).

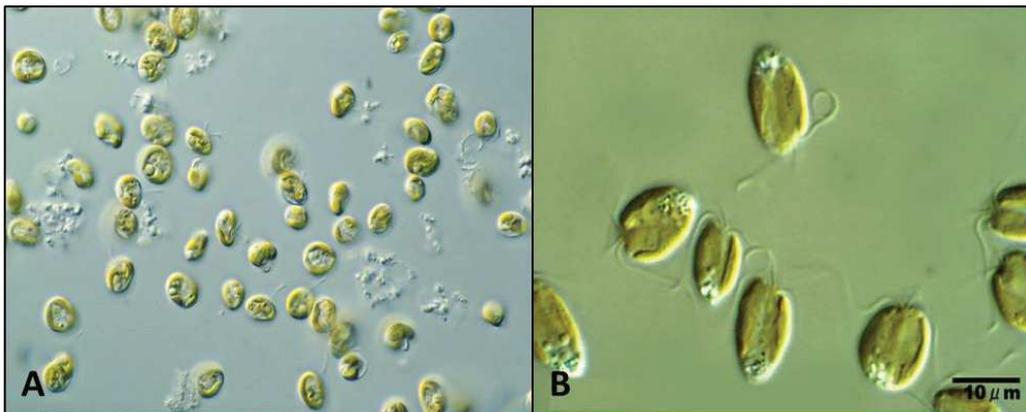


Figure 29 : (A) Pavlovophyceae ; (B) Prymnesiophyceae

En outre, Pavlova et les genres apparentés peuvent avoir une tache oculaire, et bien que dépourvus d'écailles organiques ou de coccolithes, ils peuvent posséder des corps en forme de bouton (écailles de bouton) sur la membrane plasmique. Cette séparation de deux classes basée

sur l'ultrastructure cellulaire a été constamment soutenue par des études moléculaires. Ces études ont également soutenu la séparation des Prymnesiophyceae en un certain nombre d'ordres, dont plusieurs contiennent des taxons de coccolithophore existants. Au sein de l'haptophyta, les coccolithophores représentent le plus grand groupe, comprenant 15 familles existantes ainsi qu'environ 30 familles de fossiles, tandis que les autres taxons d'haptophytes non calcifiants ne comprennent que 4 familles. Cette disparité a conduit certains chercheurs à ressusciter l'ancien nom de classe Coccolithophyceae, qui a priorité sur le nom Prymnesiophyceae; cependant, pour des raisons de stabilité nomenclaturale, ce dernier nom devrait être conservé, car il est utilisé depuis 30 ans.

1.3.4.2. Les Ochrophyta

Les algues Ochrophyta sont divisées en 20 classes (Guiry et Guiry, 2014). Dans la classe des Phaeophyceae, on trouve plus de 1800 espèces d'algues brunes (Guiry et Guiry, 2014). Les Dictyotales, Ectocarpales, Fucales et Laminariales sont les ordres qui incluent le plus d'espèces. Plusieurs espèces ont une valeur commerciale importante, comme les genres *Laminaria*, *Undaria*, *Macrocystis*, *Sargassum* et *Fucus* (Ito et Hori, 1989). Toutes les algues brunes sont pluricellulaires, la plupart vivent en eau salée et sont abondantes dans les zones tempérées-côtières en eau froide (Figure 30).

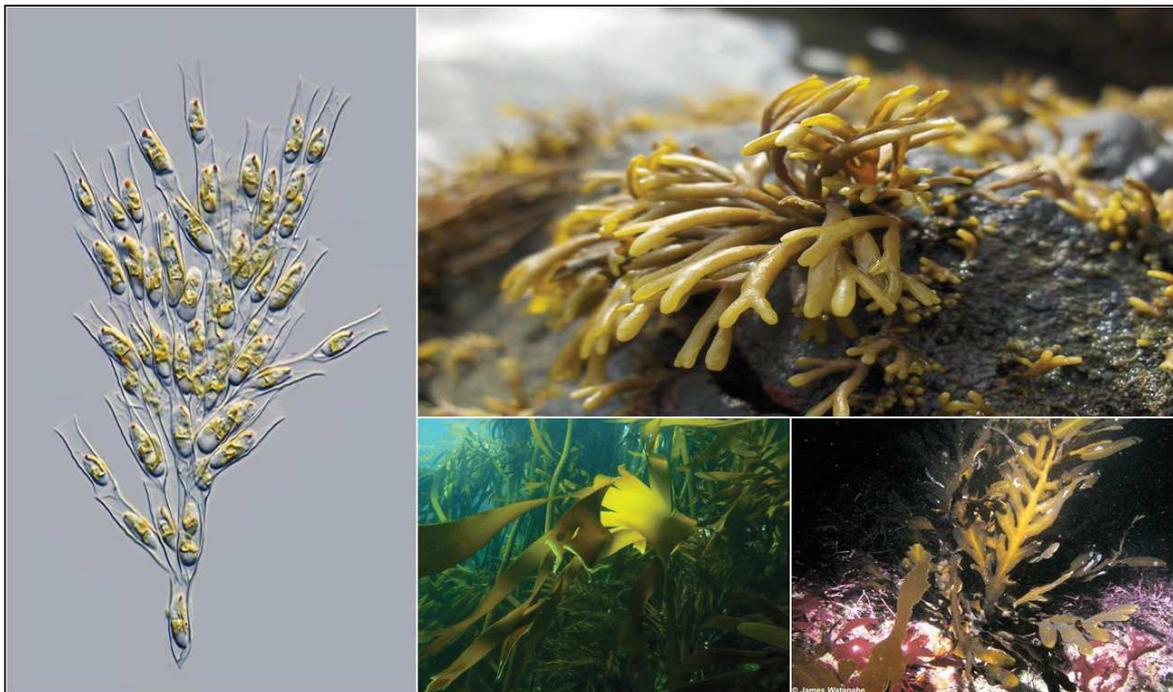


Figure 30 : Les Ochrophyta

❖ Caractères générales

Groupe monophylétique comprenant les autotrophes unicellulaires et filamenteux avec des plastes à 4 membranes probablement dérivé d'une algue rouge endosymbiotique.

Caractéristiques :

- fucoxanthine : "Lignée Brune"
- une paroi cellulosique,
- des réserves sous forme de β -1-3 glucanes solubles (laminarines stockées dans les vacuoles),
- des mitochondries à crêtes tubulaires
- un appareil cinétique à deux flagelles dissemblables.

Environ trois cents genres d'algues brunes (Lignée SAR, sous-règne Stramenopiles ou Heterokonta, embranchement Ochrophyta, classe Phaeophyceae) sont actuellement recensés. Depuis les premières classifications phénétiques basées sur les caractères morphologiques, l'avènement des concepts et méthodes des phylogénies moléculaires a résulté en d'innombrables apports dans le domaine de leur classification supragénérique. Malheureusement, les modifications taxinomiques subséquentes n'ont pas toujours été effectuées et après presque vingt ans de travaux visant à améliorer cette classification, il est parfois devenu difficile d'assigner correctement un genre à une famille et un ordre.

1.3.4.3. Les Dinophyta

Les Dinophytes (Dinophyta), encore appelées Dinoflagellés (Dinoflagellata) ou Péridiniens, sont une catégorie de protistes. Ce sont des micro-organismes aquatiques (marins ou dulçaquicoles). Ils sont très diversifiés en particulier par leurs comportements alimentaires. Certains sont (hétérotrophes, d'autres sont myxotrophes et d'autres encores sont des organismes photosynthétiques qui sont donc assimilés à des algues unicellulaires, en majorité biflagellées). 50 % environ des dinoflagellés sont hétérotrophes (Figure 31).

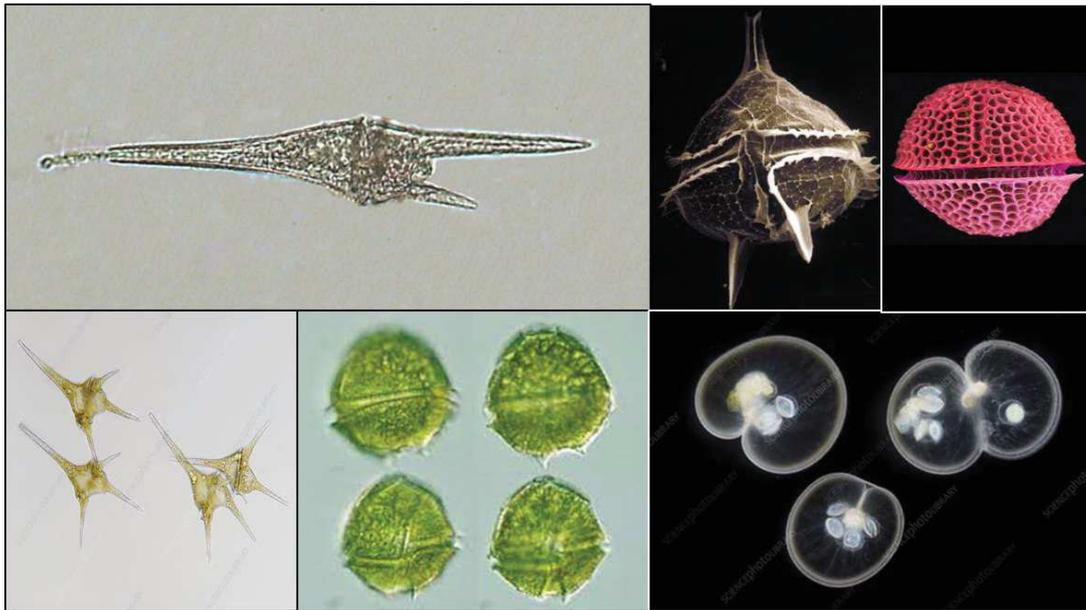


Figure 31 : Les Dinophyta

Ces microorganismes jouent un rôle trophique majeur, en particulier les protistes hétérotrophes herbivores qui régulent les populations de microalgues, et qui en mangeant ce phytoplancton en transfèrent les nutriments (mais aussi certains polluants qu'ils peuvent éventuellement bioconcentrer) vers les niveaux trophiques supérieurs (métazoaires, puis poissons, mammifères marins..).

❖ Caractères générales

Les Dinophytes sont caractérisés par des pigments de Chl a, c2, et caroténoïdes abondants (diadinoxanthine, diatoxanthine, dinoxanthine, péridinine) et des réserves d'amidon avec une couleur rouge-brunâtre. La paroi est sous forme de plaques cellulosiques polygonales sous la membrane plasmique.

La présence de deux flagelles latéraux, inégaux. La cellule se déplace en tournoyant. L'organisation cellulaire est très originale. Deux thèques séparées par un sillon équatorial parcouru par un des flagelles. Thèque inférieure avec un sillon longitudinal perpendiculaire au sillon équatorial et parcouru par le second flagelle. Cellule souvent protégée par une carapace de plaques cellulosiques polygonales

Certaines particularités cytologiques sont présentes comme les chromosomes visibles durant tout le cycle mitotique, ainsi que la membrane nucléaire et le nucléole (caractères considérés comme primitifs).

La reproduction soit asexuée par bipartition ou endosporulation, ou bien sexuée qui est très rare et/ou mal connue.

❖ Ecologie

Les Dinoflagellés font partie du plancton d'eaux douces et surtout des eaux marines. Certaines espèces sont aussi retrouvées dans la neige. D'autres espèces, les Zooxanthelles, vivent en symbiose avec des protistes ou des Invertébrés marins (éponges, Coraux, Vers plats, Mollusques, Crustacés). Les espèces chlorophylliennes effectuent la photosynthèse grâce à des plastes. Les espèces non pigmentées se nourrissent de plancton. Il existe des formes bioluminescentes comme *Noctiluca* qui utilise une enzyme, la luciférase, et un substrat, la luciférine. L'accumulation de *Noctiluca miliaris* et *Noctiluca scintillans* entraîne des efflorescences et des phénomènes de marées rouges dans certaines conditions.

1.3.4.4. Les Euglenozoa

Les euglénozoaires représentent un grand groupe d'Excavata flagellés. Ils comprennent une variété d'espèces communes vivant en liberté, ainsi que quelques parasites importants, dont certains infectent les humains.

Il existe deux sous-groupes principaux, les euglénides et les kinétoplastides . Les euglénozoaires sont unicellulaires, la plupart du temps autour de 15–40 μm (0,00059–0,00157 po), bien que certains euglénidés atteignent jusqu'à 500 μm (0,020 po) de long (Figure 32).



Figure 32 : Les Euglenozoa

❖ Caractères générales

Ils sont caractérisés par :

- Mitose fermée avec un fuseau intranucléaire
- Crêtes mitochondriales discoïdales en forme de palette
- (Ancestralement avec) deux flagelles: un flagelle dorsal dirigé vers l'avant et un flagelle ventral dirigé vers l'arrière (Ancestralement avec) un appareil flagellaire composé de trois racines microtubulaires: racine dorsale, racine intermédiaire et racine ventrale
- Appareil d'alimentation ventral ou antérieur renforcé de microtubules (poche MtR)
- Bâtonnets paraxonémiques hétéromorphes - flagelles relativement épais (synapomorphie)
- Extrusomes tubulaires (synapomorphie)
- Pigments : Chl a, b, bêta-carotène, caroténoïdes divers; couleur verte. Hétérotrophie facultative ou obligatoire (absence de pigments) chez beaucoup d'espèces
- Paroi : Pellicule souple, striée, constituée de bandelettes protéiniques hélicoïdales
- Réserves : Paramylon extraplastidial
- Flagelles : (1)-2-(3), apicaux, inégaux, insérés dans un puits flagellaire. Paraissent souvent 1-flagellées
- Reproduction : Asexuée par bipartition, à partir du puit flagellaire. Reproduction sexuée inconnue.
- Nutrition : Autotrophes, hétérotrophes (facultatifs ou obligatoires). Chez les espèces facultativement hétérotrophes : chloroplastes se désorganisant quand l'intensité lumineuse est faible et/ou la teneur de l'eau en matière organique est élevée : remarquable exemple de plasticité phénotypique.

❖ Ecologie

Les euglénozoaires vivent dans une variété d'écosystèmes, allant des cours d'eau et des étangs d'eau douce au milieu marin en passant par les systèmes sanguins et les systèmes d'hôtes vertébrés. Les euglénoïdes phototrophes (possédant des cytoplastes) se trouvent dans les zones peu profondes qui fournissent l'eau la plus chaude et la plus ensoleillée où ces organismes peuvent le mieux prospérer. Les plantes aquatiques fournissent des nutriments et de la nourriture.

Certaines espèces d'Euglena ont été trouvées dans la boue, les marécages et dans ou sur le sable des zones intertidales. Les cinétoplastides se trouvent dans la circulation sanguine et les tissus d'un hôte humain ou animal et chez les insectes vecteurs, et sont donc limités par la

distribution écologique de l'insecte qui les transporte d'hôte en hôte. Des vecteurs peuvent être trouvés, selon le type d'insecte, sur la plupart des continents: en particulier dans certaines régions d'Afrique, d'Amérique du Sud, du Mexique et d'Asie.

1.3.4.5. Les Cryptophyta

Les cryptophytes, ou les cryptomonades sont des flagellés unicellulaires et ont des pigments trouvés dans aucun autre groupe d'algues (phycoérythrine et phycocyanine). Les pigments sont des structures qui absorbent la lumière et comprennent le pigment, la chlorophylle. Le nom «crypto» signifie secret, ou caché, et ces algues peuvent être secrètes dans leurs habitudes de vie.

Les cryptophytes sont un groupe d'organismes intéressant car ils sont capables d'obtenir de l'énergie du soleil par la photosynthèse, ainsi que d'obtenir de l'énergie en mangeant des aliments particuliers. Par conséquent, ces algues sont à la fois photosynthétiques et hétérotrophes. Il existe de nombreuses espèces différentes dans le monde, y compris les zones humides sur les sols, les lacs couverts de glace, les océans tropicaux, les fleurs sur les plages et en tant que parasites intestinaux chez les animaux. Il reste encore beaucoup à découvrir sur ce groupe d'organismes et leurs habitudes de vie (Figure 33).



Figure 33 : Les Cryptophyta

❖ Caractères générales

Les cryptophytes contiennent de la chlorophylle a et c2 pour la photosynthèse, qu'ils utilisent pour convertir l'énergie du soleil en nourriture. Les cryptophytes économisent l'énergie supplémentaire de la photosynthèse sous forme d'amidon, un type de sucre. L'amidon agit comme une réserve alimentaire pour la cellule pendant les périodes où il n'est pas capable de photosynthétiser, comme dans l'obscurité de l'hiver ou au fond des lacs, où la lumière n'atteint pas.

Les cellules contiennent également les pigments accessoires phycocyanine (bleu) ou phycoérythrine (rouge). Les pigments accessoires sont les molécules responsables de la couleur des cellules et les cryptophytes peuvent apparaître de couleur rouge, vert jaunâtre ou brune (Tableau 1).

❖ Ecologie

Les algues cryptophytes se développent dans toutes sortes d'habitats aqueux - marins, saumâtres, d'eau douce ou même dans la neige. En tant qu'organismes photosynthétiques, ils contribuent à la fixation du dioxyde de carbone et en tant que flagellés planctoniques non toxiques, ils constituent des proies importantes dans la chaîne alimentaire.

Ils nagent librement dans les environnements d'eau douce et marins, principalement dans des habitats plus eutrophes. On sait peu de choses sur l'écologie de la cryptomonade marine dans la nature. Ils sont fréquemment présents dans les eaux côtières peu profondes, les estuaires et les marais salés avec une salinité de 5–35 ‰. Leur rôle dans la productivité primaire des eaux côtières n'a pas été évalué, mais est probablement mineur par rapport à d'autres algues unicellulaires telles que les diatomées et les dinoflagellés. Les formes photosynthétiques sont faciles à cultiver et «fleurissent» souvent dans les cultures mixtes après que les diatomées aient diminué en abondance.

Tableau 1 : Caractéristiques des différents embranchements des algues eucaryotes

Embranchement	Pigments photosynthétiques	Réserves glucidiques	Composition de la paroi cellulaire	Flagelles	Habitat
Chlorophytes (algues vertes)	Chlorophylles a et b; caroténoïdes	Amidon	Glycoprotéines, polysaccharides autres que cellulose ou allulose; parfois plasmodesmes	aucun ou 2 (ou plus) apicaux ou subapicaux; égaux ou inégaux; lisse	essentiellement aquatique, eau de mer ou douce; relations symbiotiques terrestres
Rhodophytes (algues rouges)	Chlorophylle a; phycobilines; caroténoïdes	Amidon floridéen	Microfibrilles de cellulose enrobées dans une matrice (principalement galactane); souvent dépôts de carbonate de Ca ²⁺	Aucun	Marin, environ 100 espèces d'eau douce et beaucoup d'espèces tropicales
Euglénophytes	Absent chez la plupart ou chlorophylles a et b; caroténoïde	Paramylon	Pas de paroi cellulaire mais une pellicule flexible ou rigide de bandes protéiques sous la membrane plasmique	Généralement 2, un vers l'avant et un à l'arrière, souvent inégaux, s'allongent par l'apex	Principalement eau douce; parfois en mer
Cryptophytes	Aucun ou chlorophylles a et c; phycobillines; caroténoïdes	Amidon	Pas de paroi cellulaire mais une assise rigide de plaques protéiques à l'intérieur de la membrane plasmique	2 subapicaux plumeux et inégaux	Eaux salées et douces; eaux froides
Haptophytes	Chlorophylles a et c; caroténoïdes essentiellement fucoxanthine	Chrysolaminarine	Ecailles de cellulose; chez certains écailles de matière organique calcifiées	Aucun ou 2; égaux ou inégaux; la plupart ont des haptoneèmes	Marin, rarement en eau douce
Algues brunes	Chlorophylles a et c, caroténoïdes, essentiellement fucoxanthine	Laminarine, mannitol (transporté)	Cellulose enrobée dans une matrice d'algine mucilagineuse; parfois des plasmodesmes	2; uniquement dans les cellules reproductrices; latéraux; plumeux à l'avant, lisse à l'arrière	Presque toutes marines; essentiellement tempérées et polaires; préfèrent les eaux océaniques froides
Diatomées (Bacillariophytes)	Aucun ou chlorophylles a et c; caroténoïdes, essentiellement fucoxanthine	Chrysolaminarine	Silice	Aucun ou 1; seulement chez les gamètes mâles centraux; apicaux; plumeux	Mer et eau douce
Dinophytes	Aucun ou Chlorophylle a et c; caroténoïdes, principalement péricidine	Amidon	Couche de vésicules sous la membrane plasmique, avec ou sans plaques de cellulose	Aucun (sauf chez les gamètes) ou 2, différents; latéraux (1 transversal, 1 longitudinal)	Marin et eaux douces; rapports symbiotiques éventuels

2. Les champignons et lichens

Les infections fongiques, en particulier celles causées par des espèces opportunistes, sont devenues beaucoup plus courantes au cours des dernières décennies. De nombreuses espèces provoquent des infections humaines et plusieurs nouveaux agents pathogènes humains sont découverts chaque année. Cette situation a créé un intérêt croissant pour la taxonomie fongique

et a conduit au développement de nouvelles méthodes et approches de la biosystématique fongique qui ont favorisé d'importants progrès pratiques dans les procédures d'identification. Cependant, la signification de certaines données fournies par les nouvelles approches n'est pas encore claire et les résultats tirés de ces études peuvent même accroître la confusion nomenclaturale. Les analyses des séquences d'ARNr et d'ADNr constituent un complément important des critères morphologiques nécessaires pour permettre aux champignons cliniques d'être plus facilement identifiés et placés sur un seul arbre phylogénétique.

2.1.Problèmes posés par la classification des champignons

La classification des organismes vivants a été révisée et modifiée avec l'avènement de la biologie moléculaire. Maintenant, on utilise de plus en plus la classification phylogénétique basée sur l'homologie de l'ADN (génotype) des êtres vivants ; alors que la classification traditionnelle établit des groupes ou taxons en fonction d'un simple critère de ressemblance globale (phénotype).

Ainsi, les taxonomistes et les systématistes s'intéressent à la compréhension des relations évolutives entre les organismes vivants. Ceci est à son tour motivé par un intérêt à comprendre les forces et les facteurs qui influencent l'évolution au sein des taxons et, ce faisant, l'évolution en général.

La mycologie, l'étude des champignons, est un cas de test intéressant pour les systématistes car pour déduire un processus évolutif, le chercheur doit d'abord parvenir à un consensus sur le modèle à partir duquel on déduit ce processus. L'utilisation des outils de la phylogénétique a entraîné de profondes modifications dans la classification des champignons. Le positionnement exact du terme champignon n'est pas une question simple et n'est aujourd'hui toujours pas totalement résolu alors même que la classification de l'ensemble du monde vivant a subi une phénoménale révolution.

L'espèce est l'unité de mesure que les biologistes utilisent pour catégoriser les modèles de diversité vivante, mais les champignons présentent des caractéristiques uniques qui rendent très difficile la délimitation des espèces. Il existe de nombreuses versions du concept d'espèce et les champignons sont problématiques pour toutes. En d'autres termes, comment un chercheur peut-il déduire un processus (évolution) à partir d'un modèle (espèce), lorsque les organismes défient la classification - lorsque les champignons ne tombent pas dans un modèle clair. Ceci présente une considération philosophique que j'appelle le problème de classification qui a des

implications pour l'épistémologie en général, la nature de la réalité et ses constructions. Ce qui suit est un bref aperçu des caractéristiques fongiques pertinentes pour mettre en place le problème de classification.

À l'exception des champignons unicellulaires, la levure, tous les champignons sont constitués de longues cellules étroites appelées hyphes. Ces hyphes, se ramifient et se multiplient pour former une masse en forme de toile (le corps fongique) appelée mycellium.

Ainsi, s'il s'agit de champignons et que ce sont également des champignons, comment les classer en espèces ? Il n'y a pas de traits morphologiques permettant de circonscrire une espèce. Pour un grand nombre de champignons, ces caractéristiques excluent le concept d'espèce morphologique pour la grande majorité des champignons.

Les fructifications saisonnières ont des traits morphologiques permettant de différencier les organismes. Imaginez que toutes les espèces d'arbres étaient les mêmes, comme toutes les mycelliums. Cependant, les fleurs et / ou les fruits des arbres sont uniques. On pourrait utiliser des pommes et des oranges pour distinguer les deux organismes différents. Pour la plupart, c'est ce qui se produit avec les champignons. Les chercheurs examinent les organes de fructification, dont un sous-groupe est appelé champignons.

L'analyse comparative des organes de fructification fonctionne assez bien pour les champignons macroscopiques et couramment observés, mais la grande majorité des champignons ne se reproduisent pas sexuellement (comparez le cycle de vie d'un champignon au cycle de vie d'un champignon asexué). Cela rend à nouveau le concept d'espèce morphologique adéquat pour la plupart des champignons et, en outre, exclut le concept d'espèce biologique dans lequel les espèces sont délimitées par des populations d'individus qui peuvent se reproduire sexuellement.

Cela laisse aux chercheurs plusieurs concepts d'espèces moins connus, tels que le concept d'espèce écologique et le concept d'espèce phylogénétique / évolutionnaire. Chaque concept a une certaine utilité pour séparer certains groupes taxonomiques, mais les deux sont encore très problématiques au niveau des espèces. Ces concepts sont à la fois un peu plus techniques, mais se résument à quelques caractéristiques clés des champignons.

Le concept d'espèce écologique utilise des cloisons de niche et des ressources environnementales pour aider à la délimitation des espèces. Deux organismes peuvent être très

étroitement liés, peut-être considérés comme faisant partie de la même espèce, mais deux groupes utilisent des parties et des ressources différentes dans l'environnement. Avec les champignons, la plupart sont saprophytiques ou décomposeurs de débris organiques et ce concept d'espèce se résume à séparer les espèces par le type de matière organique qu'elles décomposent. Certains champignons sont généralistes, mais d'autres sont spécialistes d'un type d'arbre, de plante ou d'insecte. Dans ces cas, un concept d'espèce écologique peut aider, mais lorsqu'on considère généraliste, ce concept n'ajoute aucun pouvoir discriminant.

Cela laisse un chercheur avec le concept d'espèce phylogénétique. Essentiellement, il s'agit d'un concept qui ignore le sexe, l'environnement et l'histoire de la vie et analyse plutôt les organismes au niveau génomique et recherche des lacunes discrètes et non chevauchantes dans la variation génomique entre les individus et les populations. Une fois que suffisamment d'informations de ce type sont rassemblées, les chercheurs peuvent argumenter que deux groupes devraient être considérés comme des espèces distinctes étant donné qu'ils représentent un clade unique, lié génomiquement - un groupe génétiquement cohésif sur sa propre trajectoire évolutive. Cette idée ne met pas l'accent sur une seule considération biologique, mais ne regarde que les résultats de toutes les forces évolutives en jeu sur les individus et les populations.

Le concept d'espèce phylogénétique a beaucoup d'attrait, mais est problématique pour certaines des mêmes raisons que les autres concepts d'espèces ont des problèmes, à savoir, quand on regarde un mycellium, où un individu finit-il et un autre commence-t-il? Où s'arrête une population et où commence une autre? Avant qu'un mycologue puisse identifier des groupes discrets et non chevauchants dans la structure génomique, le chercheur doit avoir prélevé des échantillons et les avoir attribués à des individus et / ou des populations distincts. Ajoutez que ce n'est pas une tâche anodine lorsqu'au moins un individu fongique a été enregistré sur plus de 9 kilomètres carrés. Sans parler de l'effort de laboratoire et de l'énergie nécessaires juste pour commencer à assigner des échantillons comme appartenant à un individu ou à un autre. Quelle quantité de différence génétique signifie un individu différent, une population différente, etc. ? Et tout cela doit être résolu avant toute analyse génomique à grande échelle, une variation peut être lancée.

Pour résumer, les champignons ont un ensemble de caractéristiques qui les rendent très difficiles à attribuer aux espèces, sans parler de décider de tout niveau de variation qui pourrait être significatif, d'autant plus que la plupart ne se reproduisent pas sexuellement.

Fungi présente donc un cas particulier d'un problème beaucoup plus vaste qui est reconnu depuis un certain temps, à savoir:

«La classification n'est pas la reconnaissance de quelque chose qui existe dans la nature, car la nature n'est pas classée. C'est l'invention par l'homme de la manière dont les événements et les choses peuvent être regroupés, dans le seul but d'augmenter sa capacité à gérer les événements et les choses.

2.2. Structure des thalles (mycéliums, stroma, sclérote)

2.2.1. Généralités

Pendant très longtemps, les Mycètes ont été classés parmi les végétaux à cause de leur mode de vie et de la constitution de leurs cellules. Ils font maintenant partie d'un règne à part dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Ce sont des organismes eucaryotes qui possèdent un appareil végétatif très simple constitués d'un mycélium en général pluricellulaire et filamenteux mais quelquefois unicellulaire dont les cellules sont indifférenciées, on l'appelle un thalle.
- Ils ne possèdent pas de chlorophylle et sont donc hétérotrophes se nourrissant par absorption directe des matières organiques qui servent à leur développement et à leur reproduction après dégradation par des enzymes exocellulaires.
- Certains Mycètes sont symbiotiques en se liant à des algues pour former des lichens ou aux arbres par l'intermédiaire de mycorhizes, d'autres sont des parasites mais une bonne partie d'entre eux sont capables de se développer par saprophytisme de façon autonome.
- Leur reproduction principale se fait sous forme végétative par l'intermédiaire de spores. mais ils sont aussi capables d'utiliser la reproduction sexuée.
- Leurs cellules possèdent des parois dont la composition est originale formée de mannanes (polymères de mannose associés à des protéines, de glucanes, de polysides hétérogènes, de chitine (que l'on ne trouve que chez les animaux et en particulier les insectes et de callose (comme chez les végétaux, qui sont des polymères de D-glucopyranose associé par des liaisons $\beta(1-3)$).
- Chez les Mycètes pluricellulaires les cellules sont associées entre elles mais ménagent la continuité des cytoplasmes.

2.2.2. Structure des thalles

La majorité des espèces est caractérisée par l'enchevêtrement de nombreux filaments fins et ramifiés formant **un mycélium**. Ces filaments sont appelés les hyphes qui sont cloisonnés, ou des siphons ou coenocytes non cloisonnés.

Cet enchevêtrement des filaments peut former des prosenchyme et plectenchyme (pseudotissus) qui prennent l'aspect de :

- massifs plus ou moins compacts (appelés coussinets ou **stroma**),
- de gros cordons ramifiés (appelés **rhizomorphes**),
- ou de tubercules (appelés **sclérotés**) (Figure 34).

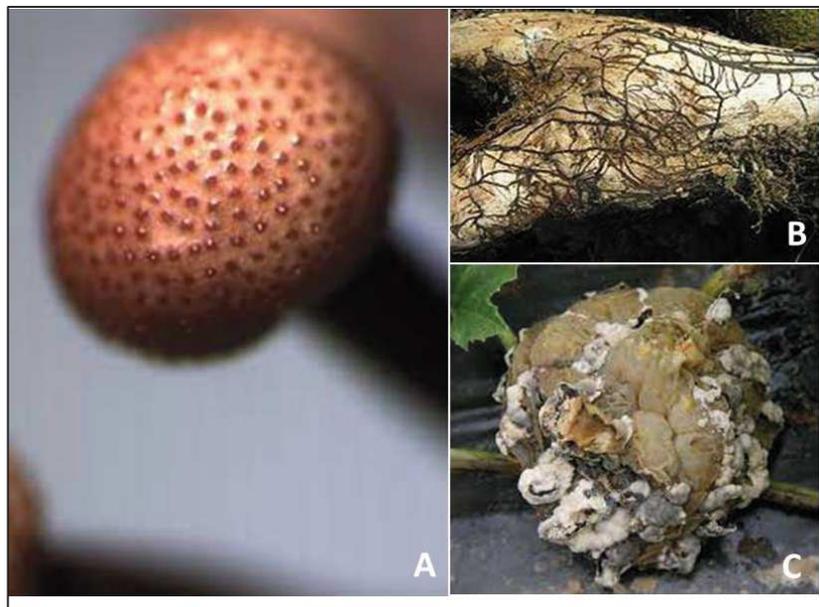


Figure 34 : les types des filaments des champignons : (A) **stroma**, (B) **rhizomorphes**,
(C) **sclérotés**

Cette différence de morphologie au niveau du thalle permet de distinguer :

- ❖ **Les septomycètes** (ascomycètes et basidiomycètes) qui possèdent un mycélium cloisonné. Ce sont des champignons qui ont un mycélium formé de filaments cloisonnés et sont appelés *Septomycètes* (*septum* = cloison). Ils comportent deux classes, les *Ascomycètes* et les *Basidiomycètes* dont les formes les plus évoluées élaborent des appareils de fructifications massifs de formes caractéristiques constituant les « champignons » au sens courant du terme.

- ❖ **Les siphomycètes** (trychomycètes, phycomycètes et zygomycètes) possèdent des siphons non cloisonnés. la plupart vivent sur le sol – certains sont parasites – la croissance de leur mycélium est rapide et la reproduction sexuée se fait par fusion de gamétocytes (Figure 35).

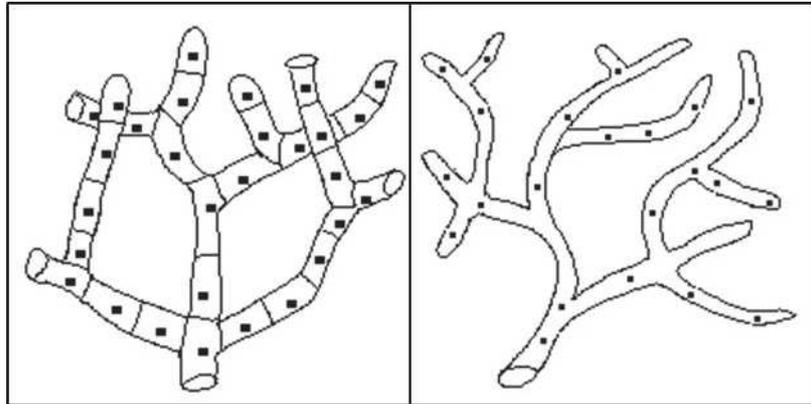


Figure 35 : Septomycètes (Filaments cloisonnés appelés hyphes) et Siphomycètes (Filaments non cloisonnés appelés siphons)

Egalement, il existe des champignons à thalle unicellulaire comme les levures et à thalle plasmodial comme les myxomycètes :

✓ **Thalle unicellulaire**

Chez certains des champignons inférieurs tels que les chytrides, le thalle est plus ou moins une structure sphérique unicellulaire. Au moment de la reproduction, il devient une unité reproductrice. Ce dernier produit les cellules asexuées ou sexuelles. Le thalle unicellulaire ou levure se trouve isolée ou en colonie.

✓ **Thalle plasmodial**

Leur appareil végétatif est constitué d'une masse cytoplasmique indifférenciée molle plus ou moins lamellaire, déformable sans paroi squelettique et multinuclée. Elle peut atteindre plusieurs décimètres carrés. Cet appareil végétatif est appelé plasmode. Il n'est pas cloisonné et comprend un grand nombre de noyaux cellulaires diploïdes (Figure 36).



Figure 36 : (A) Thalle unicellulaire, (B) thalle plasmodial

Chez certains basidiomycètes, au moment de la reproduction sexuée, le mycélium s'organise en carpophore, souvent constitué d'un pied et d'un chapeau (Figure 37).

