

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

*Université Constantine-1*

*Faculté des sciences de la nature et de la vie*

2<sup>ème</sup> année LMD

# Cours de Botanique

Conçu et préparé par :

**Mme BOUCHOUKH Imane**

2016-2017

## **Introduction générale à la botanique**

### **1- Définition :**

La botanique est la science consacrée à l'étude des végétaux (du grec βοτανική<sup>1</sup>; féminin du mot βοτανικός qui signifie « qui concerne les herbes, les plantes »). Elle présente plusieurs domaines qui la rattachent aux autres sciences du vivant. La botanique générale recouvre la taxinomie ou taxonomie (description des caractères diagnostiques et différentiels), la systématique (dénombrement et classification des taxons dans un certain ordre), la morphologie végétale (décrivant les organes ou parties des végétaux), l'histologie végétale, la physiologie végétale, la biogéographie végétale et la pathologie végétale. Certaines disciplines, comme la dendrologie, sont spécialisées sur un sous-ensemble des végétaux. La connaissance fine des végétaux trouve des applications dans les domaines de la pharmacologie, de la sélection et de l'amélioration des plantes cultivées, en agriculture, en horticulture, et en sylviculture.

### **2- Historique :**

Dès les débuts de son histoire, l'homme est en contact avec le monde végétal, pour se nourrir, pour se loger, pour fabriquer des armes et pour se soigner.

Pendant longtemps, les hommes essayent de classer les plantes mais les premières classifications étaient purement utilitaires et ne concernent que quelques centaines de plantes.

- Un manuscrit chinois (2800 ans av.J.C) a été mis en place pour décrire 300 plantes.

- ARISTOTE (384-322 av.J.C.), philosophe touche à tout et notamment à la biologie, écrit et enseigne les Sciences Naturelles. Il est considéré comme le fondateur de la botanique. Sa classification des êtres vivants est fonction de la nature de l'âme de ces êtres vivants. Il détermine quatre type d'âmes : l'âme nutritive, l'âme sensitive, l'âme appétitive et locomotrice et l'âme rationnelle.

- THEOPHRASTE (372-287 av.J.C.) philosophe grec, est l'auteur de la première « Histoire des Plantes » écrite en 360 avant Jésus-Christ et qui traite de la morphologie et de la classification des végétaux. Il est le premier à faire la distinction entre le règne animal et le règne végétal. il est considéré comme le père de la botanique. Sa classification botanique est artificielle. Il distingue quatre groupes principaux : les herbes, les sous arbrisseaux, les arbrisseaux et les arbres.

- PLINE L'ANCIEN (23-79 ap.J.C.) homme de lettres, militaire et historien romain nous lègue son « Histoire naturelle », « Historia naturalis », qui comporte 37 livres dont 9

traitent des plantes médicinales et est considérée comme l'encyclopédie botanique de cette époque.

- Pedanius DIOSCORIDE(40-90 ap.J.C.) médecin militaire exerçant dans l'armée romaine et botaniste grec écrit «Sur les plantes médicinales », il décrit plus de 600 plantes, essentiellement médicinales. DIOSCORIDE est un grand voyageur et a ainsi accumulé les connaissances des plantes médicinales du monde connu à cette époque.

- Au Moyen-âge, Albertus MAGNUS (1193-1230), moine dominicain allemand reprend les thèses d'Aristote et écrit entre autres « De vegetalis» où l'on voit apparaître pour la première fois les notions de plantes monocotylédones et dicotylédones, sur la base de la comparaison de la structure de la tige. Il classe dans « De vegetalibus et plantis » (1256-1257) plus de 400 espèces végétales.

- A la renaissance, plusieurs travaux ont été réalisés pour mieux classer les plantes par Otto BRUNFELS (1488-1534), Jérôme BOCK (1498-1554), Andrea CESALPINO (1519-1603), Kaspar BAUHIN (1560-1624).

- Le concept de l'espèce, du genre et de la famille prend forme grâce aux travaux de Pierre MAGNOL (1638-1715), Joseph-Piton TOURNEFORT (1656-1708),

- Le 17<sup>e</sup> siècle et surtout le 18<sup>e</sup> siècle marquent un tournant notamment avec **Carl VON LINNÉ (1707- 1778)**, un botaniste suédois considéré comme le père de la classification moderne, avec son système de nomenclature binomiale (ou binaire ou binominale) L'ouvrage le plus important de Linné est son Systema Naturæ (les systèmes de la Nature)

- L'arrivée du microscope électronique et de la biologie moléculaire vont orienter la recherche biologique au travers de l'observation de l'infiniment petit. Gregor MENDEL (1822-1884) puis Hugo DE VRIES (1848-1935) ont découvert des lois de la génétique qui ont évolué les critères de classification.

### 3- Notions générales :

#### a- **La systématique :**

Les êtres vivants sont classés en groupes (ou **taxons**).

La systématique est la branche de la biologie qui a pour objectif la description et la reconnaissance des espèces en fonction de leurs diverses caractéristiques et les liens de parentés et leur regroupement par une classification en plusieurs groupes.

La systématique comprend deux branches, la phylogénétique (Etude des liens de parentés entre les différents groupes) et la taxonomie.

**b- La taxonomie (ou taxinomie) :**

C'est la science des lois de la nomenclature et de la classification des organismes vivants en plusieurs groupes ou taxons.

La classification s'est fait du général au spécifique, ce cette manière :

**Règne :**

**Embranchement** (division ou phylum) ....phyta

Sous-embranchement : ...phytina

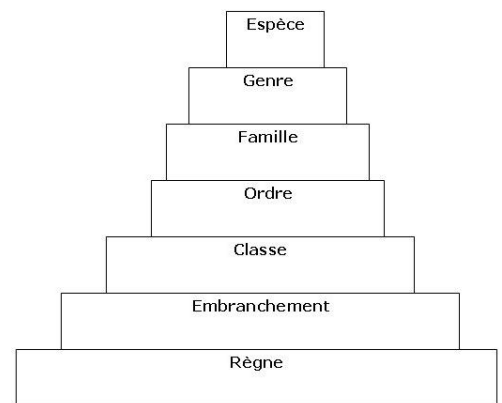
**Classe :** ....phyceae ou ...phycées

Sous- classe : ...phycidae ou ....phycidées

**Ordre :** ....ales

**Famille :** ...aceae ou ...acées

Sous-famille ...oideae ou....oidées

**Genre :****Espèce :****c- La nomenclature binomiale :**

Depuis 1758, Linné met au point son système de nomenclature binominale, qui permet de désigner avec précision toutes les espèces animales et végétales (et, plus tard, les minéraux) grâce à une combinaison de deux noms latins (le binôme). C'est un nom latin ou un nom grec latinisé.

La nomenclature binomiale, comportant deux noms :

Le premier est le nom générique : **le genre**, la première lettre est une lettre majuscule.

Exemple : *Homo*

Le second est le nom spécifique : **l'espèce**, dont la première lettre est obligatoirement uneminuscule. Exemple : *sapiens*

Quelque fois un troisième nom apparaît, indiquant la sous-espèce ou la variété.

Exemple : *Homo sapiens sapiens*

Ces noms composés sont imprimés en italique pour indiquer qu'il s'agit de mots latins. Et si on écrit à la main, on doit les souligner (sauf en cas de l'espèce)

Parfois le nom de l'espèce est suivi par le nom de l'auteur réduit en une seule lettre et un point. Ex : *Triticum sativum* L. (*Triticum sativum* Linné)

**d- Notion d'espèce :**

(Du latin *species*, « type » ou « apparence ») C'est le taxon de base de la systématique, c'est l'ensemble de tous les individus d'aspect semblables qui, au sein du même genre, présentent les caractères très proches ou similaires qui les distinguent des autres individus de



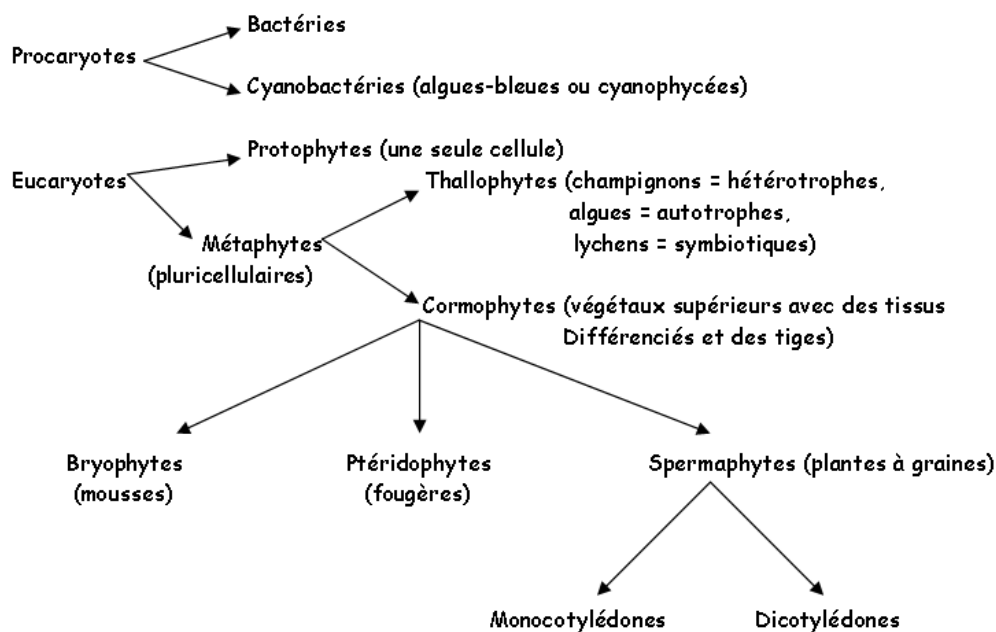
ce genre. Les individus de la même espèce ont la capacité de s'entrecroiser et de produire de nouveaux individus de la même espèce.

Ex : *Triticum sativum* et *Triticum durum* sont deux espèces différentes du même genre *Triticum*

Le monde vivant est divisé en cinq règnes

- \* Procaryotes ou Monères (Bactéries et Cyanophytes)
- \* Protistes (eucaryotes unicellulaires chlorophylliens ou non)
- \* Végétaux (Plantae)
- \* Champignons (et Lichens)
- \* Animaux

Nom du règne	Types d'organismes
1 - Monères (Monera)	Algues bleues Bactéries
2- Protistes (Protista)	Algues Champignons primitifs Plancton, éponges
3 - Fungi (champignons)	Champignons Lichens
4 - Plantes	Mousses (non vasculaires) Plantes vasculaires
5 - Animaux	Animaux multicellulaires



## **Chapitre 1 : Les cyanobactéries (ou cyanophytes ou algues bleues)**

C'est un groupe primitif d'algues et les plus anciennes plantes à chlorophylle. Elles n'ont pas une véritable structure cellulaire. On dénombre 150 genres et 2000 espèces.

Ces végétaux, unicellulaires ou pluricellulaires, ont longtemps été inclus dans les algues et nommés **algues bleues** en raison, en particulier, de leur habitat aquatique et de leur coloration bleu-vert (et à ce titre, ils correspondent à la division des Cyanophytes). Il est actuellement admis que leur ultrastructure, de type procaryote, indique une parenté certaine avec les bactéries, justifiant le terme de Cyanobactéries qui leur est désormais appliqué.

Les Cyanobactéries correspondent à des organismes formés de cellules ou de filaments microscopiques, mais qui se développent souvent simultanément pour constituer soit des colonies visibles à l'œil nu soit des populations très importantes formant des « fleurs d'eau »

### **1- Description :**

#### **a- Organisation de la cellule :**

Si la morphologie des individus est très variable, la cellule des Cyanobactéries présente une organisation relativement simple de procaryote (ni plaste ni noyau individualisé) avec une paroi (dont les régions les plus externes sont souvent différenciées en gaine) qui entoure un protoplasme.

Les cyanobactéries sont dépourvues de membrane nucléaire, de mitochondries, de réticulum endoplasmique et de flagelle. Au microscope électronique, on distingue deux zones différenciées, principalement par leur couleur :

- **Le chromoplasme** : une zone périphérique colorée contenant les **thylakoïdes**, sortes de sacs écrasés contenant les organites, qui, outre la photosynthèse, assure deux autres fonctions : la respiration, et la fixation de l'azote (chez certaines espèces).
- **Le centroplasme (ou nucléoplasme)** : situé au centre de la cellule, incolore, qui assure des fonctions semblables à celle d'un noyau et contient l'ADN, qui se présente généralement sous formes d'aiguilles circulaires.

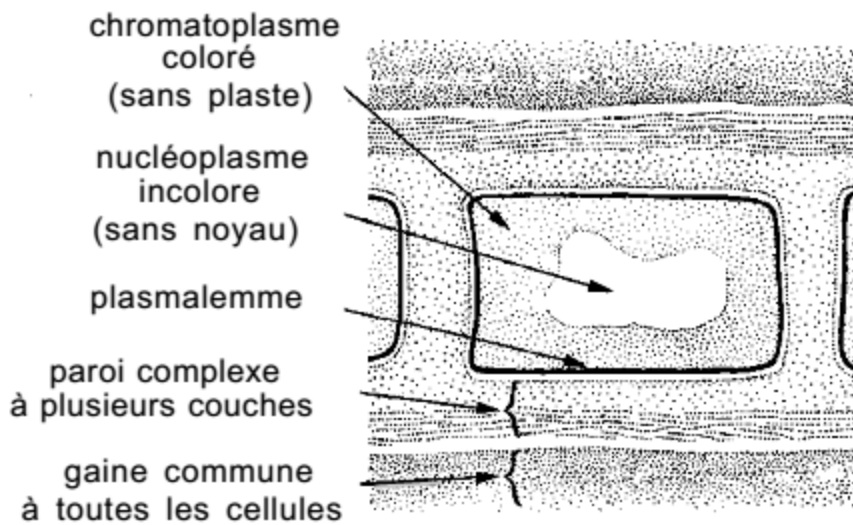


Figure 1- Cellule de cyanobactérie au microscope optique.

Une cellule de cyanobactérie est constituée de :

- Une **gaine mucilagineuse** qui l'entoure, elle est plus ou moins importante et très hygroscopique.

- Une **paroi** formée d'au moins quatre couches, une des assises internes de cette paroi contient certains constituants (comme l'acide muramique) rencontrés **seulement chez les procaryotes**.

- Une membrane plasmique.

- Le **nucléoplasme** correspond d'une part à des fibrilles d'**acide désoxyribonucléique (ADN)** sous forme de **chromosome** circulaire libre dans le cytoplasme (absence de noyau= Procaryote), d'autre part à des grains d'acide ribonucléique (**ribosomes 70S**).

- Les **thylakoïdes** sous forme d'un système de lamelles portant les **pigments** photosynthétiques qui sont : la chlorophylle a et c, la carotènes (couleur variable, jaune, orangé ou rouge), la phycoyanine (bleu-vert), et la phycoérythrine (rouge).

- Diverses inclusions sont souvent présentes comme :

- Des grains de **cyanamylon** : polysaccharide à base de glucose proche du rhodamylon surtout abondants dans le chromatoplasme.

- Des grains **métachromatiques** (volutine) plutôt localisés dans le centroplasma et correspondant à des polyphosphates.

- Des grains de **cyanophycine** (réserve protéique) souvent situés dans le chromatoplasme appliqué sur les parois transversales
- Des **carboxysomes** qui contiennent des enzymes pour la fixation du carbone.
- Des gouttelettes lipidiques (graisse)
- Des vacuoles gazeuses pleines d'air et qui assurent la flottabilité des cyanobactéries dans les milieux aquatiques.

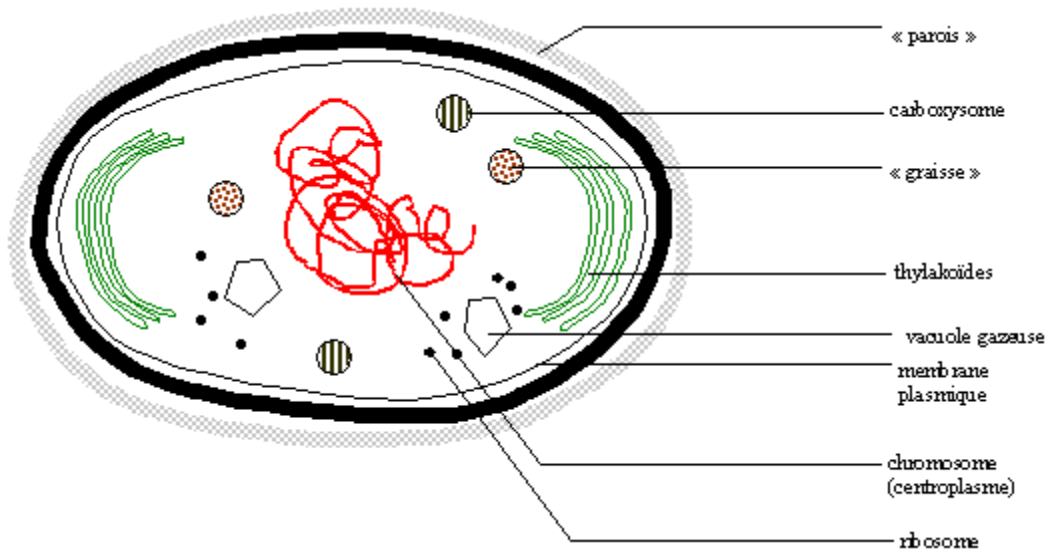


Figure 2- Une cellule d'une cyanobactérie.

**b- Morphologie :**

Les Cyanobactéries correspondent à des organismes **unicellulaires** ou **pluricellulaires**, formés de cellules ou de **filaments** microscopiques, mais qui se développent souvent simultanément pour constituer des **colonies**.

Chez les formes filamenteuses on appelle **trichome** la file de cellules et le **filament** c'est l'ensemble du trichome et de la gaine mucilagineuse entourant le trichome lorsqu'une gaine est formée.

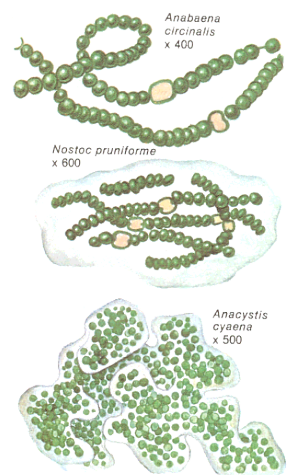
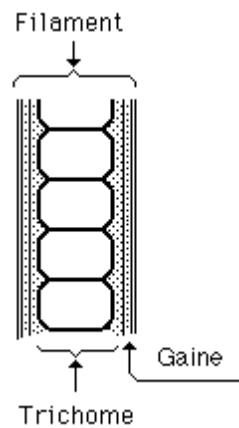


Figure3- Colonies et filaments des cyanobactéries

En plus de la cellule végétative décrite ci-dessus, on peut trouver deux formes de cellules :

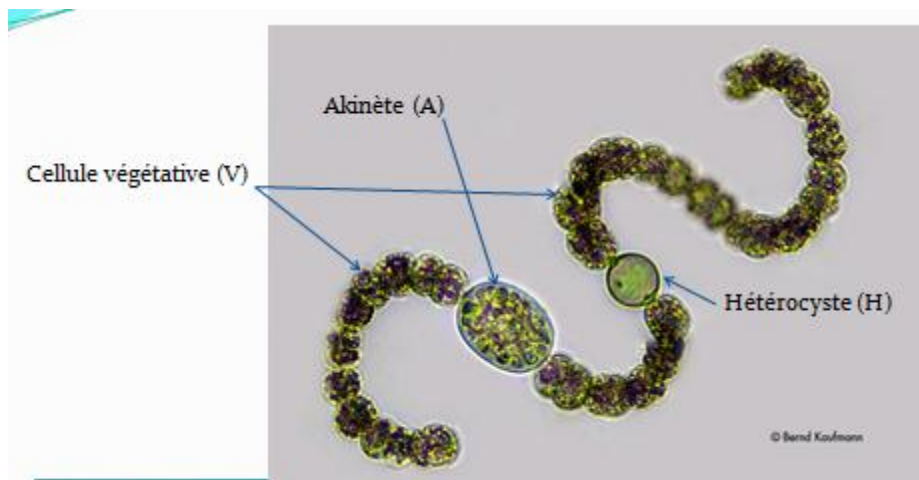
- **L'hétérocyste** : est une cellule transparente, à paroi épaisse, habituellement translucide, qui se rencontre chez certaines cyanobactéries (dites hétérocystées).