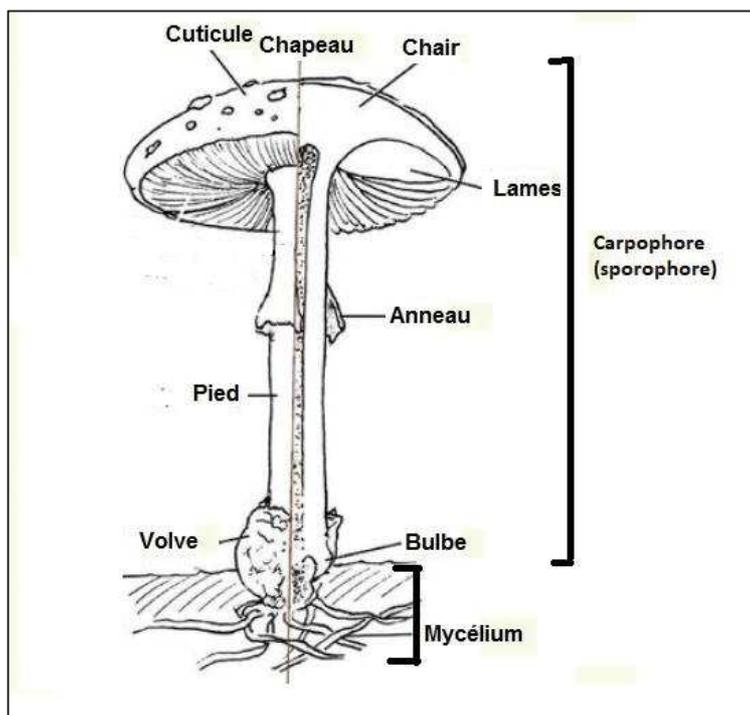


Figure 37 : Morphologie d'un champignon

Chez les ascomycètes, il existe la formation des ascocarpes sous forme des périthèces, des apothécies ou des cléistothèces (Figure 38).

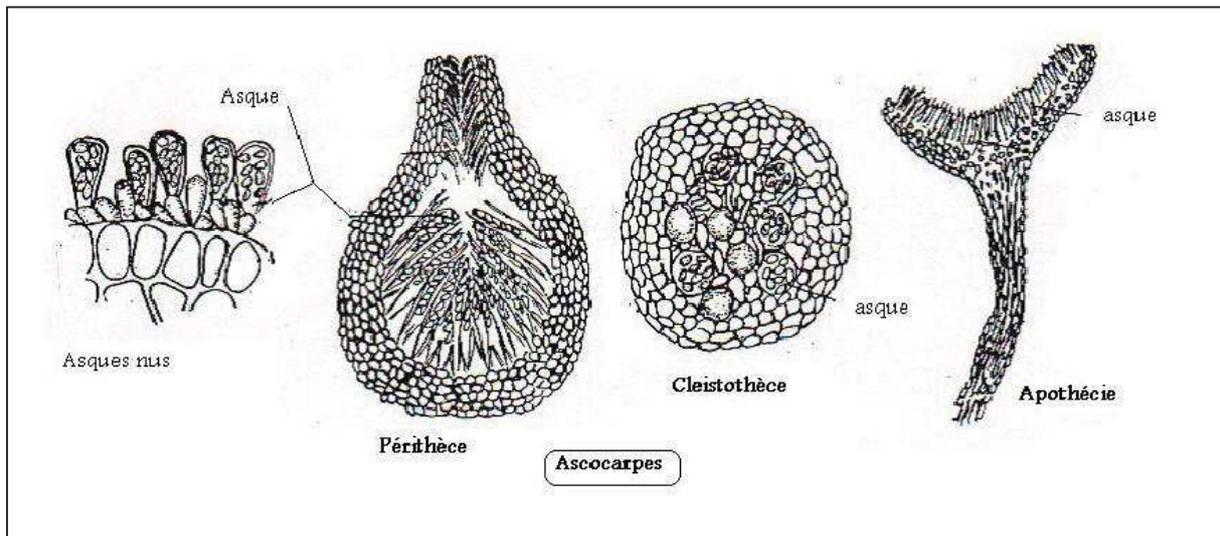


Figure 38 : Les formes des périthèces, des apothécies ou des cléistothèces chez les ascomycètes

2.3.Reproduction

2.3.1. Organe de reproduction

Dans leur grande majorité, les champignons actuels sont aériens. Ils pratiquent une fécondation sans émission de gamètes libres (cystogamie).

Ils produisent souvent en marge de la reproduction sexuée, une multiplication végétative avec production de quantité de spores aériennes qui assurent un ensemencement très efficace. Ils utilisent pour cela différentes structures reproductrices tel que :

- **Asques:** L'asque est une cellule reproductrice, caractéristique des champignons ascomycètes, à l'intérieur de laquelle se forment en général huit spores (ascospores, endospores) ;
- **Baside:** C'est une cellule spécialisée et terminée par un nombre variable de pointes (stérigmates), portant chacune une spore nommée basidiospore ;
- **Spores :** structure de résistance permettant la dissémination rapide des champignons. Ils peuvent être mitotiques ou méiotiques (Figure 39).

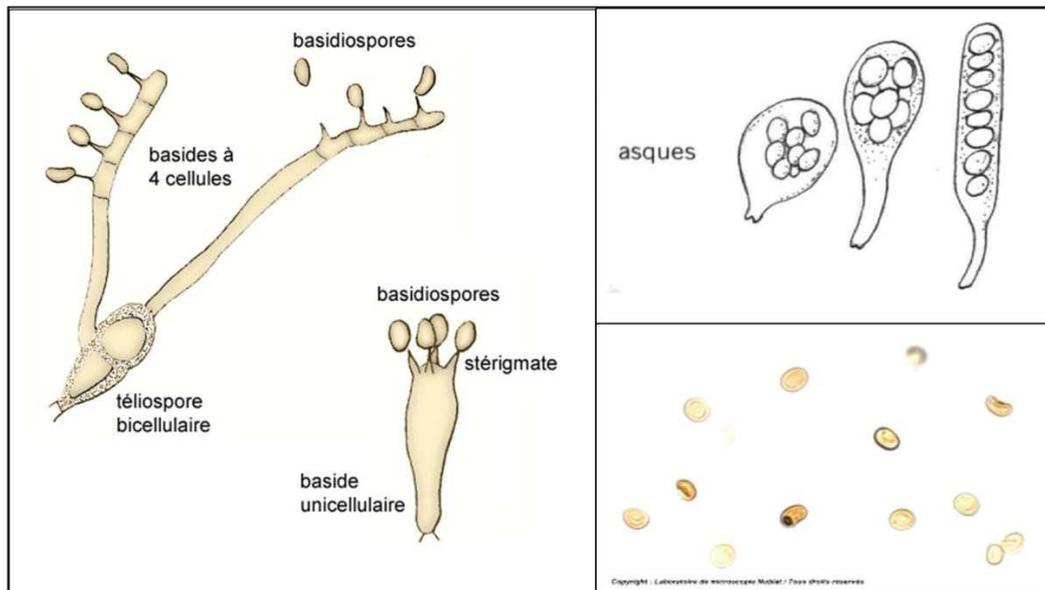


Figure 39 : Les éléments de reproduction

2.3.2. Types de reproduction

❖ Reproduction sexuée

Elle implique la fusion de deux noyaux compatibles. Certains champignons sont homothallique « autogames », dont les deux gamètes mâles et femelles sont produits par le même mycélium.

Tandis que d'autres sont hétérothallique « hétérogames », ce qui nécessite le croisement entre mycéliums différents, mais sexuellement compatibles.

La formation du zygote se produit par l'un de plusieurs mécanismes :

- Fusion des gamètes
- Fusion des organes qui produisent les gamètes (gamétanges).
- Fusion des hyphes
- Parfois, il y a une fusion immédiate de noyaux (caryogamie) et du cytoplasme (plasmogamie), mais plus fréquemment la fusion de noyaux est retardée, entraînant la formation d'une cellule avec deux noyaux haploïdes (stade dicaryotique).

Les zygotes peuvent se transformer en spores méiotiques (oospore, basidiospores, zygospores, ascospores) ; qui servent à la dissémination des champignons.

❖ Reproduction asexuée

La reproduction asexuée se fait par plusieurs mécanismes :

- Simple fission
- Bourgeonnement
- Production de spore : ces spores ne sont pas issues de méiose.

-**Arthrospores** : issue de la fragmentation des hyphes

-**Chlamydozspores** : (Chlamys, manteau) type de spore à parois épaisses

-**Sporangiospores** : formes à l'intérieur d'un sporange

-**Conidiospores** : sont des spores produites à la pointe ou sur les côtés des hyphes aériennes

Blastospores produite par bourgeonnement d'une cellule végétative.

Certains champignons utilisent la fragmentation des hyphes comme un moyen normal de propagation. La fragmentation peut avoir lieu accidentellement par l'arrachement de parties du mycélium sous l'action de forces externes. Les hyphes de certains autres champignons se fragmentent habituellement en ses composants cellulaires qui se comportent alors comme des spores. Ces spores sont connues sous le nom de thallospores ou spores thalliques.

2.4.Systématique et particularités des principaux groupes de champignons

Les Champignons constituent un ensemble très diversifié que l'on estime, bien que les chiffres soient approximatifs, à environ un million d'espèces.

Les terminaisons suivantes sont utilisées en fonction de la division citée :

- ✚ Embranchement : mycota
- ✚ Sous-embranchement : mycotina
- ✚ Classe : mycètes
- ✚ Sous-classe : mycétidées
- ✚ Ordre : ales
- ✚ Famille : acées

2.4.1. Les Myxomycota

Les Myxomycota sont communément appelés les moisissures visqueuses plasmodiales. Il existe environ 850 à 900 espèces de moisissures visqueuses plasmodiales. On les trouve sur un sol humide, du bois en décomposition et des excréments. L'une des caractéristiques

intéressantes de ce groupe d'organismes réside dans leur distribution. Bien que les espèces d'autres organismes varient selon les localités géographiques, c'est-à-dire que vous ne trouvez pas les mêmes espèces de plantes et d'animaux sur le continent que vous trouvez à Hawaï, ce n'est généralement pas le cas des Myxomycota. La plupart des espèces peuvent être trouvées dans le monde entier.

❖ Caractères générales

La division taxonomique Myxomycota est composée de ces micro-organismes eucaryotes communément appelés aussi les myxomycètes (chez les biologistes). Les myxomycètes sont généralement présents et parfois abondants dans les écosystèmes terrestres, où ils sont associés à divers types de matières végétales en décomposition (par exemple, les débris ligneux grossiers et la litière du sol forestier).

Les moisissures visqueuses plasmodiales sont ainsi appelées en raison de leur stade d'assimilation du plasmodium (pl. = Plasmodia). Cette étape consiste généralement en une grande structure visqueuse en forme d'éventail composée de tubules ramifiés de protoplasme qui se nourrit principalement de bactéries, mais est également connue pour consommer d'autres micro-organismes et débris végétaux et animaux. Cette étape est dépourvue de paroi cellulaire et au fur et à mesure de sa croissance, les noyaux diploïdes se divisent, de manière synchrone, par mitose sans cytokinèse. Ainsi, le plasmodium est essentiellement une grande masse nue unicellulaire de protoplasme avec des milliers de noyaux. Bien que l'on puisse observer que le plasmodium se nourrit de matière organique particulière dans la nature, il est également capable de croître, *in vitro*, sur une matière organique dissoute, sur un milieu gélosé en absorbant des nutriments dans l'agar. Le plasmodium ingère la matière alimentaire particulière lors de sa migration en s'étendant autour de la particule alimentaire. Une fois que le protoplasme a enfermé le matériau, une membrane cellulaire, la vacuole alimentaire le sépare du reste du protoplasme et des enzymes hydrolytiques sont libérées qui digéreront les aliments. Les déchets restent dans la vacuole et sont ensuite libérés du plasmodium. Le processus par lequel ce type d'ingestion se produit est appelé phagocytose. Un deuxième stade d'assimilation haploïde, l'amibe (pl. = Amibes), se produit également dans le cycle de vie des moisissures visqueuses plasmodiales. Sa caractéristique diffère principalement par sa taille du stade plasmodique. Le stade amibe est microscopique, unicellulaire et uninucléé. Comme son homologue géant, il ingère également de la nourriture via le processus de phagocytose. Ce processus est très différent de l'absorption, le mode de nutrition observé chez les champignons. D'autres caractéristiques absentes sont le manque de paroi cellulaire au stade d'assimilation et le manque

de mycélium et de levure. Les Myxomycota ont été à l'origine classés comme champignons car ils se reproduisent par des spores produites dans les sporanges. Cette classification a été faite à une époque où les champignons étaient définis plus largement.

Le cycle de vie de Myxomycota variera selon les espèces, mais la plupart des recherches ont été menées avec *Physarum polycephalum* et seront utilisées comme représentants du Myxomycota.

❖ Cycle de vie

Le cycle de vie des myxomycètes englobe deux stades trophiques différents, l'un constitué d'amibes uninucléées, avec ou sans flagelles (le terme "amiboflagellé" est utilisé pour désigner les deux formes), et l'autre constitué d'une structure multinucléée distinctive, le plasmodium. Les plasmodies sont mobiles et ceux de certaines espèces peuvent atteindre une taille de plus d'un mètre de diamètre. Un grand exemple contient plusieurs milliers de noyaux à division synchrone (Figure 40).



Figure 40 : Les myxomycètes

Dans des conditions favorables, le plasmodium donne naissance à un ou plusieurs organes de fructification contenant des spores. Bien que les organes de fructification produits par les myxomycètes soient quelque peu évocateurs de ceux produits par certains champignons supérieurs, ils sont considérablement plus petits (généralement pas plus de 1 à 2 mm de haut) et de structure totalement différente. Les spores de la grande majorité des myxomycètes varient

en taille de 5 à 15 μm de diamètre, la plupart des espèces produisant des spores de $10 \pm 2 \mu\text{m}$ de diamètre.

Vraisemblablement, les spores sont dispersées par le vent et terminent le cycle de vie en germant pour produire les cellules amiboflagellées uninucléées.

Celles-ci se nourrissent et se divisent par fission binaire pour constituer de grandes populations dans les différents microhabitats dans lesquels ces organismes se trouvent. En fin de compte, cette étape du cycle de vie donne naissance au plasmodium. Ce processus peut résulter d'une fusion gamétique entre des amiboflagellés compatibles ou il peut être apomictique. Les bactéries représentent apparemment la principale ressource alimentaire pour les deux stades trophiques, mais les plasmodes sont également connus pour se nourrir de levures, d'algues (y compris les cyanobactéries) et de spores et hyphes fongiques (Figure 41).

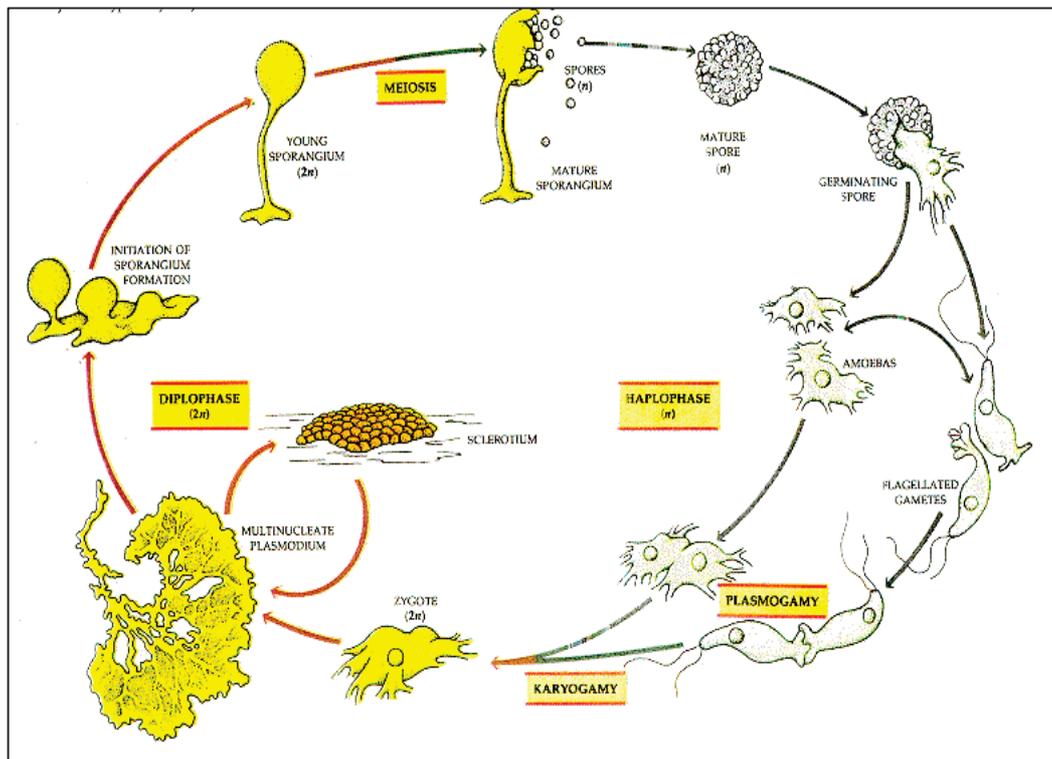


Figure 41 : Cycle de vie des myxomycètes

Dans des conditions défavorables, telles que le dessèchement de l'environnement immédiat ou de basses températures, un plasmodium peut se transformer en une structure durcie et résistante appelée sclérote, qui est capable de reformer le plasmodium au retour de conditions favorables. De plus, les cellules amoéboflagellées peuvent subir une transformation réversible en structures dormantes appelées microcystes. Les sclérotés et les microcystes peuvent rester

viables pendant de longues périodes et sont probablement très importants pour la survie continue des myxomycètes dans certains habitats écologiques tels que les déserts.

❖ Taxonomie

Selon Lado (2005-2016), environ 900 espèces de myxomycètes ont été décrites, et dans tous les traitements sauf les plus modernes du groupe, ceux-ci ont été classés en six ordres (Ceratiomyxales, Echinosteliales, Liceales, Physarales, Stemonitales et Trichiales).

Cependant, les membres des Ceratiomyxales, représentés par le seul genre *Ceratiomyxa*, sont nettement différents (par exemple, leurs spores sont produites à l'extérieur sur des structures en forme de tige et non dans un organe de fructification) à partir de l'un des organismes affectés aux autres ordres, et moderne les travailleurs ont retiré ces organismes des myxomycètes. Les affinités évolutives exactes des Ceratiomyxales sont encore débattues, mais elles semblent être un groupe frère des vrais myxomycètes. Avec le retrait des Ceratiomyxales, les myxomycètes constituent un groupe bien défini et homogène. Cependant, les preuves issues de l'analyse des séquences d'ADN suggèrent que même ce qui semble être des taxons étroitement liés sur la base de la similitude morphologique peut avoir divergé les uns des autres depuis longtemps. Fiore-Donno et ses collaborateurs (2005) ont rapporté que les données phylogénétiques basées sur les séquences partielles de l'ARN ribosomal SSU et du facteur d'élongation-1 alpha suggèrent une adichotomie entre les myxomycètes à spores clairs et sombres, le clade à spores clairs comprenant les Trichiales et les Liceales et l'obscurité. -clade sporiforme constitué des Physarales et des Stemonitales. Les Echinosteliales semblent occuper une position basale dans cette phylogénie.

Comme traditionnellement reconnu, les cinq ordres énumérés ci-dessus diffèrent sur un ou plusieurs aspects importants relatifs à leur morphologie globale et / ou à la couleur des spores en masse, ce qui permet généralement à un membre d'un ordre particulier d'être identifié comme tel sur le terrain. Les Physarales et les Stemonitales ont des spores qui sont de masse noire, violet-brun, brun-violet foncé ou rouge foncé, mais les membres de l'ancien ordre ont de la chaux (carbonate de calcium) présente dans le périidium, le capillitium ou la tige de la fructification corps. La chaux est complètement absente du corps fructifère produit par les membres des Stemonitales. En revanche, les membres des Trichiales et des Liceales ont des spores de masse blanche, jaune, grise, orange ou rouge. La principale différence entre ces deux ordres est qu'un vrai capillitium (un système de fils à l'intérieur de la masse de spores) est

présent chez les Trichiales mais absent chez les Liceales. Dans ces quatre ordres, les fructifications produites sont généralement suffisamment grandes pour être visibles à l'œil nu, alors que chez les Echinosteliales, les fructifications sont minuscules (généralement $<0,5$ mm de haut) et rarement observées sauf en culture en laboratoire. Dans cet ordre, les spores sont de masse blanche, rosâtre ou brun clair.

2.4.2. Les Oomycota

Oomycota, embranchement d'organismes fongiques. Les oomycètes peuvent se présenter sous forme de saprotrophes (vivant sur des matières en décomposition) ou de parasites vivant sur des plantes supérieures et peuvent être aquatiques, amphibies ou terrestres (Figure 42).

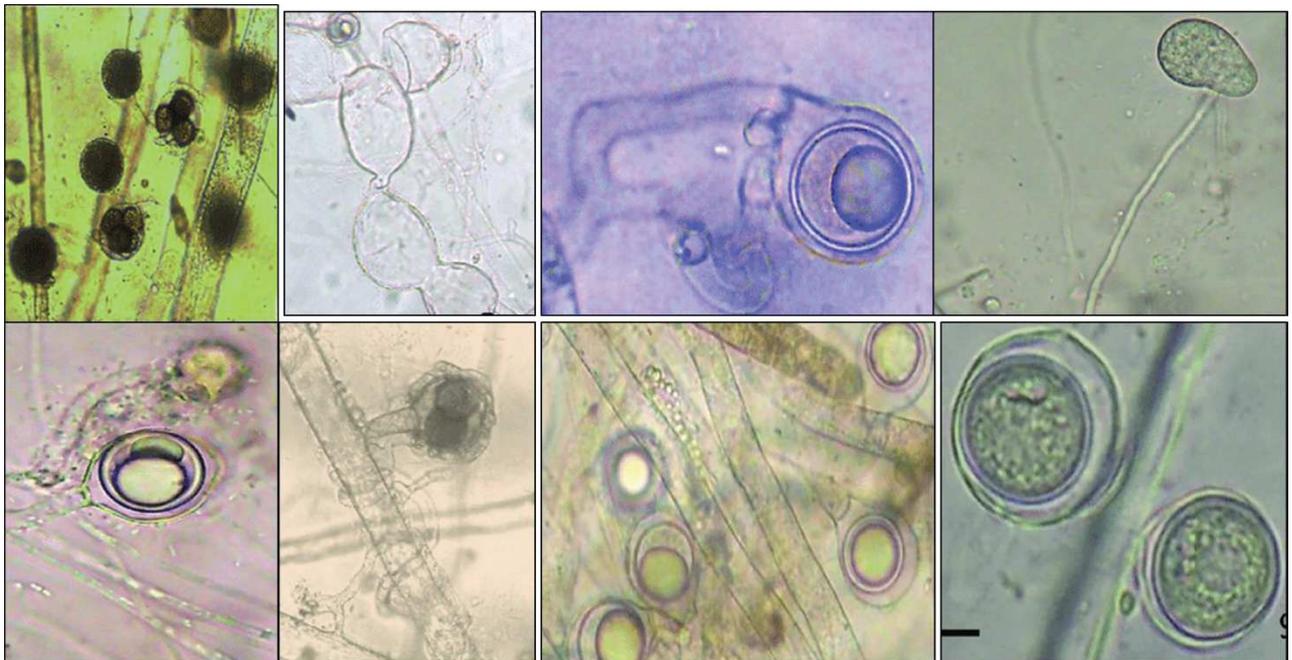


Figure 42 : Les Oomycota

❖ Caractères générales

Il existe plus de 500 espèces dans l'Oomycota - notamment les soi-disant moisissures aquatiques et le mildiou. Ce sont des protistes filamenteux qui doivent absorber leur nourriture de l'eau ou du sol environnants, ou peuvent envahir le corps d'un autre organisme pour se nourrir. En tant que tels, les oomycètes jouent un rôle important dans la décomposition et le recyclage de la matière en décomposition. D'autres espèces parasites ont causé beaucoup de souffrances humaines en détruisant les récoltes et les poissons.

«Oomycota» signifie «champignons de l'œuf» et se réfère à la grande oogonie ronde, ou aux structures contenant les gamètes femelles, comme le montre cette image de la «moisissure d'eau» commune *Saprolegnia*. Les oomycètes sont oogames, produisant de gros gamètes non mobiles appelés œufs et des gamètes plus petits appelés spermatozoïdes.

Les Oomycota ont des archives fossiles très rares. Un oomycète possible a été décrit à partir de l'ambre du Crétacé.

Les Oomycota étaient autrefois classés parmi les champignons, en raison de leur croissance filamenteuse et parce qu'ils se nourrissent de matières en décomposition comme les champignons. La paroi cellulaire des oomycètes, cependant, n'est pas composée de chitine, comme dans les champignons, mais est constituée d'un mélange de composés cellulosiques et de glycane. Les noyaux dans les filaments sont diploïdes, avec deux ensembles d'informations génétiques, et non haploïdes comme dans les champignons.

❖ **Reproduction**

Contrairement aux vrais champignons, les membres du phylum Oomycota manquent de chitine dans leurs parois cellulaires et ont un cycle de vie qui est principalement diploïde (ayant deux ensembles de chromosomes). Les organismes se distinguent par leur production de cellules reproductrices asexuées, appelées zoospores. Les zoospores se déplacent grâce à l'utilisation d'une ou deux structures de nage en forme de fouet connues sous le nom de flagelles, et les individus peuvent germer à partir de ces spores. Les organismes matures peuvent également se reproduire sexuellement, les œufs fécondés résultants étant convertis en spores non mobiles, ou oospores, qui germent ensuite également en individus matures (Figure 43).

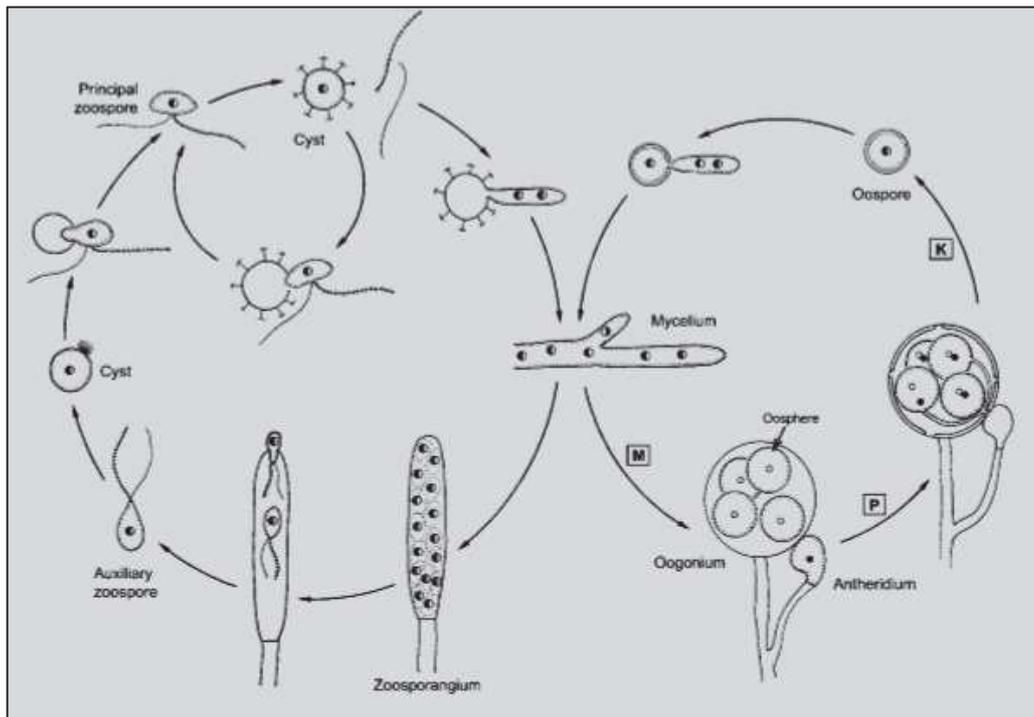


Figure 43 : cycle de vie des Oomycota

2.4.3. Eumycota (Chytridiomycota, Zygomycota, Glomeromycota, Ascomycota, Basidiomycota)

❖ Caractères générales

Les champignons sont les principaux décomposeurs des systèmes écologiques. Celles-ci et d'autres différences placent les champignons (mycètes) dans un seul groupe d'organismes apparentés, les Eumycota (champignons "vrais" ou Eumycètes), qui partagent un ancêtre commun (forment un groupe monophylétique), interprétation qui est également fortement soutenue par la phylogénétique moléculaire. Ce groupe fongique se distingue des myxomycètes (moisissures visqueuses) et des oomycètes (moisissures aquatiques) structurellement similaires.

Ce sont des organismes à parois hétérotrophes eucaryotes. Leur paroi cellulaire est constituée de chitine. Le corps fongique est constitué de structures filiformes appelées hyphes (Figure 44).



Figure 44 : Les Eumycota

❖ Taxonomie

La systématique moléculaire de l'Eumycota est en pleine révision. Il y a environ 20 ans, un système de cinq embranchements fongiques a atteint une reconnaissance universelle basée, en partie, sur les phylogénies initiales de l'ADNr. Les cinq embranchements étaient les Chytridiomycota (moisissures aquatiques), Zygomycota (moisissures du pain), Glomeromycota (champignons mycorhiziens à arbus), Ascomycota (champignons cupules) et Basidiomycota (champignons club).

Des analyses moléculaires multilocus ultérieures suggèrent que ni le Zygomycota ni le Chytridiomycota ne sont des groupes monophylétiques. Plusieurs nouveaux phyla, sous-phylums et taxons supérieurs non classés ont été proposés, y compris les Blastocladiomycota et Neocalimastigomycota (anciennement membres de Chytridiomycota), et les Entomophthoromycotina, Kickxellomycotina, Mucoromyagomycotina. Même les analyses phylogénomiques extrêmement riches en données n'ont pas encore résolu avec certitude les relations à la base de l'arbre fongique, nous pouvons donc nous attendre à d'autres réarrangements et à l'optimisation de la taxonomie de haut niveau dans les années à venir (Figure 45).

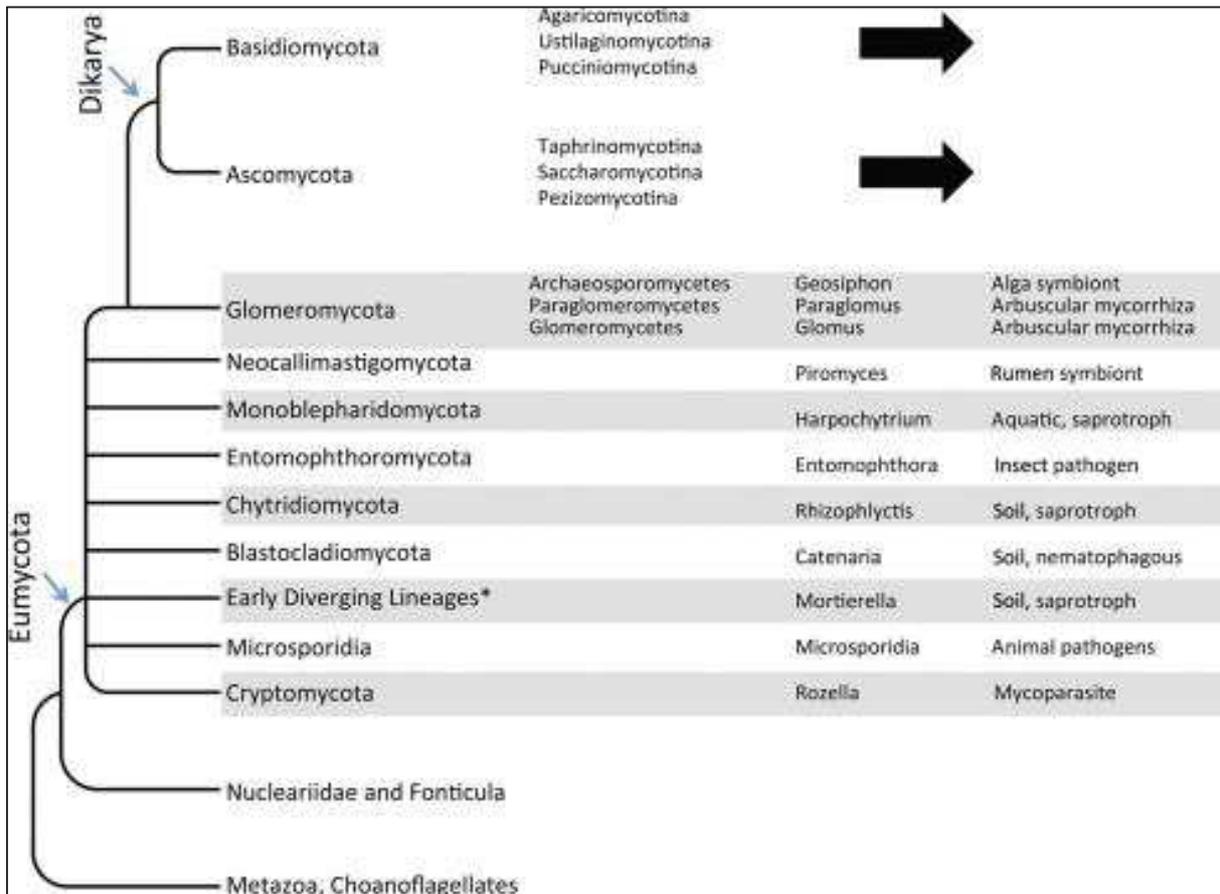


Figure 45 : Présentation de la phylogénie fongique

❖ Ecologie

Ces champignons sont généralement des organismes terrestres hétérotrophes, soit des parasites, symbiotiques, ou saprophytes. Ils se nourrissent de nutriments soit présents dans leur environnement « absorbotrophes », soit fournis par un hôte symbiotique, soit obtenus par digestion extracellulaire par des enzymes lytiques. 25 000 espèces vivent sous forme des lichens en association avec un organisme photosynthétique.

2.4.3.1. Chytridiomycota

Les Chytridiomycètes (Chytridiomycota) ou chytrides principalement aquatiques ; constituent un grand groupe de champignons saprophytes ou parasites, présentant des caractères considérés comme ancestraux (les plus anciens fossiles de champignons, trouvés au Nord de la Russie dans des couches géologiques datées du Vendien, ressemblent aux Chytridiomycota contemporains (d'autres fossiles plus anciens qu'on a cru être des champignons, seraient en réalité des cyanobactéries) (Figure 46).

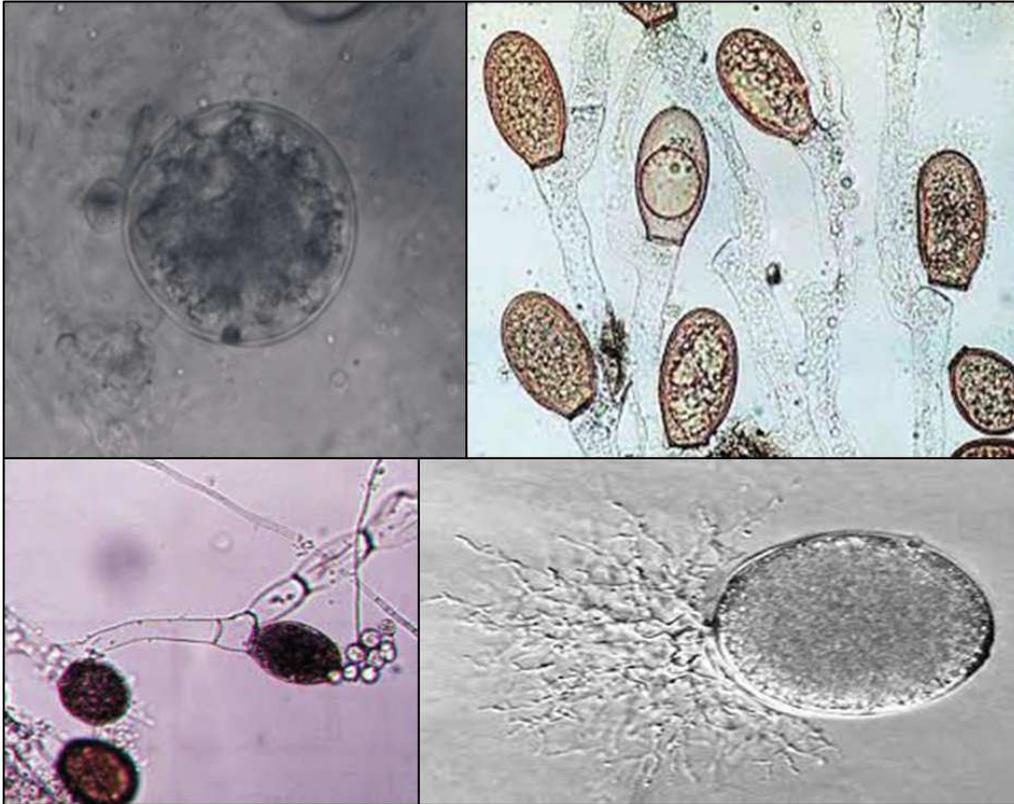


Figure 46 : Les Chytridiomycota

❖ Caractères générales

Les cellules chytridiomycotes sont cénocytaires sans distinction entre les cellules individuelles. Les filaments sont longs et tubulaires avec une doublure cytoplasme et une grande vacuole au centre. Ces organismes unicellulaires ont des hyphes ramifiés avec des rhizoïdes et produisent des gamètes avec des flagelles.

Les membres de Chytridiomycota présentent un intérêt évolutif particulier car on pense qu'ils sont une profonde divergence de champignons d'origine minimale (Berbee et Taylor 1993). Presque tous les membres de ce groupe produisent des spores reproductrices flagellées et asexuées, alors que les flagelles (et les corps basaux ou les structures centriolaires dont ils proviennent) font défaut dans les autres phylums fongiques. La qualité ancestrale de ce trait est attestée par la présence de la même sous-structure microtubulaire dans les flagelles de spores de chytridiomycètes que dans les cils de certains protistes, animaux et plantes inférieures.

❖ Structure et écologie

Les espèces de Chytridiomycota sont très variable ; dulcicoles ou marines ; soit ils colonisent des plantes en décomposition ou certains organes d'insectes ; ou bien ils uns parasitent des plantes ou des diptères. Certains sont unicellulaires, d'autres coenocytiques alors que d'autres encore produisent un mycélium comme le font d'autres champignons.

❖ Taxonomie

Cette division regroupe les espèces à spores uniflagellées et paroi cellulaire chitineuse de l'ancienne division des Mastigomycota, qui chevauchait deux règnes, aujourd'hui séparée en Chytridiomycota (Fungi) et Chromista.

Une classification plus récente d'Hibbett et ces collaborateurs en 2007 a redéfini l'embranchement des Chytridiomycota comme un ensemble polyphylétique divisé en trois phylums :

- Chytridiomycota (deux classes : Chytridiomycetes et Monoblepharidomycetes)
- Neocallimastigomycota
- Blastocladiomycota

Le nom fait référence au chytridium (du grec chytridion signifiant « petit pot »), la structure qui renferme les spores. Dans les classifications antérieures, les chytrides (à l'exception des ordres récents des Neocallimastigales et des Spizellomycetales) étaient placés dans la classe des Mastigomycota (ou Phycomycetes, du grec « champignons algues »), appartenant elle-même à la sous-division des Myxomycophyta. Dans une acception plus ancienne et plus restreinte, le terme de « chytrides » faisait seulement référence à l'ordre des Chytridiales.

On note que la classification des Chytridiomycota a été toujours révisée.

2.4.3.2. Zygomycota

Le Zygomycota contient environ 1% des espèces décrites de vrais champignons (~ 900 espèces décrites). Les représentants les plus connus sont les moisissures à croissance rapide que

nous rencontrons sur les fraises avariées et d'autres fruits riches en sucre. Bien que ces champignons soient communs dans les écosystèmes terrestres et aquatiques, ils sont rarement remarqués par les humains car ils sont de taille microscopique. La croissance coloniale et les structures de reproduction asexuée taxonomiquement informatives produites par Zygomycota sont généralement étudiées après culture sur divers milieux de gélose. L'observation microscopique directe des substrats appropriés est nécessaire pour les espèces qui n'ont pas ou ne peuvent pas être cultivées. Moins de la moitié des espèces ont été cultivées et la majorité d'entre elles sont membres des Mucorales, un groupe qui comprend certains des champignons à croissance la plus rapide (Figure 47).



Figure 47 : Fraises moisies couvertes de mycélium de Rhizopus

❖ Caractères générales

Les zygomycota sont généralement des champignons à croissance rapide caractérisés par des hyphes cénocytaires primitifs (principalement aseptés).

Les zygomycotes, comme tous les vrais champignons, produisent des parois cellulaires contenant de la chitine. Ils se développent principalement sous forme de mycélium ou de filaments de longues cellules appelées hyphes. Contrairement aux soi-disant «champignons supérieurs» comprenant l'Ascomycota et le Basidiomycota qui produisent régulièrement des mycéliums cloisonnés, la plupart des Zygomycota forment des hyphes qui sont généralement cénocytaires car ils n'ont pas de parois transversales ou de septa. Il existe cependant plusieurs exceptions et des cloisons peuvent se former à intervalles irréguliers dans les parties les plus anciennes du mycélium ou sont régulièrement espacées dans deux ordres frères de Zygomycota, les Kickxellales et les Harpellales (Figure 48).

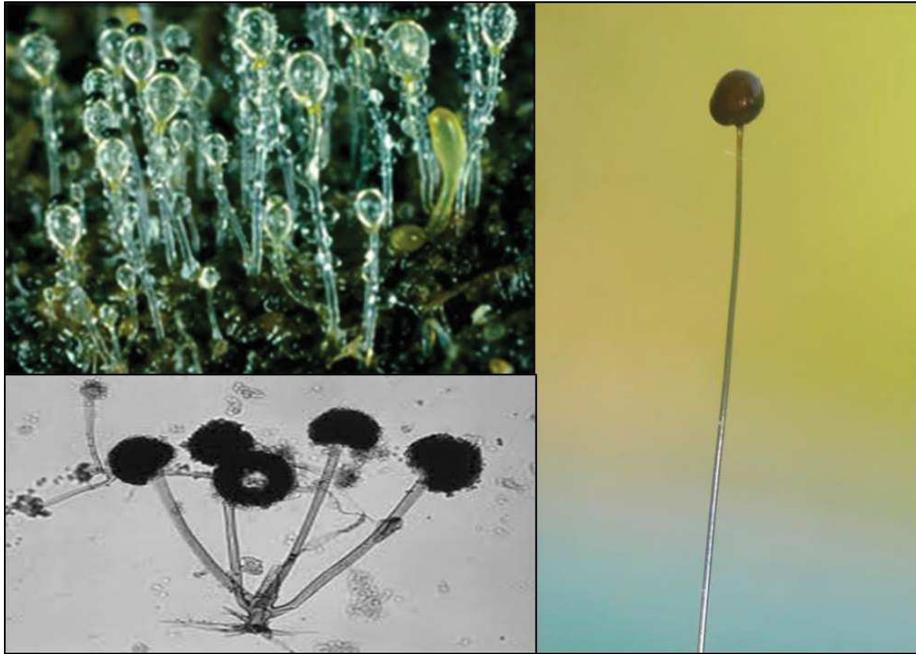


Figure 48 : Les zygomycota

La plupart des isolats sont hétérothalliques, c'est-à-dire que les zygospores sont absents, par conséquent, l'identification est basée principalement sur la morphologie sporangiale. Cela comprend la disposition et le nombre de sporangiospores, la forme, la couleur, la présence ou l'absence de columelles et d'apophyses, ainsi que la disposition des sporangiophores et la présence ou l'absence de rhizoïdes.

❖ Reproduction et cycle de vie

Les zygomycota sont définis et distingués de tous les autres champignons par la reproduction sexuée via les zygospores après fusion gamétangiale et la reproduction asexuée par des sporanges uni à multispores dans lesquels des sporangiospores non mobiles et unicellulaires sont produites.

Le Zygomycota est le plus primitif des champignons terrestres. Cette division a du mycélium coénocyttaire et des spores asexuées (= sporangiospores) qui sont produites dans des sporanges portés sur des tiges (= sporangiophores) simples ou ramifiés. Ces caractéristiques sont partagées avec les divisions de champignons flagellés. Pour cette raison, on pensait autrefois que le Zygomycota était étroitement lié aux champignons aquatiques. Ces spores asexuées comprennent les chlamydoconidies, les conidies et les sporangiospores.

La plupart des zygomycotes ont un cycle de vie zygotique ou haplontique. Ainsi, la seule phase diploïde a lieu au sein de la zygospore. On pense que les noyaux du zygospore subissent une méiose pendant la germination, mais cela n'a été démontré génétiquement que dans le modèle d'eucaryote *Phycomyces blakesleeanus* (Figure 49 et 50).

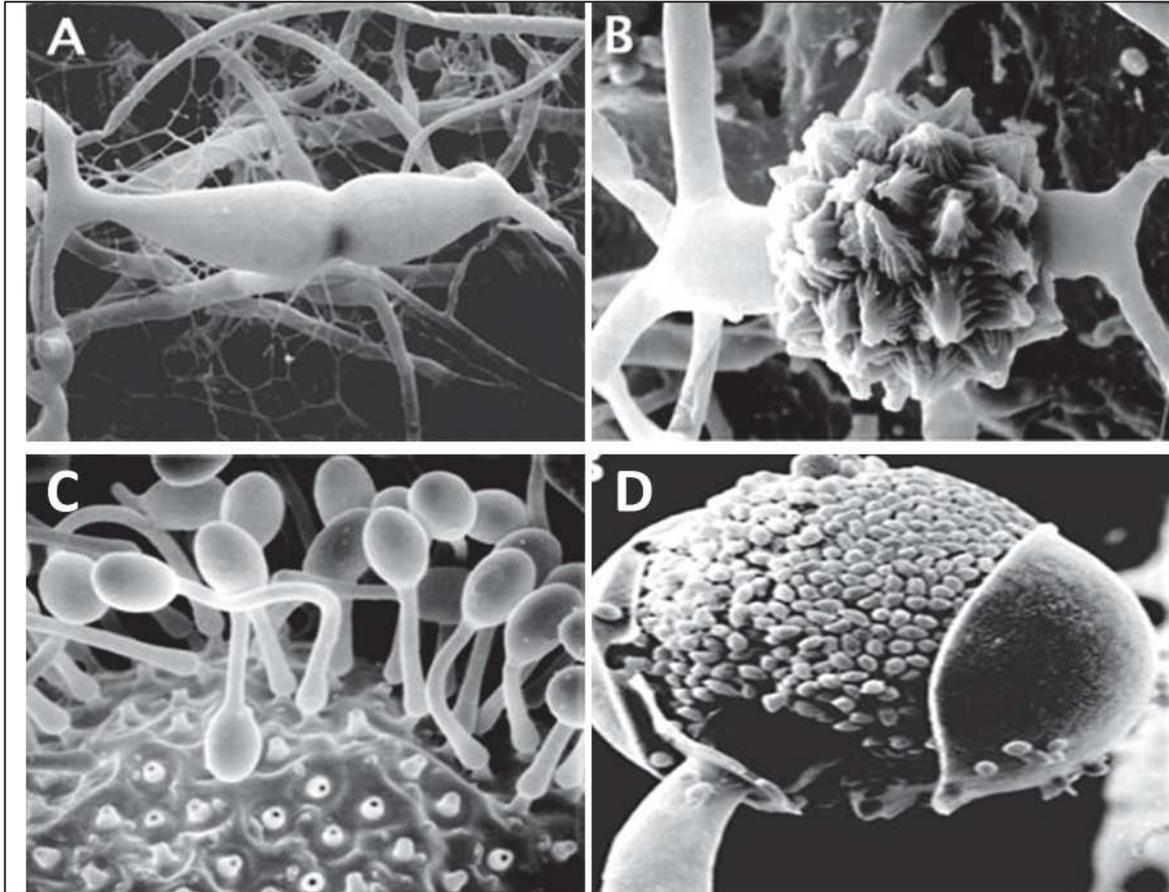


Figure 49 : Reproduction sexuée (A, B) et asexuée (C, D) chez les zygomycota

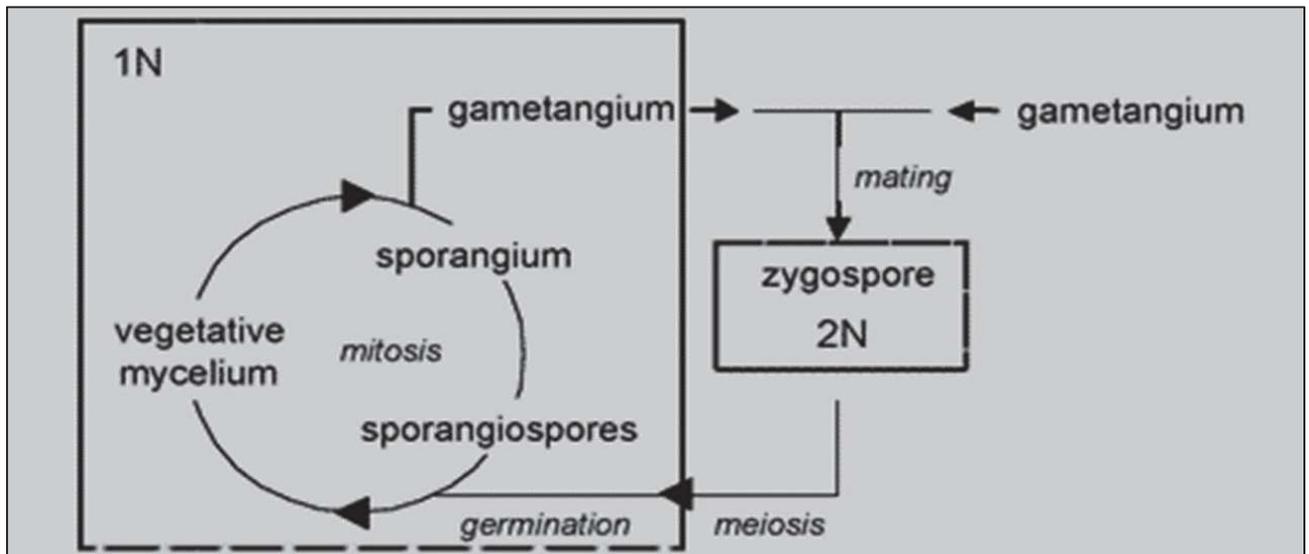


Figure 50 : Cycle de vie de Zygomycota.

❖ Taxonomie

Deux classes sont reconnues dans cette division ; les trichomycètes et les zygomycètes. Benny publie en 2012 une synthèse sur les Zygomycota en reconnaissant neuf ordres :

Sept ordres des Zygomycetes :

- les Dimargaritales
- les Endogonales
- les Entomophthorales
- les Kickxellales
- les Mortierellales
- les Mucorales
- les Zoopagales

Et deux ordres classés par divers auteurs dans les Trichomycetes :

- les Asellariales
- les Harpellales

2.4.3.3. Glomeromycota

Les Glomeromycota étaient autrefois considérés comme appartenant à l'ordre Glomerales (= Glomales) du Zygomycota, mais les données moléculaires, ainsi que la morphologie unique

et la niche écologique, ont confirmé que le Glomeromycota devrait être considéré comme un phylum distinct. Bien que les Glomeromycota comprennent un groupe de champignons pratiquement inconnus du grand public, ils sont essentiels au fonctionnement des écosystèmes terrestres. Les membres de ce groupe sont des symbiotes mutualistes qui forment des associations mycorhiziennes arbusculaires (AM) intracellulairement dans les racines de la grande majorité des plantes herbacées et des arbres tropicaux. Ce type de symbiose est appelé mutualiste car le champignon et la plante hôte bénéficient tous deux de cette association intime. Le symbiote fongique reçoit des glucides de la plante en échange de fonctionner comme un système racinaire étendu, améliorant ainsi considérablement l'absorption des minéraux par les racines de la plante. Bien qu'il existe différents types de mycorhizes, impliquant différents symbiotes fongiques et végétaux, le type de mycorhize arbusculaire est le plus répandu (Figure 51).

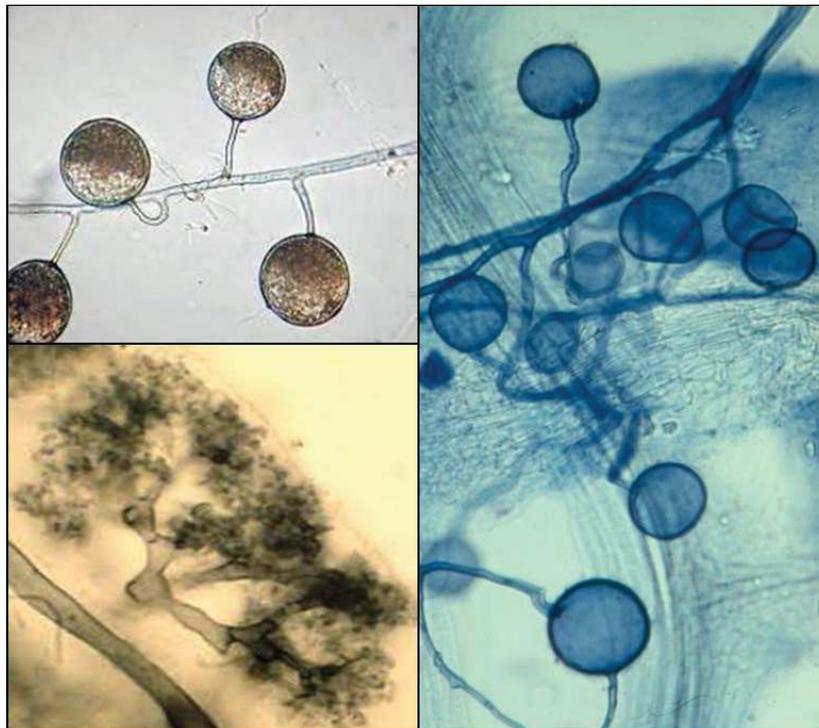


Figure 51 : Glomeromycota

L'embranchement des Glomeromycota comprend actuellement environ 150 espèces décrites réparties entre dix genres, dont la plupart sont définis principalement par la morphologie des spores. Récemment, des séquences d'ADN ont également été utilisées pour circonscrire les taxons.

❖ Caractères générales et morphologie

En tant que symbiotes mutualistes, les champignons mycorhiziens à arbuscules sont capables de se développer dans les racines des plantes sans provoquer de symptômes de maladie. Ce sont des symbiotes obligatoires car personne n'a réussi à cultiver des champignons gloméromycotan séparément de leur plante hôte symbiotique. Une fois qu'ils envahissent la racine, ils forment généralement des structures en forme d'arbre appelées arbuscules qui remplissent souvent les cellules de la racine. Parce que les parois cellulaires des deux symbiotes sont considérablement réduites en épaisseur le long de la surface des branches des arbuscules, les deux partenaires symbiotiques sont mis en contact très étroit. Cette symbiose hautement spécialisée était auparavant connue sous le nom de «mycorhize vésiculaire-arbusculaire» (VAM) car certains champignons gloméromycotaniques forment également des organes de stockage appelés vésicules dans les cellules de la racine.

Les champignons glomeromycota produisent des spores relativement grosses (40-800 μm) avec des parois stratifiées, contenant plusieurs centaines à milliers de noyaux (Bécard et Pfeffer, 1993). Les spores peuvent être formées individuellement, en grappes ou en «corps fruitiers» morphologiquement distincts appelés sporocarpes (Morton, 1988). Semblables à la plupart des Zygomycota, les filaments cellulaires (hyphes) des champignons glomeromycotan manquent de parois transversales régulières (cloisons) qui sont l'une des caractéristiques des phyla fongiques Basidiomycota et Ascomycota.

Les Glomeromycota produisent très peu de structures. À l'intérieur des racines mycorhiziennes, elles forment des hyphes, des arbuscules et parfois des vésicules. Dans le sol, ils forment des hyphes distributifs, des hyphes absorbants et des spores. Ces structures ont toutes très peu de caractéristiques observables, mais les mycologues peuvent les utiliser pour identifier les organismes jusqu'aux espèces. Cela aide également à connaître le partenaire mycorhizien et les conditions du sol telles que le Ph (Figure 52).

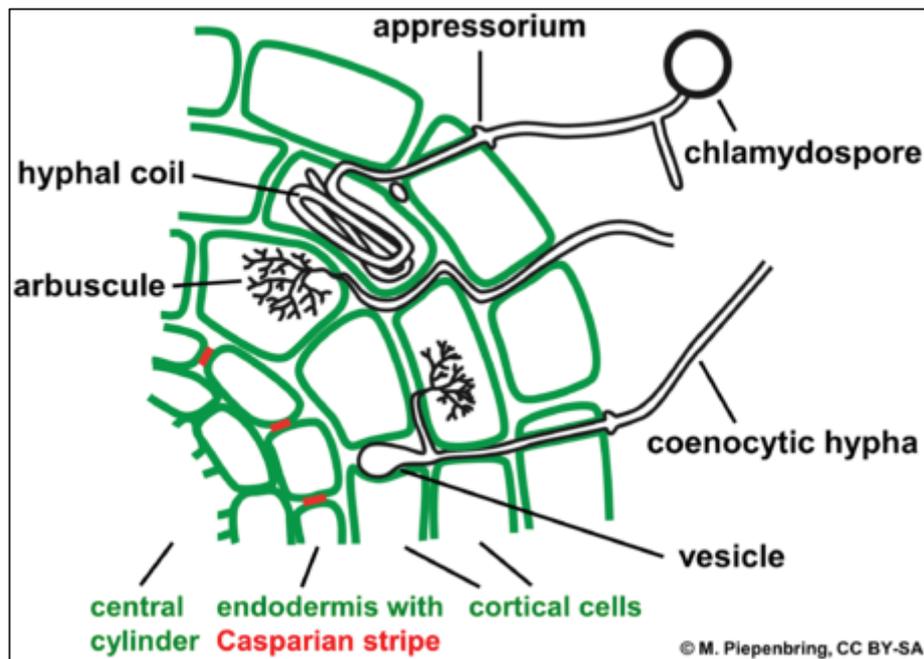


Figure 52 : Un mycorhize arbusculaire.

À l'intérieur d'une racine AM, les hyphes prennent l'une des deux formes suivantes : linéaire ou enroulé. Les hyphes linéaires se développent dans les espaces aériens entre les cellules de la racine et sont donc aussi droits que la structure de la racine le permet. Les hyphes enroulés se développent à l'intérieur des cellules et se développent directement d'une cellule à l'autre. Ces hyphes ne sont pas aussi limités par la structure racinaire et peuvent suivre un chemin plus sinueux. Les glomérormycotes sont principalement des champignons aseptés, ce qui signifie qu'ils forment rarement des parois (ou «septa») pour diviser les hyphes en cellules. Les champignons AM produisent parfois des septa dans les anciennes zones de racines où le champignon ne pousse plus.

❖ Reproduction

La caractéristique la plus étrange des Glomeromycota est peut-être qu'ils ne se reproduisent que de manière asexuée. Des années de recherche n'ont pas permis de trouver des structures reproductrices sexuelles ou des preuves ADN de reproduction sexuée. Pour une division entière ou un phylum, se fier uniquement à la reproduction asexuée est presque inconnu parmi les eucaryotes. La recombinaison des gènes par le biais du processus de reproduction sexuée aide l'évolution à éliminer les gènes nocifs et à en promouvoir les bénéfiques. Le fait que les Glomeromycota aient pu abandonner la reproduction sexuée il y a des centaines de millions d'années tout en restant parmi les champignons les plus prospères de la planète est tout simplement stupéfiant.

Les études utilisant des gènes de marqueurs moléculaires n'ont détecté aucune recombinaison génétique ou seulement de faibles niveaux. Par conséquent, on suppose généralement que les spores sont formées de manière asexuée. Il existe des rapports contradictoires sur la question de savoir si les noyaux du mycélium et les spores d'un organisme sont génétiquement identiques ou non. La présence de multiples variantes légèrement différentes des gènes de l'ARN ribosomal codé dans le noyau dans des spores uniques peut ou non être due à cette hétérogénéité nucléaire possible.

Dans des conditions favorables, les spores de glomérromycotan germent, forment des appressorias sur les racines de l'hôte et établissent une nouvelle symbiose mycorhizienne. De nouvelles spores peuvent se former sur le mycélium à l'intérieur ou à l'extérieur de la racine. En plus de la propagation par spores, de nombreuses espèces de Glomeromycota peuvent coloniser les plantes hôtes à partir de fragments d'hyphes dans le sol ou directement à partir de symbiotes qui habitent les racines d'une plante voisine.

Étant donné qu'ils sont des symbiotes obligatoires, si aucune racine hôte n'est trouvée par l'hyphes en germination d'une spore, la croissance cesse après un certain temps et le cytoplasme peut être rétracté dans la spore. Parce qu'ils ne peuvent pas être cultivés de manière axénique, ces champignons se propagent principalement sur la plante hôte dans des cultures en pot cultivées en serre. Les spores produites dans les cultures en pot ouvert ne sont pas stériles et hébergent donc une grande variété de bactéries et autres champignons. Les cultures peuvent être commencées en utilisant de la terre de plein champ contenant des spores ou des hyphes, à partir d'un certain nombre de spores purifiées qui semblent morphologiquement représenter une seule espèce, ou à partir d'une seule spore. Les spores de glomérromycotan peuvent être concentrées par des méthodes de tamisage humide ou par des techniques de centrifugation. En plus de la propagation via des cultures en pot, un certain nombre d'espèces de glomérromycotan peuvent être cultivées dans des cultures d'organes racinaires, c'est-à-dire sur les racines d'une plante poussant sur un milieu nutritif stérile dans une boîte de Pétri. La biomasse fongique produite dans les cultures d'organes racinaires ne contient généralement pas d'autres micro-organismes, c'est donc la méthode de choix pour certaines expériences de biologie moléculaire (Figure 53).



Figure 53 : Spores d'un champignon Glomeromycota (les cercles brunâtres).

❖ Taxonomie et évolution

Traditionnellement, la taxonomie des Gloméromycota a été basée sur la morphologie des spores. La façon dont la spore se forme sur l'hyphe («mode de formation des spores») a été importante pour circonscrire les genres et les familles, et la structure de la couche de la paroi des spores pour distinguer les espèces.

Glomeromycota n'a été établi que récemment en tant que division ; il a été séparé de l'ancienne division polyphylétique Zygomycota en 2001. Grâce à la technologie de l'ADN, les mycologues savent maintenant que les Glomeromycota sont plus étroitement apparentés aux Dikarya (Ascomycota et Basidiomycota). Le Glomeromycota s'est probablement séparé de Dikarya il y a environ 600 millions d'années (Dikarya s'est séparé en Ascomycota et Basidiomycota quelque temps après).

Les fossiles des premiers champignons gloméromycotaniques datent d'il y a 400 millions d'années et correspondent à l'évolution des plantes terrestres. En effet, les relations taxonomiques suggèrent que l'ancêtre commun de toutes les plantes terrestres a formé des mycorhizas arbusculaires. Ces deux lignes d'analyse suggèrent que les Glomeromycota ont joué un rôle crucial pour aider les plantes à coloniser la terre (pour en savoir plus sur l'évolution des mycorhizes).

Il y a un manque surprenant de diversité au sein des Glomeromycota, surtout compte tenu de l'étendue des organismes. Glomeromycota contient environ 150 espèces réparties en 4

ordres, 11 familles et 27 genres. Cependant, les espèces de Glomeromycota ont été principalement établies en utilisant la morphologie des spores jusqu'à ce que les outils d'analyse de l'ADN soient largement disponibles. Il semble probable que les données génétiques nécessiteront la création de nombreuses nouvelles espèces pour soutenir la diversité génétique cachée.

Kingdom	Fungi
Division	Glomeromycota C. Walker & A. Schüßler
Class	Glomeromycetes
Order (Families)	Glomerales (Glomeraceae, Claroideoglomeraceae)
	Diversisporales (Gigasporaceae, Acaulosporaceae, Pacisporaceae, Diversisporaceae, Sacculosporaceae)
	Paraglomerales (Paraglomeraceae)
	Archaeosporales (Geosiphonaceae, Ambisporaceae, Archaeosporaceae)

2.4.3.4. Ascomycota

Ascomycota s'est avéré être le plus grand embranchement de champignons, par rapport aux autres phylums (Chytridiomycota, Zygomycota, Basidiomycota et Deuteromycota), avec plus de 33 000 espèces identifiées et nommées tandis que de nombreuses autres doivent encore être décrites. Egalement, cet embranchement est morphologiquement diversifié avec des espèces qui vont de l'organisme unicellulaire aux champignons à cupules multicellulaires (Figure 54).



Figure 54 : Les Ascomycota

❖ Caractères générales

La majorité des champignons connus appartiennent au Phylum Ascomycota, qui se caractérise par la formation d'un asque (pluriel, asci), une structure en forme de sac qui contient des ascospores haploïdes. Les ascomycètes filamenteux produisent des hyphes divisés par des septa perforés, permettant la diffusion du cytoplasme d'une cellule à une autre. Les conidies et les asques, qui sont utilisés respectivement pour la reproduction asexuée et sexuée, sont généralement séparés des hyphes végétatifs par des cloisons bloquées (non perforées). De nombreux ascomycètes ont une importance commerciale. Certains jouent un rôle bénéfique pour l'humanité, comme les levures utilisées dans la pâtisserie, le brassage et la fermentation du vin, et directement comme délices alimentaires tels que les truffes et les morilles. *Aspergillus oryzae* est utilisé dans la fermentation du riz pour produire du saké. D'autres ascomycètes parasitent les plantes et les animaux, y compris les humains. Par exemple, la pneumonie fongique constitue une menace importante pour les patients atteints du SIDA dont le système immunitaire est affaibli. Les ascomycètes non seulement infestent et détruisent directement les cultures ; ils produisent également des métabolites secondaires toxiques qui rendent les cultures impropres à la consommation.

En ce qui concerne la morphologie, certaines espèces sont unicellulaires tandis que d'autres sont plus complexes. La levure est un bon exemple d'Ascomycota unicellulaire.

Avec d'autres champignons ressemblant à des levures dans le phylum, la levure est un champignon Ascomycota structurellement simple qui peut exister sous forme de cellules uniques. La forme de la levure varie en fonction de l'endroit où elle est cultivée et du type de nutriments disponibles. Pour cette raison, les cellules de levure peuvent prendre des structures différentes.

Certains des autres traits de ces cellules comprennent ; une paroi cellulaire, une grande vacuole, un cytoplasme granulaire, un noyau et un nucléole. Bien que la levure puisse exister sous forme de cellules uniques, elle peut également se transformer en organismes multicellulaires dans un processus connu sous le nom de dimorphisme.

Dans de tels cas, les cellules de levure (levure *Candida*) produisent des hyphes et des pseudo-hyphes et semblent donc plus complexes que la levure unicellulaire - Dans cet état, les organismes se sont révélés pathogènes.

D'autre part, certains comme *Aleuria aurantia* (également connu sous le nom de champignon de la peau d'orange) sont de bons exemples d'organismes multicellulaires. En tant que tels, ils sont plus complexes.

Un bon nombre d'Ascomycota multicellulaires, comme *A. aurantia*, ont un corps fructifère et des spores relativement grosses. Lorsqu'on les compare, ces organismes multicellulaires varieront également en couleur, en forme et en taille en plus d'habiter différents habitats.

Comme les basidiomycètes, certains peuvent également exister grâce à un partenariat avec des algues ou des cyanobactéries. Dans cette relation symbiotique, les algues ou cyanobactéries profitent aux champignons en synthétisant des composés carbonés tandis que les champignons hébergent l'organisme.

❖ Reproduction

La reproduction asexuée est fréquente et implique la production de conidiophores qui libèrent des conidiospores haploïdes. La reproduction sexuée commence par le développement d'hyphes spéciaux à partir de l'un des deux types de souches d'accouplement.

La souche «mâle» produit un anthéridium et la souche «femelle» développe un ascogonium. Lors de la fécondation, l'anthéridium et l'ascogonium se combinent en plasmogamie, sans fusion nucléaire. Des hyphes ascogènes dikaryotes spéciaux (produisant des asques) proviennent de ce dikaryon, dans lequel chaque cellule a des paires de noyaux : un de la souche «mâle» et un de la souche «femelle». Dans chaque asque, deux noyaux haploïdes fusionnent en caryogamie.

Des milliers d'asques remplissent un organe de fructification appelé ascocarpe. Le noyau diploïde de chaque asque donne naissance à des noyaux haploïdes par méiose et des parois de spores se forment autour de chaque noyau. Les spores de chaque asque contiennent les produits méiotiques d'un seul noyau diploïde. Les ascospores sont ensuite libérées, germent et forment des hyphes qui sont disséminés dans l'environnement et commencent de nouveaux mycéliums (Figure 55).

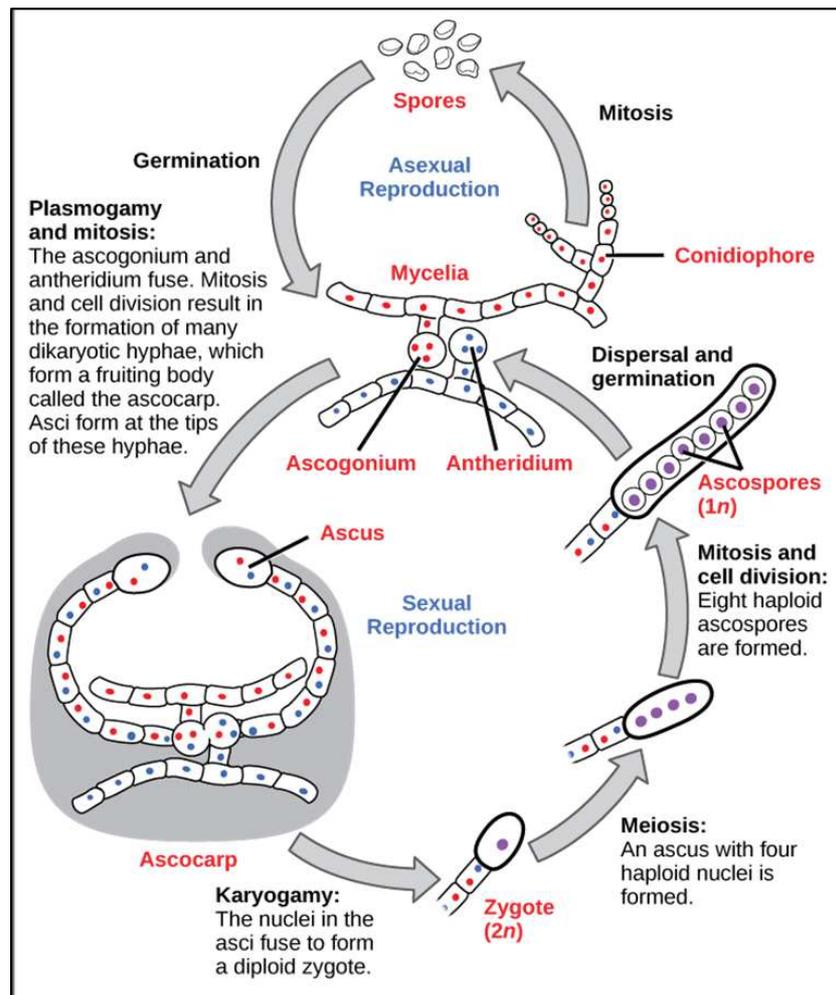


Figure 55 : Cycle de vie d'Ascomycota

❖ Taxonomie

La taxonomie des Ascomycota est en évolution depuis un certain temps (par exemple Alexopoulos et Mims 1979, Bold et al.1987 et Scagel et al.1984). Premièrement, la pratique de séparer les lichens et les champignons imparfaits (ceux qui ne présentent pas de reproduction sexuée) a été abandonnée et des systèmes taxonomiques plus naturels ont commencé à apparaître. Cette tendance peut être observée dans les systèmes de Margulis et Schwartz (1982, 1988 et 1998). Ensuite, Nishida et Sugiyama (1994) ont découvert un groupe distinct qu'ils ont appelé les Archiascomycètes selon leur analyse d'ARNr SSU des champignons.