Il est le site de la **fixation d'azote** et se forme à partir des cellules végétatives en conditions de manque d'azote. Il est caractérisé par la présence de nodules polaires aux points d'attache aux cellules végétatives. Suivant les espèces on rencontre des hétérocystes intercalaires et/ou terminaux.

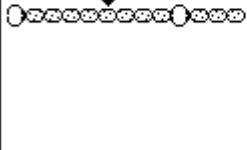


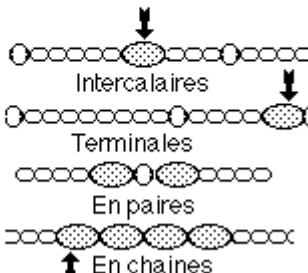
Les hétérocystes peuvent être circulaires, ovales, triangulaires, carrés ou rectangulaires

- **Les akinètes** : sont des **spores** immobiles (absence de flagelle) produites chez les formes hétérocystées. Elles sont résistantes aux conditions adverses et demeurent viables sur de longues périodes. On les distingue par leur grande taille, leur forme, leur pigmentation modifiée et la présence de nombreux granules cytoplasmiques. Les akinètes peuvent être lisses ou ornementés.

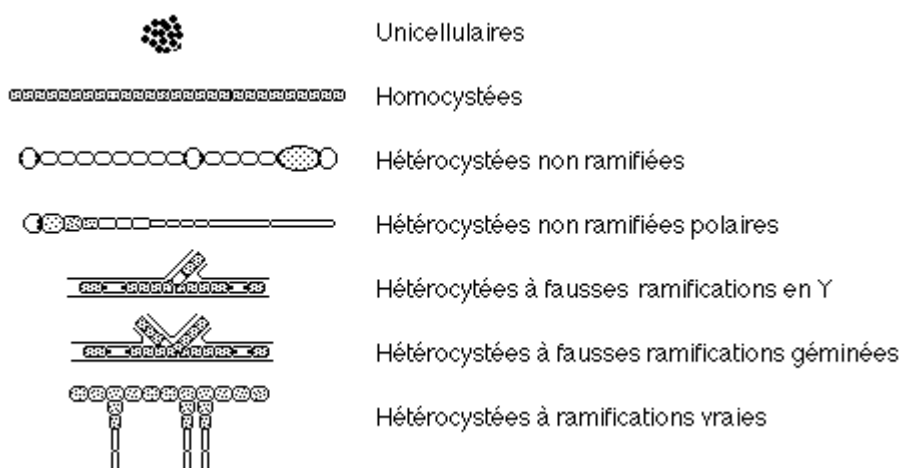
Les akinètes peuvent se former n'importe où sur le filament. On observe cependant souvent une localisation préférentielle au voisinage des hétérocystes.



**Figure 4-** Hétérocyste et Akinète

Cellules végétatives	Hétérocystes	Spores ou Akinètes
Activité photosynthétique	Fixation de l'azote	Conservation Dissémination
	 Intercalaire bipolaire   Terminal unipolaire	

A partir des caractères morphologiques majeurs facilement observables en microscopie optique, on peut distinguer sept grandes formes morphologiques de cyanobactéries :



## 2- Physiologie :

La photosynthèse est la principale méthode de nutrition des cyanobactéries (elles sont **autotrophes**), cependant, en présence de substrats organiques et de CO<sub>2</sub>, certaines espèces utilisent le carbone organique pour leurs synthèses cellulaires. Quelques espèces peuvent croître à l'obscurité en hétérotrophie.

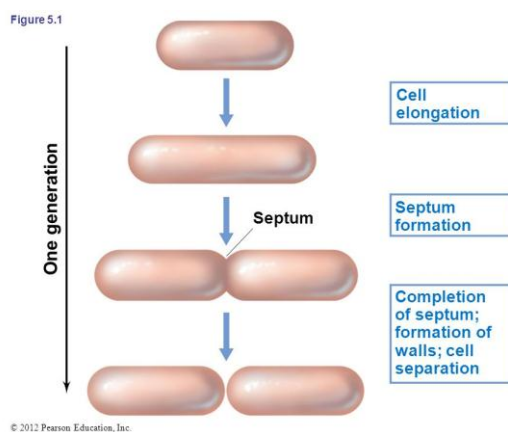
Les cyanobactéries utilisent l'azote minéral des nitrates, nitrites et sels ammoniacaux. L'azote nitrique est la source d'azote préférée dans la plupart des milieux de culture. En l'absence d'azote minéral, de nombreuses formes de cyanobactéries peuvent utiliser l'azote de l'air comme source d'azote et l'incorporer dans leurs cellules (fixation de N<sub>2</sub>). A la mort de ces cyanobactéries, cet azote retourne dans l'environnement sous forme d'azote minéral assimilable par les plantes. La fixation de l'azote a donc un rôle très important dans le maintien de la fertilité de certains environnements naturels ou cultivés.

Les cyanobactéries présentent des teneurs en azote et en protéines plus élevées que celles dans de nombreux organismes.

Certaines cyanobactéries se développent de façon symbiotique avec des champignons, des végétaux et certains mollusques. Certaines de ces symbioses ont une importance écologique ou agronomique.

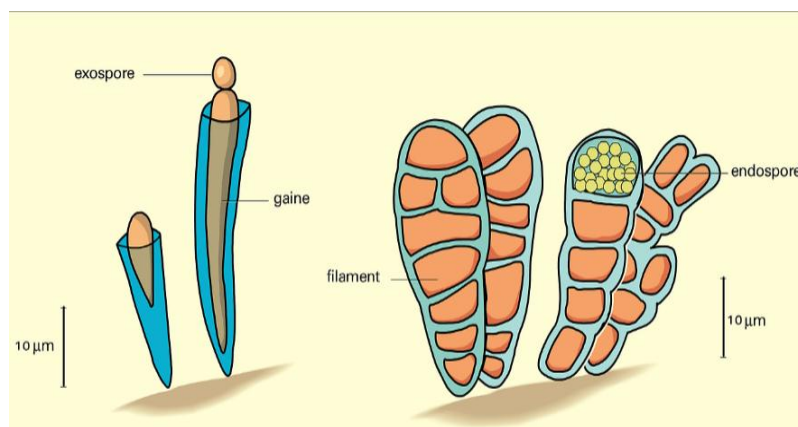
### 3- Reproduction :

Les algues bleues se reproduisent de façon **asexuée**. La reproduction asexuée chez elles se fait par une **scissiparité** (division **binaire** ou division **végétative**).



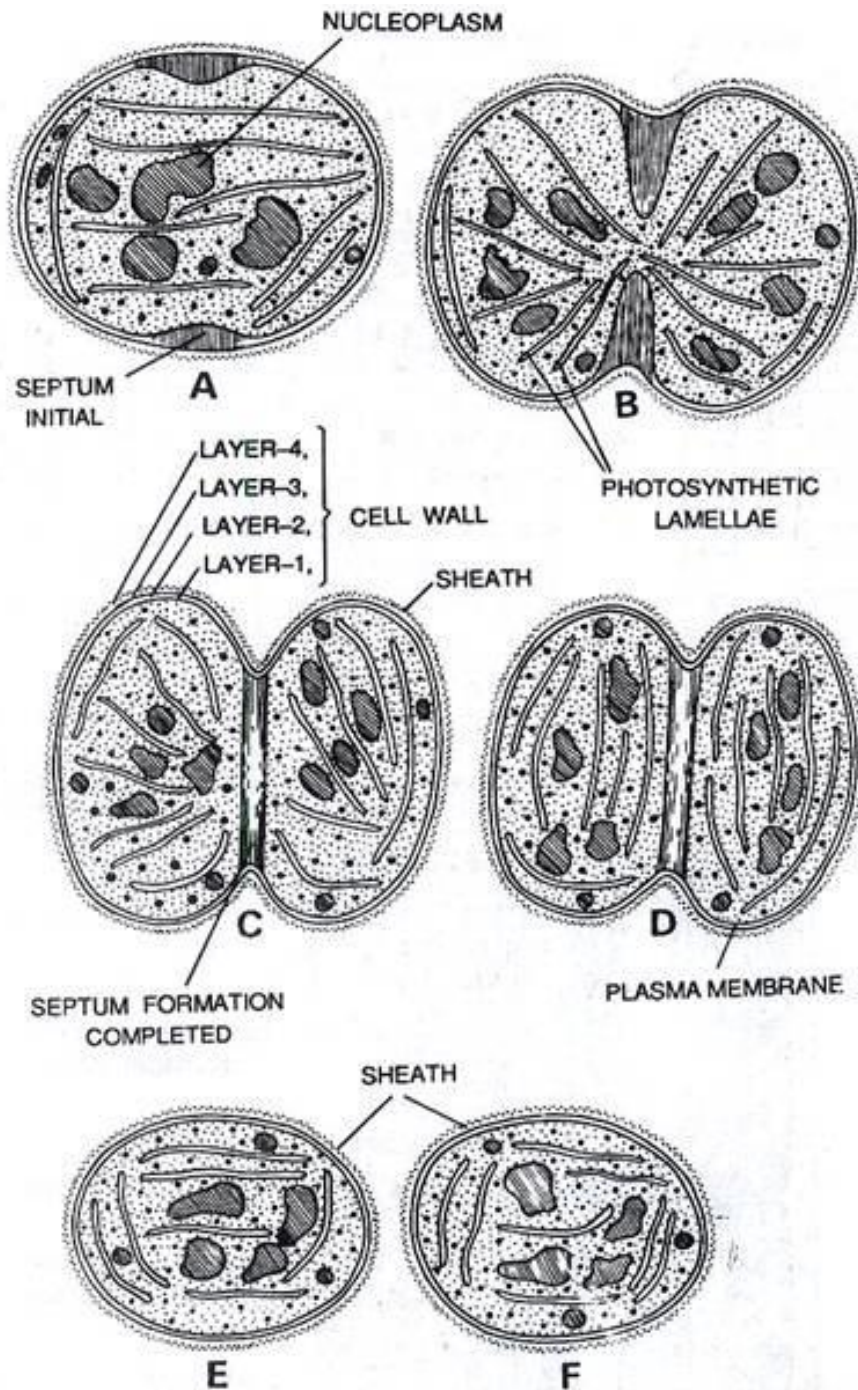
**Figure 5-** La division binaire.

Cette division se fait soit à travers des **spores unicellulaires** appelées **coccospores** qui peuvent être des **endospores** ou **exospores**.



**Figure 6-** Les coccospores

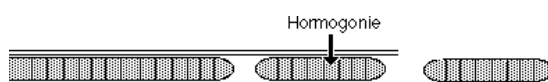




**Figure 7-** La division binaire d’une cellule végétative de cyanobactérie



Soit par **les hormogonies** qui sont des formes de multiplication asexuée sous forme de groupes de cellules qui s'échappent à l'extrémité de la gaine de certaines formes de cyanobactéries filamenteuses ou qui résultent de la germination d'akinètes. Les hormogonies peuvent être mobiles ou immobiles.



**Figure 8-** Hormogonies

#### 4- Ecologie :

Les cyanobactéries vivent presque partout, y compris dans des conditions extrêmes, des glaces polaires (On a trouvé des tapis d'algues bleues de plusieurs centimètres d'épaisseur, sous plus de 5 m de glace permanente) aux sables des déserts. Elles survivent dans les lacs très chauds et/ou acides des cratères volcaniques comme dans les geysers. Elles croissent tant en eau douce que salée, sous forme planctonique (vivant dans la masse d'eau), ou sous forme benthique (organismes fixés à un substrat immergé). Elles se développent particulièrement bien dans certains milieux pollués par les activités humaines (eutrophisation, dystrophisation). Ces proliférations (blooms) forment par exemple des **fleurs d'eau** de couleur particulière qui apparaissent sur un plan d'eau en voie de pollution. On assiste à ces efflorescences algales quand l'eau contient de l'azote et/ou du phosphore en excès, conséquence par exemple d'une agriculture trop intensive ou d'une urbanisation épurant mal ses eaux. Pour cette raison, lorsqu'on détecte qu'une étendue d'eau est envahie par les cyanobactéries, il ne faut pas considérer l'efflorescence elle-même comme la pollution, mais plutôt comme une réaction naturelle à une pollution déjà présente.

### 5- Intérêt et utilisation :

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

- En raison de leur richesse en protéines et vitamines (la teneur en protéines atteint 70% chez certaines spirulines commercialisées)

- En vue d'en extraire les pigments bleus, jaunes ou rouges, peu fréquents dans les organismes vivants et donc particulièrement recherchés par les industries alimentaires.

- Pour produire une biomasse méthanisable comme source d'énergie.

- *Microcoleus chthonoplastes* joue un rôle fondamental dans l'exploitation des marais salants en constituant une couche multistratifiée et épaisse de plusieurs millimètres recouvrant le fond des bassins et permettant la récolte du sel sans mélange avec la vase.

- La culture de *Rivularia mesenterica* pourrait être intéressante à tenter dans lamesure où, dans la nature, son développement est très rapide (de juillet à septembre); de même *Lyngbya majuscula*, qui forme des touffes atteignant plusieurs centimètres, devrait aussi constituer un bon matériel pour l'aquaculture.

### 6- Taxonomie :

En raison du polymorphisme des cyanobactéries, les anciennes classifications ont donné naissance à de très nombreux genres et espèces.

Seule la classification morphologique de Rippka et al. (1979) est fondée sur des caractères morphologiques stables observables en culture. Elle a amené à une première révision taxonomique qui a considérablement réduit le nombre de taxons reconnus.

L'embranchement de **Cyanophytes** ou **Cyanoschizophytes** comprend une seule classe

**Classe:** Cyanophycées

On distingue deux sous classes:

**Sous classe 01:** Coccogonophycidées

**Sous classe 02:** Hormogonophycidées

➤ Sous classe: **Coccogonophycidées**

Cette sous classe renferme les algues bleues primitives, on les trouve soit en colonie, soit isolées, elles se multiplient par des **coccospores**.

On distingue 03 ordres:

- **Ordre01: Chroococales** Renferme les algues bleues unicellulaires.
- **Ordre02: Chamaesiphonales** Sont des espèces en forme filamenteuse, la Multiplication se fait à travers des endo ou exospores.
- **Ordre03: Pleurocapsales** Des algues bleues ont un trichome (filament simple), multiplication à travers des endospores

➤ Sous classe: **hormogonophycidées:**

Des algues bleues généralement en forme filamenteuse, la multiplication se fait par hormogonie, dans cette sous classe on peut trouver des espèces avec hétérocystes ou akinetes.

- **Ordre01: Nostocales**

Cet ordre comprend 03 familles:

- \*Famille 01: **Oxillatoraceae**

- Genre: *Oxillatoria*

- \*Famille 02: **Nostocaceae**

- Genre : *Anabaena*

- Genre: *Nostoc*

- \*Famille03: **Rivulariaceae**

- Genre: *Calothrix*

- **Ordre02: Stigonimatales**

- \*Famille: **Stigonemataceae**

## 7- Exemples de cyanobactéries :

### a- Le genre *Nostoc* :

#### • Position systématique :

Règne : **Bactéria**

Embranchement : **Cyanophytes (ou Cyanoschizophytes)**

Classe : **Cyanophycées**

Sous-classe : **Hormogonophycidées**

Ordre : **Nostocales**

Famille : **Nostocacées**

Genre : *Nostoc*

#### • Description :

- Se regroupent en colonie ou filaments. Les filaments peuvent flotter ou s'attacher à des objets ; vit aussi dans les cours d'eau rapides ou sur les berges humides. Dans les lacs, peut croître dans l'eau jusqu'à 20 m de profondeur.

- Ressemble à un collier de perles avec des cellules vides plus grosses parsemées le long du filament. Enfermé dans une masse gélatineuse.

- Cellules végétatives sphériques, ovoïdes ou cylindriques.

- **Hétérocystes** aux deux extrémités du filament (hétérocyste terminaux)

- Les hétérocystes peuvent également être formés en position intercalaire.

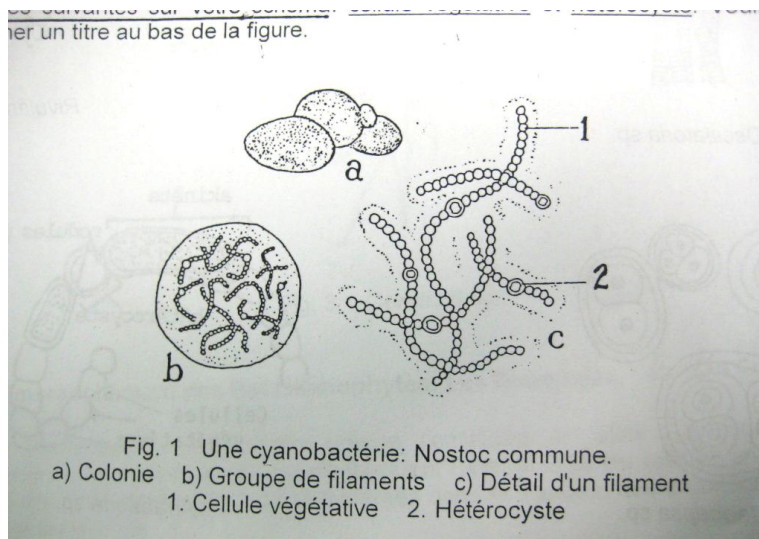
- Chez les plus longs filaments, Les **akinètes**, quand ils existent, sont en position intermédiaire entre deux hétérocystes et sont souvent en chaîne.

#### • Reproduction : Asexuée comme toutes les cyanobactéries

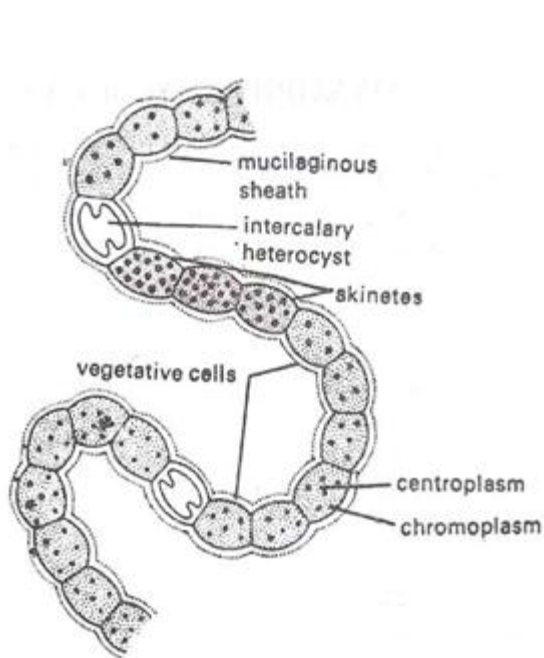
- Soit une fragmentation par **hormogonies** en conditions favorables, il y a une rupture du trichome.