Ainsi, eux et d'autres y compris Liu et al. (1999), ont défini les Ascomycota comme ayant 3 classes : les archiascomycètes, les saccharomycètes et les euascomycètes. Les groupes des saccharomycètes et des euascomycètes semblaient être bien définis et monophylétiques. Les "Archiascomycètes" semblaient être paraphylétiques et constituaient le large groupe dont provenaient les deux autres groupes. Nous pensons que la diversité de l'Ascomycota est trop grande pour se refléter dans un système de 3 classes. Ainsi, nous avons adopté le système d'Eriksson et al. (2001) qui comprend 3 sous-phyles et 14 classes. L'analyse de Lutzoni et al. (2004) confirme la monophylie de l'Ascomycota mais remet en question la monophylie de certains Taphrinomycotina. Adl et coll. (2005) semblent séparer les ascomycotes en quatre taxons au niveau de Taphrinomycotina (que nous interprétons comme 4 subphyla). Ainsi, le système d'Eriksson et al. (2001) sera probablement modifié.

2.4.3.5. Basidiomycota

L'embranchement des Basidiomycota représente environ 37% de toutes les espèces fongiques décrites. Ils représentent le groupe le plus élevé de champignons qui sont souvent observés de manière ostentatoire dans les champs et les zones forestières. La plupart d'entre eux possèdent des fructifications très développées, appelées basidiocarpes, qui peuvent être charnues ou ligneuses.

Les champignons communément connus sous le nom de champignons, de crapauds, de boules feuilletées et de champignons de support sont les basidiomycètes. A ce groupe appartiennent également les rouilles et les charbons, responsables de maladies des plantes d'importance économique. Il existe à la fois des champignons parasites et saprophytes dans ce groupe.

Beaucoup utilisés comme aliments sont cultivés à grande échelle pour la commercialisation. Encore une fois, il y en a des très toxiques qui doivent être soigneusement évités. Certains provoquent la destruction des arbres forestiers et des plantes ornementales. Tandis que d'autres sont responsables de la décomposition des grumes de bois tombées. Les basidiomycètes ressemblent aux ascomycètes en possédant des hyphes cloisonnés et en produisant des spores et des fructifications non mobiles.

Les champignons de ce groupe sont caractérisés par la production de spores appelées basidiospores résultant de la caryogamie et de la méiose, et sont portés extérieurement sur de minces protubérances, les sterigmata (chanter, sterigma). Les stérigmates sont développés à partir d'une structure plus ou moins en forme de club, appelée basidium (pl. Basidia) pour laquelle les basidiomycètes ont été fréquemment nommés comme champignons de club.

❖ **Caractères générales**

Les Basidiomycota sont des organismes d'une incroyable diversité. Ils se présentent sous tellement de formes différentes qu'il est difficile de trouver des caractéristiques physiques qui définissent le groupe. Au lieu de cela, les mycologues sont obligés de dire: «La plupart des basidiomycètes...» ou «Les basidiomycotes ont tendance à...» et des choses similaires. La seule chose que presque tous les basidiomycètes ont en commun qui les différencie de tous les autres champignons est le basidium.

Ils sont des champignons filamenteux composés d'hyphes (à l'exception des basidiomycotes-levures) et se reproduisent sexuellement via la formation de cellules terminales spécialisées en forme de club appelées basides qui portent normalement des méiospores externes (généralement quatre). Ces spores spécialisées sont appelées basidiospores (Figure 56).



Figure 56 : Les Basidiomycota

❖ Cycle de vie

Les basidiospores ont généralement un seul noyau haploïde. Lorsque ces spores germent, elles produisent des hyphes avec généralement un seul noyau dans chaque compartiment. Parce que ces hyphes n'ont qu'un seul type nucléaire, ils sont appelés monokaryons (du grec, mono = un ; caryos = noyau ou noyau). À un certain stade de leur croissance, deux monokaryons de différents groupes de compatibilité (types d'accouplement) fusionnent. Cela peut se produire soit par de simples fusions d'hyphes, soit par fusion d'une hyphe avec une petite spore appelée oïdium. L'événement de fusion est appelé plasmogamie. Ensuite, les noyaux se divisent et la paire de noyaux filles de sorte que chaque compatibilité hypale contienne deux noyaux - un de chaque type d'accouplement. À ce stade, le champignon est appelé un dikaryon (c'est-à-dire avec deux types nucléaires).

De nombreux basidiomycotes se développent pendant la majeure partie de leur vie sous forme de dikaryons, jusqu'à ce que des signaux environnementaux les incitent à produire des fruibodies, comme un champignon. Tous les hyphes qui composent le champignon sont dikaryotes. À un stade avancé de développement, certaines de ces hyphes produisent des cellules spéciales appelées basides (singulier, baside). Par exemple, les cellules qui tapissent les branchies du champignon commun sont des basides. Enfin, les deux noyaux haploïdes de

chaque baside fusionnent - un processus appelé caryogamie) pour former un noyau diploïde. Celui-ci subit ensuite une méiose pour produire quatre noyaux haploïdes, et ces noyaux haploïdes migrent dans les basidiospores, qui se développent sur de petites tiges (appelées stérigmes) à partir de chaque baside. La dispersion de ces spores monocaryotes achève le cycle de vie (Figure 57).

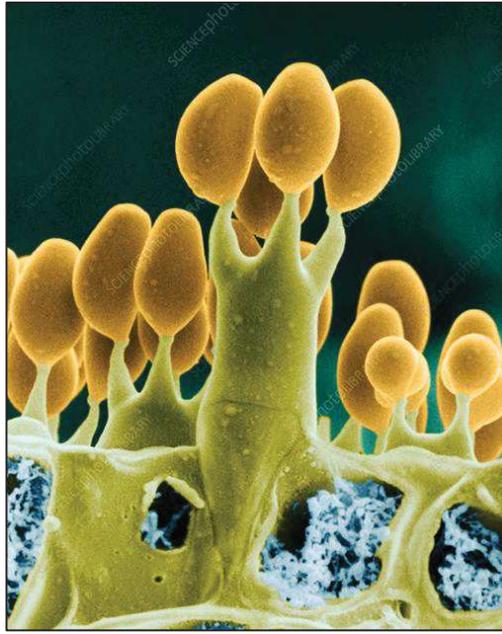


Figure 57 : Des basides sur les branchies d'un champignon. Chaque baside produit quatre tiges (sterigmata) et les basidiospores se développent aux extrémités de ces tiges.

Dans de nombreux basidiomycotes, il existe un mécanisme assez élaboré pour garantir le maintien de l'état dicaryote pendant la croissance des hyphes. Les deux noyaux de chaque cellule de pointe se divisent en même temps, mais l'un se divise le long de l'axe de l'hyphe et l'autre se divise de sorte qu'un noyau fille entre dans une petite branche en saillie vers l'arrière. Ensuite, un septum se forme pour séparer la cellule apicale d'origine en deux cellules, et la branche fusionne avec la cellule sous-terminale de sorte que le noyau de la branche migre dans cette cellule. Les petites branches à chaque septum sont appelées connexions à pince. Ils peuvent être vus à fort grossissement d'un microscope composé normal.

La reproduction asexuée peut avoir lieu à tout moment pendant la phase de croissance du cycle de vie du champignon, mais elle se produit le plus souvent lorsque le champignon est haploïde. Dans tous les cas, les spores auront le même nombre de noyaux que le champignon parent. La plupart des spores asexuées basidiomycotan sont produites lorsque les hyphes

existants sont convertis en spores, mais certaines sont produites par bourgeonnement d'une pointe d'hyphes.

❖ Taxonomie

Ascomycota et Basidiomycota partagent un ancêtre commun et forment ensemble le sous-royaume monophylétique Dikarya. Cela n'est guère surprenant; les deux divisions ont des cycles de vie, des morphologies cellulaires et des écologies très similaires. Ces divisions ont évolué le plus récemment et sont généralement plus complexes que les champignons d'autres divisions. Au sein du Basidiomycota, il existe trois subdivisions principales: Agaricomycotina, qui contient la plupart des espèces formant des champignons, Pucciniomycotina, qui contient les rouilles et les parents, et Ustilaginomycotina, qui contient les charbons et les parents. Les mycologues ont été incapables de déterminer le placement approprié pour deux classes (Wallemycetes et Entorrhizomycetes) qui ne rentrent dans aucun de ces groupes.

2.5. Une association particulière algue-champignon : les lichens

Un lichen ressemble à un seul organisme, mais il s'agit en fait d'une relation symbiotique entre différents organismes. Il est composé d'un partenaire fongique (mycobionte) et d'un ou plusieurs partenaires photosynthétiques (photobionte). Le partenaire photosynthétique est généralement des algues vertes ou des cyanobactéries. Il existe environ 13 500 espèces de lichens sur Terre.

Il est débattu de savoir si la relation dans un lichen est mutualiste ou fait partie d'un parasitisme contrôlé. D'une part, le champignon et le photobionte semblent être dans une relation mutualiste car lorsqu'ils sont combinés, ils ont la capacité de faire face à des conditions écologiques qu'aucune des parties ne pourrait gérer seule. Il semble également qu'aucun des partenaires ne soit endommagé par l'autre. En regardant de plus près un lichen, certains pourraient dire que le photobionte est un captif du mycobionte, pas un partenaire. Le partenaire fongique «asservit» le photobionte pour se nourrir de la photosynthèse du photobionte (Figure 58).

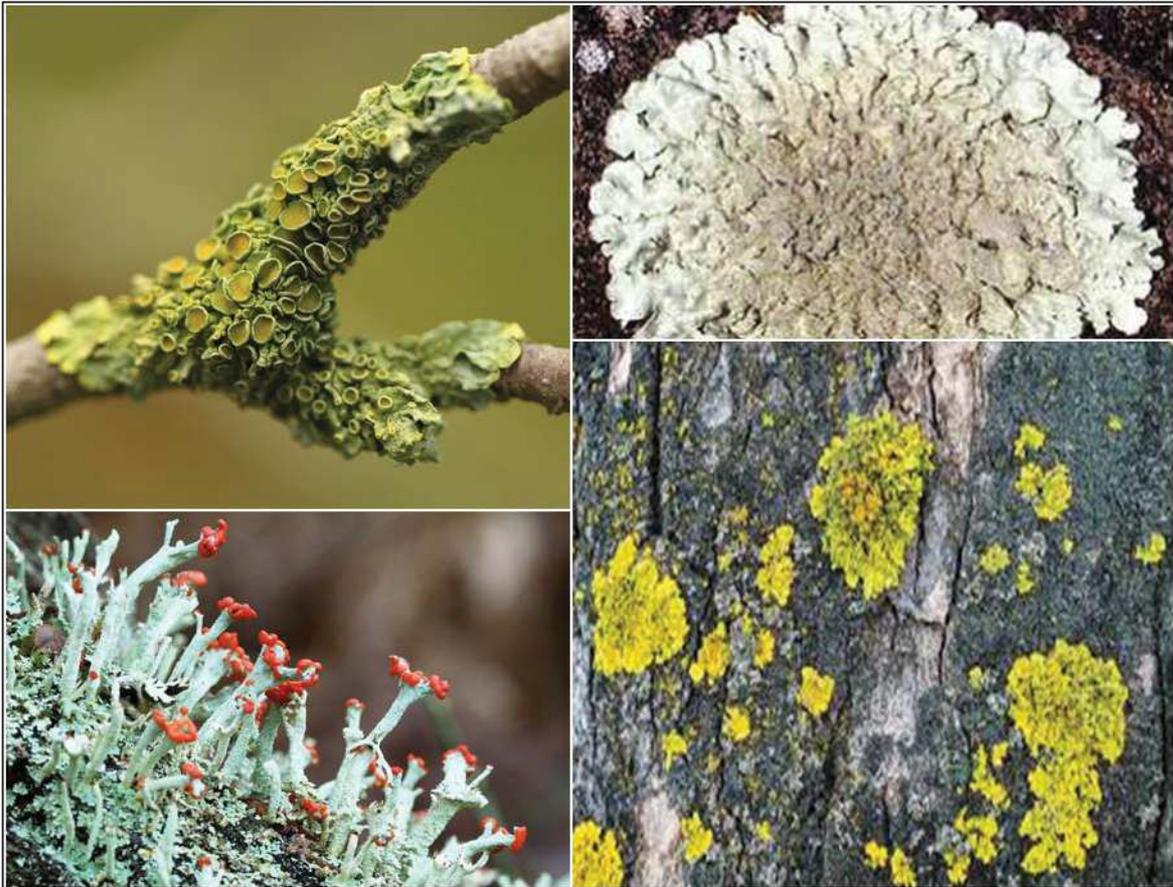


Figure 58 : Les lichens

2.5.1. Morphologie

➤ Formes de croissance

Les lichens prennent des formes très différentes. Dans presque tous les cas, ceux-ci sont déterminés par le partenaire fongique, qui produit la structure visible du thalle qui contient et soutient son partenaire photosynthétique.

- **Leprose** : une masse poudreuse diffuse d'hyphes fongiques et de cellules d'algues, avec peu ou pas de structure.
- **Crustose** : une croûte mince poussant sur ou dans le substrat et qui ne peut pas en être détachée. Ils peuvent être aréolés (divisés en îles par des fissures dans le thalle). Un cortex supérieur protège la couche d'algues dans la moelle épinière en dessous, et il y a souvent un anneau de couleur différente d'hyphes fongiques en croissance active autour de la marge (le prothalle).
- **Placodiöide** : crustacé, mais avec des lobes vers la marge.
- **Squamulose** : petites écailles, souvent chevauchantes, attachées à un bord.

- **Foliacé** : aplati et en forme de feuille, avec des surfaces supérieures et inférieures distinctes. La surface supérieure porte la couche photosynthétique et, souvent, les structures reproductrices. La surface inférieure peut avoir des rhizines ou d'autres structures à attacher au substrat.
- **Fruticeux** : arbustif et attaché au substrat en un seul point. Les branches peuvent être arrondies ou aplaties.
- **Combinaisons**, par ex. Cladoniforme - un thalle primaire de squamules ou de granules, qui développe un thalle secondaire de podetia en forme de coupe, d'épi ou d'arbre.

Quelques lichens suivent la morphologie du partenaire algal, tel que *Ceonogonium*, dont les hyphes enveloppent les filaments individuels de *Trentopohlia* (Figure 59).

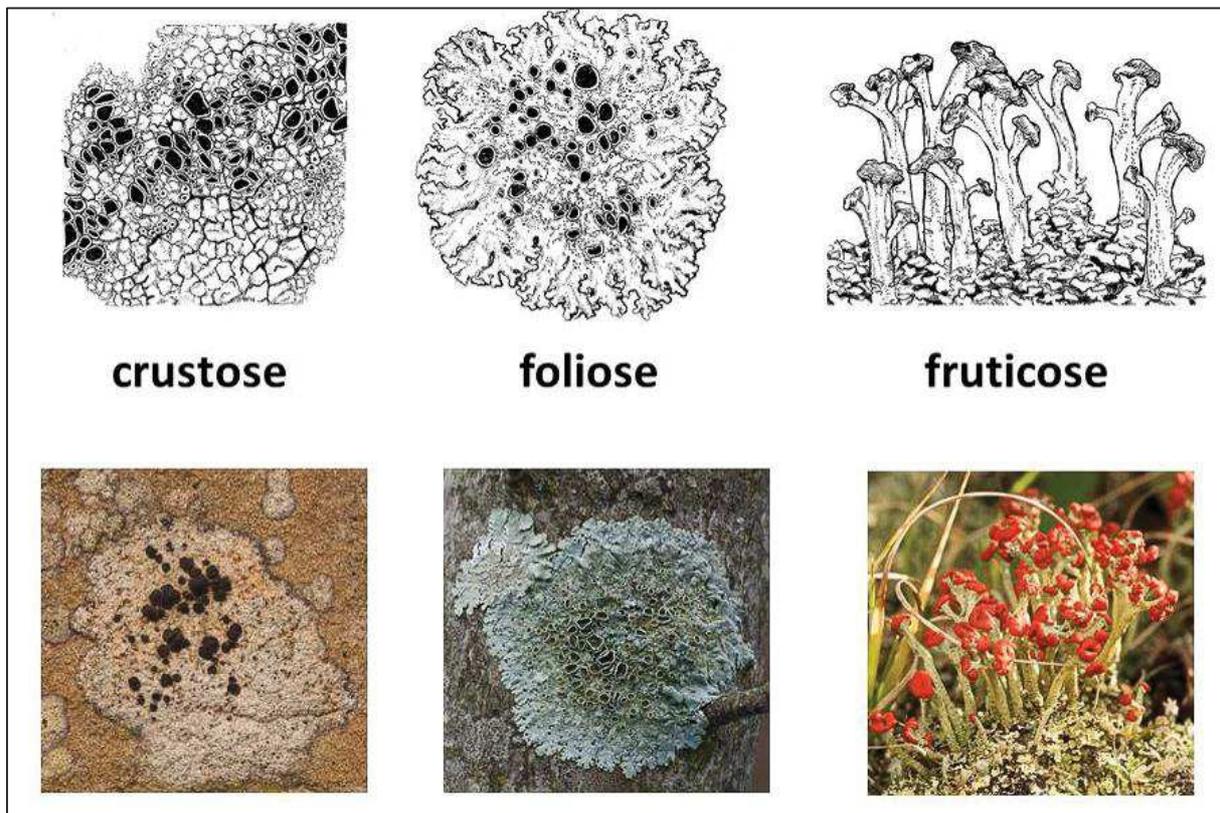


Figure 59 : Les différentes formes des lichens

2.5.2. Anatomie

Malgré la grande diversité des formes de croissance de base, tous les lichens ont une morphologie interne similaire. La majeure partie du corps du lichen est formée de filaments du partenaire fongique, et la densité relative de ces filaments définit les couches à l'intérieur du lichen.

A sa surface externe, là où il entre en contact avec l'environnement, les filaments sont étroitement tassés pour former le cortex. Le cortex dense sert à empêcher les autres organismes d'entrer et aide à réduire l'intensité de la lumière qui peut endommager les cellules des algues.

Les cellules partenaires des algues sont réparties juste en dessous du cortex dans une couche où les filaments fongiques ne sont pas si denses. Ceci est très similaire à l'arrangement dans une feuille de plante, où les cellules photosynthétiques sont peu compactées pour permettre la circulation de l'air.

Sous la couche d'algues se trouve la moelle épinière, une couche de filaments fongiques tissée de manière lâche. Chez les lichens foliacés, il y a un deuxième cortex sous la moelle, mais chez les lichens crustacés et squamulosiques, la moelle est en contact direct avec le substrat sous-jacent auquel le lichen est attaché (Figure 60).

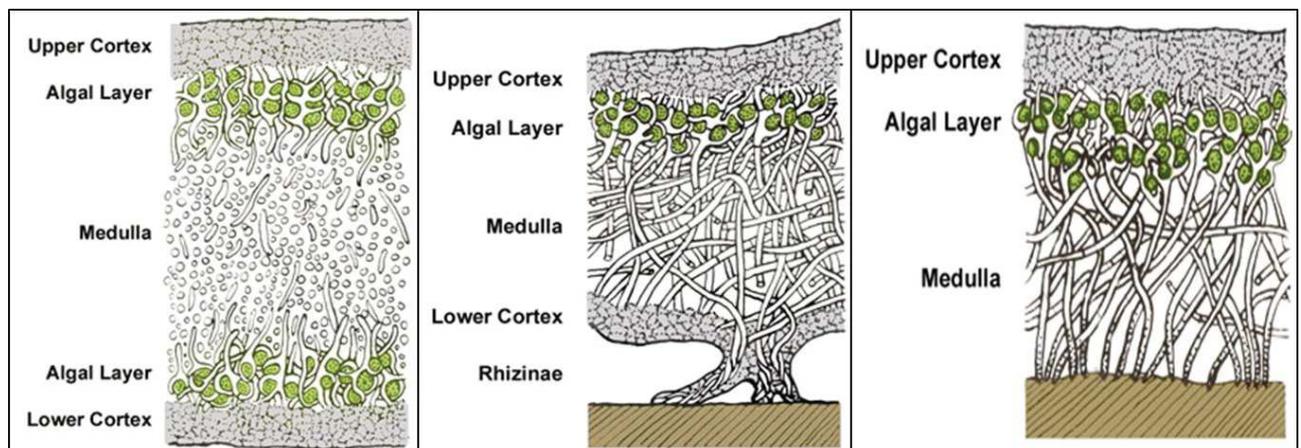


Figure 60 : Morphologie interne des lichens

2.5.3. Reproduction

Deux formes de reproduction peuvent être trouvées parmi les organismes vivants - sexuelle et asexuée. C'est par le mélange de gènes de deux individus, via la reproduction sexuée, que s'effectue la diversité génétique, alors que dans la reproduction asexuée, il n'y a pas de tel mélange de gènes. La reproduction sexuée et asexuée peut être trouvée parmi

les lichens. Lorsqu'on parle de plantes (ou de lichens, qui étaient autrefois considérés comme des plantes), la reproduction asexuée est communément appelée reproduction végétative. Bien que les lichens, dans leur ensemble, puissent se reproduire à la fois sexuellement ou végétativement, il existe des espèces dans lesquelles les deux types de reproduction peuvent être communs, mais aussi des espèces où un type est rare ou même inconnu.

- Reproduction sexuelle

Après tout, aucun lichen n'est un organisme individuel mais une association entre deux (ou plus) organismes. En fait, chez les lichens, seuls les partenaires fongiques peuvent se reproduire sexuellement. Dire que les lichens peuvent se reproduire sexuellement est en fait un raccourci pour «les partenaires fongiques des lichens peuvent se reproduire sexuellement». Un certain nombre d'espèces de photobiontes trouvées dans les lichens peuvent être trouvées en liberté et pourraient alors se reproduire sexuellement, mais dans un lichen, la reproduction sexuée du photobionte est supprimée.

Les lichens se reproduisant sexuellement sont soit des ascomycètes, soit des basidiomycètes. Les ascomycètes produisent leurs propagules sexuelles (appelées ascospores) dans des organes microscopiques appelés asques et les basidiomycètes produisent leurs propagules sexuelles (appelées basidiospores) sur des organes microscopiques appelés basides. Souvent, les ascospores ou les basidiospores sont simplement appelées spores, en particulier lorsqu'il n'est pas nécessaire de différencier les deux ou lorsqu'il n'y a pas de confusion possible avec les propagules végétatives. Les asques ou basides individuels ne peuvent pas être vus à l'œil nu, mais ils sont produits en grand nombre dans des structures facilement visibles. Les structures productrices d'ascospores les plus couramment observées sont les apothécies, généralement en forme de disque à cupule et qui poussent à partir de la surface du thalle. La page STRUCTURES REPRODUCTIVES donne des descriptions de diverses structures associées à la production d'ascospores et la page Basidiolichen donne des exemples des structures dans lesquelles les basidiospores sont produites.

On en sait beaucoup sur les processus de reproduction sexuée chez les ascomycètes ou basidiomycètes non lichénisés car il est possible d'en cultiver beaucoup en laboratoire, de suivre toutes les étapes de leur cycle de vie et de réaliser des expériences d'accouplement.

Par ces moyens, il a été possible de voir comment les processus de reproduction sexuée se déroulent chez ces espèces. Ces recherches ont montré que la reproduction sexuée chez les ascomycètes ou basidiomycètes non lichénisés présente à la fois des similitudes et des différences significatives avec les processus d'organismes tels que les humains ou les plantes. Il n'a pas été possible d'élucider la plupart des processus chez les mycobiontes de lichen. Un certain nombre d'entre eux peuvent être cultivés, dans une certaine mesure, en laboratoire, mais pas dans la mesure où cela permettrait une bonne compréhension de tous les processus de reproduction sexuée. Dans ce contexte, il convient de noter que, parmi les ascomycètes ou basidiomycètes non lichénisés, il est plus difficile d'étudier les processus chez les espèces mycorhiziennes que chez les saprotrophes. Dans l'étude de cas sur la reproduction sexuelle, vous pouvez trouver une brève description de certains aspects de la reproduction sexuée chez les ascomycètes et basidiomycètes non lichénisés et des commentaires plus brefs sur les champignons lichénisés.

- Reproduction végétative

De nombreux lichens produiront de nouveaux individus à partir de fragments qui se détachent d'un thalle. Chaque fragment contient à la fois des cellules mycobiontes et photobiontes et, en principe, fonctionne à peu près de la même manière qu'une bouture prise par un jardinier qui souhaite propager une plante particulière. La bouture du jardinier est génétiquement identique à la plante mère et est donc un moyen de reproduction végétative et un fragment de thalle propage également une constitution génétique existante. La fragmentation n'implique aucune structure particulière, bien qu'il soit clair que la morphologie du thalle joue un rôle puisque les thalles avec des formes de croissance délicates sont plus susceptibles de se fragmenter que les thalles robustes. Par exemple, un certain nombre d'espèces en forme de rideau suspendu qui poussent sur les arbres peuvent être facilement déchirées par des vents forts ou des débris soufflés par le vent et diverses espèces foliacées ont des thalles dans lesquels des lobes étroits et facilement cassables sont présents.

Les propagules végétatives les plus importantes sont les isidies et les sorédies. Les premiers sont de petites excroissances du thalle, jusqu'à un millimètre de longueur environ, qui contiennent à la fois des hyphes fongiques et des cellules photobiontes. Les isidies cassés peuvent être transportés par le vent, l'eau ou les animaux (par exemple, capturés sur les pattes d'oiseaux ou dans la fourrure animale) et s'ils sont déposés dans un habitat convenable, ils peuvent générer de nouveaux thalles. Les sorédies ressemblent à de petits

granules poudreux, d'environ 20 à 100 micromètres de diamètre, et chaque sorédium est constitué de quelques cellules photobiontes entourées d'hyphes fongiques. Les sorédies sont très facilement dispersées par le vent, l'eau ou les animaux.

Le terme propagule symbiotique est un terme général pour tout type de propagule dans lequel des cellules fongiques et photobiontes sont présentes. En plus des propagules symbiotiques, il est possible d'avoir des propagules végétatives où un seul partenaire est présent. De nombreux lichens produisent des propagules fongiques végétatives appelées conidies, souvent dans de minuscules chambres appelées pycnides qui sont noyées dans un thalle mais avec une ouverture (ou ostiole) vers l'extérieur à travers laquelle les conidies peuvent s'échapper. Dans certaines circonstances, les cellules photobiontes peuvent s'échapper d'un thalle et ensuite fonctionner comme propagules végétatives du photobionte. La fuite est particulièrement probable chez certaines espèces lorsque les thalles sont très saturés d'eau.

D'après ce qui a été dit en réponse à la deuxième question fondamentale ci-dessus, il est clair qu'un thalle de lichen pourrait contenir des cellules fongiques ou photobiontes génétiquement distinctes. Si tel était le cas, les propagules végétatives produites à différentes parties d'un thalle pourraient être génétiquement distinctes en ce qui concerne le mycobionte, le photobionte ou les deux. Pour être précis, il faudrait dire qu'une propagule végétative produirait un nouveau thalle génétiquement identique à la partie du thalle parent qui a produit la propagule.

Alors qu'en ce qui concerne les thalles génétiquement diversifiés, il est pertinent de noter que la génération de ces thalles n'a pas besoin de s'appuyer sur des propagules fongiques. Dans l'hypogymnie et la physcie, les sorédies ont fusionné aux premiers stades de la formation de nouveaux thalles. De toute évidence, si les sorédies sont génétiquement distinctes (chez un ou les deux partenaires), le nouveau thalle sera également un lien de référence génétiquement divers.

DEUXIEME PARTIE: Les Embryophytes

DEUXIEME PARTIE : Les Embryophytes

1. Les Bryophytes

Les Bryophytes sont des plantes terrestres qui se distinguent des Trachéophytes (plantes supérieures) par l'absence de tissus conducteurs et de tissus de soutien. Elles forment un groupe délimité avec précision depuis la fin du XVIIIème siècle. Avec 20 000 espèces sur un total de 300 000 espèces de plantes terrestres, elles constituent le second plus important phylum de plantes terrestres après les Angiospermes (plantes à fleurs). D'un point de vue taxonomique, trois classes sont définies :

- Les mousses comptent environ 12 000 espèces ;
- Les hépatiques entre 6 000 et 8 000 espèces ;
- Les anthocérotes entre 100 et 300 espèces.

Les bryophytes sont actuellement de petits végétaux terrestres, de quelques centimètres de long, chlorophylliens, et vivant généralement dans des lieux humides et ombragés. L'accomplissement de leur cycle biologique reste encore fortement inféodé à la présence d'eau puisque les gamètes mâles sont nageurs.

Néanmoins, grâce à leur capacité de reviviscence, ces végétaux sont capables de supporter de longues périodes de sécheresse : ils peuvent en effet se déshydrater fortement et entrer dans un état de vie ralentie pendant plusieurs semaines. Ils reprennent une activité normale lorsque l'eau est à nouveau disponible. Ce sont donc des végétaux très résistants, et à ce titre ils constituent avec les lichens, les végétaux pionniers capables de coloniser des milieux minéraux (c'est pourquoi on en trouve en abondance sur les murs ou les toits des maisons). Ils participeront alors à la formation des sols permettant aux végétaux plus exigeants de s'installer à leur tour.

1.1. Marchantiophytes

Les Marchantiophyta sont une division de plantes terrestres non vasculaires communément appelées hépatiques ou hépatiques. Comme les mousses et les hornworts, ils ont un cycle de vie à dominance gamétophyte, dans lequel les cellules de la plante ne portent qu'un seul ensemble d'informations génétiques.

On estime qu'il existe environ 9 000 espèces d'hépatiques. Certaines des espèces les plus familières poussent sous forme de thalle aplati sans feuilles, mais la plupart des espèces sont feuillues avec une forme très semblable à une mousse aplatie. Les espèces feuillues peuvent être distinguées des mousses apparemment similaires sur la base d'un certain nombre de caractéristiques, y compris leurs rhizoïdes unicellulaires. Les hépatiques feuillues diffèrent également de la plupart des mousses (mais pas toutes) en ce que leurs feuilles n'ont jamais de costa (présente dans de nombreuses mousses) et peuvent porter des cils marginaux (très rares dans les mousses). D'autres différences ne sont pas universelles pour toutes les mousses et hépatiques, mais l'apparition de feuilles disposées en trois rangs, la présence de lobes profonds ou de feuilles segmentées, ou un manque de tige et de feuilles clairement différenciées indiquent que la plante est une hépatique (Figure 61).



Figure 61 : Les Marchantiophytes

❖ Morphologie

La plupart des hépatiques sont petites, mesurant de 2 à 20 millimètres (0,08 à 0,8 po) de large avec des plantes individuelles de moins de 10 centimètres (4 po) de long, de sorte qu'elles sont souvent négligées. Les hépatiques les plus connues consistent en une structure prostrée,

aplatie, en forme de ruban ou ramifiée appelée thalle (corps végétal) ; ces hépatiques sont appelées hépatiques de thallose. Cependant, la plupart des hépatiques produisent des tiges aplaties avec des écailles qui se chevauchent ou des feuilles sur deux ou plusieurs rangs, le rang moyen est souvent nettement différent des rangs extérieurs ; on les appelle hépatiques feuillues ou hépatiques en écailles.

Les hépatiques sont généralement petites, généralement de 2 à 20 mm de large avec des plantes individuelles de moins de 10 cm de long, et sont donc souvent négligées. Cependant, certaines espèces peuvent couvrir de grandes parcelles de sol, des roches, des arbres ou tout autre substrat raisonnablement ferme sur lequel elles se trouvent. Ils sont répartis dans le monde entier dans presque tous les habitats disponibles, le plus souvent dans des endroits humides bien qu'il existe également des espèces du désert et de l'Arctique. Certaines espèces peuvent être une nuisance dans les serres ombragées ou une mauvaise herbe dans les jardins.

Les hépatiques peuvent être distinguées de la manière la plus fiable des mousses apparemment similaires par leurs rhizoïdes unicellulaires. D'autres différences ne sont pas universelles pour toutes les mousses et toutes les hépatiques ; mais l'absence de tige et de feuilles clairement différenciées chez les thalles, ou chez les feuillus la présence de feuilles profondément lobées ou segmentées et la présence de feuilles disposées en trois rangs, tous indiquent que la plante est une hépatique. Contrairement à tous les autres embryophytes, la plupart des hépatiques contiennent des corps huileux uniques liés à la membrane contenant des isoprénoïdes dans au moins certaines de leurs cellules, les gouttelettes lipidiques dans le cytoplasme de toutes les autres plantes étant non fermées. La similitude physique globale de certaines mousses et hépatiques feuillues signifie que la confirmation de l'identification de certains groupes ne peut être effectuée avec certitude qu'à l'aide d'une microscopie ou d'un bryologue expérimenté.

Les hépatiques, comme les autres bryophytes, ont un cycle de vie à dominance gamétophyte, le sporophyte dépendant du gamétophyte. Les cellules d'une plante hépatique typique ne contiennent chacune qu'un seul ensemble d'informations génétiques, de sorte que les cellules de la plante sont haploïdes pendant la majeure partie de son cycle de vie. Cela contraste fortement avec le modèle présenté par presque tous les animaux et par les plantes vasculaires. Dans les plantes à graines plus familières, la génération haploïde n'est représentée que par le minuscule pollen et l'ovule, tandis que la génération diploïde est l'arbre familier ou une autre

plante. Une autre caractéristique inhabituelle du cycle de vie de l'hépatique est que les sporophytes (c'est-à-dire le corps diploïde) ont une très courte durée de vie et se fanent peu de temps après avoir libéré des spores. Dans les mousses, le sporophyte est plus persistant et dans les hornworts, le sporophyte disperse les spores sur une période prolongée.

❖ Cycle de vie et reproduction

La vie d'une hépatique commence à partir de la germination d'une spore haploïde pour produire un protonème, qui est soit une masse de filaments filiformes, soit un thalle aplati. Le protonème est une étape transitoire de la vie d'une hépatique, à partir de laquelle poussera la plante gamétophyte mature ("porteuse de gamètes") qui produit les organes sexuels. Les organes mâles sont appelés anthéridies (singulier: anthéridie) et produisent les spermatozoïdes. Les grappes d'anthéridies sont entourées d'une couche protectrice de cellules appelée périgonium (pluriel: périgonie). Comme dans d'autres plantes terrestres, les organes femelles sont connus sous le nom d'archegonia (singulier: archegonium) et sont protégés par le mince perichaetum environnant (pluriel: perichaeta). Chaque archégone a un tube creux mince, le «cou», dans lequel les spermatozoïdes nagent pour atteindre l'ovule (Figure 62).