- Soit par **germination des akinètes**, ces dernières se forment dans les filaments les plus vieux et en conditions défavorables, quand les conditions deviennent favorables, ces akinètes germent par une division binaire et donnent directement de nouveaux filaments ou chez certains nostoc les akinètes donnent d'abord des hormogonies puis des filaments.

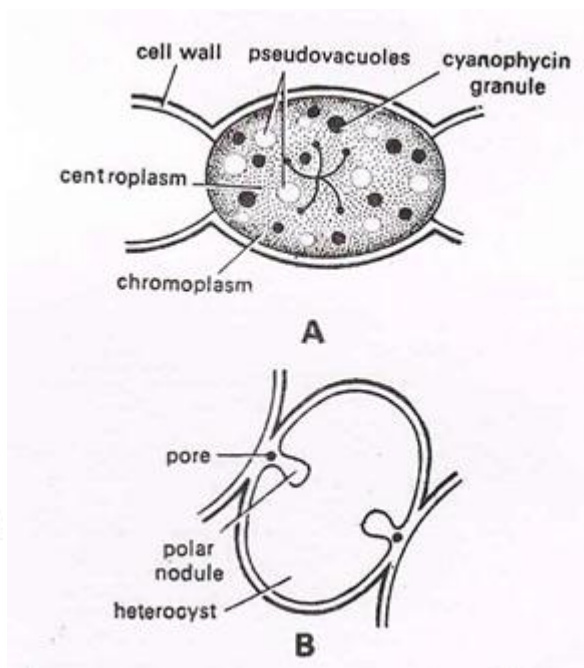
- Très rarement par **germination des hétérocystes** qui subissent une division végétative (binaire) et donnent des hormogonies.



**Figure 9-** Colonies et filaments de *Nostoc*



**Figure 10-** Un filament de *Nostoc*



**Figure 11-** A. Cellule végétative de *Nostoc*  
 B. Hétérocyste de *Nostoc*

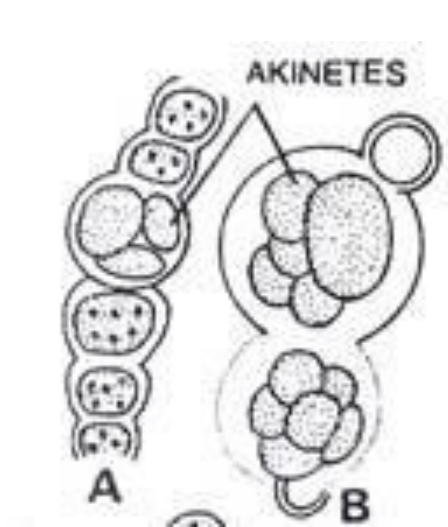


Figure 12- Germination des akinètes chez *Nostoc*

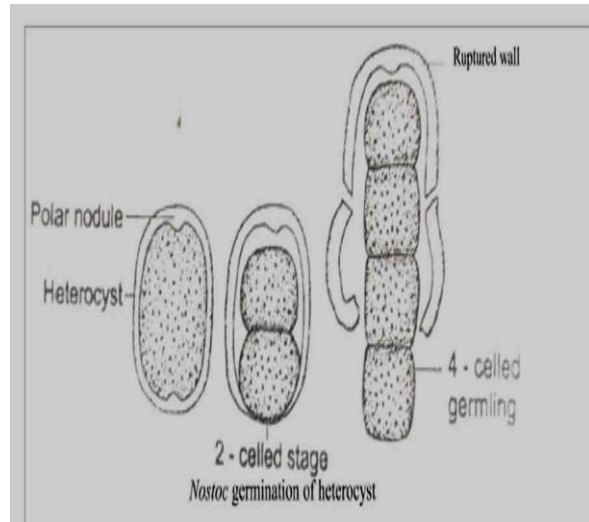


Figure 13- Germination d'hétérocystes chez *Nostoc*

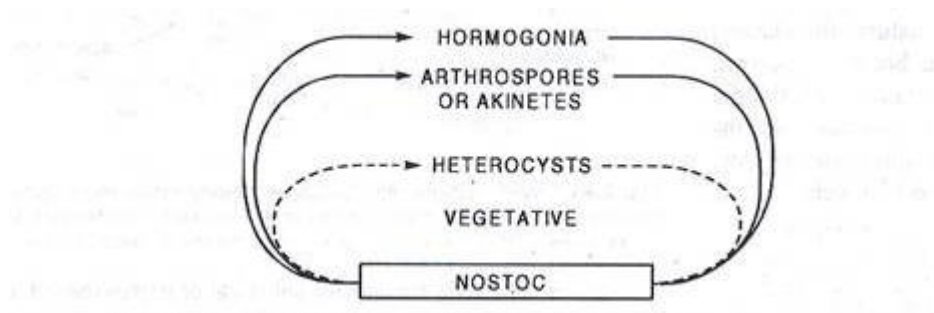


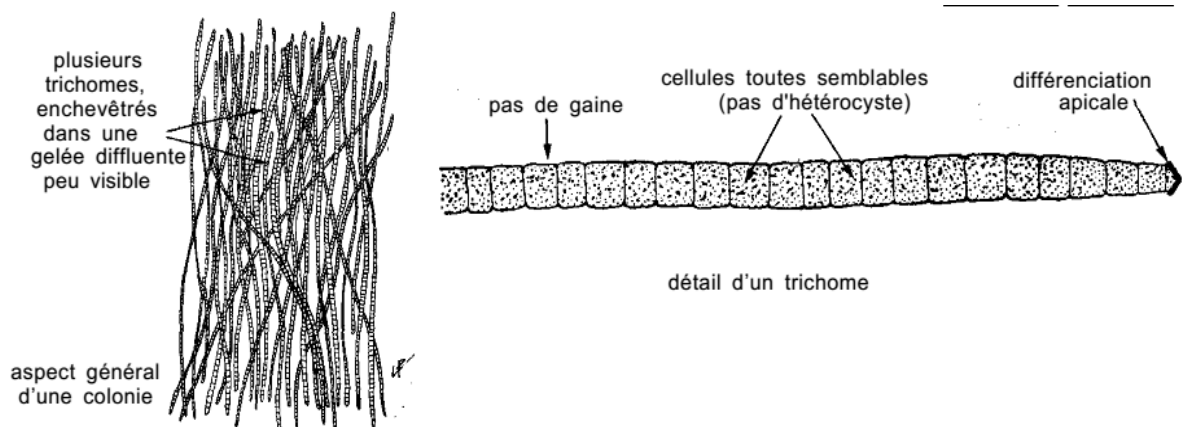
Figure 14- Cycle de vie de *Nostoc*

**b- Le genre *Oscillatoria* :****• Position systématique :**Règne : **Bactéria**Embranchement : **Cyanophytes (ou Cyanoschizophytes)**Classe : **Cyanophycées**Sous-classe : **Hormogonophycidées**Ordre : **Nostocales**Famille : **Oscillatoriacées**Genre : ***Oscillatoria*****• Description :**

- Algue filamenteuse poussant en amas ou enchevêtrements denses. Au microscope, on voit les minces filaments se tordre.
- Les filaments sont **homocystés** (absence d'hétérocystes)
- Les akinètes sont également absents.
- Le filament est sous forme d'un **trichome droit**, sans gaine, les cellules végétatives ont une forme en disque.
- A l'extrémité il y a la **calyptra** qui est une formation épaissie sous forme de coiffe.

**• Reproduction :**

Elle s'effectue par rupture transcellulaire du trichome du filament et formation d'hormogonies qui donneront de nouveaux trichomes.

**Figure 15-** Les trichomes d'*Oscillatoria*

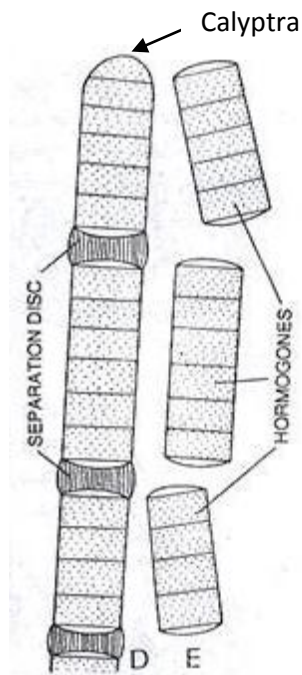


Figure 16- Formation d'hormogones chez *Oscillatoria*

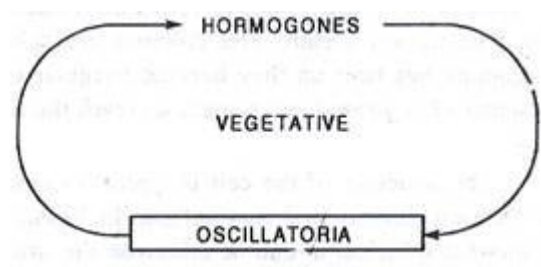


Figure 17- Cycle de vie d'*Oscillatoria*

### c- Le genre Rivularia :

#### • Position systématique :

Règne : **Bactéria**

Embranchement : **Cyanophytes (ou Cyanoschizophytes)**

Classe : **Cyanophycées**

Sous-classe : **Hormogonophycidées**

Ordre : **Nostocales**

Famille : **Rivulariacées**

Genre : ***Rivularia***

#### • Description :

- Filaments constitués de trichomes couverts de gaine importante.
- Présentent de fausses ramifications.
- Présences d'hétérocystes terminaux.
- Chaque filament part d'un hétérocyste.
- Présence de poils
- Absence d'akinètes.

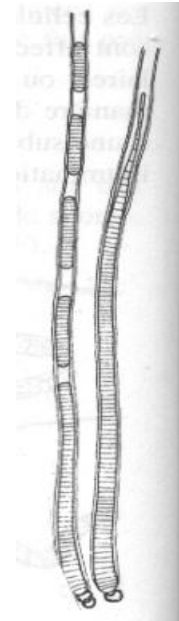
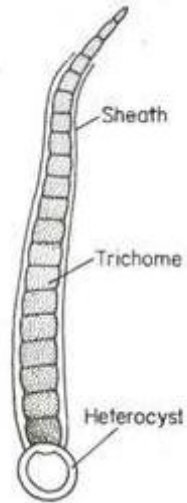


- **Reproduction :**

- Par germination des hétérocystes et formation d'hormogonies.
- Par rupture du trichome.



**Figure 18-** Filaments de *Rivularia*



**Figure 19-** Formation d'hormogonies chez *Rivularia*

## Chapitre 2- Les algues eucaryotes ou Phycophytes

Les **Eucaryotes** sont traditionnellement subdivisés en deux grands groupes en fonction de l'organisation structurale du végétal :

- S'il n'y a pas de différenciation de tissus et d'organes, on a des **thallophytes** dont l'appareil végétatif est un **thalle**.
- A l'inverse si l'appareil végétatif est un **cormus** (système d'axes feuillés avec des tissus et des organes vrais), on a des **cormophytes**.

Les algues sont des êtres vivants **unicellulaires ou pluricellulaires, autotrophes** qui contiennent toujours de la chlorophylle a et divers autres pigments surnuméraires. Leur cycle de vie se déroule généralement en milieu aquatique. Les algues sont des **cryptogames** (organes reproducteurs cachés ≠ Phanérogames), **thallophytes**, photosynthétique, leurs habitats sont variés, mais leur cycle de reproduction nécessite absolument de l'eau. Leur morphologie est très diversifiée.

Les algues vivent dans l'eau douce, dans l'eau salée et même sur les troncs des arbres et sur le sol en association avec des champignons. Mais il leur faut impérativement de la **lumière pour leur photosynthèse** et de **l'eau pour leur reproduction**.

L'appareil végétatif des algues c'est un **thalle** qui est un corps végétatif non différencié de certains organismes non-mobiles (végétaux, champignons, lichens, algues).

### **1- Organisation du thalle :**

Les thalles sont classés selon leur degré de complexité :

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

- **thalle unicellulaire :** Sous forme de cellule unique libre qui peut être pourvu de flagelles dans ce cas il est mobile : **monadoïde** (ex : *Chlamydomonas*), il peut être non flagellé, donc immobile: **coccoïde** (ex : *Chlorella*, *Diatomés*).

- **Thalle en colonie:** ce sont des groupes de cellules souvent unies entre elles par une gelée mais qui restent libres (archéthalle colonial). Ces colonies sont peuvent être sous forme d'un ensemble de cellules liées et attachées « des **cénobes** » qui peuvent être immobile (**archéthalle cénobien coccoïde** ) ou mobile (**archéthalle cénobien monadoïde** ex : *Volvox*)

- **Thalle filamenteux :** avec une seule file de cellules, filament non ramifié (*Spirogyra*, *Ulotrix*) ou filaments ramifiés prostrés et/ou érigé (nombreuses Ulotrichales)

**b- Nématothalle :** Thalle avec spécialisation dont une zone de croissance, sous forme de :

- **Thalle tubulaire :** les cellules se sont associés pour former une structure en tube creux avec une seule couche de cellules (ex : *Enteromorpha*)

- **Thalle foliacé :** il dérive du thalle filamenteux par juxtaposition de cellules pour former une lame replié sur elle-même, le thalle est ainsi formé de deux couches de cellules pressées les unes contre les autres (ex : *Ulva*)

**c- Cladomothalle :** Thalle avec un axe préférentiel de croissance, le cladome primaire

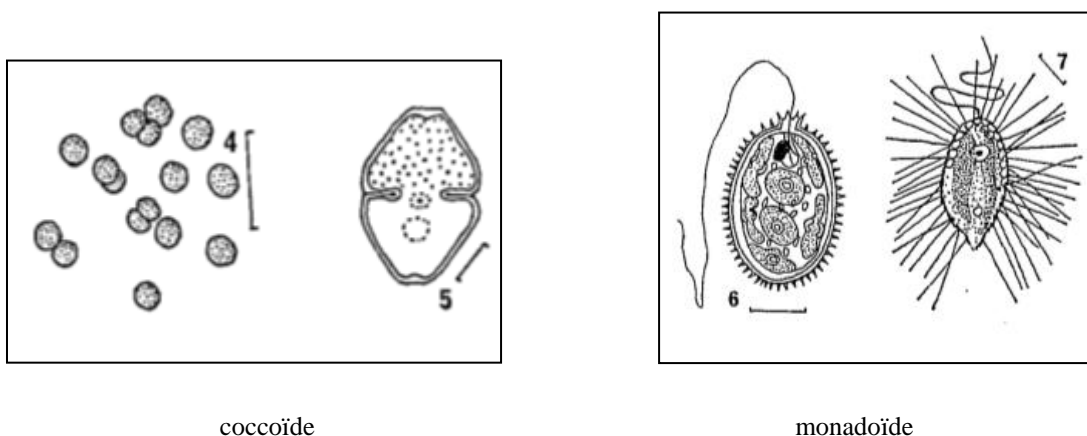
- **Thalle à cladome :** plus complexe, le thalle est constitué de plusieurs catégories d'axes à fonction déterminée (ex : *Chara*). Le cladome est une organisation structurale comprenant un axe dressé à croissance indéfinie et des ramifications latérales à croissance définie: les **pleuridies**. La diversité extrême des thalles à cladome permet de rencontrer des formes très proches de celles de certaines cormophytes.

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

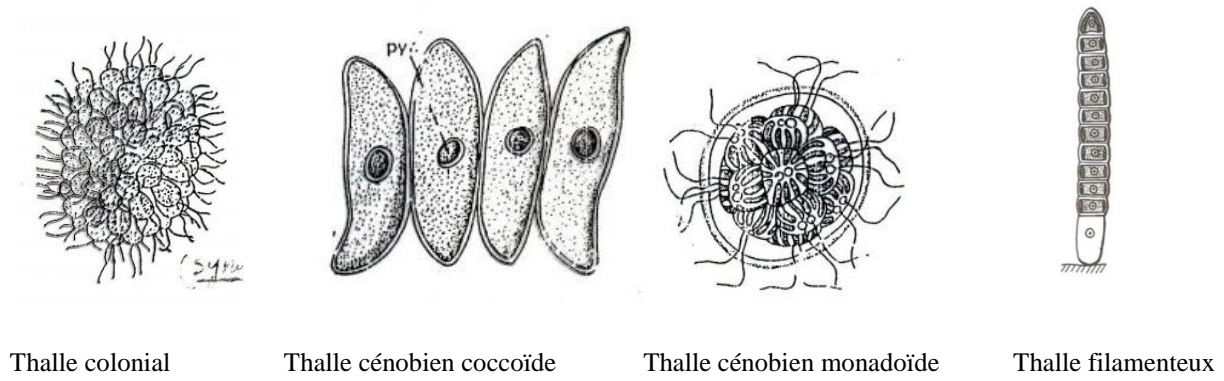
- **Lame ou fronde:** La partie élargie qui, en générale, est aplatie et flotte.

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

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



**Figure1-** Archéthalle unicellulaire



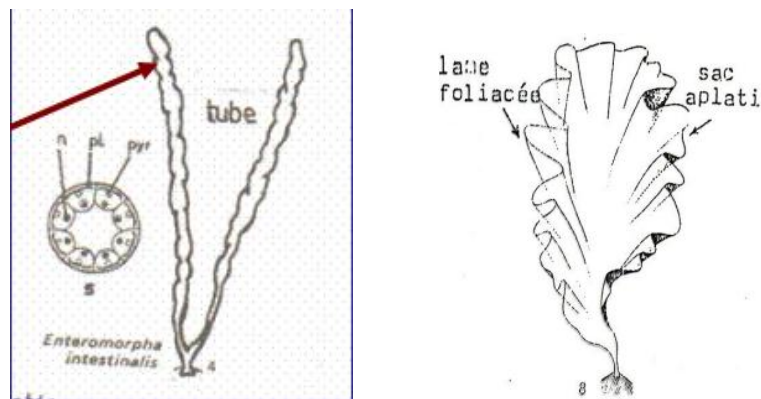
Thalle colonial

Thalle cénobien coccoïde

Thalle cénobien monadoïde

Thalle filamenteux

**Figure 2-** Archéthalles pluricellulaires



Thalle tubulaire

Thalle foliacé

**Figure3-** Nématothalles



Thalle à cladome

Thalle fucoïde

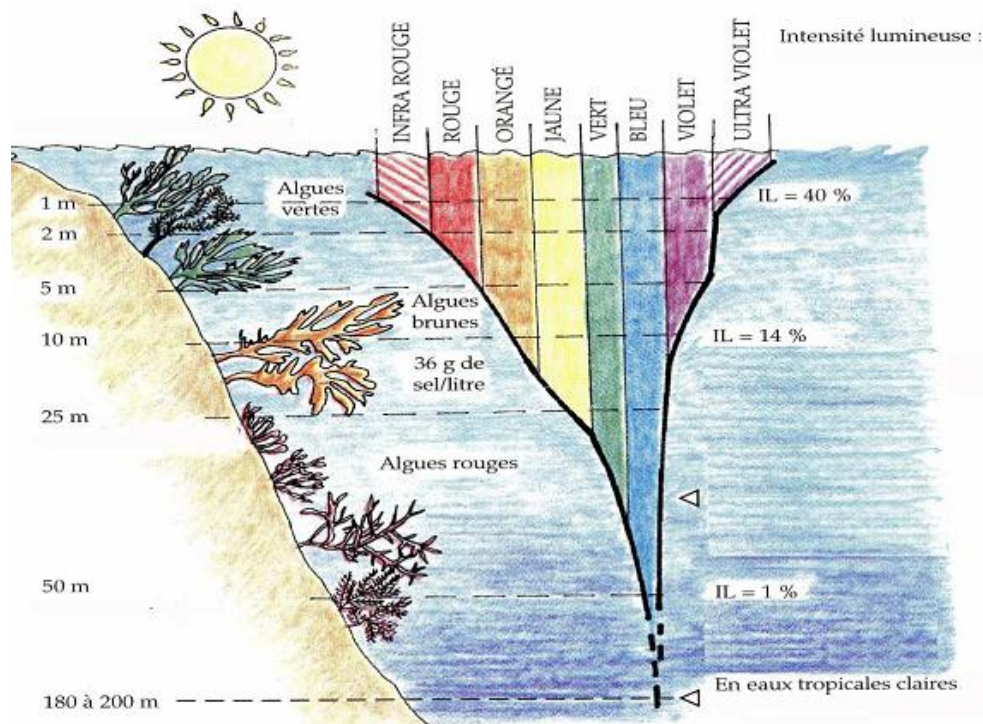
**Figure 4-** Cladomothalles

## 2- Ecologie des algues :

Selon leur habitat, il y a trois types d'algues :

- **Algues pélagiques** : se déplacent dans l'eau. (sargasse, diatomé)
- **Algues symbiotiques** : se développent avec l'aide et en aidant un hôte. Elles produisent de la matière et de l'oxygène à partir des sels minéraux déchet de l'hôte (Zooxanthelles)
- **Algues benthiques** : fixés au substrat. Regroupés en trois familles suivant les pigments, les types de chlorophylle détenus par l'algue :
  - Algue verte (chlorophycée) : chlorophylle A et B
  - Algue brune (phéophycée) : chlorophylle A et C
  - Algue rouge (rhodophycées) : chlorophylle A et D

Le type de Chlorophylle détermine la plage d'absorption de lumière possible, donc la profondeur où l'on peut trouver les algues



**Figure 5-** Répartition des algues dans le milieu aquatique selon les radiations lumineuses.

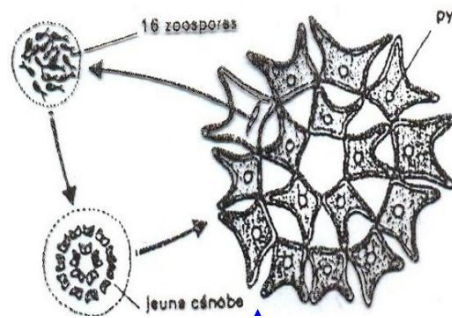
### 3- Reproduction :

a- Reproduction asexuée : Le mode de reproduction le plus fréquent se fait par :

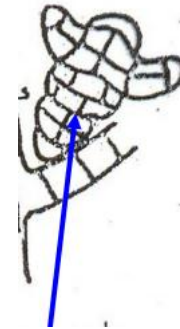
- Division mitotique des espèces unicellulaires ou scissiparité (algues bleues).
- Fragmentation du thalle : chaque fragment régénère un thalle entier (cas des cladomes)
- Formation des spores ou sporulation.
- Formation des propagules (petits massifs cellulaires d'aspects variés qui se différencient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



Scissiparité



Sporulation

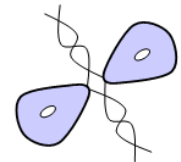


Formation des propagules

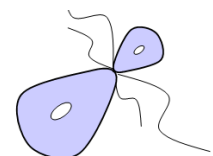
**Figure6-** Modes de la reproduction asexuée chez les algues

b- Reproduction sexuée : Elle implique la méiose et la fécondation. Elle fait intervenir la formation de gamètes et des spores méiotiques. Les types de fécondation sont très divers :

• **Isogamie** : fécondation mettant en présence deux gamètes morphologiquement et physiologiquement identiques.

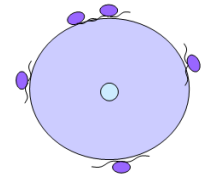


• **Anisogamie** : fécondation mettant en présence deux gamètes morphologiquement et/ou physiologiquement différents

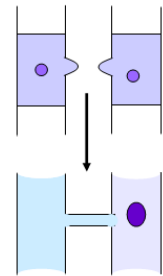




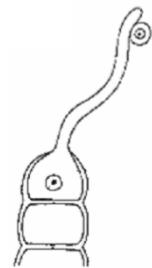
• **Oogamie** : 1 gamète petit, mobile, produit en grand nombre. 1 gamète gros, immobile, chargé en réserve.



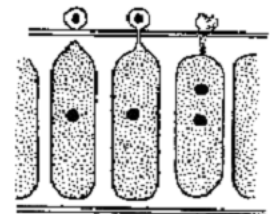
• **Cystogamie** : Formation d'un pont cytogamique (ou pont de conjugaison) entre 2 filaments : gamètes jamais libérés hors du thalle.



• **Trichogamie** : le gamète femelle reste dans le gamétophyte, émet un poil : le **trichogyne** . le gamète mâle sans flagelle (spermatie) se colle sur le trichogyne



• **Aplanogamie** : gamète femelle reste dans gamétophyte, gamète mâle sans flagelle = spermatie. pas de chimiotactisme : fécondation au hasard. Il existe une papille sur gamète femelle pour faciliter la fécondation



### c- Cycle de vie :

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

Il existe deux types de phases :

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

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

L'alternance des générations se compose de deux parties distinctes :

- Un **gamétophyte (n)** qui produit les gamètes mâles et femelles de la plante. Il commence avec la germination de la spore. Le gamétophyte n'est pas toujours haploïde (par exemple chez le Fucus).

- Un **sporophyte (2n)** qui produit les spores (n) après la méiose.

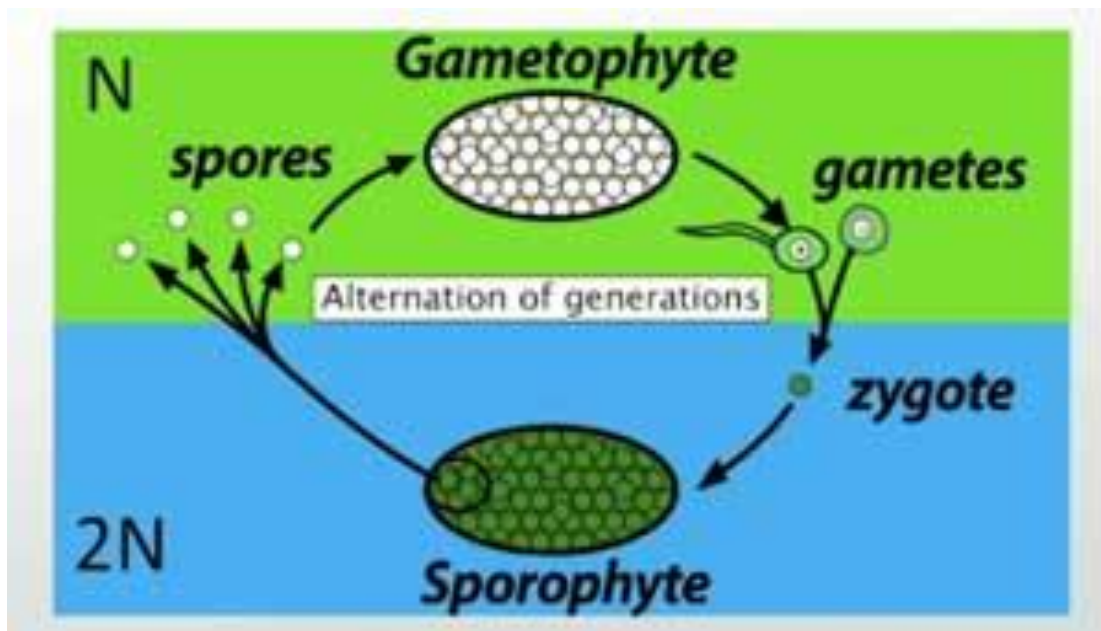


Figure7- Alternance des générations chez les algues



## **II-1- Les algues brunes (Chromophycophyte)**

Ce sont des algues qui possèdent principalement les **chlorophylles A et C** et d'autres pigments. Ce sont des algues en général marines. Leur taille et leur abondance leur donne un rôle important dans la végétation marine et dans les zones de balancement des marées. De plus, ces algues abritent une faune variée de poissons, crustacés qui y trouvent une nourriture abondante (c'est la chaîne alimentaire des bords de mer).

Le phylum des **Chromophytes**, ou embranchement des **Chromophycophytes** regroupe des algues de couleur brune, jaune, dorée, réparties en cinq classes :

Chrysophyceae

Diatomophyceae

Xanthophyceae

Eustigmatophyceae

**Phaeophyceae**

### **1- Description générale :**

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

Ce sont des plantes marines pouvant atteindre plusieurs mètres de longueur. À part quelques exceptions, elles vivent dans les mers froides et tempérées où elles vivent fixées au fond rocheux. Il n'y a que les sargasses qui prolifèrent dans les mers chaudes. Plusieurs possèdent des vésicules remplies d'azote qui leurs servent de flotteurs.

Les phéophycées possèdent une grande homogénéité dans leurs structures cytologiques. Leurs plastes contiennent de la **chlorophylle A et C**, et de la fucoxanthine (pigment spécial de coloration noire), ce qui lui permet d'utiliser la lumière solaire à une plus grande profondeur. Elles sont toujours **pluricellulaires**.

### **2- Reproduction :**

#### **a-Reproduction asexuée :**

La reproduction peut être asexuée par fragmentation mécanique du thalle.

#### **b-Reproduction sexuée :**

La nature des organes reproducteurs et le cycle de reproduction permet de distinguer deux grandes sous classes, **Les Phéosporophycidées et les Cyclosporophycidées**

**\*Chez les Phéosporophysidées**, les organes de reproduction sont nommés zoïdocystes (uniloculaires ou pluriloculaires) qui libèrent des zoïdes (gamètes ou spores) généralement biflagellés et hétérocontés. Le cycle de développement est digénétique.

**\*Chez les Cyclosporophycidées**, la reproduction est toujours une oogamie, les gamètes femelles immobiles (oosphère) et les gamètes mâles (anthérozoïdes) mobiles. Ces deux types sont inclus dans des cavités appelées : **conceptacles** creusées dans des parties différenciées appelées **réceptacles**. Le cycle de développement est monogénétique haplodiplophasique.

3- **Taxonomie des phéophycées** : c'est une classe qui comprend deux sous classes :

**Sous classe 1** : Phéosporophycidées, comporte 11 ordres, les plus importants sont :

**Ordre 1** : Ectocarpales

**Famille 1** : Ectocarpacées

**Genre** : *Ectocarpus*

**Famille 2** : Ralfsiacées

**Genre** : *Ralfsia*

**Ordre 2** : Culteriales

**Famille** : Culteriacées

**Genre** : *Culteria*

**Ordre 3** : Scytosiphoniales

**Ordre 4** : Laminariales

**Famille 1** : Phyllariacées

**Genre** : *Phyllaria*

**Famille 2** : Laminariacées

**Genre** : *Laminaria*

**Famille 3** : Lessoniacées

**Genre** : *Macrocystis*

**Sous classe 2** : Cyclosporophycidées, comporte un seul ordre.

**Ordre** : Fucales

**Famille 1**: Fucacées

**Genre 1**: *Fucus*

**Genre 2** : *Pelvetia*

**Genre 3**: *Ascophyllum*

**Famille 2** : Saragassacées

**Genre** : *Saragassum*

#### 4- Exemples de phéophycées (algues brunes) :

##### 4-1- Le genre *Fucus* :

Le **Fucus** est un genre d'algues brunes de la famille des *Fucacées*, comportant de nombreuses espèces. Sur des côtes rocheuses subissant des marées d'amplitude importante (comme en Bretagne), un étagement de *Fucus* peut être observé : *Fucus spiralis*, *Fucus vesiculosus* puis *Fucus serratus* du haut vers le bas de la zone de balancement des marées. La couverture végétale en *Fucus* peut être très importante sur certaines côtes et dépasser 80 %.

##### L'espèce *Fucus vesiculosus* :

###### a- Position systématique :

**Règne :** Plantae

**Embranchement :** Chromophycophytes

**Classe :** Phéophycées

**Sous classe :** Cyclosporophycidées

**Ordre :** Fucales

**Famille :** Fucacées

**Genre :** *Fucus*

**Espèce :** *Fucus vesiculosus*

###### b- Description :

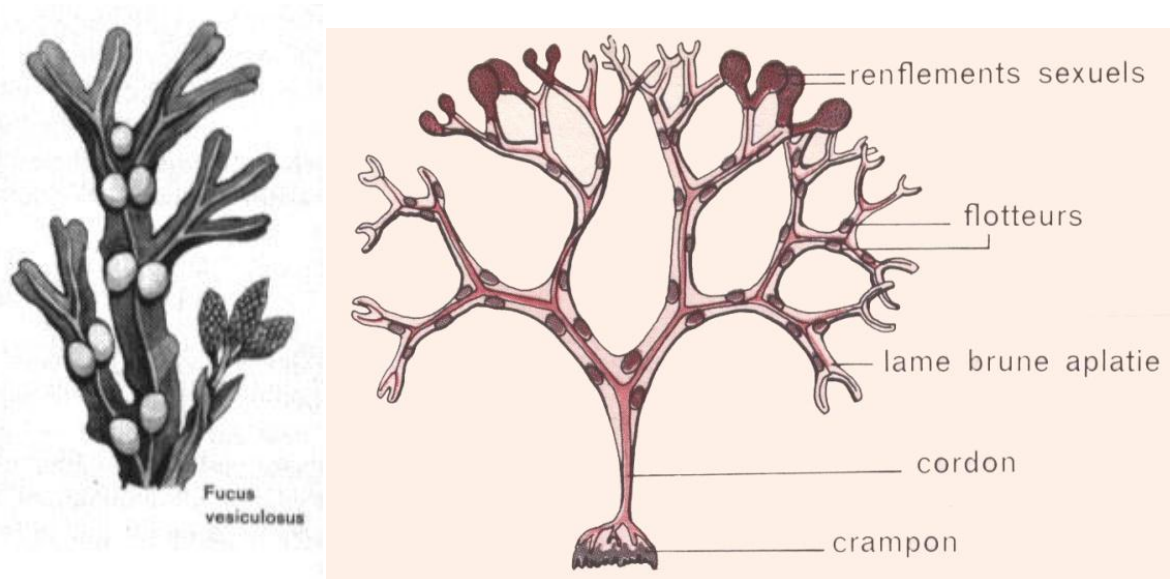
*Fucus vesiculosus* est une algue brune, marine, qui vit dans la zone de balancement des marées, fixée aux rochers (zone entre marée haute et marée basse dans l'océan).

- La fronde ou la lame est souple et élastique se ramifie de façon dichotomique et se présente sous forme de rubans de 20 à 100 cm de long, pouvant atteindre 2 cm de large.

- Elle porte des vésicules aérifères ou flotteurs appelés aussi aérocytes ou pneumatocystes qui lui permettent de maintenir une certaine flottabilité pour capter la lumière tout en restant accroché au substrat par son crampon.

- Cette algue est de couleur brun-olive foncé, mais les vésicules gazeuses sont plus claires.

- Au centre de chaque division de la fronde, il y a une côte médiane (pseudonervure)



**Figure 8-** Aspect du thalle de *Fucus vesiculosus*

**c- Reproduction :** c'est une reproduction **sexuée**

- *Fucus vesiculosus* est une espèce **dioïque** (un thalle mâle (2n) et un thalle femelle (2n)).

- Le thalle est dit **sporophyte** (2n) (Le sporophyte est le résultat de la germination par mitose du zygote, le sporophyte produit les spores qui après méiose donnent des gamètes. Alors le sporophyte est la phase du cycle de développement allant de la fécondation jusqu'à la méiose)

- Au moment de la reproduction, à l'extrémité des frondes, apparaissent d'autres vésicules jaunâtres ou rougeâtres: **les réceptacles** contiennent les cellules reproductrices mâles ou femelles.

- Chaque réceptacle contient plusieurs pores, chaque pore mène à une petite cavité. Ces cavités sont les **conceptacles**.

- Un gamétophyte (Le gamétophyte est la structure qui produisent les gamètes, la phase gamétophyte est la phase du cycle de développement allant de la méiose jusqu'à la fécondation)

- **Le conceptacle mâle** contient à son extrémité, des poils fertiles (les paraphyses), qui sont de petits filaments ramifiés qui portent les gamétocystes (ou anthéride).

- **Le conceptacle femelle** à des paraphyses non ramifiés, ce qui donne un gamétocyste femelle (ou oogone)

- Les gamétocystes femelles sont beaucoup plus grosses et en moins grand nombre que les gamétocystes mâles.

- Chaque gamétocyste mâle subit la méiose et donnent quatre noyaux. Puis, il subit quatre mitoses qui donnent 64 spermatozoïdes (gamètes mâles) biflagellés sur le côté.

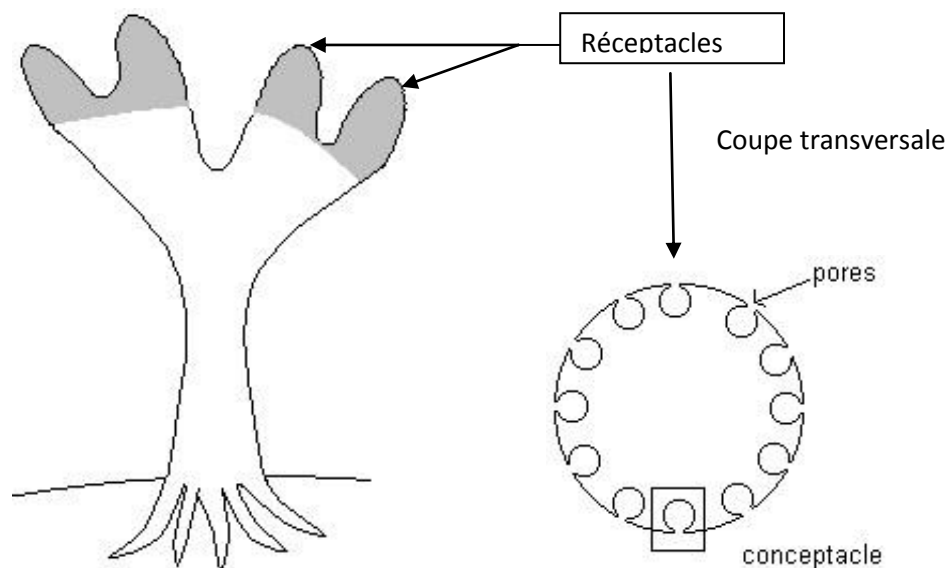
- Chaque gamétocyste femelle subit la méiose qui va donner quatre cellules, puis huit oosphères (gamètes femelles) non flagellées.

- Les gamètes femelles sont libérés dans l'eau sous forme d'une gelée verte, et les gamètes mâles sous forme d'une gelée orangée.

- Les oosphères attirent les spermatozoïdes. Là, a lieu la fécondation qui donne naissance à un zygote à 2N.

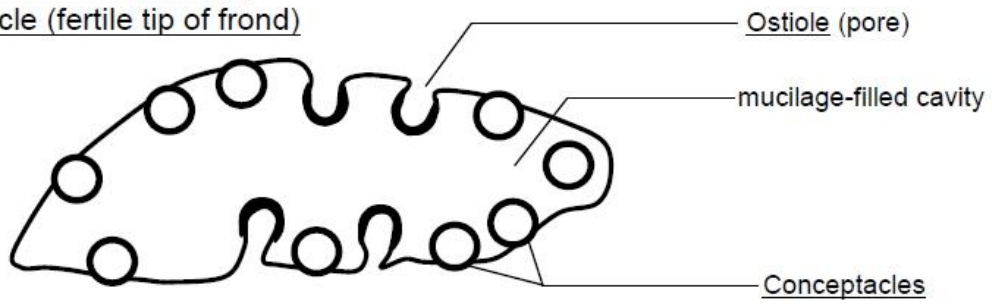
- Le zygote germera en donnant un thalle mâle ou femelle à 2N (les sporophytes)

- C'est une reproduction par oogamie.