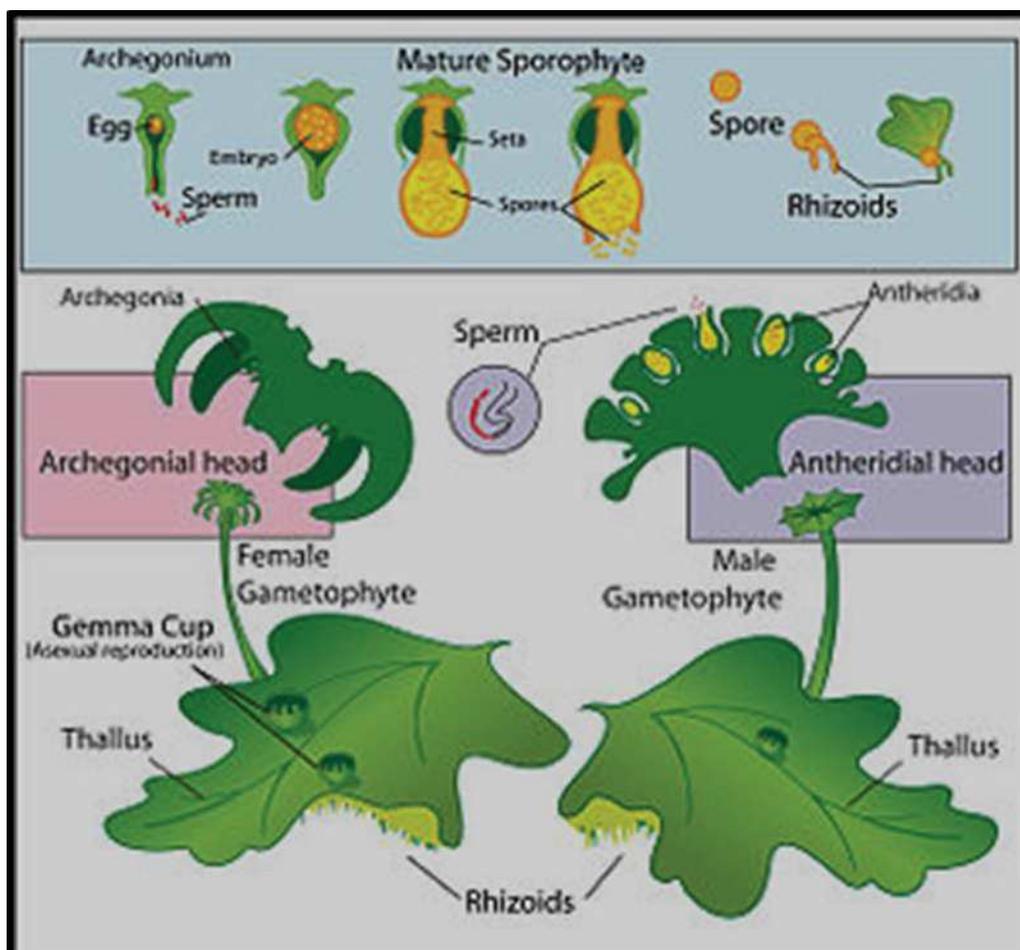


Figure 62 : cycle de vie des Marchantiophytes

Les espèces d'hépatiques peuvent être dioïques ou monoïques. Dans les hépatiques dioïques, les organes sexuels femelles et mâles sont portés sur des plantes gamétophytes différentes et séparées. Dans les hépatiques monoïques, les deux types de structures reproductrices sont portés sur des branches différentes de la même plante. Dans les deux cas, les spermatozoïdes doivent passer des anthéridies où ils sont produits à l'archegonium où sont conservés les ovules. Les spermatozoïdes des hépatiques sont biflagellés, c'est-à-dire qu'ils ont deux flagelles en forme de queue qui leur permettent de nager sur de courtes distances, à condition qu'au moins une fine pellicule d'eau soit présente. Leur voyage peut être facilité par les éclaboussures de gouttes de pluie. En 2008, des chercheurs japonais ont découvert que certaines hépatiques sont capables de tirer de l'eau contenant des spermatozoïdes jusqu'à 15 cm dans l'air, ce qui leur permet de fertiliser des plantes femelles poussant à plus d'un mètre du mâle le plus proche.

Lorsque les spermatozoïdes atteignent l'archegonia, la fécondation se produit, conduisant à la production d'un sporophyte diploïde. Après la fécondation, le sporophyte immature dans l'archegonium développe trois régions distinctes : (1) un pied, qui à la fois ancre le sporophyte en place et reçoit les nutriments de sa plante «mère», (2) une capsule sphérique ou ellipsoïdale, à l'intérieur de laquelle les spores sera produit pour se disperser dans de nouveaux endroits, et (3) un seta (tige) qui se trouve entre les deux autres régions et les relie. Lorsque le sporophyte a développé les trois régions, le seta s'allonge, se fraye un chemin hors de l'archegonium et le rompt. Alors que le pied reste ancré dans la plante mère, la capsule est expulsée par le seta et est étendue loin de la plante et dans l'air. Dans la capsule, les cellules se divisent pour produire à la fois des cellules d'élatère et des cellules productrices de spores. Les élatères sont en forme de ressort et pousseront la paroi de la capsule pour se disperser lorsque la capsule éclatera. Les cellules productrices de spores subiront une méiose pour former des spores haploïdes à disperser, moment auquel le cycle de vie pourra recommencer.

Certaines hépatiques sont capables de reproduction asexuée ; chez les bryophytes en général "il serait presque vrai de dire que la reproduction végétative est la règle et non l'exception."

Par exemple, à *Riccia*, lorsque les parties les plus anciennes des thalles fourchus meurent, les plus jeunes pointes deviennent des individus séparés.

Certaines hépatiques de thallose telles que *Marchantia polymorpha* et *Lunularia cruciata* produisent de petites gemmes en forme de disque dans des coupes peu profondes. *Marchantia gemmae* peut être dispersée jusqu'à 120 cm par la pluie qui éclabousse les tasses. En *Metzgeria*, les gemmes poussent aux marges du thalle. *Marchantia polymorpha* est une mauvaise herbe commune dans les serres, couvrant souvent toute la surface des conteneurs ; gemma dispersion est le "principal mécanisme par lequel l'hépatique se propage dans une pépinière ou une serre."

1.2. Anthocérotophytes

Les anthocérotes (Anthocerotophyta ou Anthocerotae) sont un embranchement de plantes terrestres (embryophytes) aux caractères ancestraux.

Avec les hépatiques et les mousses (ie. parfois appelées bryophytes sensu stricto), on les regroupe sous le nom de bryophytes (sensu lato, ce groupe étant paraphylétique, il a été abandonné par les cladistes mais conservé comme grade évolutif par les systématiciens évolutionnistes).

▪ Morphologie

Gamétophyte : thalle à croissance dichotome (phase dominante). Présence de stomates et de rhizoïdes unicellulaires sur la face inférieure.

Les gamétanges (archégonies et anthéridies) sont inclus dans le thalle.

Le sporophyte appelé Sporogone chez les mousses est linéaire, au centre il y a une colonne : la columelle avec des spores organisées en tétrades. Il va s'ouvrir par deux fentes longitudinales (Figure 63).



Figure 63 : Les Anthocérotophytes

- **Reproduction**

Attaché au substrat (généralement le sol) par des rhizoïdes (filaments allongés servant à la fixation et théoriquement à l'absorption), le gamétophyte est une lame foliacée verte aplatie dorso-ventralement. Ce thalle présente des cavités qui sont en communication avec l'extérieur par des ouvertures, les pseudo-stomates, dans sa surface inférieure et parfois supérieure. Des algues symbiotiques établissent des colonies dans ces cavités. Les pseudo-stomates serviraient à permettre l'entrée de ces algues dans le thalle. (Note : ne pas confondre ces colonies avec les cavités endogènes contenant les organes reproducteurs). Les sporophytes sont presque toujours présents. Constitués d'un pied haustorial et d'une capsule cylindrique photosynthétique se développant à partir d'une zone méristématique basale, ils n'ont pas de soie. Ils possèdent donc une croissance indéterminée. Cette zone méristématique est protégée par un involucre formé par les tissus du gamétophyte. Le sporange cylindrique s'ouvre en deux valves par le sommet pour libérer les spores et des élatères au faciès très particulier. Ces élatères, souvent objets de grande beauté, sont des éléments unicellulaires stériles présents dans les capsules d'anthocérotes et d'hépatiques et qui jouent un rôle dans la dispersion des spores auxquelles ils sont mêlés. La reproduction est asexuée (multiplication végétative) par propagules (Figure 64).

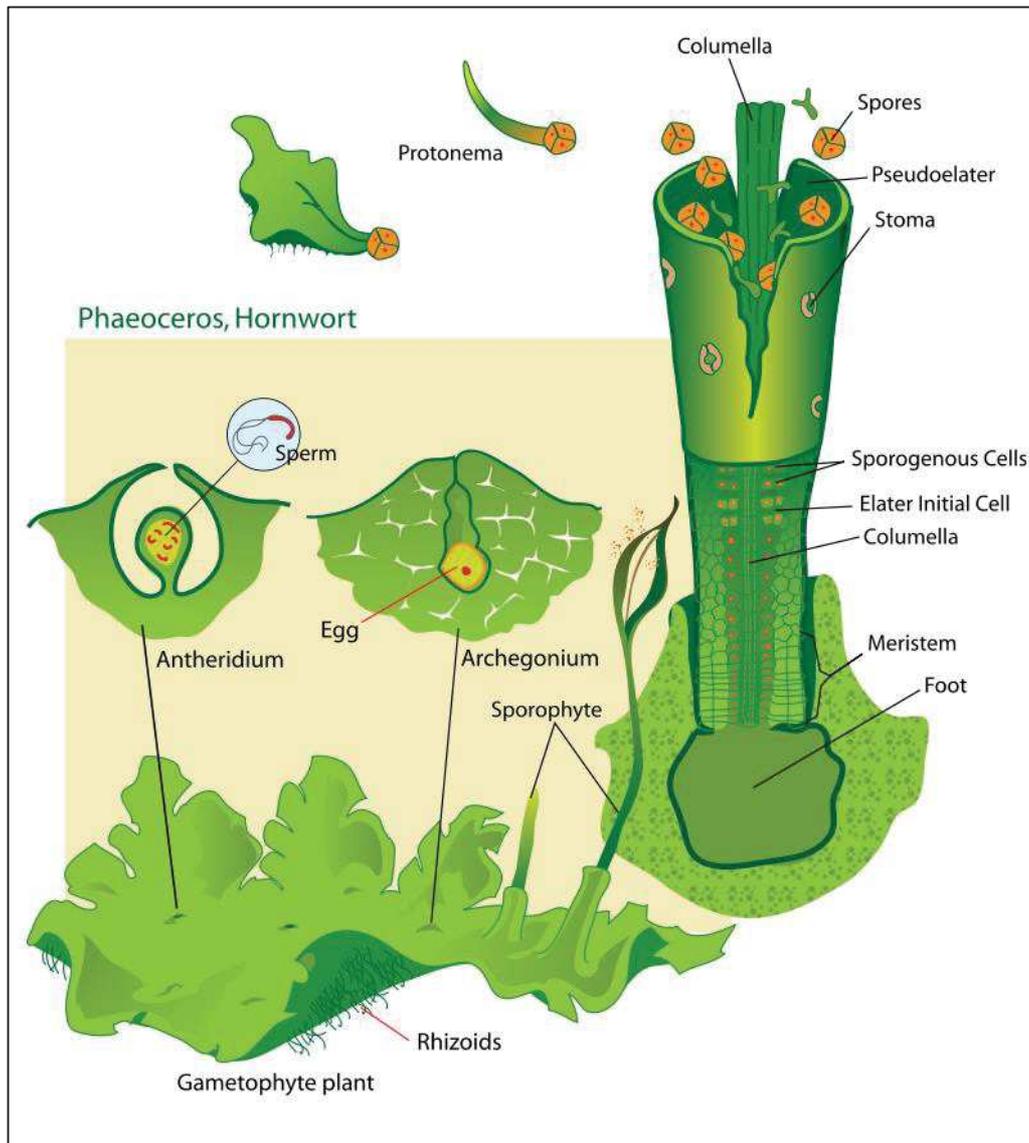


Figure 64 : Cycle de vie des Anthocérotophytes

1.3. Bryophytes *s. str.*

❖ Morphologie

Les Bryophytes ne possèdent ni tissus de soutien rigides (absence de lignine), ni tissus conducteurs amenant l'eau du sol aux parties aériennes. Ces derniers apparaissent chez les plantes vasculaires (plantes supérieures), c'est pourquoi les Bryophytes sont souvent qualifiées de plantes inférieures.

- L'absence de ces tissus limite la taille des Bryophytes, aussi elles ne mesurent que de quelques millimètres à quelques centimètres (70 cm au plus chez les hépatiques du genre *Fontinalis*).
- La partie aérienne est relativement complexe et se présente sous forme, soit d'un axe pourvu d'organes foliacés où chaque feuille est très mince et généralement formée d'une seule assise de cellules, soit d'un thalle, lame verte étalée sur le substrat, épaisse de quelques couches de cellules.
- Les Bryophytes sont capables d'absorber rapidement l'humidité et les nutriments dissous directement à travers la paroi des cellules des parties aériennes.
- La partie souterraine est formée par des rhizoïdes qui permettent aux Bryophytes d'habiter des surfaces telles que les troncs d'arbres, les murs ou les rochers, surfaces impénétrables aux racines des plantes vasculaires.
- Ces caractères morphologiques particuliers rendent possible la colonisation d'habitats variés : forêts tempérées, forêts tropicales, toundra, marécages, tourbières, dans toutes les régions climatiques. Il faut cependant noter que, même s'il existe des espèces aquatiques, les Bryophytes sont absentes du milieu marin.
- Pour répondre aux contraintes environnementales, les Bryophytes ont adapté leur métabolisme. Elles assurent la photosynthèse et la croissance lors des périodes humides et suspendent leur métabolisme pendant les périodes de sécheresse. Cette tolérance à la dessiccation est commune à la quasi-totalité des espèces de Bryophytes et caractéristique de ces végétaux. Elle s'accompagne d'une tolérance importante à des températures extrêmes : ces plantes peuvent supporter quelques minutes des températures proches de 100°C et plusieurs mois ou années des températures autour de 0°C (Figure 65).



Figure 65 : Exemples des Bryophytes

❖ Reproduction

✚ Reproduction sexuée

Les Bryophytes ont un cycle de vie hétéromorphique, c'est-à-dire qu'elles existent sous deux formes, le gamétophyte et le sporophyte. Dans le cas des Bryophytes, le gamétophyte, qui est haploïde (n chromosomes) est la forme dominante et constitue l'appareil végétatif. Il est grand, chlorophyllien et autonome. En revanche, le sporophyte qui est diploïde ($2n$ chromosomes) est réduit et vit fixé sur le gamétophyte.

Le sporophyte permet le développement de spores qui sont ensuite dispersées et donnent naissance à de nouveaux gamétophytes. Ce caractère est unique parmi les plantes et a fait des mousses, notamment *Physcomitrella patens*, un modèle attractif pour l'étude de la biologie du développement des plantes (Figure 66, 67 et 68).

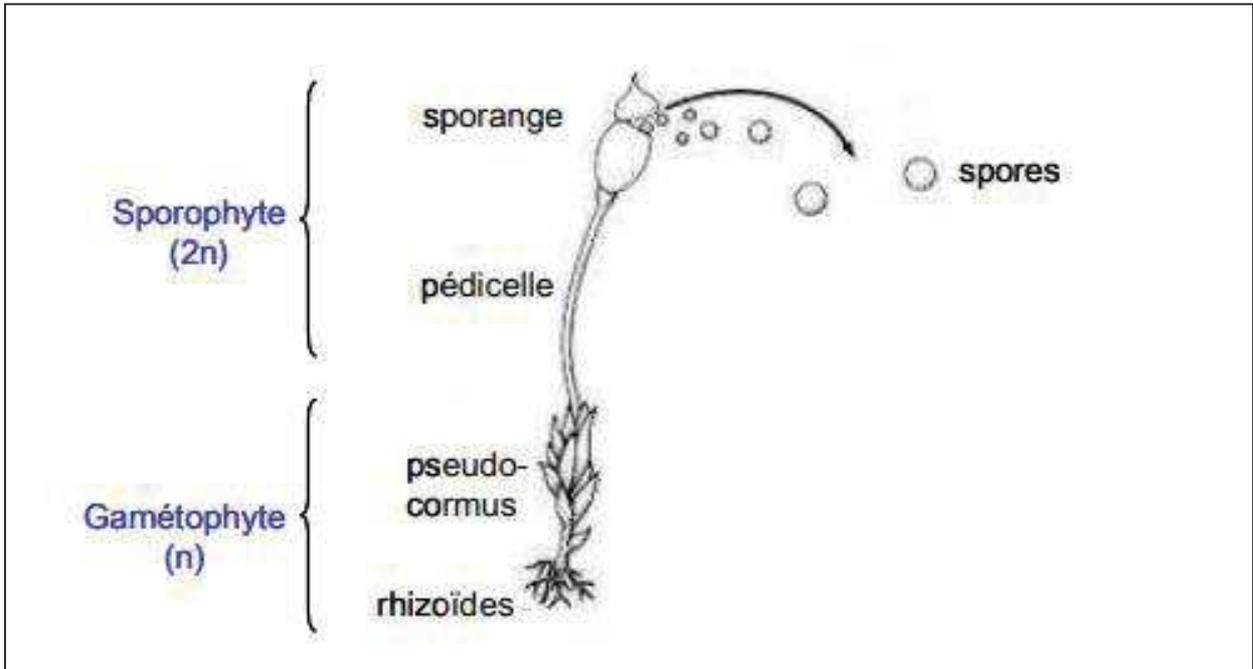


Figure 66 : Schéma simplifié d'une mousse du genre Phylum.

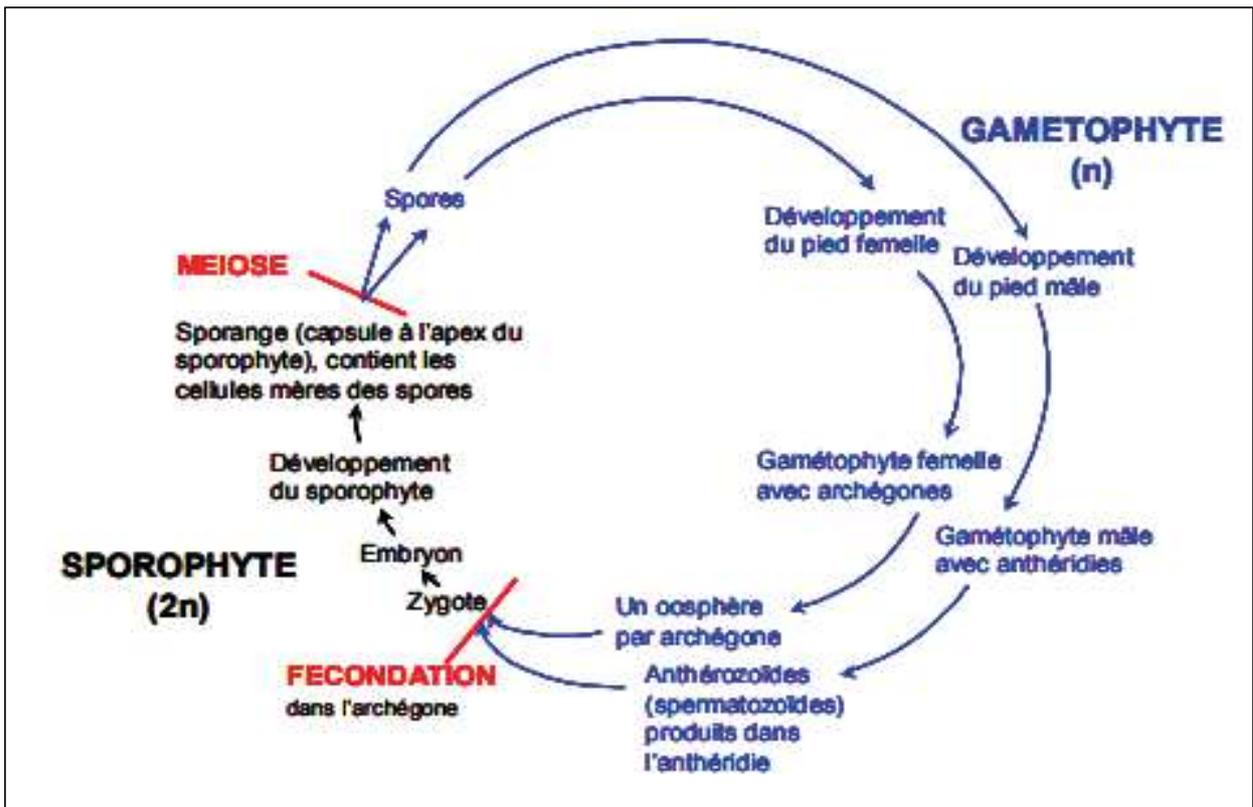


Figure 67 : Cycle de reproduction des Bryophytes

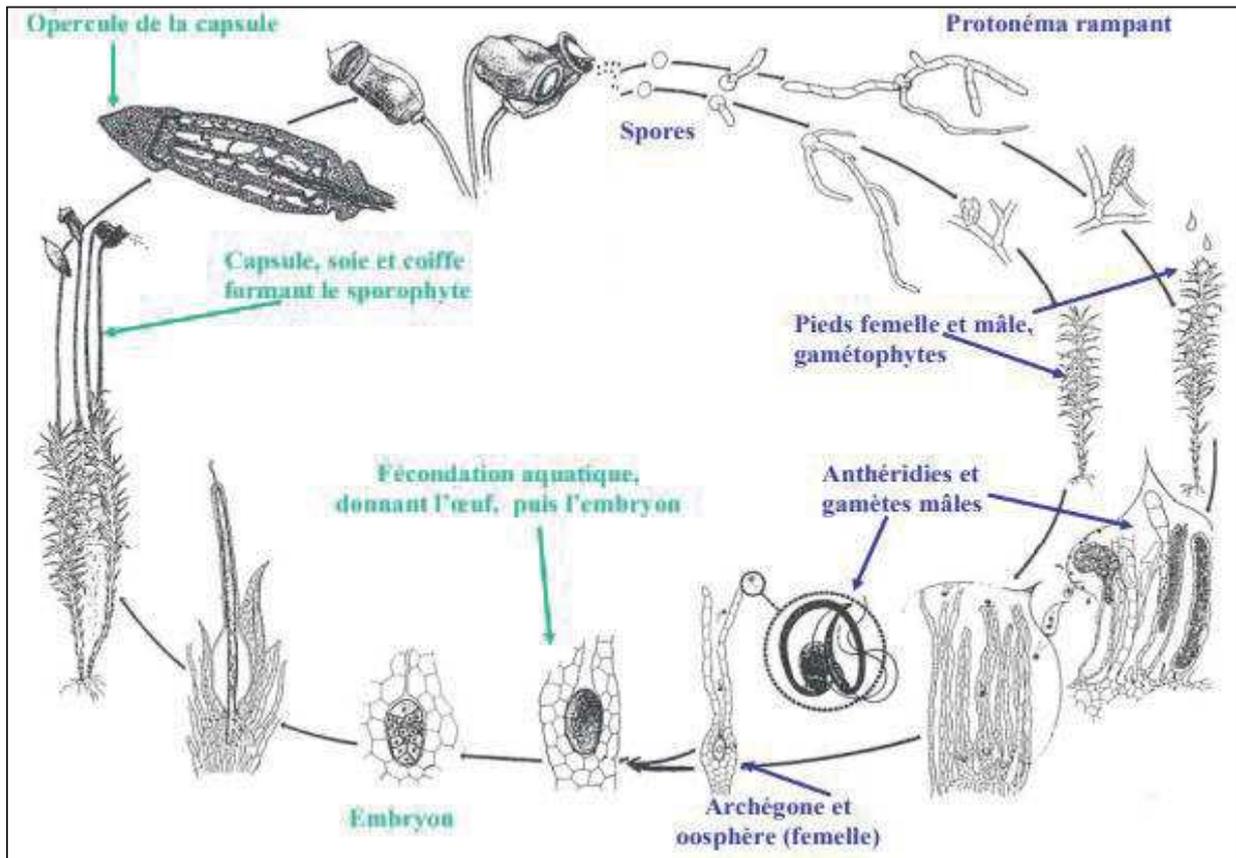


Figure 68 : Cycle biologique des Bryophytes

✚ Reproduction asexuée

La reproduction asexuée peut se faire de différentes manières :

- ✓ Multiplication par fragmentation du gamétophyte : Les parties les plus anciennes du gamétophyte meurent et dégénèrent isolant ainsi les différents rameaux encore vivants. Chacun d'eux devient alors un individu autonome. Ce processus contribue à donner aux mousses un aspect caractéristique de "touffes". Tous les individus de la "touffe" auront le même patrimoine génétique.
- ✓ Multiplication par bourgeonnement : Les caulidies ou tiges feuillées (axes ou tige des Mousses) produisent au contact du sol des protonémas secondaires susceptibles de bourgeonner et de régénérer de nouvelles caulidies. N'importe quelle partie du gamétophyte ou du sporophyte peut proliférer en un protonéma (*Metzgeria furcata*)

- ✓ Multiplication par propagules : Les propagules sont des organes de multiplication végétative spécialisés (soit de cellules isolées, soit de petits massifs cellulaires d'aspect variés) qui se différencient à la marge ou à l'extrémité des feuilles, au sommet des axes ou sur le thalle. Les propagules sont dans certains cas produites dans des organes particuliers, telles les "corbeilles à propagules" typiques des hépatiques. Chaque propagule aura le même patrimoine génétique que le bryophyte qui le produit. À maturité, ces propagules sont disséminées par l'eau et donnent naissance en se développant à un nouvel individu gamétophytique, génétiquement identique à l'individu de départ (*Orthotrichum lyellii*).

2. Les Ptéridophytes

Ils regroupent actuellement trois embranchements : Sphenophytes, Filicophytes et Lycophytes. Les ptéridophytes sont tous vivaces, ce sont des géophytes à rhizomes, à racines, tiges et feuilles (avec stomates). Cependant leur fécondation nécessite encore la présence de l'eau puisque les gamètes mâles sont nageurs. Leur bois est formé de trachéïdes scalariformes (sont des éléments conducteurs peu spécialisés, formés par des cellules vivantes, allongées, à section polygonale, très régulière et ayant la consistance d'une échelle. Particulièrement présents chez les Ptéridophytes). Le sporophyte ($2n$) = plante feuillée. L'appareil végétatif est variable en taille et forme. Les feuilles peuvent être des microphylls ou des macrophylls (= frondes des filicinées) et portent les sporanges à leur surface on parle alors de sporophylles.

2.1. Lycophytes

❖ Morphologie

Feuilles jamais enroulées en crosse, linéaires ou réduites à des écailles disposées en hélice sur les axes ; sporanges à l'aisselle des feuilles supérieures organisées en épi (Figure 69).



Figure 69 : Les Lycophytes

❖ Reproduction

Chez les sélaginelles le cycle est hétérosporé. Ce sont des plantes de petites tailles à microphylls. Les sporanges sont disposés à l'aisselle de sporophylles groupées en épis, mais ils sont de deux sortes. Les uns, plus petits, les microsporangies produisent après méiose de nombreuses spores minuscules, les microspores. Les autres, à la base de l'épi, plus gros, les macrosporangies, ne libèrent après méiose que quatre spores, de forte taille cette fois, les macrospores, gonflant la paroi du sporangie. Les sporophylles, portant les microsporangies, s'appellent des microsporophylles et celles, portant les macrosporangies, des macrosporophylles.

- ✓ C'est à l'intérieur de la paroi des spores que se développent après dissémination les prothalles (gamétophytes). Le prothalle mâle à l'intérieur de la microspore est presque réduit à une anthéridie, on l'appelle le microprothalle, et il libérera à maturité des gamètes mâles nageurs flagellés, les anthérozoïdes.
- ✓ Au sein de la macrospore, le macroprothalle femelle se développe en faisant saillie hors de la paroi de la spore différenciant rhizoïdes et archégones. On parle ici d'hétéroprothallie. Le macroprothalle femelle accumule des réserves nutritives qui permettront le développement du jeune sporophyte issu de la fécondation.
- ✓ Chez les sélaginelles la fécondation est toujours aquatique mais on voit que dans ce cas, il existe une protection accrue des sporanges par la sporophylle et des gamétophytes par les parois des spores, associées à une hétérosporie et à une hétéroprothallie qui correspondent à une plus grande différenciation des sexes au niveau de la génération gamétophytique. En comparaison des fougères, les prothalles sont ici de taille beaucoup plus réduite. Ces tendances indiquent une direction évolutive dont on suppose qu'elle a conduit à la formation de l'ovule (Figure 70).

Microspores -----> gamétophyte mâle macrospores -----> gamétophyte femelle

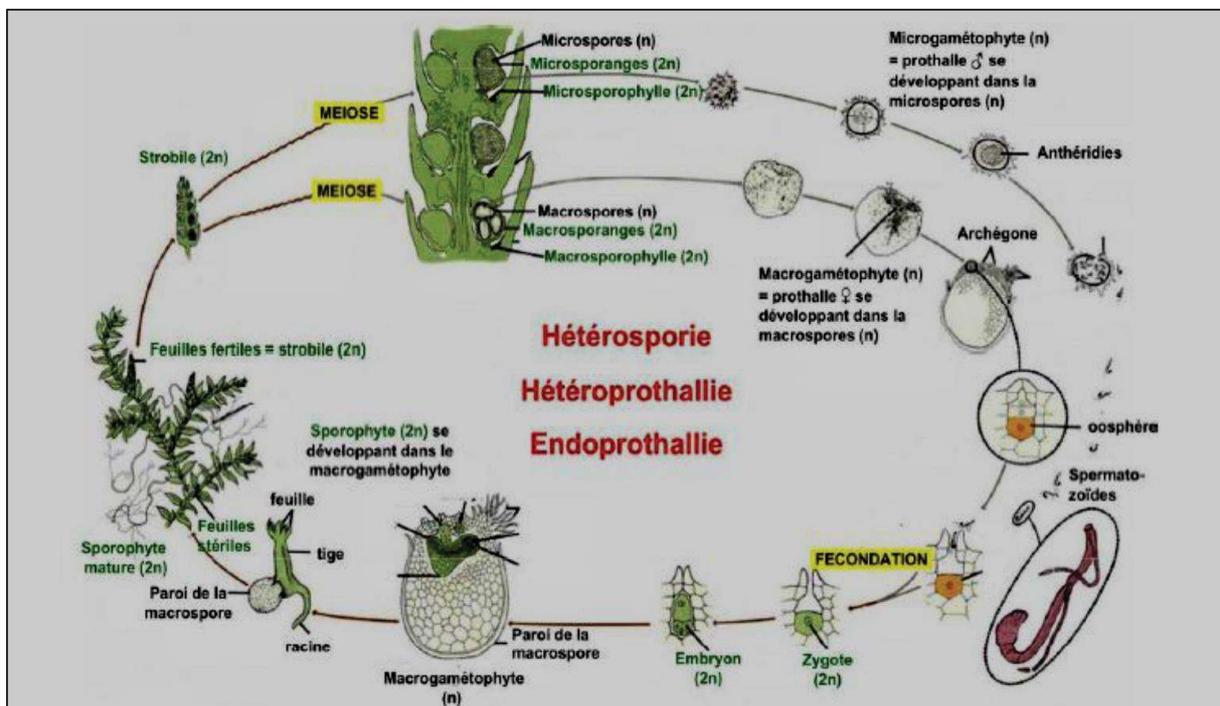


Figure 70 : Cycle de vie des Lycophytes

2.2. Sphenophytes

Ce groupe parfois désigné sous le nom de Sphénophytes ou Arthrophytes, est également très ancien. De nos jours, seul subsiste l'ordre des Equisétales constitué d'un genre unique, *Equisetum* caractérisé par des espèces toutes herbacées. Les Prêles vivent exclusivement dans les lieux humides. Nous les trouverons donc le long de la rivière mais aussi dans les prairies inondées ou sur les bords des fossés assez ensoleillés

❖ Morphologie

L'appareil végétatif des Prêles est constitué d'abord par une tige souterraine ou rhizome, de couleur claire, parfois même blanche, divisée en segments par des nœuds où s'attachent des couronnes d'écaillés allongées et brunes. Vers le bas naissent de fines racines. Des tiges aériennes se développent verticalement divisées elles aussi, par des nœuds parfois assez serrés. Au niveau de chacun d'eux est un verticille de petites feuilles brunes, étroites et soudées les unes aux autres par leur base. Chaque nœud porte en outre de nombreux rameaux secondaires régulièrement segmentés, ce qui donne à la plante un port particulier (Figure 71).

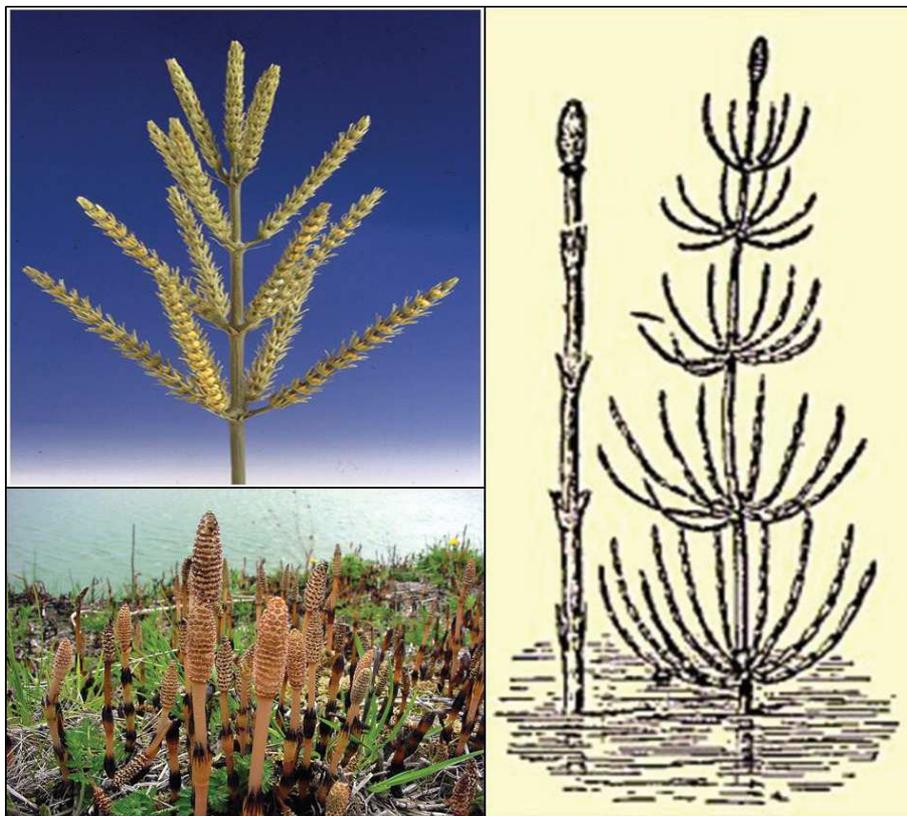


Figure 71 : Les Sphenophytes

❖ **Reproduction**❖ **Spores et sporanges**

Chez les Prêles, les sporanges et les spores se forment sur des organes spéciaux : les épis sporifères. Mais tandis que chez certaines espèces (*Equisetum palustre*) ces épis naissent à l'extrémité des tiges, chez d'autres (*Equisetum maximum*) ils apparaissent sur des hampes spéciales, parfois même avant que n'apparaissent les tiges aériennes.

Dans l'épi sporifère, nous pouvons distinguer un axe central recouvert d'éléments ayant la forme de clous à tête plate. Sur leur face interne, les têtes de ces clous portent une dizaine de sacs allongés de couleur jaune : les sporanges.

Lorsque le temps est sec, ces sporanges s'ouvrent par une fente longitudinale et laissent échapper une grande quantité de spores de couleur vert-grisâtre.

Si nous examinons ces spores au microscope, nous les voyons munies de quatre prolongements attachés au même point et disposés en spirale : les élatères. Les élatères ont la propriété de se dérouler sous l'action de la sécheresse. Ce mécanisme joue un rôle dans la dissémination des spores (Figure 72).