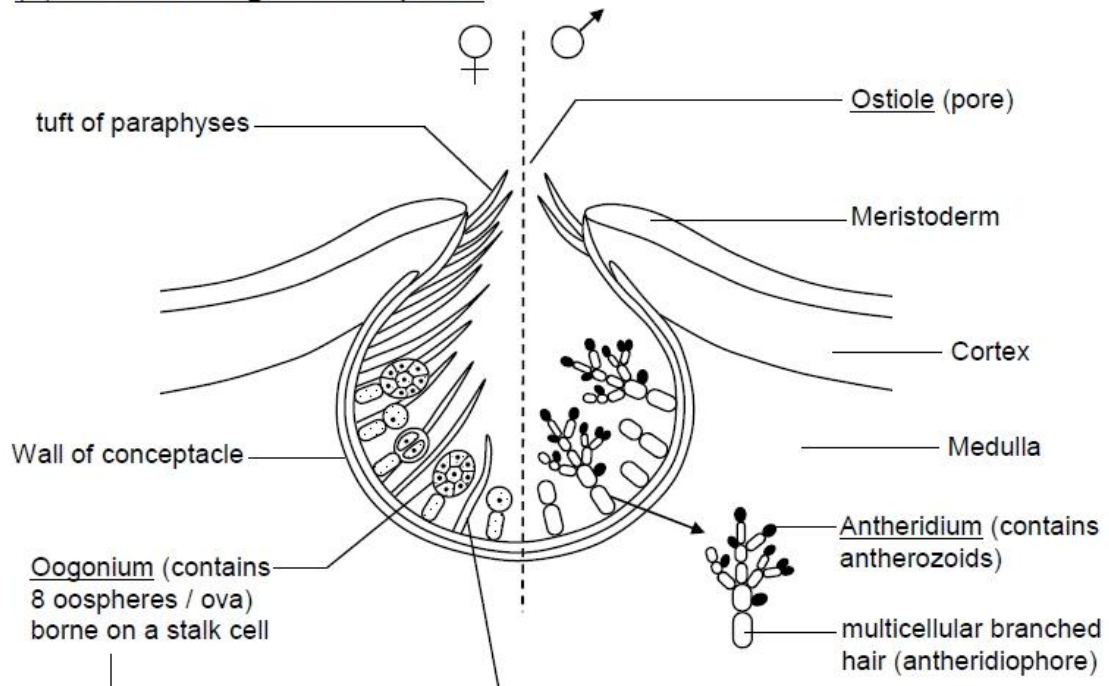


**Figure 9-** Réceptacles et conceptacle de *Fucus vesiculosus*

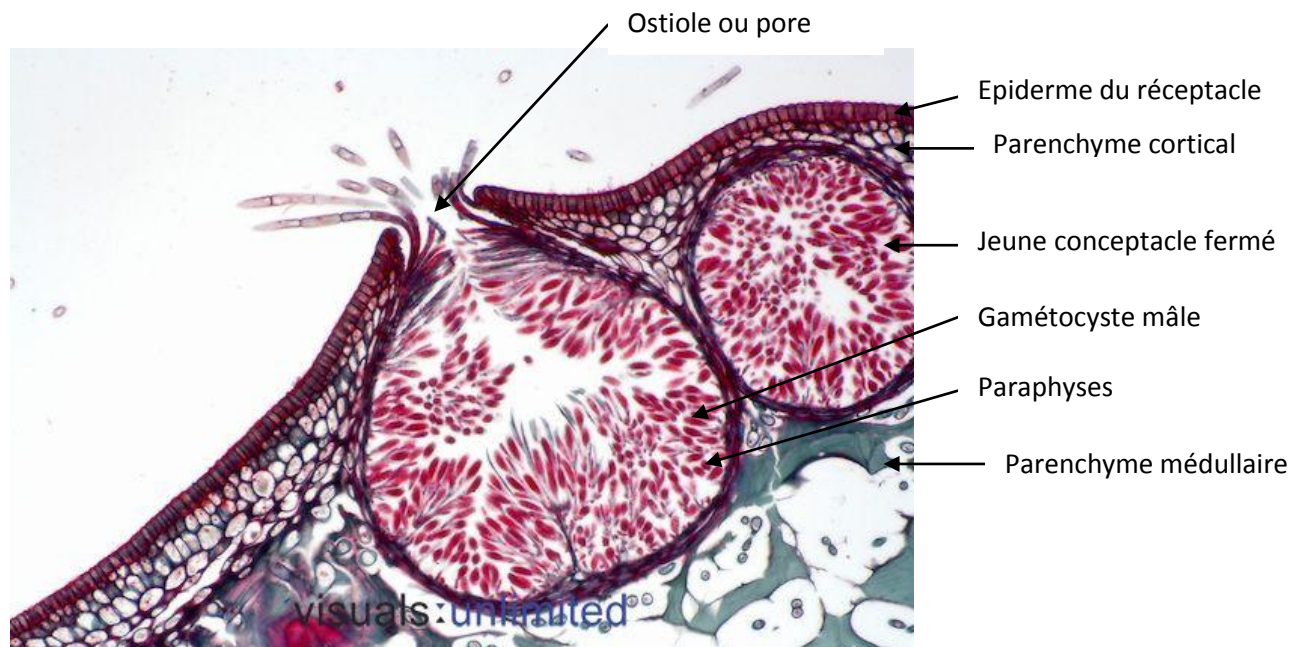
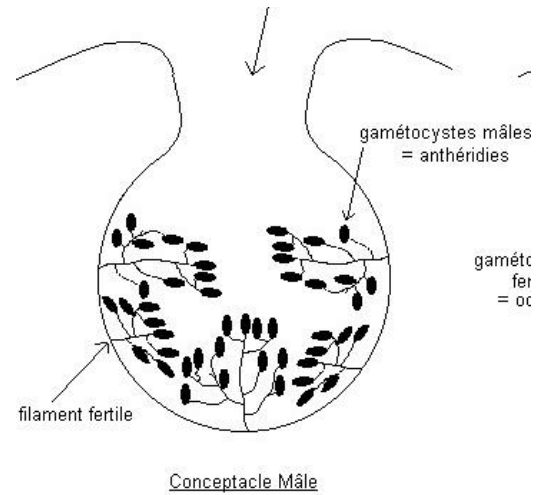
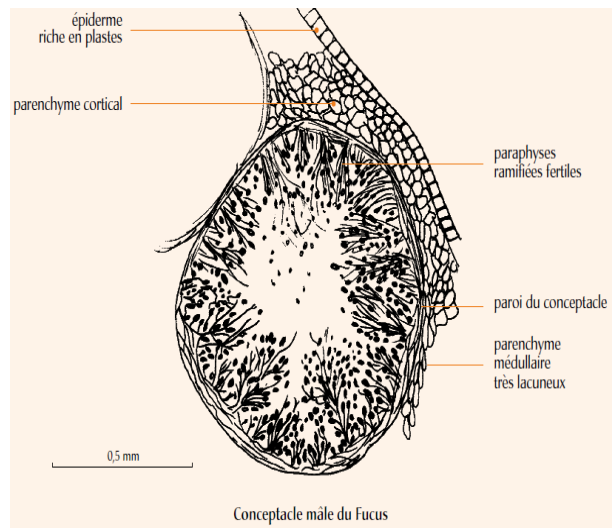
(a) Cross-section through receptacle (fertile tip of frond)



(b) Section through a conceptacle

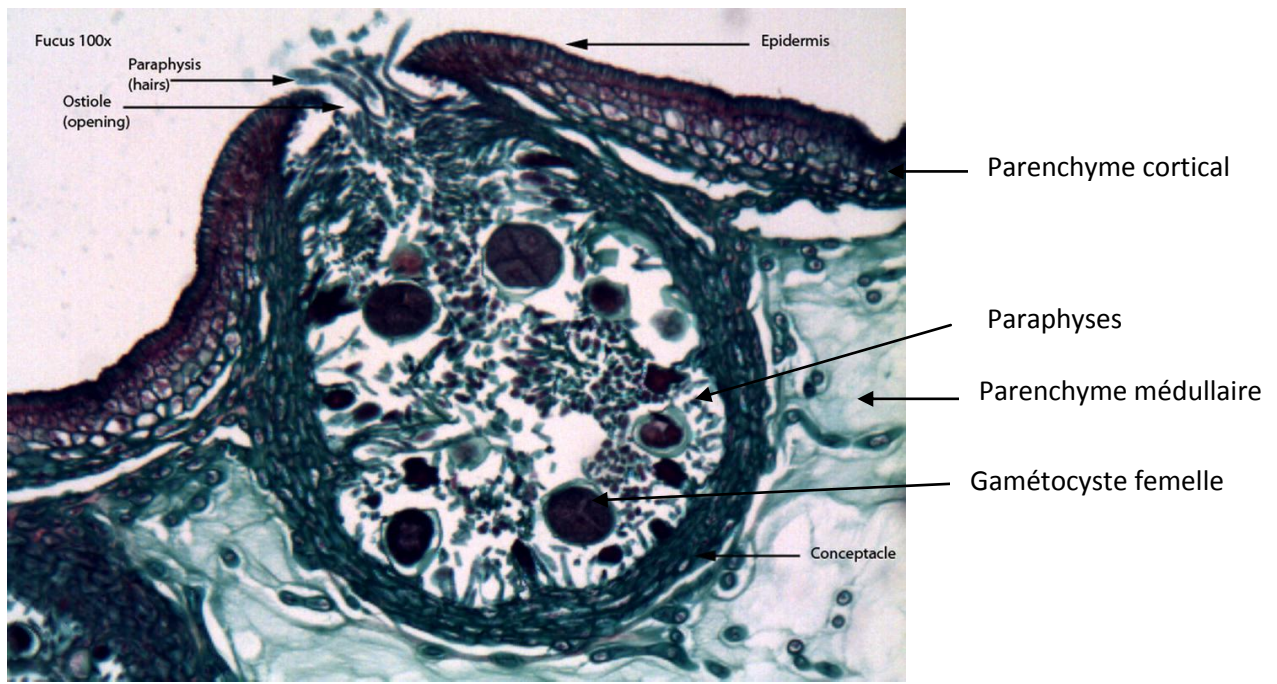
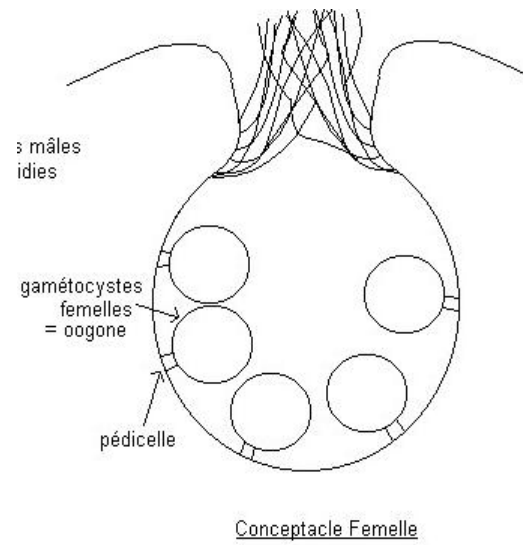
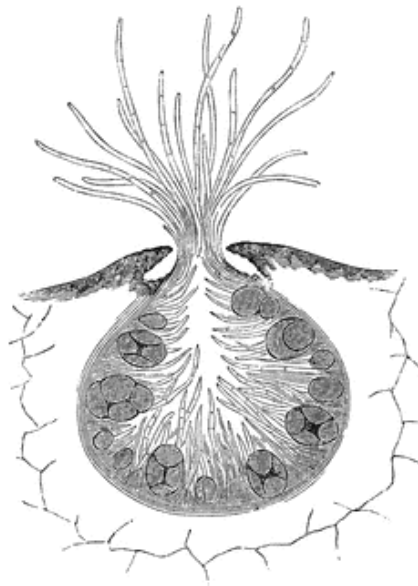


**Figure 10-** Conceptacles mâles et femelles de *Fucus vesiculosus*



**Figure 11-** Coupe transversale dans un conceptacle mâle de *Fucus vesiculosus*



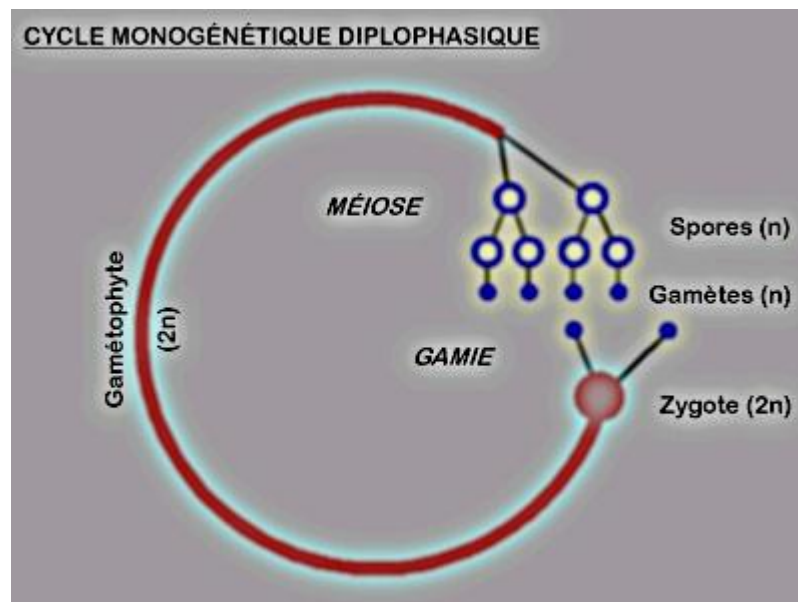


**Figure 12-** Coupe transversale dans un conceptacle femelle de *Fucus vesiculosus*



- Le cycle de *Fucus vesiculosus* est monogénétique diplophasique : il comporte une seule génération qui est le sporophyte, et cette phase est diploïde ( $2n$ )

- 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 sporophyte diploïde (dans ce cas le sporophyte est considéré comme gamétophyte diploïde car lui-même porte les cellules mères des gamètes). Il n'y a pas une génération haploïde car les spores ou cellules mères ont donné directement des gamètes et non se divisé par mitose pour donner une génération de gamétophyte ( $1n$ ) puis donner des gamètes.



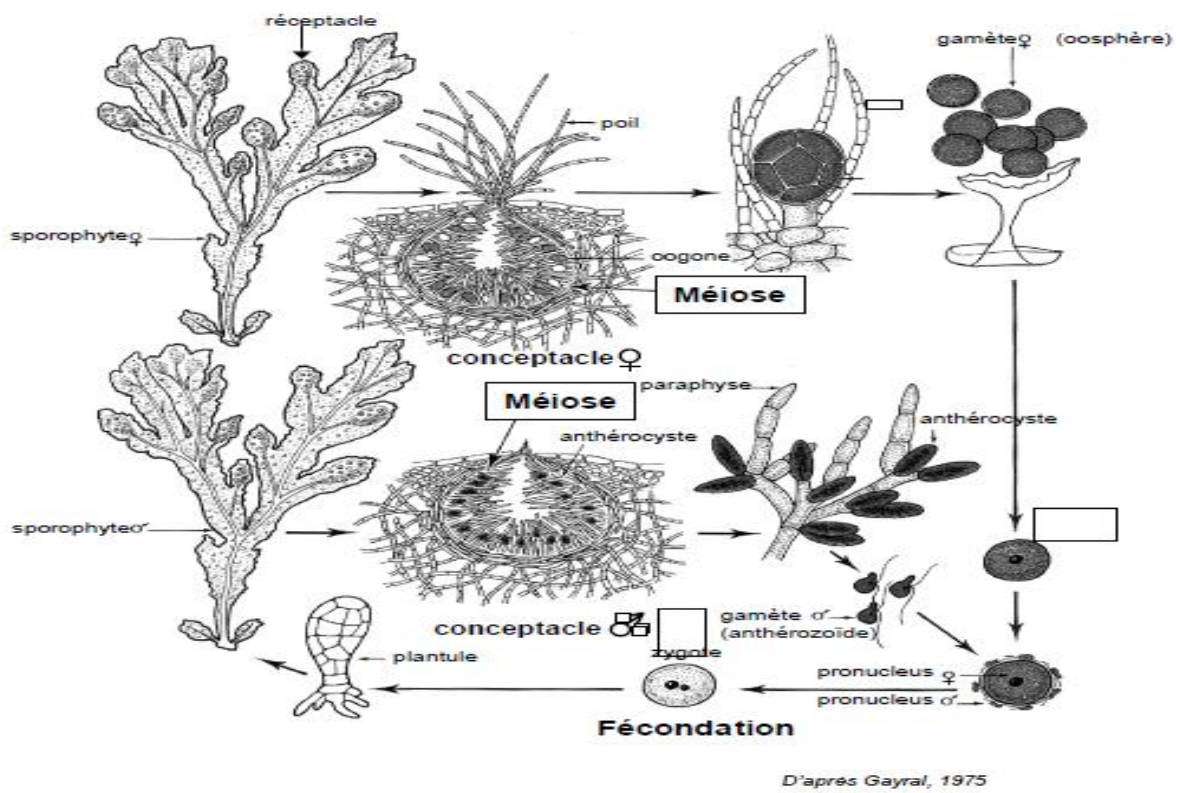
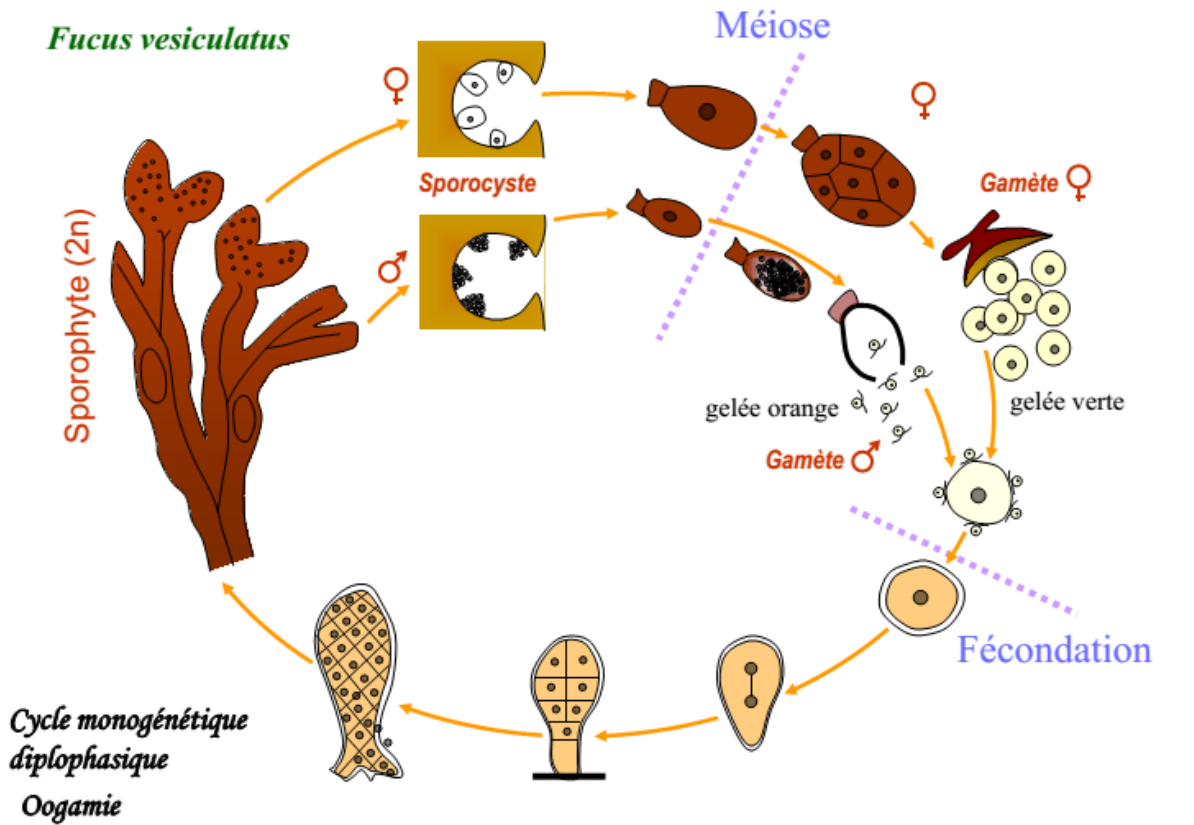


Figure 13- Cycle de développement de *Fucus vesiculosus*

#### 4-2- Le genre *Laminaria* :

Il appartient à l'ordre Laminariales qui regroupe des algues brunes remarquables par leur forme, leur abondance, et leur taille qui généralement dépasse toutes les autres algues. Certains genres peuvent atteindre une quarantaine de mètres de longueur. Elles sont exploitées industriellement par l'extraction des sels de potassium, de l'iode et des alginates. Elles vivent à une certaine profondeur. Leur reproduction sexuée se fait par oogamie. Dans leur cycle de vie, il y a une alternance de générations entre un sporophyte diploïde atteignant plusieurs mètres de longueur et un gamétophyte haploïde. Le cycle digénétique des laminaires est un exemple **d'hétéromorphisme**. Cet ordre contient trois familles :

**Famille 1** : Phyllariaceae **Genre** : *Phyllaria*

**Famille 2** : Laminariaceae **Genre** : *Laminaria*

**Famille 3** : Lessoniaceae **Genre** : *Macrocystis*



*Phyllaria*

*Macrocystis*

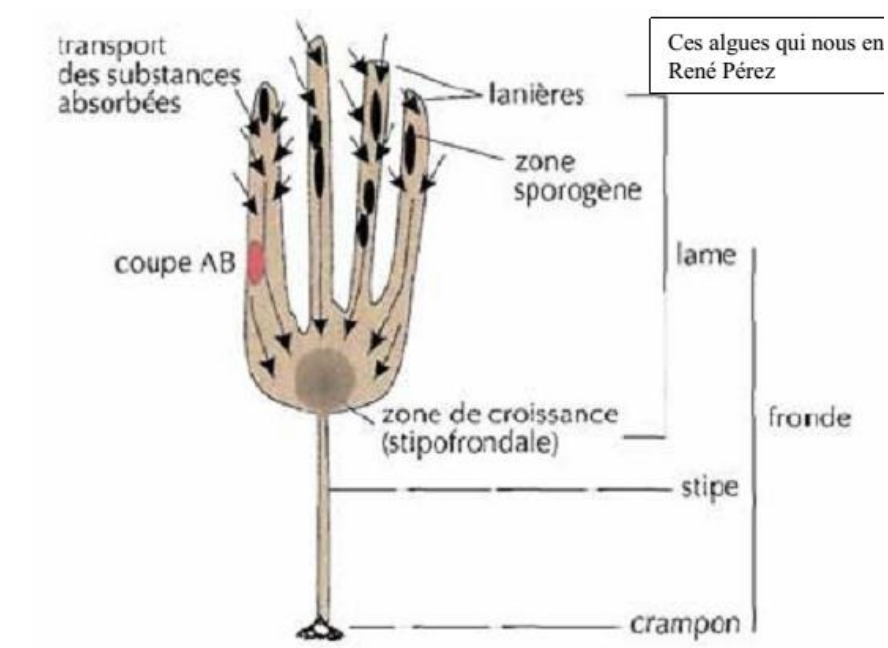
*Laminaria*

**Figure 14-** Quelques genres de Laminariales

**L'espèce *Laminaria digitata*****a- Position systématique :****Règne :** Plantae**Embranchement :** Chromophycophytes**Classe :** Phéophycées**Sous classe :** Phéosporophycidées**Ordre :** Laminariales**Famille :** Laminariacées**Genre :** *Laminaria***Espèce :** *Laminaria digitata***b- Description :**

C'est une algue brune, autotrophe, à chlorophylle A et C. Le thalle est brun sombre à brun olive, de 3 à 4 mètres de long. Il est constitué d'un stipe long, cylindrique, lisse, flexible et élastique et d'une large **lame palmée, découpée en lanières**, qui fait qu'à marée basse les algues pendent ou sont couchées. Le stipe est fixé au substrat par une série d'haptères sans ordre apparent qui forme le crampon. Le stipe est comprimé à son sommet et ne porte pas ou que très rarement d'épiphytes.

Algue pérenne, sa durée de vie maximale est d'environ 4 à 5 ans. D'affinité nordique, cette espèce est présente dans les zones arctiques et tempérées en Atlantique Nord..

**Figure15-** Organisation du thalle de *Laminaria digitata*

c- **Reproduction** : C'est une reproduction **sexuée**

- En période de reproduction, quand l'appareil végétatif est fertile, il se couvre de grandes plages irrégulières appelées les «sores » qui sont plus sombres et légèrement en relief à la surface de la fronde. Ce sont des **sporangies** qui contiennent des **sporocystes** qui sont dressés perpendiculairement à la fronde et mélangés à des cellules stériles ou paraphyses.

- Dans les sporocystes, s'effectue la **méiose**. Chaque sporocyste donne naissance de 32 à 64 méiospores mâles et femelles, biflagellés hétérocontés (**zoidospores**) qui vont germés par des **mitoses successives** en donnant un nouvel organisme beaucoup plus petit : C'est le **gamétophyte**.

- Le gamétophyte haploïde est de taille réduite et de durée de vie très courte, il est constitué de filaments rampants et de quelques filaments dressés et ramifiés. Sur ces derniers filaments se différencient les gamétocystes.

- On a deux types de gamétophytes (mâle et femelle). Les femelles sont plus grandes que les mâles. Les gamétophytes mâles portent les gamétocystes mâles qui produisent un gamète mâle chacun porteur de deux flagelles à insertion latérale.

- Les gamétophytes femelles portent les gamétocystes femelles à l'intérieur desquels il y a un gamète immobile : l'**oosphère**. Celle-ci n'est pas complètement libérée et reste fixée au gamétophyte femelle même après fécondation.

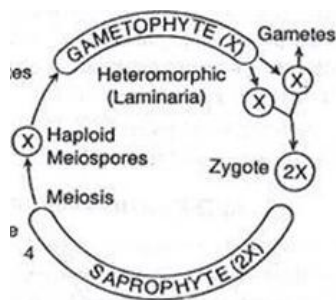
- C'est une **oogamie**.

- Le zygote formé va redonner un appareil végétatif à 2N qui est le **sporophyte**.

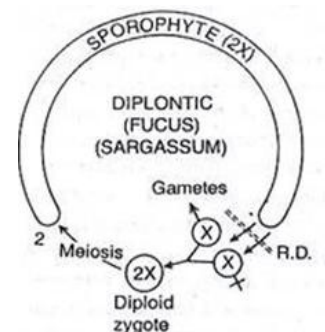
- Chez les laminaires, le cycle est digénétique (2 générations).

- Le cycle de vie est dit **hétéromorphe car** les 2 générations ne se ressemblant pas (le gamétophyte est différent morphologiquement du sporophyte)

- Le cycle **haplodiplophasique** car il y a succession de 2 phases chromosomiques l'une à 2n chromosomes, le gamétophyte, l'autre à 2n chromosomes, le sporophyte.



Cycle digénétique haplodiplophasique



Cycle monogénétique diplophasique



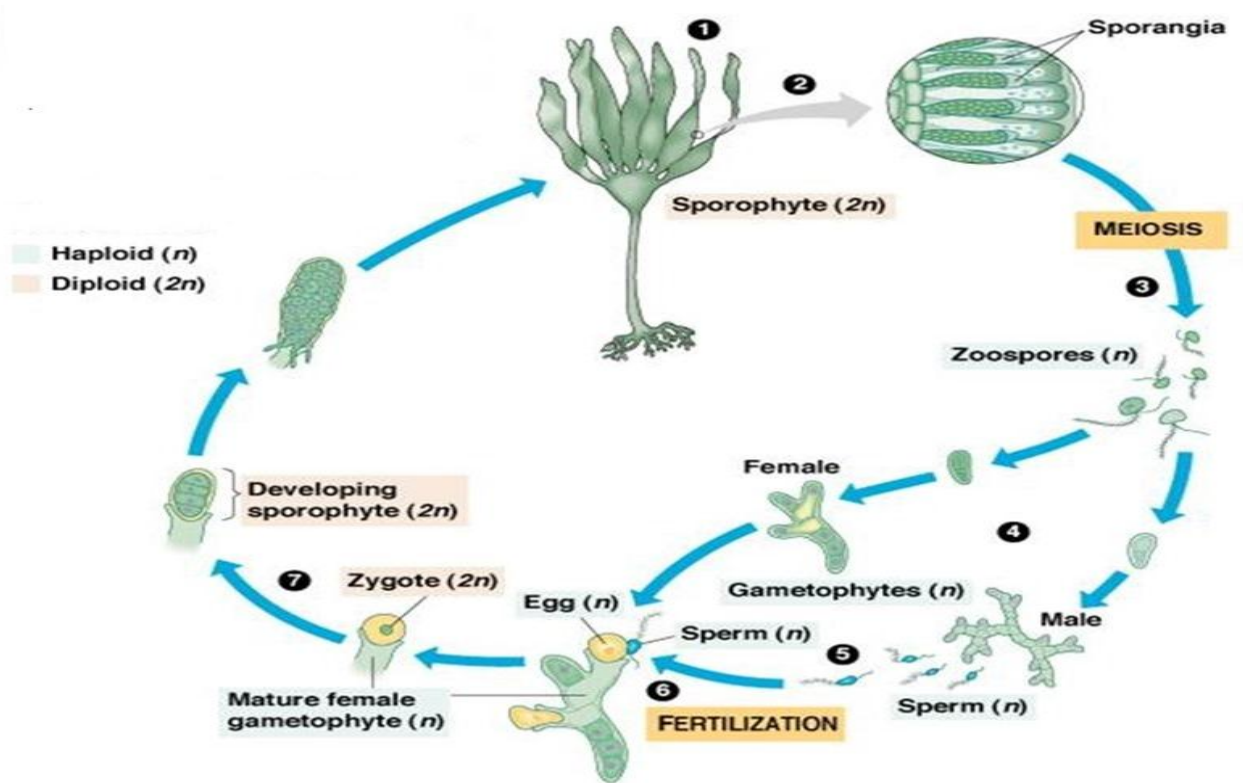
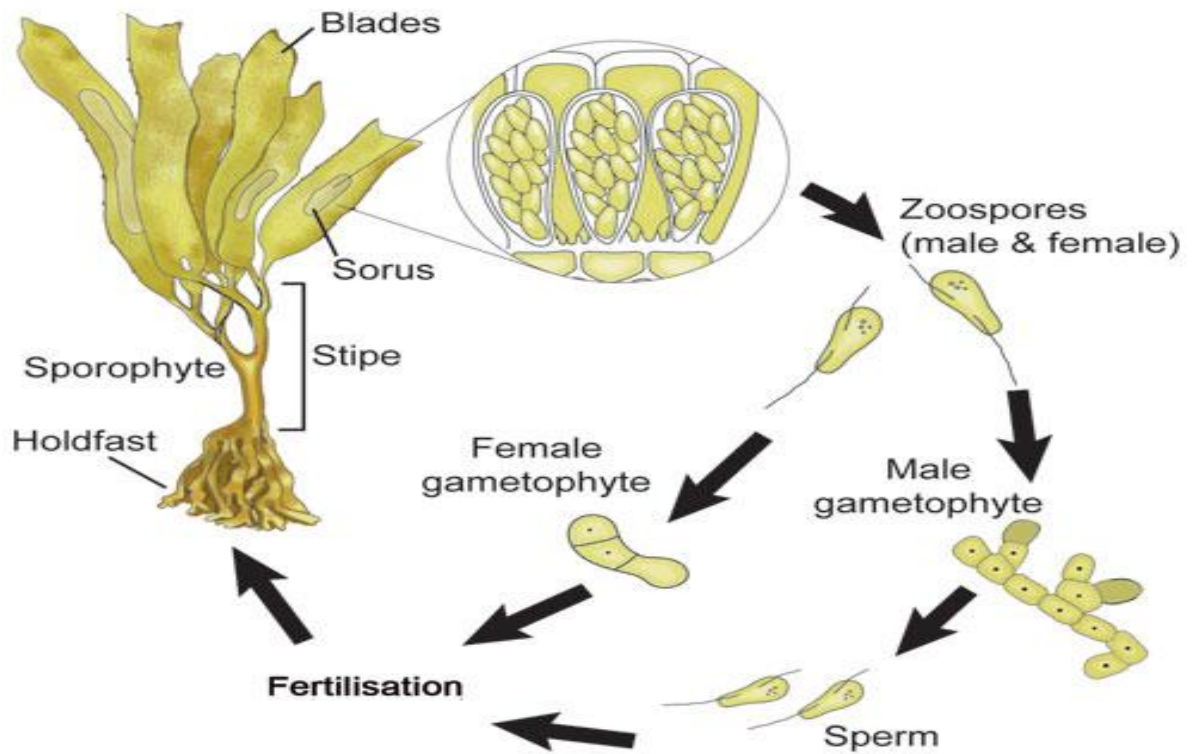


Figure 16- Cycle de vie de *Laminaria digitata*

## II-2- Les algues rouges ou Rhodophytes

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

Les Rhodophytes comprennent environ 500 genres et 5000 espèces presque toutes pluricellulaires, elles sont le plus souvent des algues marines et leur présence dans les eaux douces se limite à une trentaine de genres peu fréquents. En eau douce, la couleur des Rhodophytes est bleu-vert, rouge-violacé, très souvent vert sale ou vert noirâtre.

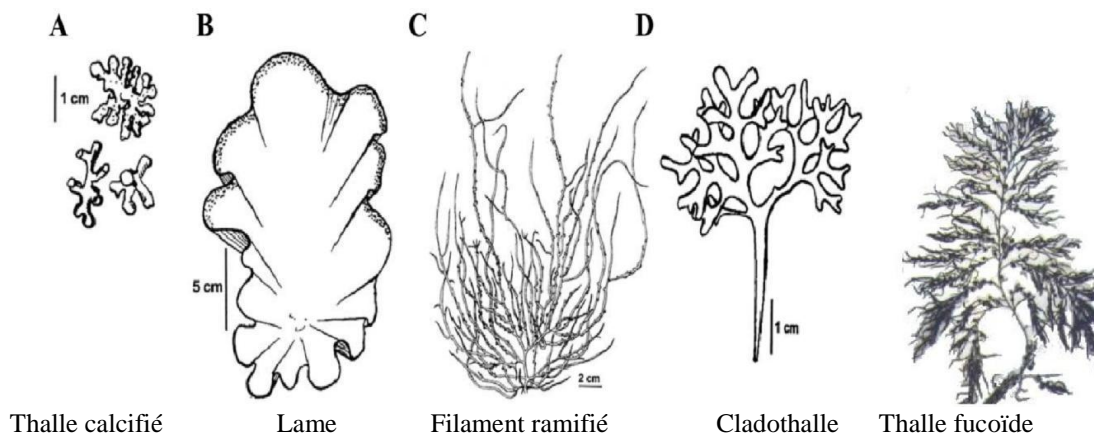
On les rencontre jusqu'à de grandes profondeurs car elles acceptent souvent de se développer dans des conditions de faible éclairciment, vivant fixées aux rochers ou aux coquilles des mollusques.

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

Les espèces *Chondrus crispus* et *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 (agar-agar)

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 très résistantes à des conditions extrêmes et sont donc extrêmophiles : par exemple, *Cyanidium caldarium* vit à un pH inférieur à 1 dans les sources acides.

### 1- Description générale :



**Figure14-** Types de thalles des algues rouges

Les algues rouges se présentent sous différentes formes de thalles : Thalle unicellulaire, cette morphologie est très rare chez les Rhodophytes évolués, thalle filamenteux simple ou ramifié, thalle foliacé, fucoïde ou thalle cladomien uniaxial ou pluriaxial.

Leur paroi cellulaire ne contient pratiquement pas de cellulose, mais des polymères du galactose, aux propriétés gélifiantes ou épaississantes, très utilisées dans l'agroalimentaire

Leurs pigments sont constitués par des chlorophylles A et D, des  $\alpha$  et  $\beta$  carotènes, des xanthophylles 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.

Les réserves sont constituées de rhodamylon ou amidon floridéen O, amidon particulier toujours extraplastidial prenant une teinte rougeâtre au contact de l'iode.

Il n'existe pas de formes flagellées.

## 2- Reproduction :

**a- Reproduction asexuée :** Se fait par fragmentation du thalle ou par la production de structures spécialisées (spores).

**b- Reproduction sexuée :** Chez la plus part des Algues rouges, la fécondation est particulière, appelée trichogamie. Le trichogyne, un poil qui capture et véhicule le gamète mâle (ou spermatie) dépourvu de flagelles jusqu'au gamète femelle immobile (ou carpogone).

## c- Cycle de vie :

Chez les Rhodophytes ont atteint la complexité maximale pour les cycles de reproduction. Les cycles sont généralement trigénétiques (ex : genre *Antithamnion*) avec la succession de trois générations : gamétophyte (n), carposporophyte (2n), tétrasporophyte (2n) Il y a quelques genre avec un cycle digénétique (ex : genre *Porphyra*)

## 3- Taxonomie :

L'embranchement des Rhodophycophytes comprend une seule classe : les Rhodophycées, cette dernière comprend deux sous-classes :

Sous-classe1 : Les Bangiophycidées

- Rassemble les espèces de structure simple
- Cellules souvent à plaste.