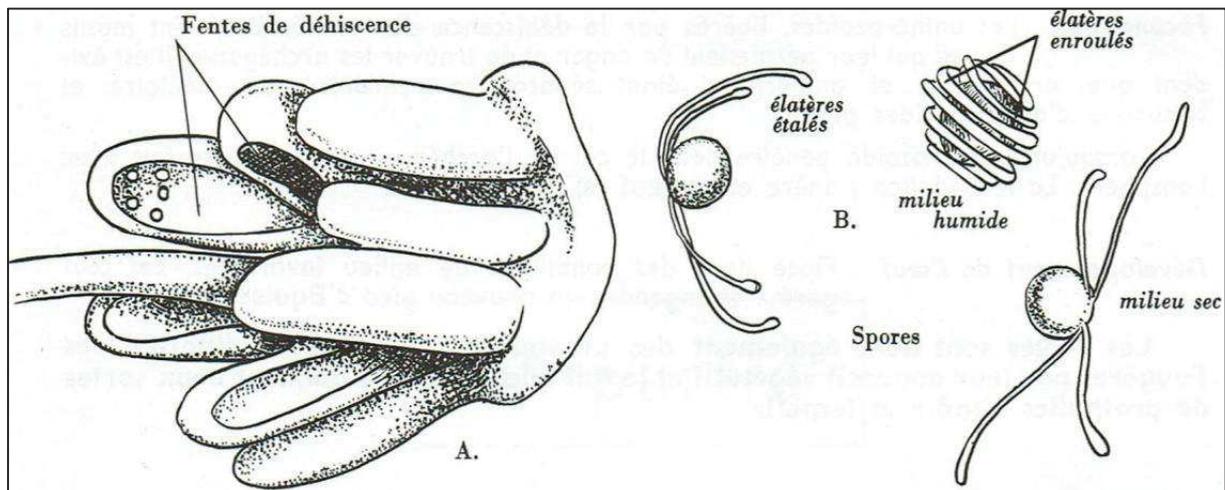


Figure 72 : L'appareil sporifère d'un Sphénophyte

❖ **Prothalles**

Extérieurement, les spores sont toutes semblables. Cependant, elles sont de deux sortes. En effet, si elles donnent toutes les deux des prothalles petites lames vertes, nous pouvons distinguer parmi ceux-ci des prothalles mâles portant des anthéridies, et des prothalles femelles

portant des archégonies. Les anthéridies et les archégonies des Prêles ont une structure analogue à celle que nous avons décrite pour les Fougères (Figure 73).

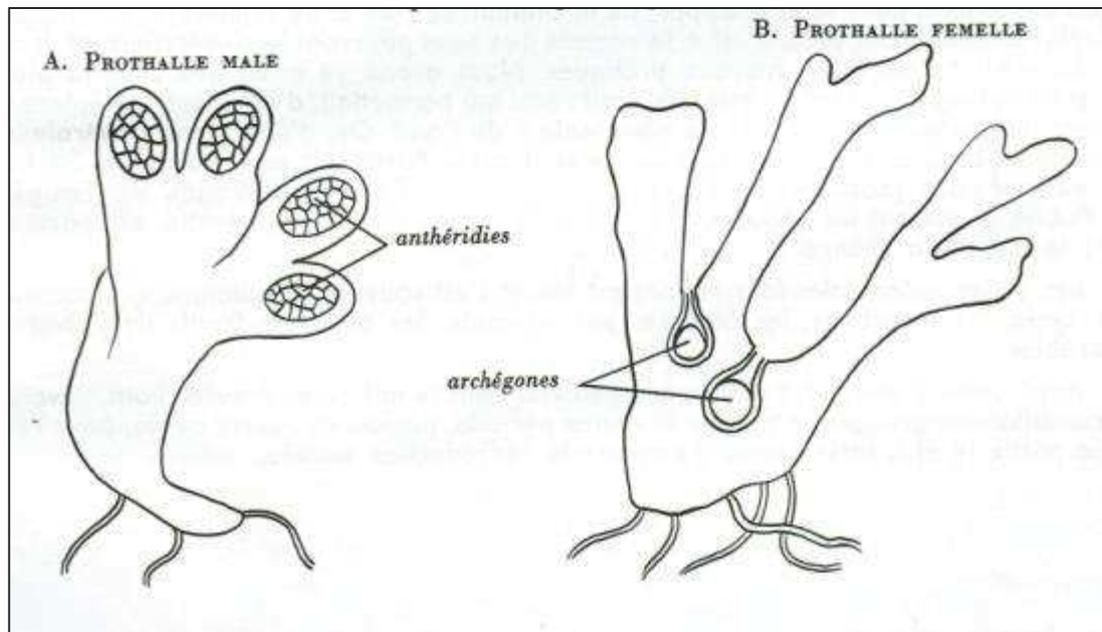


Figure 73 : Prothalles de Prêles

❖ Fécondation

Les anthérozoïdes libérés par la déhiscence des anthéridies sont munis de cils qui leur permettent de nager et de trouver les archégonies. Il est évident que les archégonies et anthéridies étant séparés, la rencontre est aléatoire et beaucoup d'anthérozoïdes perdus. Lorsqu'un anthérozoïde pénètre dans le col de l'archégonie, la fusion se fait avec l'oosphère. La fécondation s'opère et un œuf est formé.

❖ Développement de l'œuf

Placé dans des conditions de milieu favorables, cet œuf germe et engendre un nouveau pied d'Equisetum.

2.3. Filicophytes

❖ Morphologie

Nous rencontrons les Fougères dans les endroits humides et peu ensoleillés de notre ensemble végétal. Ce sont des plantes qui ont un port très voisin de celui de nombreuses plantes

herbacées. Mais quelle que soit la saison à laquelle nous les récoltons, nous n'y voyons jamais rien qui puisse être comparé à une fleur ou à un fruit. Nous prendrons comme exemple le Polypode vulgaire.

Le Polypode vulgaire vit de préférence dans les fissures des rochers à l'ombre. Son appareil végétatif se compose d'un rhizome, ou tige souterraine de couleur brunâtre, assez long et épais. De ce rhizome partent vers le bas d'assez nombreuses racines filiformes. Vers le haut poussent les feuilles ou frondes, qui seules sortent de terre. Chaque feuille possède un pétiole se prolongeant sur le limbe par une nervure saillante appelée rachis. Le limbe est découpé de part et d'autre en folioles arrondies à leur extrémité (Figure 74).

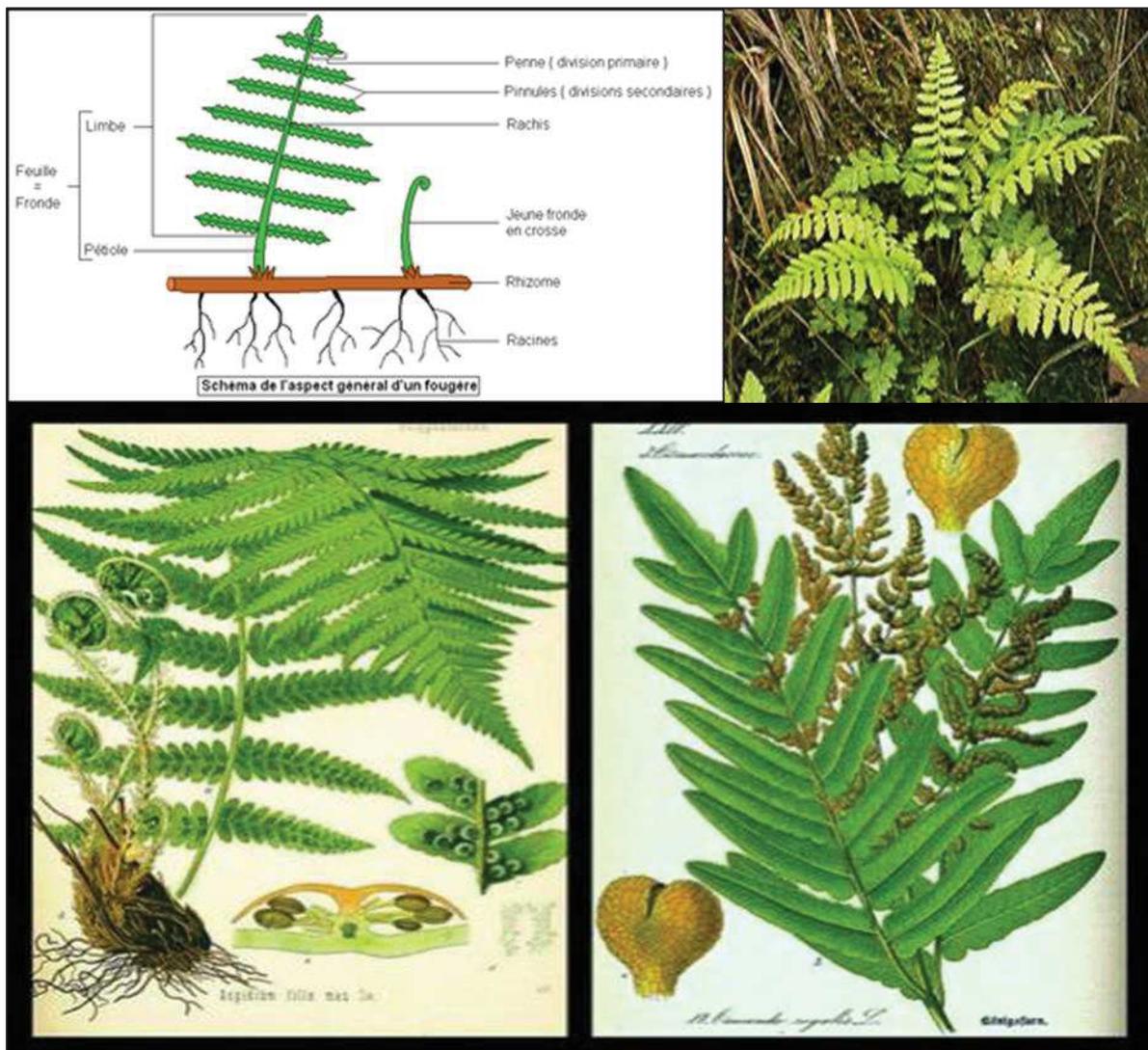


Figure 74 : Les Filicophytes

❖ Reproduction

Les phénomènes de reproduction s'effectuent en plusieurs phases.

✚ Sporangies et spores

A la fin de l'hiver, il apparaît à la face inférieure des folioles, de petites excroissances d'abord jaunes puis brunes. Elles sont régulièrement disposées le long de la nervure médiane de ces folioles. On les appelle des **sores**. En observant un sore au microscope à un faible grossissement, on voit qu'il est formé d'un amas de corpuscules sphériques montés sur des pédoncules courts. Chacun d'eux est un **sporange**, petit sac de couleur brune qui, lorsqu'il est mûr, s'ouvre pour laisser échapper un grand nombre de **spores** minuscules. L'ouverture se fait grâce à un **anneau mécanique** constitué par une ceinture de petites cellules cubiques dont la face externe est mince alors que la face interne et les faces latérales sont épaissies. Lorsque le temps est sec, les parois externes se contractent et provoquent la rupture de l'anneau.

✚ Le prothalle

Les spores ont une membrane épaisse, légèrement plissée. Elles peuvent ainsi résister assez longtemps à la sécheresse. Dès qu'il pleut, celles qui sont tombées sur le terreau humide des fissures de rochers se mettent à germer. Elles donnent un petit filament qui, bientôt, devient une lame verte dont la taille est de quelques millimètres. C'est le prothalle, en forme de cœur. Très mince, il est plus épais dans sa partie axiale. Il porte sur sa face inférieure de fins prolongements qui s'enfoncent dans le sol : les rhizoïdes.

✚ Archégonies et anthéridies

Lorsque le prothalle est suffisamment développé, il apparaît à sa face inférieure des archégonies et des anthéridies. Les archégonies sont situées vers la base du cœur et ont la forme de petites gourdes avec un ventre renflé et un col. Le col est parcouru par un petit canal rempli de substance mucilagineuse. A l'intérieur du ventre, on observe une cellule sphérique : l'oosphère. Les anthéridies, placées dans la région axiale ont l'aspect de petites massues creuses divisées en compartiments qui sont des cellules. Dans chacune d'elles se forme un anthérozoïde, corpuscule enroulé en hélice et muni de cils vibratiles. Grâce à ces cils, après ouverture de l'anthéridie, les anthérozoïdes nagent dans la pellicule d'eau qui recouvre toujours par temps humide la face inférieure des prothalles (Figure 75).

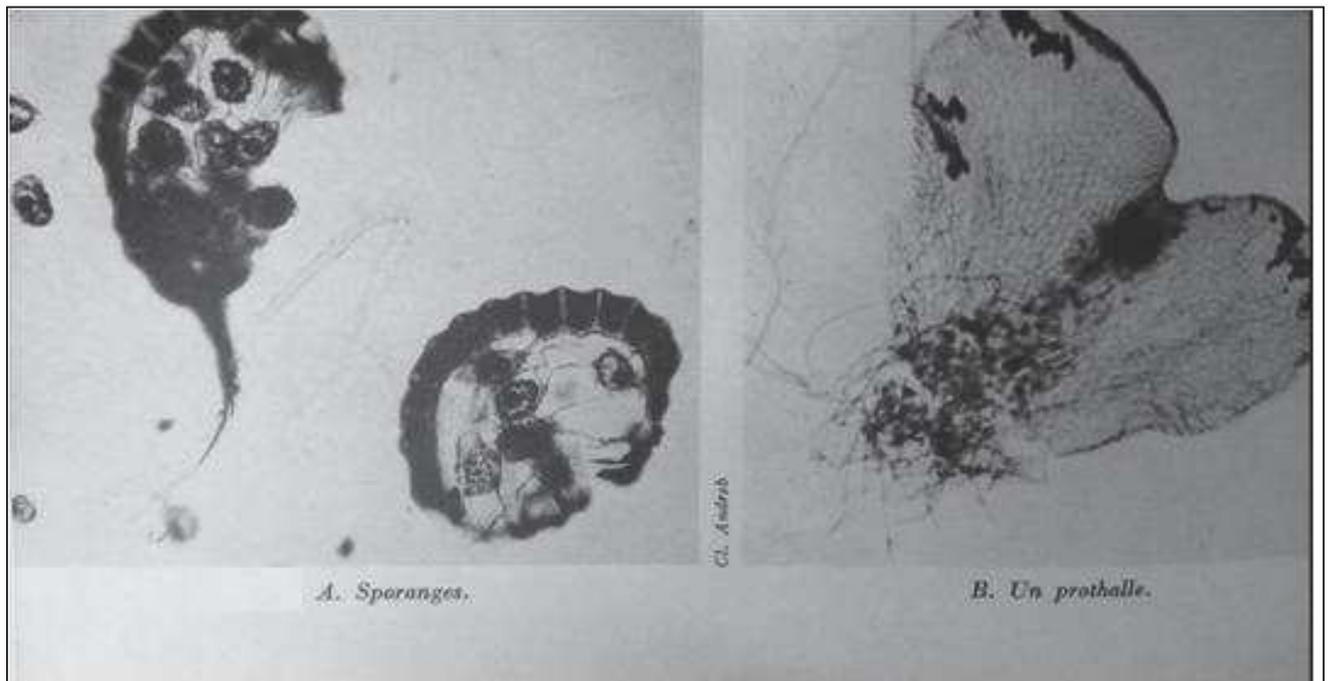


Figure 75 : Sporange et prothalle des Fougères

✚ Fécondation

Un anthérozoïde peut ainsi arriver à l'entrée du col de l'archégone, dans lequel il pénètre attiré par la substance mucilagineuse. Il vient jusqu'au contact de l'oosphère avec lequel il se fusionne. Il s'est formé un œuf.

✚ Développement de l'œuf

A maturité, l'œuf se développe. Il donne un pied qui s'enfonce dans le prothalle et joue le rôle de suçoir pour nourrir la jeune plante à ses débuts. Il donne aussi une jeune tige, une jeune racine et une jeune feuille qui, en poussant, reconstitueront un Polypode analogue à celui duquel nous sommes partis. En effet, entre le pied et la plantule apparaît une sorte de bourgeon qui donnera de nouvelles feuilles, de nouvelles racines sur une tige qui s'allonge en un rhizome souterrain (Figure 76).

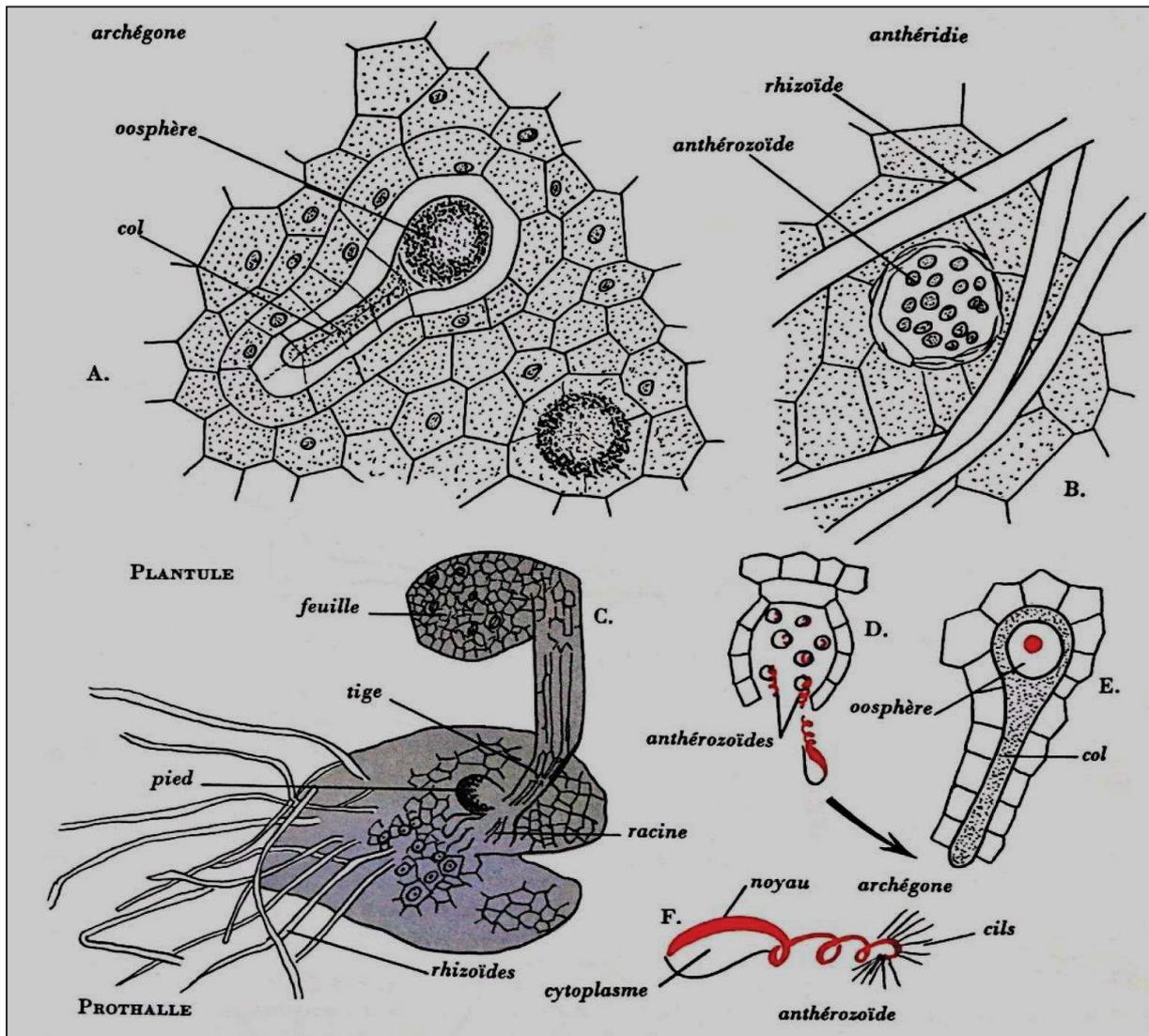


Figure 76 : Reproduction des Filicophytes

3. Les Gymnospermes

Les Gymnospermes sont des plantes faisant partie d'un sous-embanchement des Spermaphytes (plantes à graines) qui inclut les plantes dont l'ovule est non enclos dans un ovaire à la différence des Angiospermes. Le nom Gymnospermes provient du grec *gymnospermus* signifiant « semence nue ». Il existe de soixante-quinze à quatre-vingt genres et environ huit cents à mille espèces actuellement répartis en quatorze familles. Ils sont surtout abondants dans les milieux froids où elles sont très largement dominantes (Figure 77).

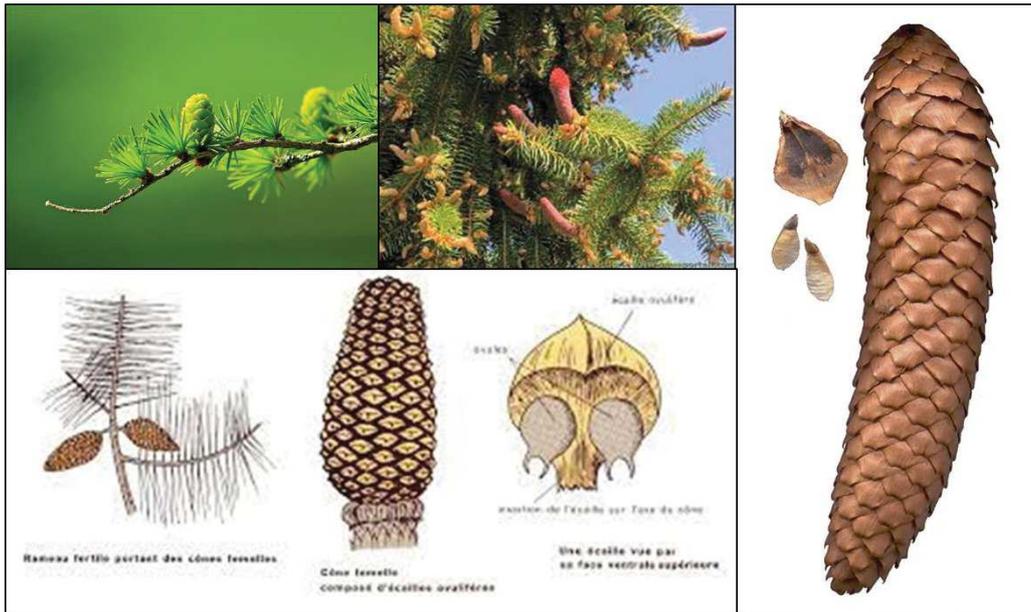


Figure 77 : Les Gymnospermes

❖ **Caractères généraux**

- ✓ Plantes ligneuses : arbres, arbustes ou arbrisseaux
- ✓ Port en cône est très caractéristiques d'où l'appellation de conifères
- ✓ Leurs tissus produisent des oléorésines d'où le nom de résineux
- ✓ Plantes à ovule non enfermés dans un ovaire d'où le nom de gymnospermes
- ✓ Feuilles toujours vertes, généralement persistantes en raison de leur adaptation xérophytique avec la forme généralement en aiguille
- ✓ Fleurs généralement unisexuées et dépourvues de périanthe : ce sont de simples écailles sur lesquelles se trouve soit l'ovule soit le sac pollinique. Elles peuvent être sur le même pied : espèce monoïque (pins et sapins) ou sur deux pieds différents : espèces dioïques (Taxacacées, ex l'if).
- ✓ Les fruits peuvent être :
 - Des cônes formés d'écailles ligneuses (pin)
 - Des sphères formées d'écailles ligneuses (cyprés)
 - Des sphères formées d'écailles charnues (genévrier)

3.1. Les Cycadophytes

❖ Morphologie

Ils introduisent tannée à feuilles persistantes composé faucille en rosette au sommet des tiges trapu. Ce sont des plantes à croissance lente : un mètre spécimens de grande taille peuvent être 500 ans. Les racines ont aspect particulier (racines coralloïdes) en raison de la présence de cyanobactérie fixatrice d'azote.

Chez les cycadophytes, les ovules sont nus - ils sont seulement portés par une écaille plane dite ovulifère (Figure 78).



Figure 78 : Les Cycadophytes

Les Cycadophytes rappellent par leur port les Fougères arborescentes et les Palmiers (le mot Cycas vient du grec $\kappa\acute{o}\iota\chi$, $\kappa\acute{o}\iota\kappa\omicron\varsigma$, signifiant « palmier ») : en effet, la plante montre un stipe entouré de bases foliaires et surmonté par une couronne de frondes largement étalées.

L'embranchement des Cycadophytes comporte deux ordres principaux : les Cycadales dont les formes fossiles rappellent toujours celles des Cycadacées actuelles, et les Bennettiales, ordre entièrement fossile groupé autour du genre Bennettites.

On peut cependant leur joindre l'ordre des Pentoxylales du Secondaire indien et certains auteurs y ajoutent même les Ptéridospermales de l'époque primaire, mais il semble qu'il s'agit là d'un groupe bien différent qui mérite d'être inclus dans un embranchement particulier.

❖ Reproduction

Les plantes Cicadofite dioïque qui ont des sexes séparés.

La strobilus mâle se compose pollinifère des dites tranches microsporophylli conduisant à la base microsporangie (sacs de pollen). Dans les sacs de pollen sont formés des grains de pollen qui constituent la gamétophyte mâle. La femelle se compose de strobilus macrosporophylli (Groupé feuilles vertes) qui portent deux (macrosporangies) ovules. Ils ont un aspect charnu car les substances de réserve accumulent, quel que soit le succès de la fécondation et c'est l'un des aspects pour lesquels cette classe est considérée comme peu développée. Dans les ovules formeront l'archéogone contenant l'oosphaère.

La fécondation se produit sur le sol (un autre caractère primitif) après la pollinisation. Depuis grain de pollen une protubérance sera émise, le tube pollinique, par une cellule végétative. Il a la fonction austoriale, à savoir se charge de se procurer la nourriture gamétophyte mâle de Nucella qui est la partie la plus profonde de l'œuf. Les gamètes ciliés (produit par une cellule génératrice), après avoir été introduit dans l'ovule par le tube de pollen, atteignent la natation archéogone dans un liquide. Un seul ovule est fécondé, les autres dégénérés.

3.2. Les Ginkgophytes

La division des Ginkgophyta (formant traditionnellement, avec les Pteridospermatophyta et les Cycadophyta, les préspermatophytes) ne comprend aujourd'hui qu'une seule classe, les Ginkgopsida, elle-même composée d'un seul ordre, les Ginkgoales, et de deux familles connues, la famille actuelle des Ginkgoaceae, et la famille fossile des Trichopityaceae (Figure 79).



Figure 79 : Les Ginkgophytes

C'est une division de gymnospermes (ancienne classification phylogénétique) apparue durant le jurassique supérieur dont le seul représentant actuel est l'espèce *Ginkgo biloba* (genre *Ginkgo*).

❖ Reproduction

Les espèces sont dioïques (sexes séparés).

Après une accumulation de réserves dans l'ovule celui-ci tombe et est fécondé sur le sol.

Les ovules sont regroupés par deux (rarement par quatre)

Le *Ginkgo biloba* est rangé dans l'embranchement des Ginkgophytes ou des Préspermaphytes, proche de ceux des plantes à graines, avec le suffixe en -spermes.

Le *Ginkgo* est un arbre dioïque, c'est-à-dire que chaque arbre est soit mâle soit femelle. Sa reproduction présente certaines caractéristiques communes avec la reproduction des fougères et d'autres communes avec celle des conifères et plantes à fleurs.

En effet, après avoir produit ses ovules, le *Ginkgo* femelle reçoit du pollen que le *ginkgo* mâle produit en énorme quantité. Arrivé sur l'ovule, le grain de pollen germe et forme un tube pollinique libérant deux spermatozoïdes qui nagent dans le liquide de fécondation, vers le gamète femelle. (Ce mode de fécondation est appelé siphonozoïdogamie.) La fécondation peut encore s'effectuer même si l'ovule est tombé à terre. Une fois cette fécondation effectuée, la jeune plante se développe sans passer par le stade de la graine au sens botanique du terme.

La différence essentielle avec les conifères et plantes à fleurs se fait essentiellement au niveau de la production de l'ovule. Chez les conifères et plantes à fleurs, l'ovule est très petit et grossit une fois la plante fécondée en accumulant des réserves de nourriture pour le futur bébé (la graine). Chez le *Ginkgo*, l'ovule est déjà plein de réserves nutritives même si celui-ci n'est pas fécondé et dans ce cas, elles auront été produites en pure perte. Une autre caractéristique du *ginkgo* est que l'ovule une fois fécondé n'a pas le pouvoir d'hibernation d'une graine et doit germer sans attendre.

À ce titre, on peut comparer l'ovule du *Ginkgo* à un œuf de poule qui ne donnera un poussin que si la poule a été fécondée par le coq mais qui, dans le cas contraire aura été produit en pure perte. La seule autre plante à ovules est le cycas.

Le sexe d'un arbre est difficile à déterminer avant la production des organes de reproduction (ovules ou pollen). En effet, seules les femelles produisent des ovules (et donc des graines). La plupart des Ginkgo plantés en ville sont des mâles obtenus par bouturage pour être sûr qu'ils ne produiront pas de graines nauséabondes au milieu de l'hiver.

La plante arrive à maturité sexuelle entre 20 et 30 ans et sa durée de vie peut excéder 1 000 ans.

3.3. Les Coniférophytes

Les Coniférophytes sont des plantes qui peuvent atteindre des grandes tailles, à feuilles simples en forme d'aiguilles.

L'embranchement des Pinophytes (ou Conifères), anciennement connu sous le nom de Coniférophytes (ou Coniferophyta), ne comprend qu'une classe : celle des Pinopsida.

Ce sont des plantes vasculaires à graines portées par une structure en forme de cône (« conifères » veut dire « qui porte des cônes ») ayant exactement la même fonction que la fleur mais qui n'en est pas une. Elles sont apparues sur Terre il y a 300 millions d'années, bien avant les feuillus. Tous les conifères existants sont des plantes ligneuses, dont la grande majorité sont des arbres, les autres étant des arbustes.

On trouve des conifères presque partout dans le monde et ils sont fréquemment les plantes dominantes dans leurs habitats respectifs. Cet embranchement est cependant sur le déclin depuis que les Angiospermes ont commencé à dominer dans de nombreux biomes à partir du Crétacé, et seules 650 espèces environ de conifères subsistent à l'heure actuelle.

Les conifères ont un important poids économique, principalement pour le bois d'œuvre et la production de papier (Figure 80).



Figure 80 : Les Coniférophytes

❖ Croissance et notion des fleurs

Tous les conifères sont des plantes ligneuses caractérisés par une croissance des troncs et des branches monopodiale (un tronc unique et droit avec des branches latérales), avec une forte dominance apicale. La taille des conifères mûrs varie de moins d'un mètre à plus de cent mètres.

Les arbres les plus grands, les plus larges, les plus âgés sont tous des conifères. Le plus grand est un séquoia à feuilles d'if, *Sequoia sempervirens*, avec une hauteur de 115,2 mètres. Le plus volumineux est un séquoia géant, *Sequoiadendron giganteum*, avec un volume de 1 486,9 m³. L'arbre ayant le tronc le plus large est un cyprès de marais mexicain, *Taxodium mucronatum*, d'un diamètre de 11,42 mètres.

Les feuilles de beaucoup de conifères sont longues, fines et aciculaires et nommées « aiguilles » pour cette raison. Les conditions climatiques de leur biome (froid et gel) expliquent l'adaptation à la sécheresse de ces aiguilles, en particulier leur forme effilée pour réduire la surface d'échange, leur cuticule épaisse imperméable, et leurs stomates enfoncés dans des puits ou des sillons pour réduire les pertes en eau.

Certains conifères, la plupart des Cupressaceae et quelques Podocarpaceae, ont des feuilles plates, en forme d'écailles. Quelques-uns, notamment les Agathis (Araucariaceae) et Nageia (Podocarpaceae), ont des feuilles larges, en forme de bandes. Chez la majorité des conifères, la phyllotaxie est spiralée (caractéristique bien visible sur la pomme de pin), à l'exception de la plupart des Cupressaceae et d'un genre parmi la famille des Podocarpaceae, où elles sont croisées en X vis-à-vis des paires, ou en spirales de trois. La base des feuilles est souvent tordue pour présenter les feuilles dans le plan horizontal afin de capter un maximum de lumière. La longueur des feuilles varie de deux mm, chez beaucoup d'espèces à feuilles en écailles, jusqu'à quatre cents mm. Pour les aiguilles de quelques pins (par exemple *Pinus engelmannii*).

Les stomates sont en ligne (pouvant former des rangées visibles sur l'aiguille sous forme de bandes blanches stomatales), ou répartis sur la feuille, et peuvent se refermer quand le temps est sec ou froid. Les feuilles sont souvent vert foncé, ce qui correspond à une augmentation de la teneur en chlorophylle afin d'absorber un maximum d'énergie malgré le faible ensoleillement aux latitudes ou altitudes élevées, ou à l'ombre de la canopée. Les conifères des zones chaudes très ensoleillées (par exemple le pin de Calabre *Pinus brutia*) ont souvent les feuilles jaune-vert, tandis que d'autres (par exemple l'épicéa bleu *Picea pungens*) ont une couche de cire glauque très efficace pour refléter la lumière ultraviolette, protégeant les molécules de chlorophylle d'une photo-oxydation excessive en cas d'éclairement intense par les rayonnements U.V. Dans la grande majorité des genres, les feuilles sont sempervirentes, restant habituellement plusieurs années (de deux à quarante) avant de tomber, mais cinq genres (*Larix*, *Pseudolarix*, *Glyptostrobus*, *Metasequoia* et *Taxodium*) ont des feuilles caduques, qu'ils perdent en automne, et restent dénudés tout l'hiver. Les jeunes plants de beaucoup de conifères, incluant les Cupressaceae, et le *Pinus* de la famille Pinaceae, présentent pendant leur période juvénile un feuillage souvent très différent de celui qu'ils ont à l'âge adulte.

❖ Reproduction (Notion d'inflorescence et de graine)

La plupart des conifères sont monoïques, c'est-à-dire que les cônes mâles et femelles sont produits sur le même arbre, mais quelques-uns sont dioïques ou trioïques ; tous sont pollinisés par l'action du vent. Les graines des conifères se développent à l'intérieur d'un cône protecteur appelé strobilus (ou, incorrectement « pomme de pin », qui ne s'appliquerait qu'aux pins, et pas aux autres conifères). Les cônes mettent de trois mois à trois ans pour atteindre leur maturité, et varient en longueur de deux à six cents mm. Chez les Pinaceae, Araucariaceae,

Sciadopityaceae et la plupart des Cupressaceae, les cônes sont ligneux, et une fois mûrs, les écailles s'ouvrent, permettant aux graines de tomber et d'être dispersées par le vent. Chez certains (par exemple sapins et cèdres), le cône se désagrège pour relâcher les graines, et chez d'autres (par exemple les pins qui produisent des pignons de pin), les graines, ressemblant à des noix, sont dispersées par les oiseaux, principalement les casse-noix et les geais, qui cassent les cônes plus mous, qu'ils préfèrent. Les cônes mûrs restent sur l'arbre pendant un temps très variable avant de tomber sur le sol ; chez quelques pins adaptés aux incendies de forêt, les graines peuvent être conservées dans les cônes jusqu'à 60 à 80 ans, pour n'être relâchées qu'après qu'un feu ait détruit l'arbre.

Pour les familles Podocarpaceae, Cephalotaxaceae, Taxaceae, et un genre de Cupressaceae (Genévrier), l'enveloppe de la graine est douce, charnue, de couleurs brillantes et est mangée par des oiseaux ; les graines se retrouvent alors dans leurs déjections, et sont ainsi disséminées. Ces enveloppes charnues (sauf celle du Genévrier) sont appelées arilles. Chez certains de ces conifères (par exemple la plupart des Podocarpaceae), le cône consiste en des écailles imbriquées les unes dans les autres, tandis que chez d'autres (par exemple Taxaceae), le cône est réduit à seulement une enveloppe charnue renfermant entièrement la graine.

Les cônes mâles ont des structures appelées microsporangies qui produisent un pollen jaunâtre. Le pollen est libéré et transporté par le vent jusqu'aux cônes femelles. Les grains de pollen des espèces de pynophytes produisent des tubes polliniques, tout comme ceux des angiospermes. Quand un grain de pollen se trouve près d'un gamétophyte femelle, il subit la méiose et fertilise la gamétophyte femelle. Le zygote en résultant se développe en embryon, puis devient une graine. Par la suite, la graine peut tomber au sol et, si les conditions le permettent, se développer en un nouvel arbre.

En sylviculture, la terminologie des angiospermes a généralement, bien qu'inexactement, été appliquée aux arbres à graines en cônes. Les cônes mâles et les cônes femelles non fertilisés sont appelés respectivement « fleurs mâles » et « fleurs femelles ». Après fertilisation, le cône femelle qui est appelé fruit, subira la maturation.

3.4. Les Gnétophytes

Les Gnétophytes (Gnetophyta) sont une division de plantes vasculaires, ou la classe des Gnétopsides (Gnetopsida) dans les nouvelles classifications. Ce sont des plantes ligneuses sans canaux résinifères dont les plus anciens fossiles datent du Permien (-270 Ma)¹.

Ce sont les seuls gymnospermes ayant un bois hétéroxylé. Elles sont voisines des Pinales ou Pinacées, alors qu'elles ont pendant longtemps été considérées comme groupe frère des Angiospermes avec lesquelles elles constituaient le groupe monophylétique des Anthophytes. En effet, elles partagent plusieurs caractères en communs avec les plantes à fleurs, mais ceux-ci résultent de convergences évolutives (par exemple : la protection des sporophylles par des enveloppes bractéales ou encore l'existence de xylème à vaisseaux véritables...).

De plus il s'est avéré que la "double fécondation" chez les Gnétales n'était vraisemblablement pas identique à la double fécondation chez les Angiospermes. Chez ces derniers, un gamète donnera le zygote avec l'oosphère et un autre gamète donnera avec les noyaux polaires un tissu de réserve pour la graine : l'albumen. Tandis que chez les Gnétales, les deux gamètes mâles vont fusionner avec les noyaux les plus proches (chez le genre *Gnetum*) pour donner deux zygotes. Or un seul proembryon pouvant se développer par graine, le zygote surnuméraire avortera et il n'y aura pas ainsi de tissu de réserves pour la graine. C'est pourquoi on ne parle pas vraiment de double fécondation. L'hypothèse selon laquelle les Gnétales et les Angiospermes seraient des groupes frères a donc moins de poids (Figure 81).



Figure 81 : Les Gnétophytes

❖ Caractères générales

L'embranchement des Gnétophytes groupe trois genres de plantes vivaces, Ephedra, Gnetum et Welwitschia, qui possèdent les deux premiers 35 espèces et le troisième une seule, mais qui diffèrent suffisamment les uns des autres pour avoir été répartis en trois familles monogénériques, ordres ou même classes distincts.

Cet embranchement de plantes supérieures a également été dénommé « Hémiangiospermes », pour indiquer qu'elles ont presque atteint le niveau d'organisation des plantes à fruit, et « Chlamydospermes » pour préciser que, bien que les ovules soient directement récepteurs de pollen, comme chez les Gymnospermes, la graine est pourvue d'une « chemise » qui est une enveloppe tissulaire doublant le tégument ovulaire.

Les Gnétophytes occupent une position intermédiaire entre les Gymnospermes, dont elles présentent de nombreux caractères et avec lesquelles elles sont fréquemment classées, et les Angiospermes, dont elles ont atteint, par d'autres caractères, le niveau évolutif.

❖ Taxonomie

Ces plantes formaient traditionnellement la division Gnetophyta Bessey, 1907. Dans la classification phylogénétique APG III (2009) elles correspondent à la sous-classe Gnetidae Pax, 1894.

Les espèces actuelles sont classées en trois genres placés chacun dans leur propre famille et ordre.

Liste des genres actuels selon GBIF2 :

- ordre Ephedrales :
- famille Ephedraceae :
- Ephedra, que l'on rencontre sur les bords des mers tempérées.
- ordre Gnetales :
- famille Gnetaceae :
- Gnetum, qui sont des lianes équatoriales.
- ordre Welwitschiales :
- famille Welwitschiaceae :

- Welwitschia, que l'on rencontre dans le désert du Namib. C'est une plante néoténique, c'est-à-dire une plante capable de se reproduire avant d'être devenue adulte.

Certaines classifications placent aujourd'hui toutes ces genres dans le seul ordre des Éphédrales.

4. Les Angiospermes

4.1. Appareil végétatif et notion de morphogénèse : croissance des tiges, feuilles et Racines

C'est un groupe immense comprenant 200 000 à 250 000 espèces groupées en 400 à 500 familles et dont la morphologie – arbres, arbustes, herbes – Les Angiospermes, par rapport aux Gymnospermes, sont fondamentalement définies par trois caractères :

- ✚ Les organes reproducteurs se groupent en fleurs bisexuées ;
- ✚ L'ovaire et le fruit : les écailles ovulifères ou carpelles (du grec karpos : fruit) forment un ovaire entourant complètement les ovules d'où le nom d'Angiospermes donné à l'embranchement (du grec aggeion, petite urne) et après la fécondation, se transforment en fruit ;
- ✚ Le gamétophyte femelle situé dans l'ovule (appelé sac embryonnaire) est le siège d'une double fécondation l'une classique à l'origine de l'embryon, l'autre à l'origine de l'albumen, tissu de réserve des graines.

✓ Appareil végétatif

Il est très perfectionné : Le xylème se différencie en vaisseaux à rôle conducteur et en fibres à rôle de soutien. Les vaisseaux sont rayés, réticulés, ponctués et leurs cloisons transversales disparaissent permettant une circulation continue de la sève : de tels vaisseaux sont dits parfaits (en fait les plus jeunes vaisseaux annelés ou spiralés gardent leurs cloisons transversales et sont « imparfaits » comme ceux des ptéridophytes et des Gymnospermes). Le phloème différencie en plus des tubes criblés des cellules compagnes. La ramification est toujours latérale, non dichotomique : chaque rameau est alors axilé par une feuille modifiée ou bractée (souvent caduque). L'accroissement en largeur se fait par le jeu de méristèmes secondaires comme chez les Gymnospermes. Une maturité sexuelle plus rapide (les arbres ne produisent des graines qu'au bout de plusieurs années) ce qui permet une reproduction accélérée de l'espèce et par la suite un brassage des combinaisons géniques favorables à la création de

variétés ou même d'espèces nouvelles. C'est là un phénomène proche de la néoténie et correspondant à la possibilité de reproduction d'organismes juvéniles. Ces perfectionnements se concrétisent finalement par une extrême diversification des formes : des plantes bulbeuses aux plantes cactiformes, des plantes en coussinets aux troncs de plus de 100 m, des Eucalyptus, des lianes de plus de 300 m de long aux herbes et aux plantes flottantes tous les types se rencontrent chez les Angiospermes.

4.2. Morphologie florale

❖ La fleur

La fleur est un ensemble composite constitué de diverses pièces spécialisées. Elle contient les organes sexuels de la plante et se trouve en position terminale ou latérale sur la tige. C'est un organe qui a servi et sert encore d'élément de reconnaissance et de classification pour de nombreux botanistes. Les pièces florales placées sur un réceptacle, au sommet d'un pédoncule floral axilé par une bractée. Il est possible de schématiser l'organisation générale d'une fleur. On distingue alors de l'extérieur vers l'intérieur :

- le calice comprenant des pièces chlorophylliennes, les sépales ;
- la corolle constituée de pièces non chlorophylliennes, diversement colorées, les pétales ;
- l'androcée, constitué des étamines portant à l'extrémité du filet les sacs polliniques contenant le pollen ;
- le gynécée, ou pistil formé de l'ovaire, contenant des ovules, surmonté du style et des stigmates (Figure 82).

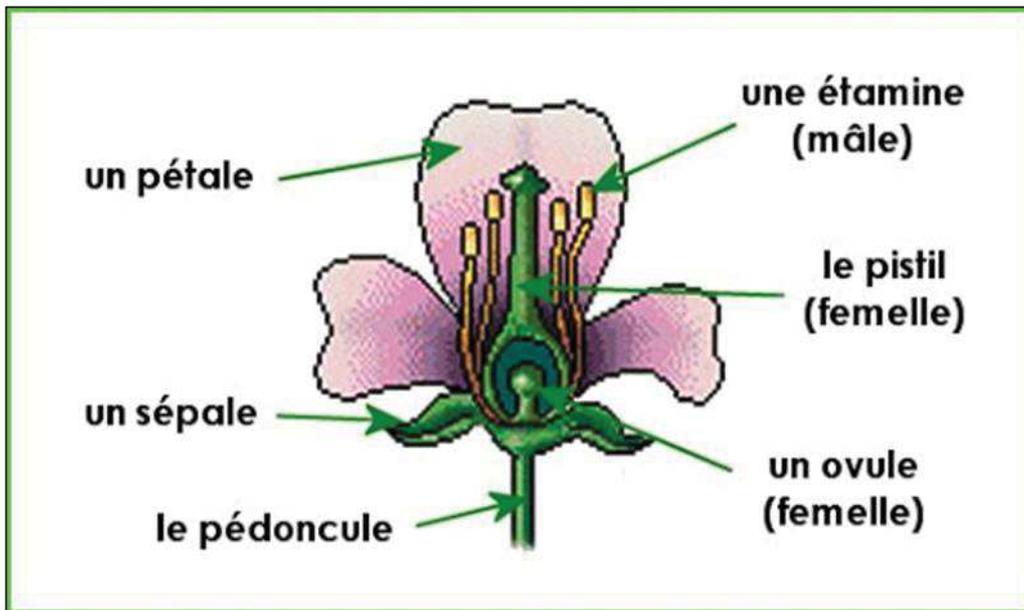


Figure 82 : Structure d'une fleur

❖ Les inflorescences

À l'inverse de la tulipe, qui lors de sa floraison, présente une fleur isolée et unique, le trèfle blanc montre des capitules globuleux comportant de 20 à 100 fleurs. Il s'agit d'inflorescences. Elles sont en position latérale sur la tige. D'autres comme celles du lilas sont en position terminale. À première vue, les différents types d'inflorescences paraissent très nombreux. Pourtant leurs architectures reposent sur les lois qui régissent la ramification des tiges. De ce fait, elles appartiennent seulement à deux grands types fondamentaux.

a) Les inflorescences de type monopodial

Ces inflorescences à croissance indéfinie, faciles à reconnaître, sont souvent aussi appelées racémeuses (du latin racemus = grappe de raisin). Ceci rappelle que la grappe est le type fondamental d'inflorescence monopodiale.

1. La grappe : Les fleurs pédicellées, sont portées directement par le rameau principal. Les fleurs les plus âgées sont à la base, les plus jeunes au sommet. Plusieurs variantes sont possibles:

- Grappe ouverte, quand la croissance de l'axe est indéfinie (épilobe, linaires) ;
- Grappe fermée, quand la croissance de l'axe est limitée. Dans ce cas la grappe se termine par une fleur.

2. L'épi : C'est une grappe dont les fleurs sont sessiles, c'est-à-dire sans pédicelle. Le chaton (de saule ou de noisetier) est un épi portant des fleurs incomplètes (sans pétales et unisexuées). L'épillet est un petit groupe de fleurs très incomplètes, enveloppées de bractées minces, sèches (scarieuses) formant l'unité élémentaire dont sont constituées les inflorescences des Graminées (blé, avoine, brome, ivraie<) et des Cyperaceae comme les carex.

3. Le corymbe : Il s'agit d'une grappe dont toutes les fleurs se disposent sur un plan du fait de l'inégalité des pédicelles (les fleurs de pommier).

4. L'ombelle diffère du corymbe par le fait que les fleurs sont toutes rattachées à l'axe au même niveau, matérialisé par l'involucre des bractées. Les ombelles simples sont assez rares, bien souvent il s'agit d'ombelles composées. Les rameaux les plus proches de la tige ne portent pas de fleurs mais de petites ombelles, les ombellules.

5. Le capitule : est une grappe de fleurs sessiles insérées sur le sommet d'une tige élargie en plateau. Il est homologue d'une ombelle dans laquelle tous les pédicelles seraient nuls. Le trèfle blanc a une inflorescence en capitule. Il arrive de trouver dans la littérature que les fleurs des capitules soient appelées fleurons. Les grappes sont souvent composées. On peut trouver des grappes de grappes, des corymbes de corymbes, des épis d'épillets (le blé) mais aussi des grappes d'épis (les palmiers), des grappes d'ombelles (le lierre) ou des corymbes de capitules (les achillées) (Figure 83).

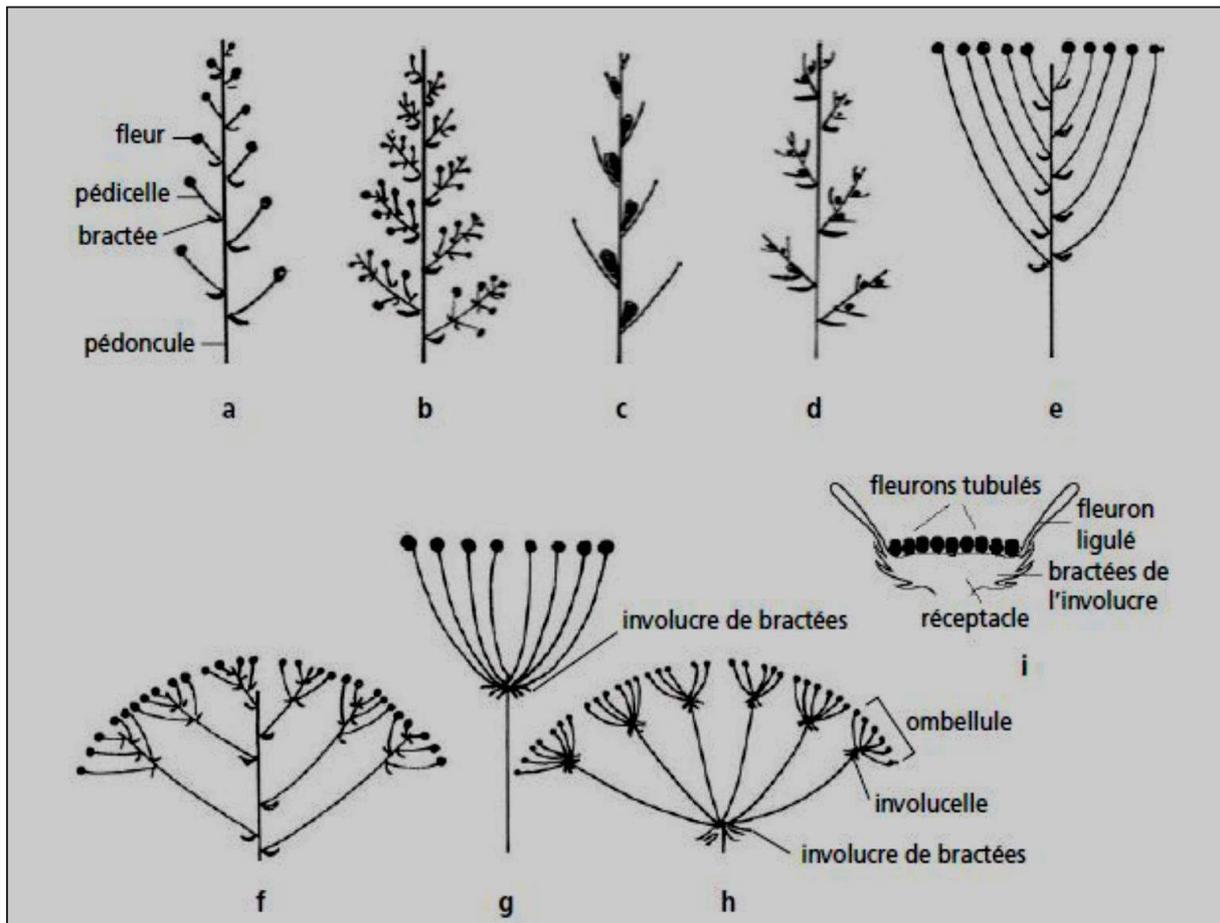


Figure 83 : Inflorescences de type monopodial. **a**, grappe ; **b**, grappe de grappes ; **c**, épi ; **d**, épi d'épillets ; **e**, corymbe ; **f**, corymbe de corymbes ; **g**, ombelle ; **h**, ombelle d'ombellules ; **i**, capitule.

b) Les inflorescences de type sympodial

Ces inflorescences de type cyme, sont définies parce que l'axe primaire se termine par une fleur ce qui provoque l'arrêt de la croissance. Elles sont généralement unipares (une fleur d'un côté, comme chez la grande consoude ou bipares, deux fleurs de chaque côté de l'axe, bégonias et ont une organisation centrifuge, orientée vers l'extérieur. Si les axes successifs des cymes deviennent très courts, les fleurs apparaissent toutes insérées au même niveau sur une cyme contractée appelée glomérule, que l'on rencontre chez les labiées par exemple.

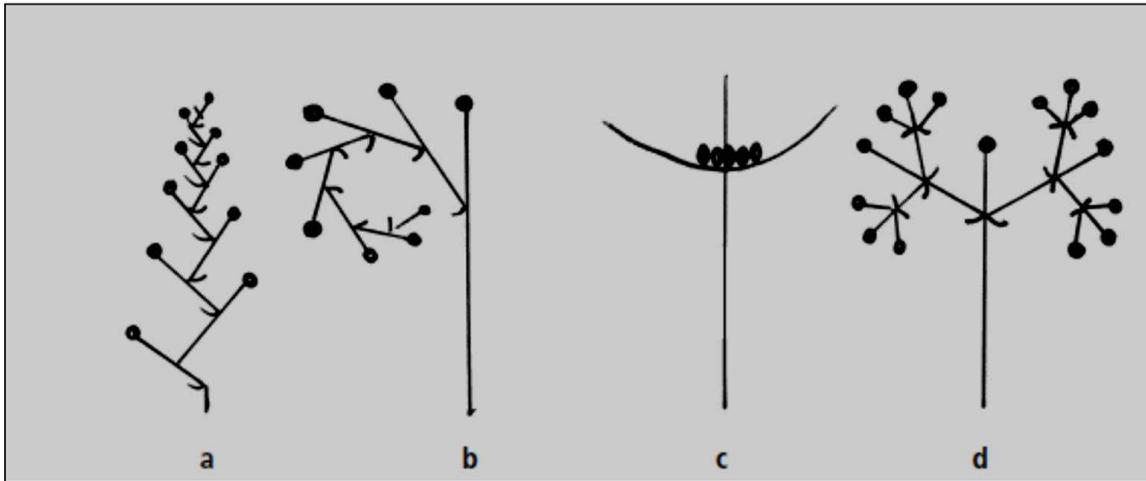


Figure 84 : Quelques exemples de cymes. a, cyme unipare hélicoïdale ; b, cyme unipare scorpioïde ; c, glomérule ; d, cyme bipare.

4.3. Biologie florale : microsporogénèse et macrosporogénèse

La reproduction sexuée chez les Angiospermes est permise par le déplacement passif du gamétophyte mâle (grain de pollen) qui est déposé sur le stigmate, sa germination permet ensuite la fécondation du gamétophyte femelle (sac embryonnaire) situé dans l'ovule, lui-même situé dans un ovaire ; c'est la siphonogamie. La graine qui dérive de l'ovule (l'ovaire donnant le fruit) permettra la dissémination de l'espèce et subira une germination (= libération et début de croissance d'une jeune plantule).

Chez les Angiospermes (comme chez des nombreux végétaux), les cellules obtenues après méiose ne sont pas des gamètes : ce sont des « spores » (macrospore pour la spore femelle, microspore pour la spore mâle). En subissant des mitoses à l'état haploïde ($n > n$), elles génèrent un gamétophyte (gamétophyte femelle : sac embryonnaire ; gamétophyte mâle : grain de pollen).

Les processus qui aboutissent à la formation d'une spore sont appelés sporogénèse. Une spore à l'origine du sac embryonnaire s'appelle une macrospore ou mégaspore et on appellera macrosporogénèse (ou mégasporogénèse) sa formation. Une spore à l'origine d'un grain de pollen s'appelle une microspore et on appellera microsporogénèse sa formation.

▪ La gamétogénèse mâle : Microsporogénèse

L'anthere est la partie terminale de l'étamine qui renferme et produit le pollen, elle est fixée au filet soit par sa base soit par son milieu. Elle se compose de deux loges contenant

chacune deux sacs polliniques. Ceux-ci, à maturité, sont remplis de pollen et s'ouvre, généralement par déhiscence, pour répandre les grains de pollen à l'extérieur (Figure 85).

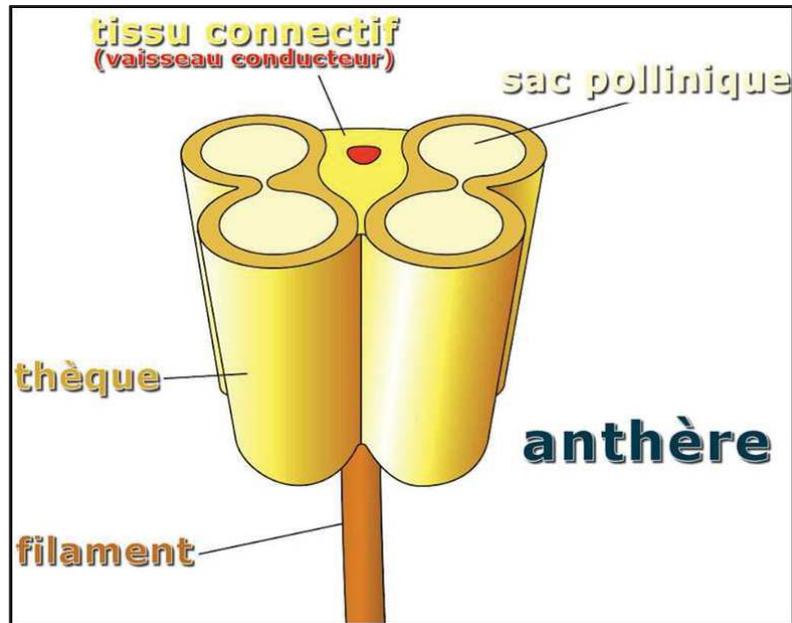


Figure 85 : Structure de l'anthère

- Grain de pollen

Le grain de pollen est fait de deux cellules haploïdes de tailles très inégales : la cellule végétative – de grande taille- et cellule reproductrice de petite taille incluse dans la plus grande. La cellule reproductrice est aussi appelée cellule spermatogène et cellule générative. Le grain de pollen présente une double paroi : la couche interne (intine) mince et surtout cellulose que la couche externe (exine) plus épaisse est constituée de sporopollénine et de protéine (glycoprotéines) ; Cette paroi comporte des pores (ou apertures). Ce ne sont pas de véritables orifices : à ce niveau, l'intine est plus épaisse mais l'exine est plus discontinue et amincie (Figure 86).

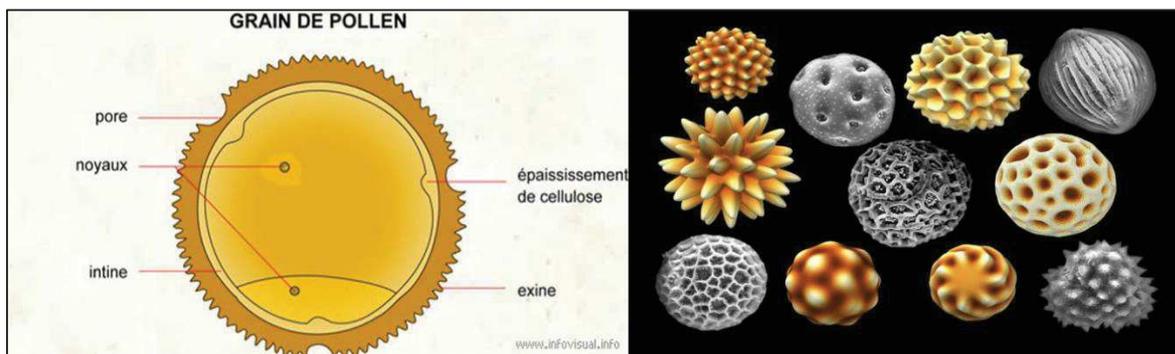


Figure 86 : Structure du grain de pollen

- La formation d'un grain de pollen

La formation d'un grain de pollen passe par les étapes suivantes :

- La microsporogénèse : une cellule-mère de spore (diploïde) subit la méiose, ce qui produit quatre cellules haploïdes qu'on nomme microspores. Ces cellules sont contenues par quatre dans une expansion pariétale faite en callose : cette structure constitue une tétrade de microspores. Assez rapidement, chaque microspore est individualisée.
- Chaque microspore subit une mitose à l'état haploïde qui aboutit à une cellule principale comprenant un premier noyau dite cellule végétative, et une petite cellule contenue dans l'autre (chacune ayant sa membrane) qu'on nomme cellule génératrice ou cellule spermatogène.
- La seconde division de mitose (toujours à l'état haploïde) qui affecte le noyau végétatif et produit les deux noyaux spermatiques (= gamètes mâles) n'intervient que lorsque le tube pollinique commence à germer, donc après pollinisation (Figure 87).

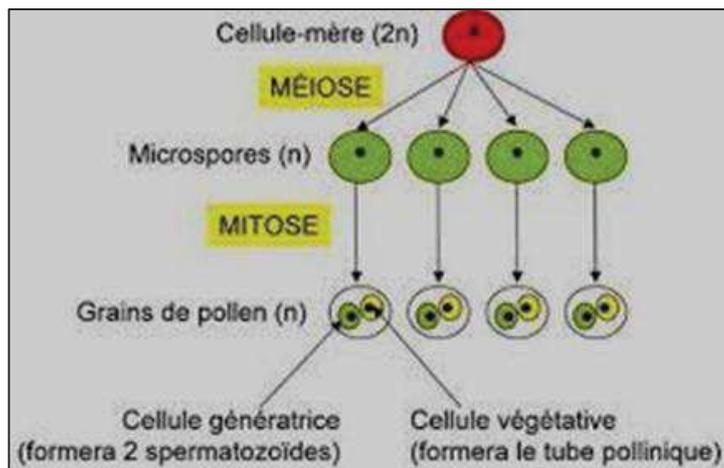


Figure 87 : Etapes de la formation d'un grain de pollen

L'étamine est une microsporophylle. Les sacs polliniques sont homologues des microsporanges, et les grains de pollen sont des microspores.

▪ La gamétogénèse femelle : Macrosporogénèse

✚ L'ovule

Un ovule est une structure ovoïde composée d'un tissu central, le nucelle, au milieu duquel on trouve le sac embryonnaire (gamétophyte femelle), et limitée extérieurement par deux enveloppes tégumentaires. Ces téguments s'interrompent au niveau d'un orifice par où

pénètre le tube pollinique lors de la fécondation : le micropyle. L'ovule est relié par un funicule au tissu alimentant l'ovule (comprenant des tissus conducteurs) qu'on nomme placenta et qui est une expansion de la paroi de l'ovaire (placentation pariétale) ou de sa zone centrale (placentation axile, s'il y a des cloisons intercarpellaires / centrale s'il n'y en a pas) On peut distinguer trois types d'ovules : les ovules droits (= orthotropes), les ovules couchés ou courbés (= campylotropes) et les ovules retournés ou renversés (= anatropes).

Développement du sac embryonnaire

- **Formation de la macro spore** : une cellule sous épidermique située dans l'axe du nucelle sous le micropyle, l'archéspore, se divise en deux par une cloison transversale cellule inférieure sporogène (cellule mère). Cette dernière subit une méiose et donne 4 macrosperes disposées en file, dans l'axe de l'ovule. La cellule inférieure donnera le sac embryonnaire ; les autres dégénèrent.
- **Formation du sac embryonnaire** : le jeune sac grossit ; son noyau se divise 3 fois de suite par mitose pour donner 8 noyaux qui ne se séparent pas par un cloisonnement. Ils se disposent par tétrade aux deux extrémités de la cellule ; un noyau de la tétrade supérieure se rapproche d'un noyau de la tétrade inférieure et fusionnent pour donner le noyau secondaire du sac. Les 3 noyaux des 2 pôles qui restent vont s'individualiser formant des cellules. L'une des cellules (la centrale) du pôle micropylaire donne le gamète femelle ou oosphère, les deux autres, les synergides sont chargés de guider le tube pollinique en émettent une substance chimiotactique. Les trois cellules inférieures (du pôle chalazien) constituent les antipodes. L'ensemble des cellules formées constitue le prothalle femelle ou gamétophyte femelle «sac embryonnaire ».

Le sac embryonnaire est généralement composé de huit noyaux individualisés en 7 cellules. Trois antipodes, deux synergides et une oosphère et une cellule centrale avec deux noyaux polaires situés au sein d'un même cytoplasme.

4.4. Graines et fruits

La fécondation se fait par germination du pollen sur le pistil, sans nécessité d'humidité comme dans le cas des fougères (caractère qu'ils partagent avec les autres Spermaphytes).

Chez les Angiospermes la fécondation présente trois caractéristiques essentielles :

Elle est siphonogame : le grain de pollen aperturé possédant deux ou trois cellules voit sa cellule végétative germer et former un tube pollinique qui acheminera, à l'aide de son cytosquelette, le gamète mâle (cas du pollen tricellulaire) où la cellule génératrice (cas du pollen bicellulaire) qui y effectuera sa seconde division de méiose. En ceci la siphonogamie correspond à un total affranchissement de l'eau pour la fécondation.

Elle est anisogame : le gamète femelle est de loin le plus massif des deux (le grain de pollen étant souvent très déshydraté, les cellules qu'il contient ont un espace cytoplasmique très réduit). Ceci implique que l'embryon possède systématiquement les caractères cytoplasmiques de sa mère. La transmission des gènes chloroplastiques et mitochondriaux (qui jouent un rôle important dans certains cas de résistance aux pesticides comme l'atrazine ou aussi dans des cas de stérilité mâle) n'est pas mendélienne. La mère transmet son cytoplasme en bloc et donc son génome mitochondrial et chloroplastique.

Elle est double : les gamètes mâles acheminés par le grain de pollen vont fusionner leurs noyaux (caryomixie) avec ceux de deux cellules différentes. Une première caryomixie entre gamète mâle et oosphère donnera l'embryon, une autre entre le second gamète mâle et les noyaux centraux de l'ovule conduira à une cellule triploïde qui formera l'albumen de la graine.

La graine

Une fois fécondée, l'oosphère se développera en embryon. L'ovule contenant le sac embryonnaire qui la renfermait va donc former la graine (quant à l'ovaire, il formera le fruit vrai, l'ensemble graine et fruit étant appelé diaspore). On détermine trois catégories principales de graines en fonction de leur lieu de stockage des réserves :

- Les graines albuminées ou graines à albumen. Les deux produits de la double fécondation s'y développent ensemble : le zygote polarisé donne l'embryon et le noyau triploïde ($3x$) de la cellule centrale se divise très vite au sein de la même cellule (coenocyte) puis a lieu une étape de cloisonnement cellulaire pour former un tissu nourricier : l'albumen. La noix de coco par exemple présente un « lait » qui correspond en fait à la phase coenocytique de son développement. Observé au microscope, le « lait » de coco révèle qu'il est en fait un continuum de cytoplasme : c'est une cellule géante ayant un très grand nombre de noyaux. Une fois cellularisé, ce coenocyte formera le coprah. Exemples : Magnoliacées, Euphorbiacées (Hévéa, ricin, manioc), Ombellifères, Poacées (ou Graminées).

- Les graines exalbuminées, sans albumen. Les divisions du noyau triploïde central s'interrompent très vite mais l'embryon se développe normalement à partir du zygote. Il stockera ses réserves dans ses cotylédons. Exemples : Rosacées (pommier), Fabacées (ou Légumineuses), Composées, Juglandées (noyer).
- Les graines à périsperme, sans albumen. Les divisions du noyau triploïde central s'interrompent aussi très rapidement. L'embryon ne stocke pas ses réserves lui-même, c'est le nucelle qui assumera cette fonction en devenant le périsperme. Exemples : Musacées (bananier), Nymphéacées, Chénopodiacées (betterave, épinard).

La graine peut être plus ou moins déshydratée. La longévité étant proportionnelle au degré de déshydratation, certaines graines (notamment pour les plantes des régions intertropicales sans saison défavorable) le sont peu (exemple : fève du cacaoyer), d'autres le sont à des niveaux extrêmes (masse d'eau inférieure à 1 % de la masse totale chez *Nelumbo*, le lotus d'Asie dont la longévité est de l'ordre du millier d'années).

Le fruit

La formation du fruit résulte de la transformation du pistil après la fécondation, ou parfois sans fécondation (on parle dans ce cas de parthénocarpie). C'est plus précisément la paroi de l'ovaire (partie du pistil qui renferme l'ovule) qui devient la paroi du fruit, appelée péricarpe, entourant les graines. L'épiderme externe de cette paroi devient l'épicarpe, le parenchyme devient le mésocarpe, et l'épiderme interne, l'endocarpe. Selon les transformations de cette paroi, on obtient les différents types de fruits : charnus (baie, drupe), secs déhiscents ou indéhiscents.

Dans certains cas, le fruit peut avoir une origine plus complexe et résulter soit :

- de la transformation d'autres parties de la fleur, notamment le réceptacle floral. On parle dans ce cas de faux-fruit. L'exemple le plus connu de faux-fruit est la pomme ou la fraise.
- soit de la transformation de plusieurs fleurs d'une inflorescence. C'est par exemple le cas du fruit du mûrier, la mûre, l'ananas.

4.5. Notion de systématique moderne, cladogènèse et principaux taxons. Présentation des classifications (Engler 1924, APG II)

✚ Classification moderne (phylogénétique)

Selon la classification phylogénétique publiée par l'équipe de recherche de l'Angiosperm Phylogeny Group ou APG (1998, 2003, 2006, 2016), qui est construite sur la base de l'analyse de deux gènes chloroplastiques et un gène nucléaire ribosomique, auxquels s'ajoutent, dans quelques cas, d'autres caractères (micro et macromorphologiques), les angiospermes se divisent en **Protoangiospermes** et **Euangiospermes**.

Les Euangiospermes comportent :

- Les **monosulqués**, par leur pollen à un pore, regroupent toutes les plantes monocotylédones auxquelles s'ajoutent les dicotylédones primitifs (ou magnoliidées).
- Les **tricolpés**, par leur pollen à trois pores, regroupent uniquement les plantes eudicotylédones (Figure 88).