- Un thalle unicellulaire ou filamenteux.
- Présence de chloroplastes en forme étoilée.
- La reproduction se fait uniquement par voie asexuée sauf pour le genre *Porphyra* et *Bangia*. Il y a trois ordres :

Ordre des Bangiales

Ordre des Goniotrichales

Ordre des Porphyridiales

#### Sous-classe 2 : Les Florideophycidées

- Regroupe des formes complexes, dont les parois cellulaires comportent tjrs des synapses.
- Le carpogone porte un trichogyne.
- Le thalle de type : cladome uniaxial ou pluriaxial.
- Présence de reproduction sexuée de type trigénétique. (ex : *Anthithamnion*).
- Elle comprend 14 ordres, les plus importants sont :

Ordre des Ceramiales

Ordre des Compsopogonales

Ordre des Corallinales

Ordre des Cryptonemiales

Ordre des Gigartinales

Ordre des Nemiales

Ordre des Rhodymeniales

#### 4- Exemple de Rhodophyte:

##### Le genre *Antithamnion*:

##### a- Position systématique :

Règne : Plantae

Embranchement : Rhodophycophytes

Classe : Rhodophycées

Sous classe : Florideophycidées

Ordre : Ceramiales

Sous famille: Ceramioideae

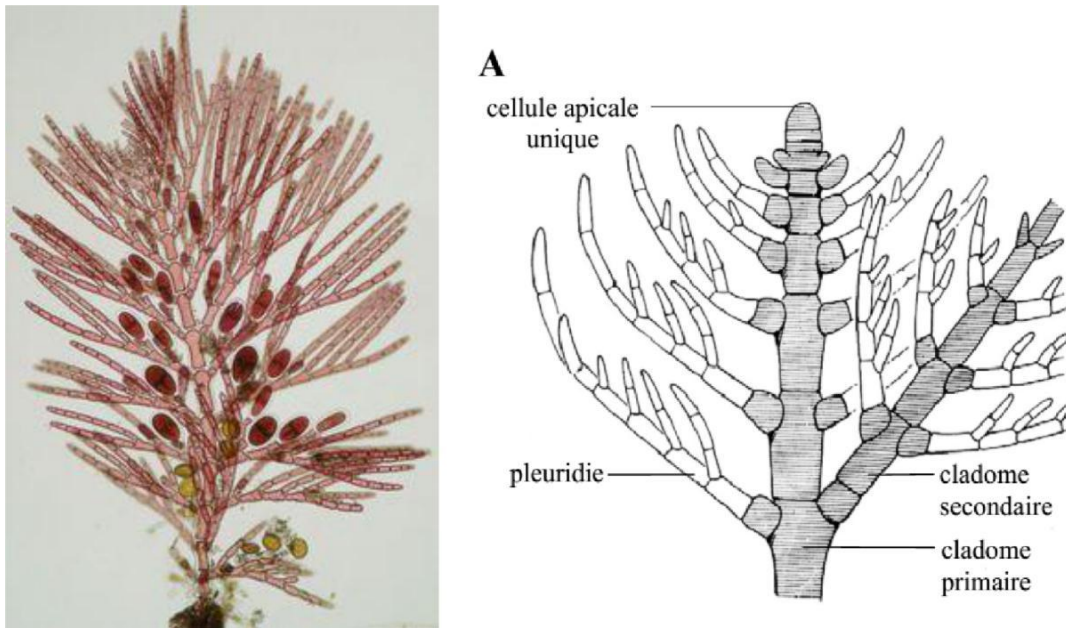
Genre: *Antithamnion*

##### b- Description:

Le thalle est un cladome uniaxial, d'une couleur rouge, généralement de quelques centimètres de longueur. Le cladome est formé d'un axe principal (cladome primaire), non chlorophyllien, à croissance définie et des cladomes secondaires à croissance indéfinie, chlorophylliens, ce sont les pleuridies. C'est un genre marin, qui vit en profondeur, fixé aux rochers par les crampons.



Figure15- *Antithamnion* sp.



**Figure16-** Le cladome uniaxiale du genre *Antithamnion*

### c- Reproduction :

Les espèces sont dioïques, à gamétophytes mâles et femelles haploïdes.

Dans ce cas le cycle est **trigénétique** : Il y a alternance de 3 générations qui se succèdent.

- La première génération est représentée par des thalles ou gamétophytes à  $n$  chromosomes. Les gamétophytes mâles portent des spermatocystes producteurs de gamètes non flagellés qui sont **les spermatis**. Les gamétophytes femelles portent un appareil reproducteur très complexe qui est le carpogone qui surmonté d'un trichogyne (long poil incolore captant les spermatis).

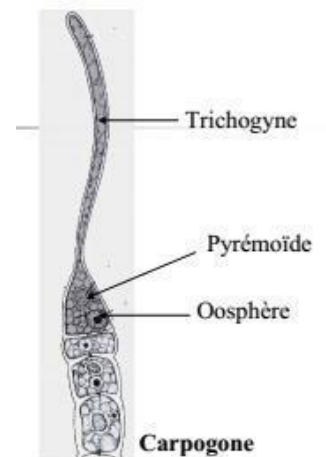
Les spermatis flottent passivement dans l'eau et se fixent sur le trichogyne du carpogone et le contenu de la cellule de la spermatis passe du trichogyne puis au carpogone.

- Après la fécondation du carpogone (gamète femelle) par la spermatis (gamète male), il y a formation d'un zygote à  $2n$  chromosomes. C'est une trichogamie.

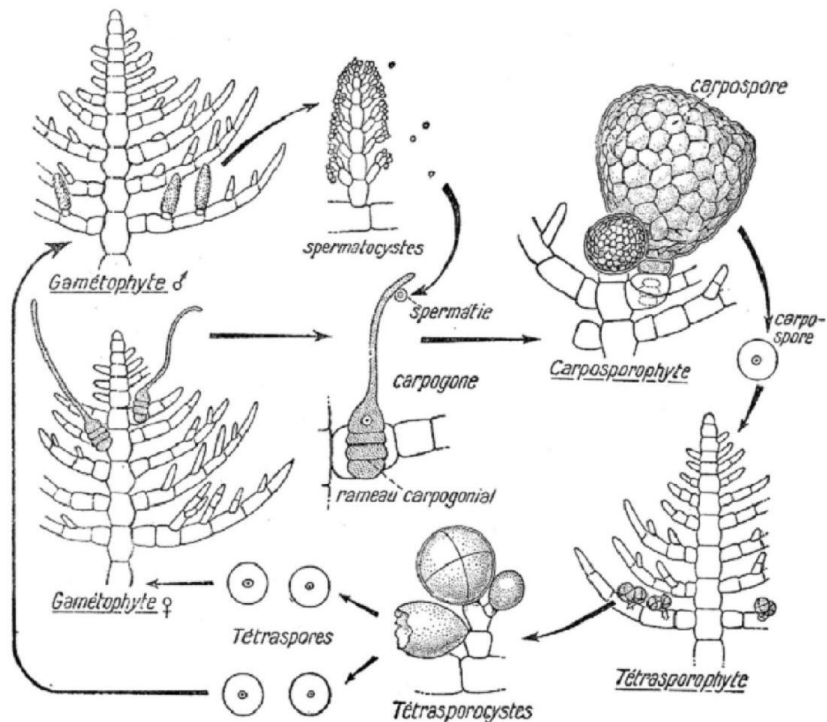
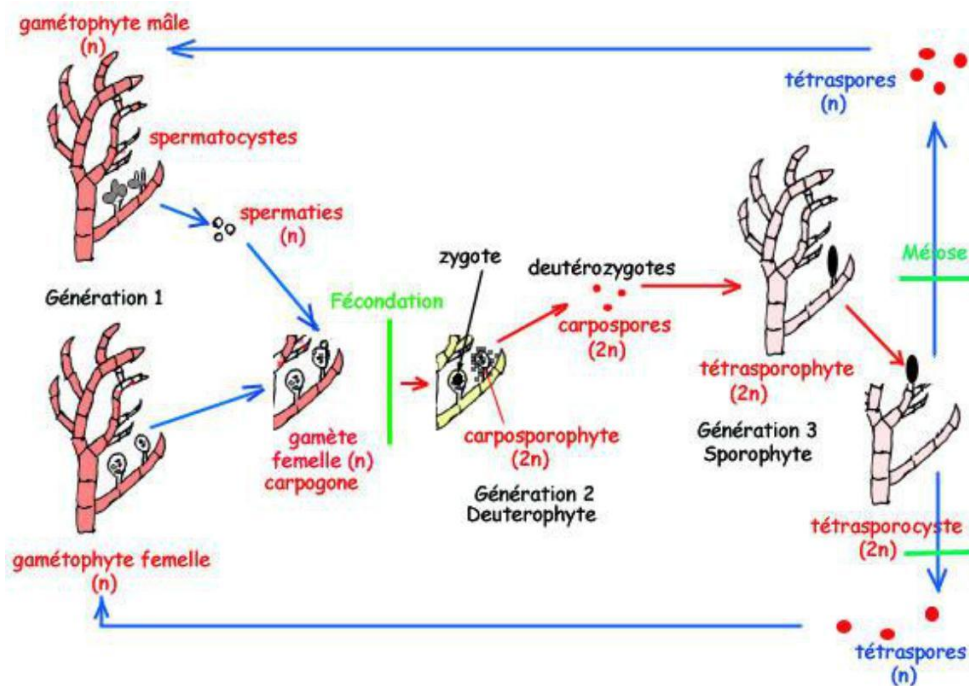
- Le zygote se divise par des mitoses et donne une deuxième génération carposporophyte ( $2n$ ) qui se développe en parasite sur le gamétophyte femelle; il est formé de filaments, il est appelé nimoblaste ou deutérophyte (du grec deuterios= deuxième).

- Le carposporophyte produit des carpospores ( $2n$ ) qui germent et donnent naissance à une 3<sup>ème</sup> génération tétrasporophyte ( $2n$ ) portant des tétrasporocystes.

- C'est dans ces tétrasporocystes que le noyau subit une méiose aboutissant ainsi à la formation de 4 spores typiquement haploïdes ( $n$ ), ce sont les tétraspores.



- Les tétraspores vont donner de nouveaux gamétophytes mâles et femelles (n).
- Le cycle est haplodiphasique.
- Le cycle est isomorphe car le gamétophyte est le tétrasporophyte se ressemblent morphologiquement.



**Figure17-** Cycle de reproduction des espèces d'*Antithamnion*



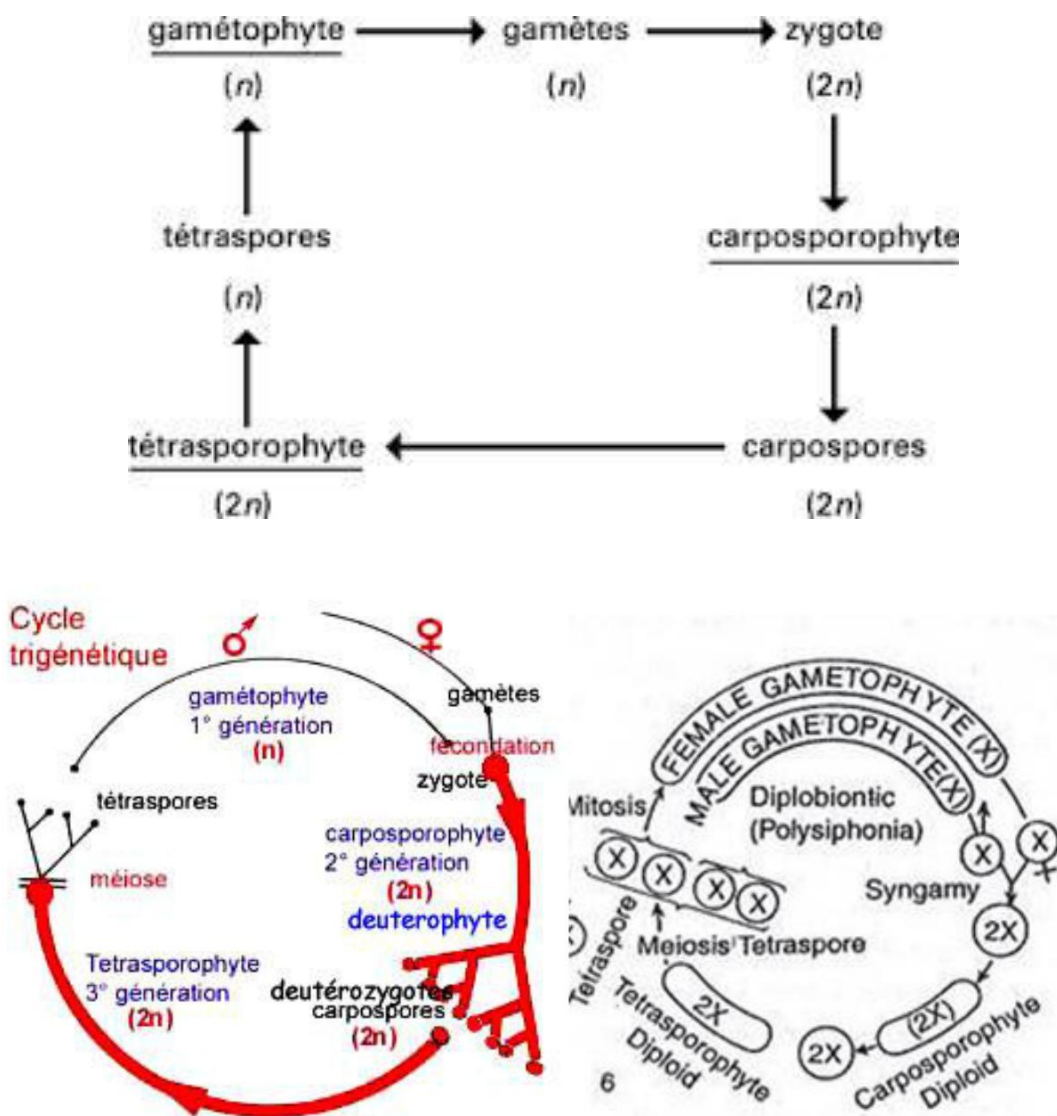


Figure 18- Le cycle trigénétiq haplodiplontique.

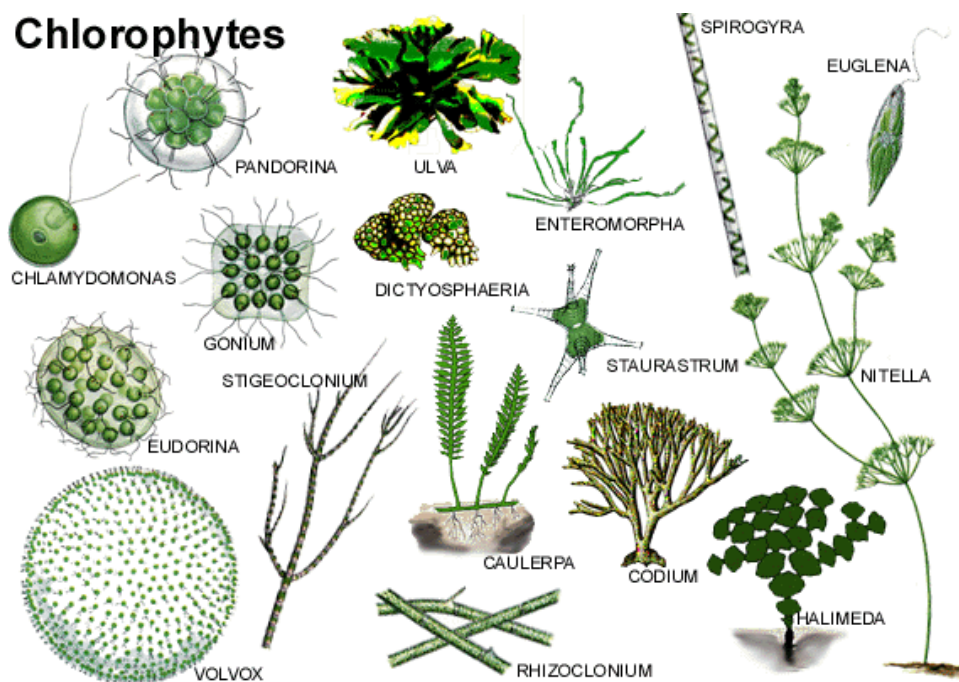
### II-3- Les algues vertes (Chlorophycophytes)

Les algues vertes réunissent entre 6000 et 7000 espèces, constituent le plus grand groupe d'algues. Généralement ce sont des espèces d'eau douce. Il y a des espèces marines et des espèces terrestres. Elles sont très répandues dans le monde entier. On pense que les algues vertes sont à l'origine des plantes supérieures.

Comme les végétaux supérieurs, elles possèdent deux **chlorophylles (a et b)** mais aussi des carotènes et de la xanthophylle.

Leurs formes et leurs tailles sont très variables : elles peuvent être microscopiques et unicellulaires comme la chlorelle (*Chlorella vulgaris*), utilisée comme complément alimentaire ; grandes et pluricellulaires, en forme de lames plates, comme la laitue de mer (*Ulva lactuca*) bien connue des pêcheurs à pied et consommée en salade dans les pays nordiques. D'autres, filamenteuses, se présentent sous la forme d'un tube (*Enteromorpha intestinalis*).

Ces algues qui vivent dans des eaux peu profondes sont très sensibles à la pollution organique ou en nitrates, elles se multiplient au point de provoquer de véritables marées vertes. Les algues vertes sont donc connues comme de bons indicateurs de pollution par les nitrates (fleur d'eau, marées vertes à *Ulva*, etc.).



**Figure19-** La diversité des algues vertes

### 1- Description :

Les algues vertes comportent tous types d'algues : unicellulaires, flagellées, filamenteuses, ramifiées, en siphon (pas de cellules déterminées mais avec un grand nombre de noyaux)...

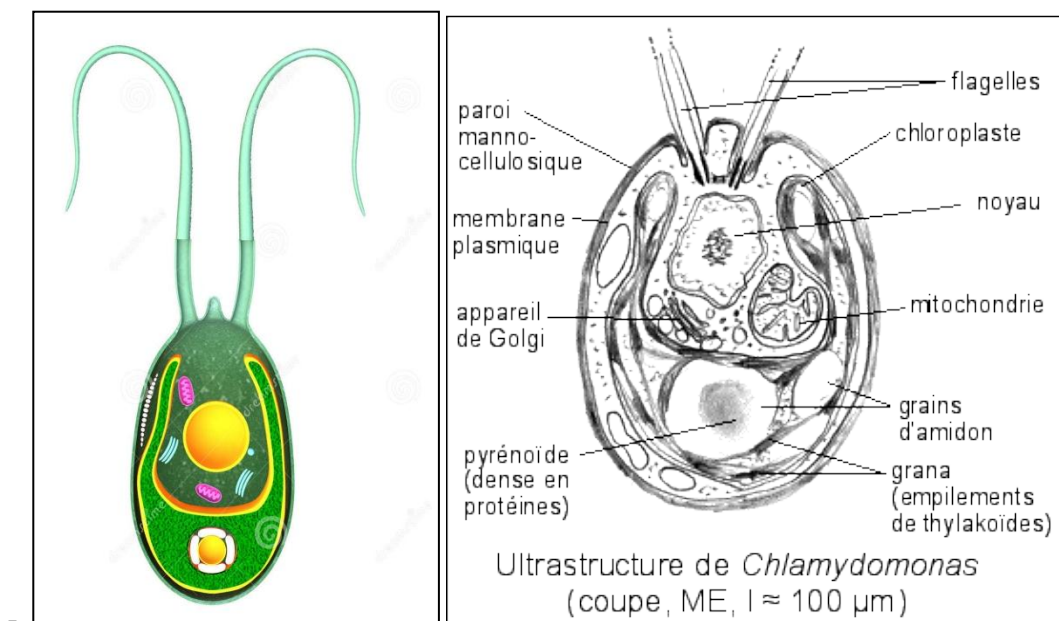
Généralement les cellules des algues vertes se caractérisent par :

- Leurs parois cellulaires ont la cellulose pour principal composant.
- Le chloroplaste possède deux membranes.
- Les thylacoïdes sont groupés par paquets de plus de trois.
- Le nombre et la forme des chloroplastes sont différents d'un groupe à un autre.
- Leurs réserves carbonées issues de la photosynthèse sont constituées d'amidon accumulé dans les plastes.

- Présence de **pyrénoïdes** qui sont des corps protéiques autour duquel s'accumule l'amidon.

- Présence de flagelles (2 à 4) chez certaines espèces : **isokontés** et **acrokontés**. Certains flagelles présentent des **mastigonèmes** sur un seul côté (**mastigonème pectiné**) ou sur les deux côtés (**mastigonème penné**).

Un exemple d'une algue verte unicellulaire à organisation simple est *Chlamydomonas* sp.



**Figure20-** Une cellule du genre *Chlamydomonas*

## **2- Reproduction des chlorophycophytes :**

### **a-Reproduction asexuée :**

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

### **b-Reproduction sexuée :**

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

### **c-Cycle de vie :**

Le cycle de vie des chlorophycophytes est monogénétique haplophasique ou digénétique haplodiplophasique

## **3- Taxonomie :** L'embranchement des Chlorophycophytes comprend quatre classes :

- Les chlorophyceae
- Les Zygoephyceae
- Les charophyceae
- Les Prasinophyceae

**a- Classe des Zygoephyceae :** Toutes les espèces de cette classe vivent dans les eaux douces. Elle se divise en deux principaux ordres :

**Ordre :** Desmidiiales

**Famille :** Desmidiaceae

**Genre :** *Closterium*

**Genre :** *Cosmarium*

**Ordre :** Zygnematales : Caractérisé par une reproduction de cystogamie, cet ordre regroupe des espèces filamenteuses non ramifiées.