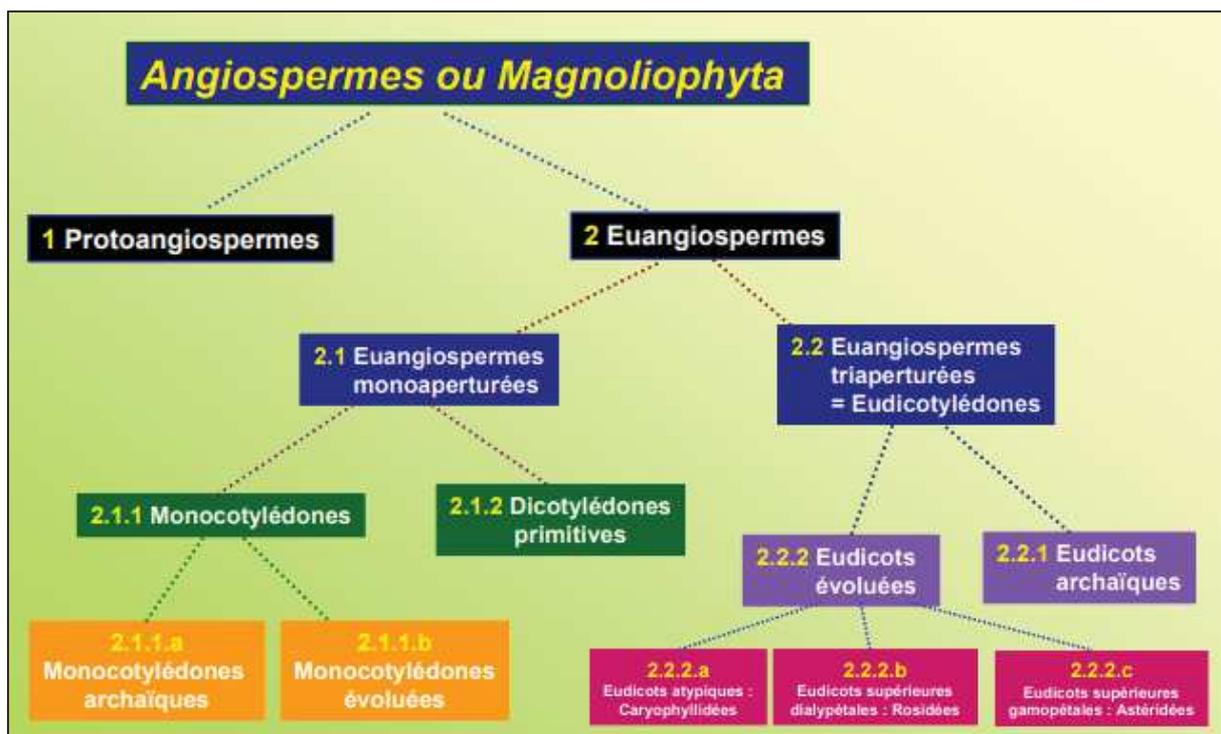


Figure 88 : Classification moderne des Angiospermes

✚ Classification classique

Selon **Classification classique** les angiospermes se divisent en deux taxa (taxons) : les monocotylédones (= Liliopsida, = Liliidae, = Moncotyledones, etc) et les dicotylédones (= Magnoliopsida, =Magnoliidae, = Dicotyledones)

A. Les angiospermes monocotylédones

*Caractère fondamental : graine à un seul cotylédon.

*Caractères fréquents : Généralement plante herbacées avec tiges et racines grêles. Le port en arbre est un caractère évolué ; elles sont vivaces par leurs organes souterrains, rhizome et racine ; elles sont réparties en Angiospermes monocotylédones à ovaire supère et des Angiospermes monocotylédones à ovaire infère.

A.1. Angiospermes monocotylédones à ovaire supère

Parmi les ordres et les familles les plus importants :

A.1.1. Ordre des Spadiciflores Il est caractérisé par une inflorescence en *spadice* entourée d'une ou plusieurs bractées protectrices : les *spathes et des graines albuminées*. ***Famille des Palmacées** Elle regroupe environ 112 genres et 300 espèces, sont des arbres avec un tronc (le stipe) portant à son sommet un bouquet de feuilles penninervées ou palmatinervées. L'inflorescence en spadice composée avec spathe générale et secondaires. Fleurs souvent unisexuées, formule florale = $3S+3P+(3+3)E+(3C)$ ou $3C$; Fruit est une drupe ; -parmi les espèces les plus importantes dans l'alimentation humaine :

+*Phoenix dactylifera L.* (les palmiers dattiers).

+*Cocos nucifera L.* (le cocotier) cultivé pour son fruit qui donne de nombreux produits : fibres et beurre de coco = matières grasses constituant 60à 65% des parois internes de l'endocarpe.

+*Elaeis guinensis* (palmier à huile) avec fruit dont le mésocarpe est riche en corps gras, fournissant l'huile de palme, utilisée comme huile de table ou utilisée pour des usages industriels : margarine et savon.

A.1.2.Ordre des Glumales

Il regroupe des plantes avec inflorescence en épillets accompagnés de bractées écailleuses (glumes et glumelles). Les pièces florales sont réduites, l'ovaire est uniovulé, graine à albumen amylicé. Parmi les familles les plus importantes :

*Famille des Graminées

-famille riche avec environ 650 genres et 9000 esp. répandues dans le monde entier ; elle regroupe des plantes herbacées annuelles ou vivaces par rhizomes ; tige creuse ou pleine (le chaume) ; feuilles rubanées, engainantes, ligulées ; Inflorescences en épillets uniflores ou multiflores (1à 3 fleurs/ épillet) ; Chaque épillet est protégé par un par deux glumes et chaque

fleur est entourée de deux glumelles et comprend 3 étamines médifixes, 3 carpelles formant un ovaire uniloculaire avec un ovule anatrope surmonté de deux stigmates plumeux ; Fruit sec indéhiscent (le caryopse) avec albumen amylicé et une assise protéique.

-Parmi les espèces les plus importantes destinées à l'alimentation humaine et animale :
 +*Triticum durum* Desf. (Blé dur utilisé dans la production de la semoule et des pâtes alimentaires)

+*Triticum aestivum* L. (blé tendre utilisé dans la production de la farine ou céréale panifiable)
 Le grain de blé contient de nombreuses substances dont la composition peut varier avec la variété, les conditions climatiques, la nature du sol et les amendements utilisés. +*Hordeum vulgare* L. (l'orge).

L'orge germée est utilisée en industrie brassicole ; les grains moulus sont ajoutés au pain et utilisés parfois dans la fabrication de la galette à base d'orge.

**Oryza sativa* L. (le riz) ; **Zea mays* L. (le maïs) ; **Saccharum officinarum* L. (la canne à sucre) ; **Avena sativa* (avoine) ; **Sorghum vulgare* Pers. (Le sorgho commun) ; **Sorghum saccharatum* (sorgho à sucre).

A.1.3. Ordre des Liliiflores

Il regroupe des végétaux à fleurs régulières avec placentation axile.

*Famille des Liliacées

Elle regroupe des plantes souvent herbacées, la plupart sont vivaces par rhizomes ou par des bulbes avec fleurs généralement hermaphrodites. Le périanthe est pétaloïde (sépales ressemblant aux pétales= tépales), formule florale : $3S+3P+(3+3)E+3C$; les étamines sont insérées sur le réceptacle floral ou sur le périanthe. parmi les espèces les plus importantes : *Allium cepa* L. (l'oignon) ; *Allium sativa* L. (l'ail) ; *Asparagus officinalis* L. (l'asperge) ; *Allium porum* (le poireau)

A.2. Angiospermes monocotylédones à ovaire infère

Parmi les ordres et les familles les plus importants :

A.2.1. Ordre des Albuminées Formé de deux groupes différents les Albuminées actinomorphes et les Albuminées zygomorphes.

✓ **Les Albuminées actinomorphes** : Parmi les familles les plus importantes :

***Famille des Iridacées :** = (*Crocus sativus L.*) le safran. La partie utilisée est le stigmate. Le safran tire son pouvoir colorant d'un hétéroside du groupe des caroténoïdes.

***Famille des Broméliacées :** (*Ananas comosus = ananas*) caractérisé par un grand fruit, juteux, sans graines. Il est riche en sucres et en vitamines A, B et C. la chair se mange crue, cuite, en pâte, confites, etc...Les déchets sont convertis en vinaigre, ou encore sont utilisés pour nourrir le bétail. Les enzymes de cette plante réduisent les inflammations et renforcent l'action des antibiotiques.

✓ **Les Albuminées zygomorphes** Parmi les familles les plus importantes :

***Famille des Musacées :** plante à fruits sucrés, riches en phosphore et glucides, se transformant vite en énergie. **A.2.2.Ordre des Exalbuminées** Il regroupe des plantes à fleurs zygomorphes, caractérisés par la réduction du nombre d'étamines, avec plusieurs carpelles, l'ovaire est généralement uniloculaire dont le style est soudé à l'étamine, l'ensemble forme le gynostème. Parmi les familles les plus importantes :

***Famille des Orchidacées** (*Vanilla planifolia*)= la vanille, orchidée charnue portant au printemps des fleurs cireuses pâles, parfumées puis des gousses pendantes. L'essence de qualité extraite des gousses, après macération dans l'alcool, est utilisée en cuisine, dans les cosmétiques et en parfumerie.

B. LES ANGIOSPERMES DICOTYLEDONES

B.1. Sous classe des Apétales

B.1.1.Ordre des Amentales

Il regroupe des plantes ligneuses caractérisées par leur inflorescence en chaton. Un chaton est un épi dont l'axe est flexible et regroupe des fleurs unisexuées à périanthe très réduit ou rudimentaire. Le gynécée est formé de deux carpelles (à l'exception des Fagacées qui ont 3), formant un ovaire uniloculaire (pluriloculaire chez les Fagacées). Leur pollinisation est anémophile, leur grain est ex albuminé, petit et poilue ; le fruit est une capsule uniloculaire. D'après ces caractères, les Amentales sont les plus primitives dans le groupe des Angiospermes. Il renferme 6 familles qui sont : *les Salicacées, les Bétulacées, les Corylacées, les Fagacées, les Juglandacées et les Myricacées.*

***Famille des Fagacées ou Cupilifères :** Elle regroupe des plantes arborescentes (6-8m), ligneuses à feuilles isolées, simples et à stipules caduques. Leurs fleurs sont monoïques disposées en chaton, leurs fleurs mâles ont un calice et un nombre variable d'étamines tandis que les fleurs femelles possèdent un calice et 3 ou 6 carpelles. L'ovaire est infère possédant 3

ou 6 loges bi ovulées. Dans les chatons femelles, l'axe porte un nombre réduit de bractées mères et à l'aisselle de chacune d'elles se situe une cyme triflore pouvant devenir biflore ou uniflore par avortement. Parmi les genres les plus importants : Le genre *Quercus* (*Quercus ilex*, var. *bellota* ; le *chêne vert*), les glands sont utilisés dans l'alimentation du bétail, frais ou secs. Ils sont riches en amidon (70-72% de la matière sèche) et pauvres en protéines. Ils ont une teneur plus ou moins élevée en tanins. Le genre *Castanea* (*Castanea sativa* Mil. ; le *châtaignier*), riche en amidon, est utilisée dans l'alimentation humaine et pour les animaux. Leur fruit est un akène (gland) entouré par une cupule, leurs grains sont très riches en tanins (substances poly phénoliques formant des complexes avec des protéines) ; ce produit est utilisé également dans le traitement des varices et des hémorroïdes ; il a des principes toxiques (7 à 9%) et il agit de 2 façons : -directement en tannant la muqueuse digestive et provoquant constipation et diminution de l'absorption. -indirectement par ses produits de transformation dans l'organisme vivant, très toxique et hémolysants.

B.1.2. Ordre des Urticales

Il regroupe des végétaux ligneux ou herbacés à feuilles alternées ou opposées. Leurs fleurs sont unisexuées monoïques ou dioïques, l'ovaire est supère. Parmi les familles les plus importantes : les *Moracées*, les *Urticacées* et les *Cannabacées*.

*Famille des Urticacées :

Elle regroupe des plantes qui sont généralement herbacés à fleurs polygames (monoïques, dioïques ou hermaphrodites). Le fruit est un akène, la graine est albuminée. Elle comprend environ 50 genres et 700 espèces. Parmi les plus importantes plantes à propriétés anti anémiques : *Urtica urens* L. (*ortie*) du latin *urere* = brûler). Cette espèce est utilisée comme légume des populations préhistoriques, les feuilles d'ortie renferment une substance histaminique, de l'acide formique, de la silice, du potassium, du tanin, des glucoquinines, de la chlorophylle et les vit. A et C en traces.

***Famille des Cannabacées :** Elle regroupe des herbes à feuilles opposées, la fleur est à 5 sépales auxquels correspondent 5 étamines superposées. Les plantes de cette famille ont la particularité d'avoir sur leurs fleurs des glandes ou des poils glanduleux producteurs d'une résine aromatique. Parmi les genres les plus utilisés :

Le genre *Cannabis* :

+*Cannabis sativa* cultivée pour l'utilisation de ses fibres dans l'industrie textile.

+*Cannabis indica* (le chanvre indien) est cultivé pour la préparation d'une drogue fumée .

***Famille des Moracées :** Elle regroupe des arbres ou arbustes, fleurs apétales unisexuées monoïques ou dioïques groupées en cyme. L'androcée contient 4 à 6 étamines, l'ovaire est formé de 2 carpelles avec une seule loge uniovulée. Le fruit est constitué par un réceptacle charnu renfermant des akènes ou un ensemble d'akènes entourés par les calices devenus pulpeux et charnus. Cette famille renferme 75 genres et environ 2000 espèces.

Le genre Ficus: Ficus carica L. (le figuier)

B.1.3.Ordre des Polygonales :

Il contient une seule famille des Polygonacées, celle-ci est caractérisée par des feuilles alternes, simples à pétiole dilaté à la base pourvu d'un ochréa (petite gaine entourant complètement la tige). Les plantes sont polygames, à périanthe herbacé pétaloïde (3 à 6 pétales) semblables ou dissemblables. L'androcée contient (3+3)E mais des avortements sont fréquents. Le gynécée contient 2 à 3 carpelles, l'ovaire est uniloculaire et uniovulé, l'ovule est orthotrope. Le fruit est un akène à albumen amylicé, cette famille renferme 30 genres et environ 750 espèces. *Fagopyrum esculentuum Moench* (le blé noir) cultivé comme fourrage.

B.1.4.Ordre des Centrospermales : Il contient des plantes apétales à fleurs hermaphrodites, leurs principales caractéristiques sont une placentation centrale de l'ovaire ; l'existence d'un embryon courbé provenant d'un ovule campylotrope ; la pollinisation est entomophile. Parmi les familles les plus importantes :

***Famille des Chénopodiacées :** Elle renferme de nombreuses espèces vivant sur des sols salés et prenant l'aspect des plantes grasses adaptées à la sécheresse (très abondantes dans les steppes et les déserts). Cette adaptation est matérialisée par un épaississement de la tige, une réduction de leur appareil foliaire. Les inflorescences sont des cymes bipares puis se réduisant en cyme unipare.

Leur formule florale est $5S+5E+2C$, le fruit est un akène à l'exception de *Beta vulgaris* qui regroupe la betterave potagère et la betterave industrielle.

Parmi les genres les plus importants :

+le genre Beta :

-*La betterave potagère :* cultivée pour l'alimentation de l'homme, à racine ronde de couleur rouge. C'est une source de colorant biologique utilisé par l'industrie alimentaire.

-*La betterave industrielle :* cultivée pour sa racine riche en saccharose qui fournit une matière première de choix à l'industrie sucrière. Elle contient aussi de la glutamine pouvant servir à l'obtention de l'acide glutamique

+le genre *Spinacia*

-*Spinacia olearacea* L. (épinards), riche en cellulose, l'épinard est un aliment de rééducation intestinale dans la constipation atonique, grâce à sa teneur en fer, chlorophylle et surtout acide folique, il peut rendre des services dans le traitement des anémies.

+Le genre *Chenopodium*

-*Chenopodium bonus henricus* L. (*ansérine* ou *blette*)

2.2. Sous classe des *Dialypétales*

Ce vaste groupe comprend les dicotylédones à pétales libres, c'est un groupe difficile à classer car le réceptacle floral peut être :

*soit droit (situé sur un plan) ou légèrement bombé, dans ce cas li forme le thalamus et les plantes s'appellent **les thalamiflores**.

*soit recouvert d'un disque nectarifère formé de glandes sécrétrices du nectar et les plantes sont dites **des disciflores**.

*soit concave et les plantes sont dites **des calciflores**.

B.2.1. Série des *Thalamiflores***B.2.1.1. Ordre des *Ranales* ou *Dialycarpiques***

Il est caractérisé par des fleurs hermaphrodites, polycycliques à nombreuses étamines, le gynécée est supère à carpelles libres. Parmi les familles les plus importantes :

***Famille des *Renonculacées* :**

Elle comprend environ 1500 espèces dont la majorité pousse dans les régions tempérées et froides. Toutes ces espèces sont herbacées à feuilles opposées, à limbe très découpé, les fleurs sont le plus souvent hermaphrodites, les étamines sont libres, le gynécée est supère à carpelles libres. Il existe de nombreuses espèces à hétérosides et alcaloïdes toxiques ou parfois médicinaux. Les genres les plus utilisés sont :

+**Adonis** (*Adonis vernalis* L.): employé comme un tonicardiaque ou cardiotonique d'entretien. Cependant elle exerce chez l'animal un effet vasoconstricteur veineux.

+**Anémone** (*Anémone pulsatilla* L.), les parties utilisées sont la fleur et la feuille fraîche ; elles sont utilisées comme, antispasmodiques, sédatifs des toux spasmodiques, des spasmes digestifs, des douleurs utérines et de certaines migraines.

B.2.1.2. Ordre des *Pariétales*

Il regroupe des plantes herbacées ou ligneuses à fleurs hermaphrodites, pentamères, biperianthées à 3 carpelles soudés. On distingue des pariétales à latex (famille des

Papavéracées) et des pariétales à myrosine (famille des Crucifères). Parmi les familles les plus importantes dans l'alimentation :

***Famille des Crucifères :**

Les crucifères comprennent environ 4000 espèces répandues sur toute l'étendue du globe. Plantes généralement herbacées, annuelles, bisannuelles et rarement vivaces ; C'est une famille très évoluée, facile à déterminer et très reconnaissable par ses fleurs à 4 pétales disposés en croix d'où le nom des Crucifères qui leur est réservée. Les fleurs sont très caractéristiques, le calice comprend :

-4 sépales en 2 verticilles dont les plus internes ont leur base en forme de poche où s'accumule du nectar produit par les glandes situées à la base des étamines ;

-4 pétales en un verticille ; -6 étamines dont 4 grandes et 2 réduites ; 2 carpelles soudés avec ovaire supère ;

-le fruit est un akène ou une silique ;

-la graine est sans ou avec un peu d'albumen. Du point de vue chimique, de nombreuses espèces renferment dans leurs tissus (feuilles, racines et surtout les graines) des hétérosides sulfurés (thioglycides) dont une cinquantaine sont isolées (progoitrine, glucobrassicine, sinalbine<..) et une diastase qui les hydrolyse. Ces composés soufrés donnent naissance, par hydrolyse, à de petites quantités de produits qui peuvent être nocifs. L'hydrolyse des thioglycides donne des substances huileuses volatiles (isothiocyanates) à odeur et à saveur piquante (principes actifs des condiments et de certains médicaments et qui, à forte dose, sont irritantes et toxiques)

Certains thioglycosides, présents dans les feuilles de chou, les graines de colza et les racines du navet, donnent par hydrolyse des composés antithyroïdiens (la goitrine) provoquant à faible dose des troubles de la thyroïde et un retard de la croissance. Parmi les principales espèces alimentaires et médicinales :

Brassica oleracea L. : le chou

Brassica napus L. : le colza qui fournit une huile renfermant de l'acide érucique (A.G. insaturé à 22 atomes de carbone), agressif pour le myocarde.

Brassica nigra koch (la moutarde noire) dont les graines sont rubéifiantes et révulsives, l'action est due au sinigraside (hétéroside azoté et sulfuré).

Rhaphanus sativus L. le radis

Sinapis alba L. : la moutarde blanche

B.2.1.3. Ordre des Malvales

***Famille des Malvacées :**

Famille d'environ 1500 espèces, facile à reconnaître par sa fleur qui a un aspect typique dû à 5 pétales à préfloraison tordue (chaque pétale est à la fois recouvert et recouvrant) et aux nombreuses étamines soudées en un tube. Ce sont des herbes ou arbustes à feuilles isolées, les fleurs sont pentamères à 5 sépales, 5 pétales tordus, légèrement soudés à la base. L'androcée est très particulier, toutes les étamines s'unissent par leur filet pour former un tube qui porte à son sommet des anthères. Les carpelles sont soudés leurs styles sont unis en une colonne centrale. Parmi les plantes les plus importantes : *Gossypium herbaceum* L. (le coton) ; *Malva sylvestris* L. (la mauve)

B.2.2. Série des Disciflores

B.2.2.1. Ordre des Géraniales

Il regroupe surtout des plantes herbacées, le réceptacle floral est surmonté d'un disque rudimentaire, les fleurs sont théoriquement pentacycliques, leur formule florale est $5S+5P+(5+5)E+5C$. Parmi les familles les plus importantes :

***Famille des Géraniacées** : regroupe des herbes à feuilles stipulées, à cymes de fleurs actinomorphes ou légèrement zygomorphes, pentacycliques et pentamères.

L'androcée est diplostémone, l'ovaire est formé de 5 loges uniovulées ou bi ovulées et surmonté d'un style unique. Le fruit est un schizocarpe. Le réceptacle floral est surmonté de glandes nectarifères contenant des épidermes portant des poils sécrétant des essences. Cette famille contient 3 genres :

-Geranium, (*Geranium macrorrhizum* L= le géranium) plante pubescente, aromatique, vivace avec rhizome; ses parties aériennes contiennent une huile essentielle dont l'odeur est très employée en parfumerie .

-Erodium, (*Erodium cicutarium* L.), plante hémostatique et utéro tonique, utilisé autrefois dans les hémorragies utérines.

-Pelargonium. (*Pelargonium graveolens* L= géranium rosat) plante originaire des régions chaudes, elle est surtout cultivée en Afrique du Nord. La plante sert à l'extraction de l'essence de géranium qui contient surtout du géraniol. L'essence est utilisée aussi pour son pouvoir antiseptique et aussi comme répulsif pour les insectes.

B.2.2.2. Ordre des Térébentales

***Famille des Rutacées** : Les rutacées sont les plus intéressantes du point de vue agronomique, elles nous fournissent les agrumes. Cette famille compte environ 150 genres et un millier

d'espèces ligneuses. Les agrumes qui appartiennent au genre *Citrus*, sont originaires des régions tropicales de l'Asie. Parmi les espèces les plus importantes : *Citrus aurantium* (oranger) *Citrus grandis osbeck* (pamplemoussier) ; *Citrus aurantium* croisée par *Citrus nobilis* (clémentinier)

B.2.3. Série des des Calciflores

B.2.3.1. Ordre des Rosales :

* Famille des Rosacées :

C'est une famille cosmopolite de 35000 espèces reniées en 100 genres. Elle regroupe des arbres, arbustes ou des herbacées. Les feuilles sont habituellement alternées, les fleurs sont pentamères avec pétales libres, les étamines sont nombreuses souvent disposées par cycle de 5 ou multiple de 5. L'ovaire est supère parfois infère, le fruit peut être un akène, un follicule, une capsule, une drupe ou une baie. On distingue les sous familles suivantes :

-S/F des Mimosacées (le mimosa)

-S/F des Césalpiniers (le caroubier= *Ceratonia siliqua*)

-S/F des Papilionacées On distingue des papilionacées à graines farineuses (riche en amidon) et à graines oléagineuses (riches en huile)

✓ Espèces à graines farineuses

+Genre **Pisum**: regroupe des espèces annuelles originaires du Proche-Orient, à feuilles paripennées. Parmi les espèces les plus importantes : *P. sativum* L. (le pois) : cultivée pur sa graine plus grosse verte, riche en protéines 28%, très digestible

+Genre **Cicer** : *C. arietinum* L. (le pois chiche).

+Genre **Vicia** : *V. faba* L. (la fève): espèce annuelle à gousses allongées. Excellent aliment mais en excès, provoque chez l'homme une maladie allergique appelée Favisme (erreur du métabolisme se traduisant par un désordre hémolytique). *V. faba* var. *equina* (la féverole) : variété à gousses plus petites que celles du *Vicia faba*, contenant des graines arrondies et brunes, à graines riches en protéines (25-30%) sont distribués au bétail .

+Genre **Phaseolus** ; *P. vulgaris* L (le haricot) : originaire d'Amérique du Sud.

+Genre **Lens** ; *L. culinaris* Med. (Les lentilles)

+Genre **Trigonella** ; *T. fenum graecum* L. (fenu grec) : espèce annuelle cultivée dans les pays méditerranéens et en Inde. Plante de petite taille, feuilles pétiolées à 3 folioles grandes ovales, fleurs blanchâtres. La gousse est dressée, longue (15-20 cm) linéaire, terminée par un bec long (2-3cm) et contenant 10 à 20 graines brunes ou rousses losangiques. Elle est utilisée dans

l'alimentation animale pour exciter l'appétit, favoriser l'engraissement mais donne un goût désagréable au lait et à la viande. Dans l'alimentation humaine, ses graines sont utilisées autrefois et jusqu'à aujourd'hui en thérapeutique. La plante fraîche est consommée comme légume en Inde.

✓ **Espèces à graines oléagineuses**

+**Genre Glycine** ; *G. hispida* (Moench) Maxim (soja vrai ou soya) : originaire d'Amérique du Sud.

+**Genre Arachis** : *A hypogea* L. (les arachides) : petite plante à fleurs jaunes, près du sol, ses feuilles à 2 paires de folioles, ses gousses contiennent 2 à 4 graines. Originaire du Brésil, très cultivée en Inde, Chine, Afrique (Sénégal, Nigeria). Nombreuses variétés dressées ou prostrées.

B.2.3.2.Ordre des Myrtales :

***Famille des Myrtacées :**

Elle comporte environ 3500 espèces fréquentes dans les zones chaudes et tempérées, elle regroupe des arbres, des arbustes comportant des glandes à essence et des canaux sécréteurs. Les fleurs ont 4 à 5 sépales, 4 à 5 pétales et de nombreuses étamines avec un ou plusieurs carpelles.

B.2.3.3.Ordre des Ombellales

C'est l'ordre le plus évolué des dialypétales avec un nombre d'étamines réduit (=5), celui des carpelles généralement égaux à 2, l'ovaire est infère.

***Famille des ombellifères :**

Elle comprend 3000 espèces qui se répartissent dans toutes les régions tempérées. Elle est très homogène et facile à reconnaître grâce à ses inflorescences en ombelles. Elle regroupe généralement des plantes herbacées à feuilles alternes, très découpées. Leurs fleurs sont formées de 5 sépales souvent à peine visible, 5 pétales à limbe recourbé en dedans, 2 carpelles avec un ovaire infère et le fruit est un diakène. On distingue plusieurs sous familles, les plus importantes dans l'alimentation sont : *Daucus carota* L. (la carotte) ; *Apium graveolens* L. (le céleri) ; *Coriandrum sativum* L. (la coriandre) ; *Carum carvi* L. (le carvi) ; *Petroselinum sativum* (le persil) ; *Thapsia garganica*

B.3.Sous classe des gamopétales

B.3.1. Série des Hypogynes

B.3.1.1. Sous Série des Diplostémones

B.3.1.1.1. Ordre des Ericales

Cet ordre regroupe des plantes à fleurs pentamères ou tétramères, généralement actinomorphes, l'androcée est diplostémone ou rarement isostémone par avortement, les étamines sont insérées sur le réceptacle et non pas soudé à la corolle. Les anthères sont souvent pourvues de 2 appendices d'où le nom de bicornes. Le pistil est habituellement tétraloculaire ou pentaloculaire, les ovules sont anatropes. Parmi les familles les plus importantes :

***Famille des Ericacées :** Elle regroupe des plantes ligneuses à feuilles simples persistantes et coriaces, les fleurs sont habituellement actinomorphe avec un disque hypogyne. Elles ont 4 à 5 sépales, 4 à 5 pétales et 4 à 5 carpelles. Le fruit est une capsule ou une baie, les fleurs sont hermaphrodites isolées ou en grappe. On distingue : Le genre *Erica* (*E.cinerea* = bruyère cendrée) Le genre *Calluna* (*C.vulgaris*= bruyère commune)

B.3.1.1.2. Ordre des Ebinales

Il regroupe les plantes ligneuses des régions chaudes, les feuilles sont généralement entières, les fleurs sont actinomorphes, tétramères ou pentamères. Elles comportent 1,2 ou plus de deux cycles d'étamines et en principe 4 ou 5 carpelles. L'ovaire est presque toujours supère, tétraloculaire ou pentaloculaire. Le placenta axile porte un petit nombre d'ovules anatropes avec 1 ou 2 enveloppes. On distingue des :

- Ebinales à ovaire divisé en plusieurs loges complètes

ex. **Famille des Sapotacées**, l'espèce *Achras sapota* est appréciée pour ces fruits comestibles et son latex qui fournit un masticatoire, matière première pour la formation du Chewing gum.

- Des Ebinales à ovaire divisé en plusieurs loges généralement incomplètes

ex. **Famille des Styracacées**, l'espèce *Styrax tonkineuse* qui fournit le benjoin qui est une résine aromatique.

B.3.1.2. Sous Série des Isostémones :**B.3.1.2. 1.Ordre des Gentianales (Concortés)**

Les Gentianales ont des feuilles ordinairement opposées, les fleurs actinomorphes, bisexuées, pentamères ou tétramères. L'androcée est isostémone sauf chez les Oléacées où 2 étamines seulement sont présentes. Les étamines alternent régulièrement avec les lobes de la corolle et leurs filets sont soudés au tube formé par l'ensemble des pétales, le gynécée est bicarpellé. Des glandes nectarifères sont souvent présentes à la base de l'ovaire.

Parmi les familles les plus importantes :

***Famille des Oléacées :**

Elle regroupe des plantes à fruits variables, il peut être :

*une samare, genre *Fraxinus* (le frêne)

*une capsule, genre *Syringa* (le lilas)

*une baie, le genre *Ligustrum* (le jasmin) *une drupe, le genre *Oléa* (l'olivier)

***Famille des Asclépiadacées**

Parmi les genres les plus importants, le genre *Cynanchum* dont le rhizome produit une drogue à propriétés expectorantes.

***Famille des Gentianacées :**

Le genre *Gentiana*, l'espèce *Gentiana lutea* est très utilisée en industrie pharmaceutique ainsi que le genre *Menyanthe*, l'espèce *M.trifolia* dont les feuilles ont des propriétés toniques et laxatives.

***Famille des Solanacées :**

On distingue les genres :

Solanum : dont le fruit est une baie, parmi les plantes les plus importantes en alimentation : *Solanum tuberosum* ; *Solanum lycopersicum*

Nicotinia très riche en nicotine dont les effets sont stimulants puis déprimants sur le système nerveux. *Nicotinia tabacum*; *Nicotinia rustica*:

Capsicum dont les espèces alimentaires sont utilisées comme condiments. *Capsicum annuum*; *Capsicum longum*

B.3.2. Série des Epigynes

B.3.2. 1.Ordre des Campanales :

Il est caractérisé par un ovaire infère, multiovulé, les étamines sont indépendantes de la corolle.

***Famille des Cucurbitacées :** Elle regroupe des herbes à feuilles isolées et à tiges souvent rampantes ou grimpantes à l'aide de vrilles. Les fleurs sont presque toujours unisexuées, habituellement pentamères à l'exception du pistil qui comprend 3 carpelles. Les étamines sont indépendantes de la corolle, l'ovaire est uniloculaire, les placentas sont pariétaux, le fruit est très souvent une grosse baie et les grains sont exalbuminés .

Parmi les genres les plus importants dans l'alimentation : **Cucumis** : *Cucumis melo* (le melon) ; *Cucumis sativum* (les comcombres) **Cucurbita** : *Cucurbita pepo* (les courges) **Citrullus** : *Citrullus vulgaris* L. (les pastèques)

B.3.2. 2.Ordre des Rubiales

Il s'oppose à l'ordre des Campanulales par le fait que les étamines sont soudées au tube de la corolle. Ce sont des gamopétales à feuilles opposées et à fleurs hermaphrodites, tétracycliques avec un ovaire infère. L'androcée est isostémone, le nombre de carpelles est variable (3 à 5). Ce groupe paraît apparenté aux ombellales avec une organisation florale semblable.

Parmi les genres les plus importants : le genre *Coffea* (*Coffea arabica*, *Coffea robusta*) Les Rubiacées à alcaloïdes sont très nombreuses, quelques-unes sont utilisées en thérapeutique: les quinquinas sont les plus importantes par leur quinine.

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adl, S. M., A. G. B. et al. 2005. The new higher level classification of eukaryotes with emphasis on the taxonomy of protists. *Journal of Eukaryotic Microbiology*. 52(5) : 399-451.
- Alexopoulos, C. J. and C. W. Mims. 1979. *Introductory Mycology*. 3rd ed. John Wiley and Sons. New York.
- Bold, H. C., C. J. Alexopoulos, and T. Delevoryas. 1987. *Morphology of Plants and Fungi*. 5th Edition. HarperCollins Publishers, Inc. New York.
- D.S. Hibbett, et al. 2007. A higher-level phylogenetic classification of the Fungi, *Mycological Research*, vol. 111(5) : 509-547.
- Eriksson O. E., H.-O. Baral, R. S. Currah, K. Hansen, C. P. Kurtzman, G. Rambold, T. and Laessøe, eds. 2001 *Outline of Ascomycota*. 7: 1-88.
- Fiore-Donno A.M., Berney C., Pawlowski J. and Baldauf S.L. 2005. Higher-order phylogeny of plasmodial slime molds (Myxogastria) based on EF1A and SSU rRNA sequences. *Journal of Eukaryotic Microbiology*. 52 : 201–210.
- Lado C. 2005–2016. An On Line Nomenclatural Information System of Eumycetozoa. <http://www.nomen.eumycetozoa.com> (10 November 2016)
- Liu, Y. J., S. Whelen, and B. D. Hall. 1999. Phylogenetic relationships among Ascomycetes: Evidence for an RNA polymerase II subunit. *Molecular Biology and Evolution*. 16(12) : 1799-1808.
- Lutzoni, F. F. et al. 2004. Assembling the fungal tree of life : progress, classification, and evolution of subcellular traits. *American Journal of Botany*. 91(10) : 1446-1480.
- Margulis, L. and K. Schwartz. 1982. *Five kingdoms, an illustrated guide to the phyla of life on earth*. W.H. Freeman and Co. New York.
- Margulis, L. and K. Schwartz. 1988. *Five kingdoms, an illustrated guide to the phyla of life on earth*. 2nd Edition. W.H. Freeman and Co. New York.

Margulis, L. and K. Schwartz. 1998. Five kingdoms, an illustrated guide to the phyla of life on earth. 3rd Edition. W. H. Freeman and Company. New York.

Nishida, H. and J. Sugiyama. 1994. Archiascomycetes: detection of a major new lineage within the Ascomycota. Mycoscience. 35 : 361-366.

Scagel, R. F., R. J. Bandoni, G. E. Rouse, W. B. Schofield, J. R. Stein, and T. M. C. Taylor. 1984. Plant Diversity, An Evolutionary Approach. Wadsworth Publishing Co. Belmont, CA.

Talbot P.H.B. 1971. Taxonomic Problems Associated with Variation in Fungi. In: Principles of Fungal Taxonomy. Palgrave, London.

REFERENCES INTERNET

1. <https://www.jean-marc-gil-toutsurlabotanique.com/page/introduction-a-la-botanique/glossaire-botanique/glossaire/page-237.html>
2. <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Rhodophyta-page-2.html>
3. <https://www.universalis.fr/encyclopedie/zygophycees-conjuguees/>
4. <https://www.universalis.fr/encyclopedie/chlorophycees/>
5. <https://mycology.adelaide.edu.au/descriptions/zygomycetes/>
6. <https://fr.linkfang.org/wiki/Zygomyc%C3%A8tes>
7. <https://courses.lumenlearning.com/ivytech-bio1-1/chapter/classifications-of-fungi/>
8. [https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/Book%3A_Microbiology_\(Boundless\)/8%3A_Microbial_Evolution_Phylogeny_and_Diversity/8.17%3A_Fungi/8.17F%3A_Glomeromycota](https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/Book%3A_Microbiology_(Boundless)/8%3A_Microbial_Evolution_Phylogeny_and_Diversity/8.17%3A_Fungi/8.17F%3A_Glomeromycota)