**Famille :** Zygnemataceae : La distinction entre les genres est basée sur la forme et le nombre de plaste.

**Genre :** *Zygnema*

**Genre :** *Spirogyra*

**Genre :** *Mougeotia*



**b-Classe des Chlorophyceae :** Cette classe est classée avec le règne des protistes et non des plantes car elle regroupe les formes unicellulaires, cénobiales ou thalles pluricellulaires de forme variée. Cette classe très hétérogène est divisée en quatre sous classes selon la morphologie du thalle.

**-Sous classe :** Monadophycideae: Cette sous classe regroupe les formes monadoïdes.

**Ordre :** Volvocales : Ce sont des formes unicellulaires libres ou en colonies. Les cellules végétatives sont normalement flagellées le plus souvent à deux flagelles égaux.

**Famille :** Chlamydomonaceae

**Genre :** *Chlamydomonas* (Forme libre)

**Famille :** Volvocaceae : Constituée par l'ensemble de cellules formant une colonie. Les cellules s'agglutinent deux à deux pour former des colonies définies, entourées d'une enveloppe.

**Genre :** *Pandorina*

**Genre :** *Volvox*

**-Sous classe :** Coccophycideae

**Ordre :** Chlorococcales

**Famille :** Oocystaceae

**Genre :** *Chlorella*

**Famille :** Scendesmaceae

**Genre :** *Scendesmus*

**-Sous classe :** Septophycideae

**Ordre:** Ulothricales

**Famille:** Ulothricaceae

**Genre :** *Ulothrix*

**Ordre:** Ulvales : Formes foliacées avec une ou deux couches de cellules ou en tube creux

**Famille:** Ulvaceae

**Genre :** *Ulva*

**Genre :** *Enteromorpha*

**-Sous classe :** Siphonophycideae

**Ordre :** Siphonocladales

**Genre :** *Cladophora*

**c-Classe des Prasinophycées**

**Ordre :** Chlorodendrales

**Famille :** Chlorodendraceae

**Genre :** *Prasinocladus*

**Genre :** *Tetraselmis*

**Genre :** *Scherffelia*

**Ordre :** Prasinococcales

**Famille :** Prasinococcaceae

**Genre :** *Prasinococcus*

**Ordre :** Pseudoscourfieldiales

**Famille :** Pycnococcaceae

**Genre :** *Nephroselmis*

**Genre :** *Pycnococcus*

**Genre :** *Pseudoscourfieldia*

**Genre :** *Prasinococcus*

**Genre :** *Prasinoderma*

**Ordre :** Pyramimonadales

**Famille :** Monomasticaceae

**Genre :** *Monomastix*

**d- Classe des Charophyceae :** Cette classe est très homogène à thalle cladomien. Ne comporte qu'une seule famille, elle est plus proche des Embryophytes que des autres algues vertes.

**Ordre :** Charales

**Famille :** Characeae

**Genre :** *Chara*

#### **4- Exemples de Chlorophycophytes :**

##### **4-1- Le genre *Chara* :**

##### **a- Position systématique :**

**Règne :** Plantae

**Embranchement :** Chlorophycophytes

**Classe :** Charophycées

**Ordre :** Charales

**Famille :** Characées

**Genre :** *Chara*

##### **b- Description :**

– Comme toutes les algues eucaryotes, cette algue est autotrophe grâce à la photosynthèse. Elle fabrique sa propre matière organique à partir de l'eau, du dioxyde de carbone et de l'énergie lumineuse.

– La famille des Characées compte de nombreuses espèces. *Chara major* est une grande espèce aisément reconnaissable et assez répandue. Mais elle peut être accompagnée d'autres espèces comme *Chara contraria*, *Chara globularis* et *Chara aspera*.

–Algues se développant dans les eaux douces, très carbonatées, en eau moyennement profonde à profonde (1 à 6 mètres, voire plus selon la translucidité du milieu).

–Assez commune dans les lacs des régions calcaires où elle peut former des herbiers benthiques permanents, souvent monospécifiques (une seule espèce) et denses, parfois très étendus .

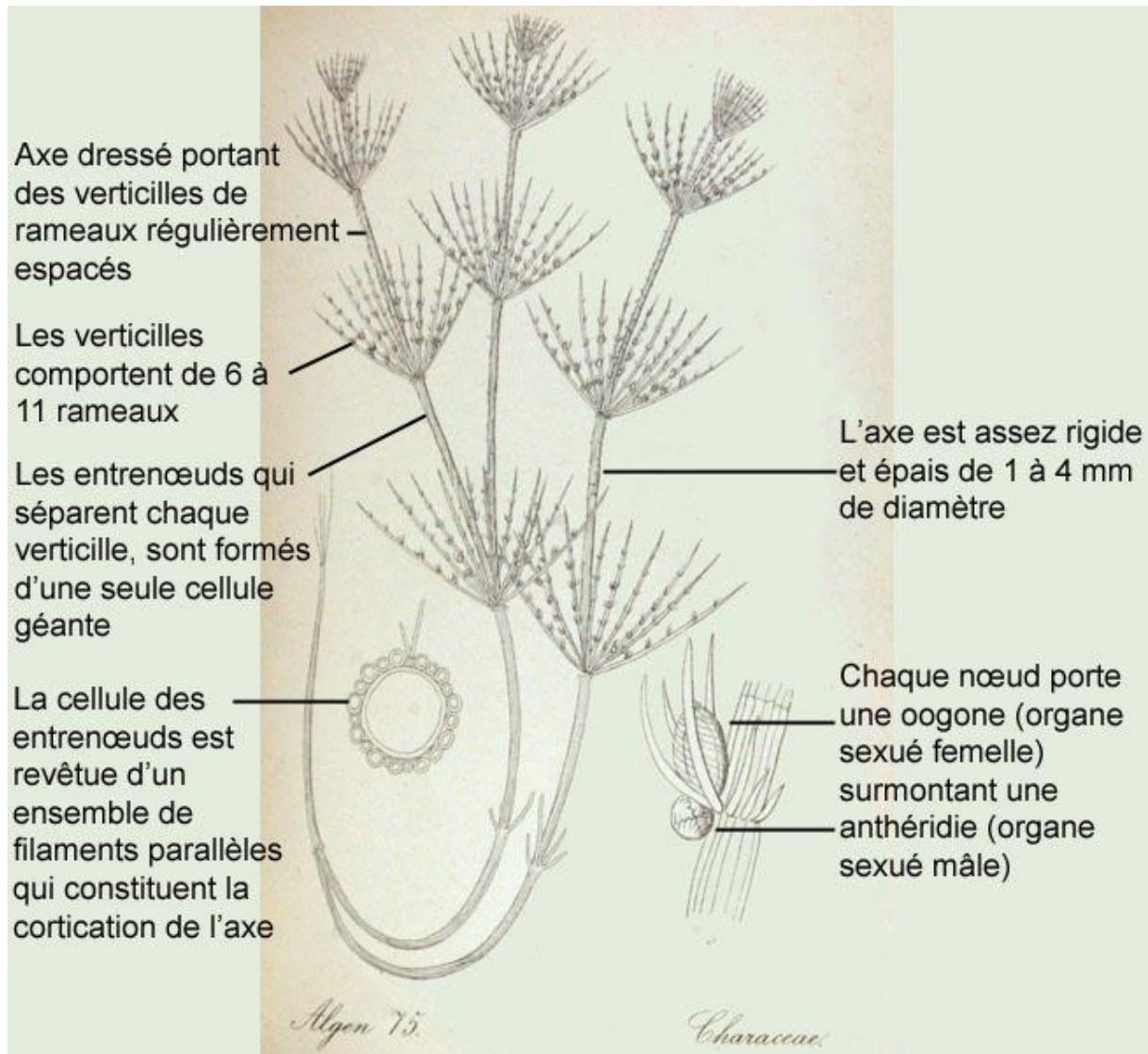
–Algue pouvant également se rencontrer dans les dépendances phréatiques de cours d'eau ou dans des gravières.

– Cette algue est fixée au substrat par des **rhizoïdes** et peut atteindre jusqu'à 20 cm de long. Elle se présente en touffe dans les eaux saumâtres ou douces. Le thalle est de type **cladomien**.

–Algue formée d'un axe dressé portant des **verticilles** de rameaux régulièrement espacés, l'ensemble évoquant un peu une prêle.

–Les **entrenœuds**, qui séparent chaque verticille sont formés d'une **seule cellule géante**.

– Dans le genre *Chara*, la cellule des entrenœuds est revêtue d'un ensemble de filaments parallèles qui constituent la **cortication** de l'axe (étui formé de cellules allongées, enveloppant la cellule géante qui compose l'entrenœud)



**Figure 21-** Organisation du thalle de genre *Chara*

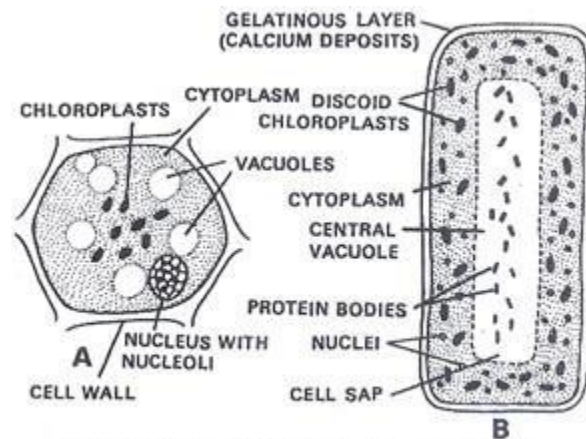


Fig. 4A.6. *Chara* sp. Cell structure. A, nodal cell; B, internodal cell.

Figure 22- Les cellules nodale et internodale du genre *Chara*

### c- Reproduction :

#### • Reproduction asexuée :

Certaines Characées produisent des bulbilles caractéristiques à partir des rhizoïdes, des axes, aux niveaux des nœuds sous formes de bulbilles amorphes qui se multiplient rapidement, ou sous forme d'étoile autour des rhizoïdes. Dans tous les cas, les bulbilles vont donner végétativement un nouveau thalle de *Chara*.

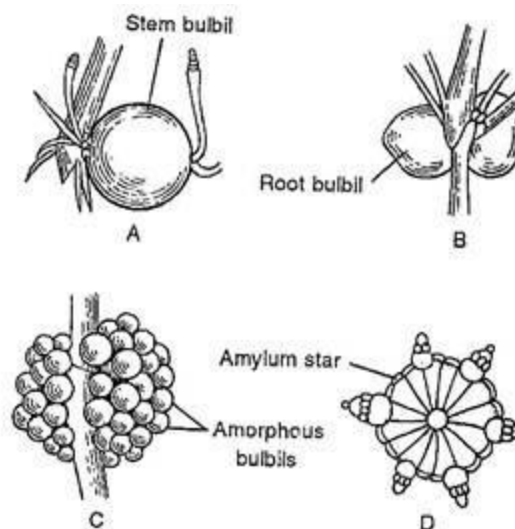


Fig. 3.93 : *Chara* sp. : A. Stem bulbil, B. Root bulbil, C. Amorphous bulbil, and D. Amylum star

Figure 23- Reproduction asexuée du genre *Chara*

#### • Reproduction sexuée :

La fécondation est une **oogamie** et les espèces sont monoïques. Le thalle est haploïde (n) (gamétophyte)

–Les organes reproducteurs femelles qui sont visibles à l’œil nu, ne contiennent qu’une seule cellule. Les organes mâles, de taille semblable, sont arrondis et de couleur rouge. Chacun produit plus de 30, 000 gamètes microscopiques.

–Chaque nœud présente des gamétocystes mâles : **globules** ou **anthéridie** qui sont surmontés d’un gamétocyste femelle : **nucule** ou **oogone**.

–Les anthéridies ont l’aspect de sphères orange vif d’à peu près 0,5 mm de diamètre et les oogones d’ovoïdes verdâtres, garnis d’une ornementation spiralée, longs d’à peu près 1 mm ; elles deviennent noirâtres à maturité.

–Les gamétocystes mâles vont libérés par éclatement des spermatozoïdes biflagellés.

–Ces spermatozoïdes vont féconder l’oosphère (**nucules**).

–Le zygote issu de la fécondation est diploïde, c’est une **oospore**.

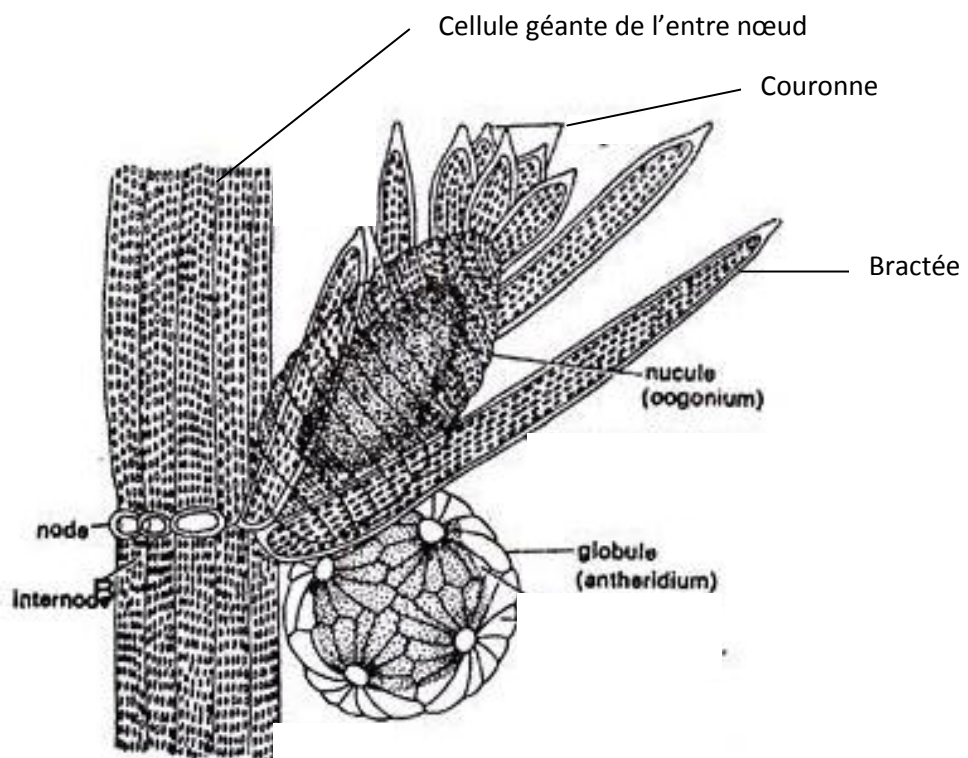
–Les oospores, qui résultent de la fécondation des oogones sont très résistants, ils sont un moyen de dissémination efficace ; produites en grandes quantités et minuscules (moins d’un mm de longueur), elles peuvent être disséminées par les oiseaux d’eau par voie externe ou interne ; on a montré, chez certaines espèces, qu’une proportion importante des oospores pouvait survivre au passage dans le tractus digestif des oiseaux.

–Les oospores vont subir une méiose

–Il va y avoir une réduction chromatique qui aboutit à une cellule à un noyau et à une cellule à trois noyaux.

–La cellule mononucléée donnera la **cellule germinative** qui donnera un protonéma et des rhizoïdes évoluant à un individu du genre **Chara**, alors que la cellule trinuéée donnera les réserves en amidon.

- **Cycle de vie** : C’est un cycle **monogénétique haplophasique**.



**Figure 24-** Organes reproducteurs du genre *Chara*



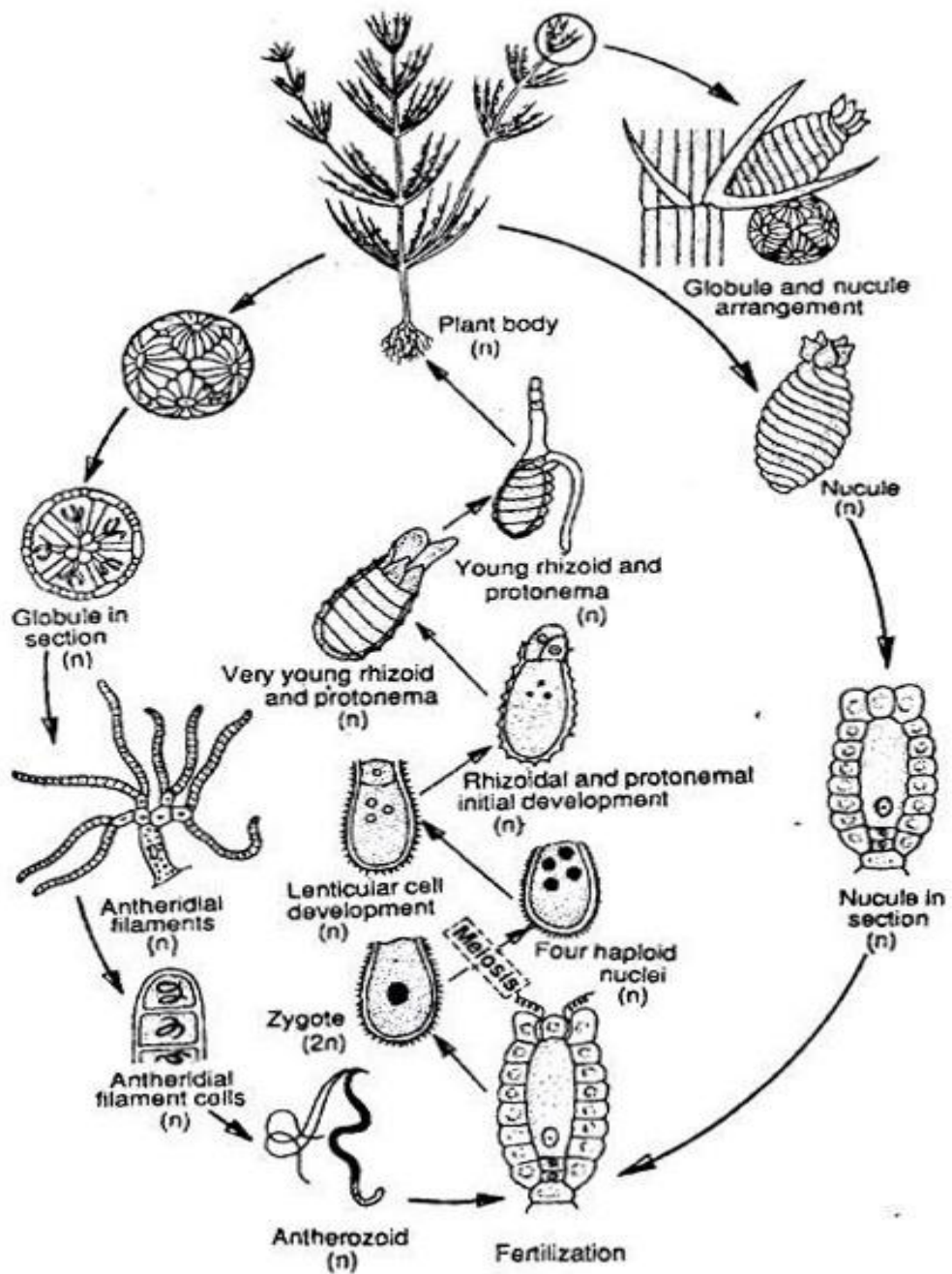


Figure25- Cycle de développement du genre Chara



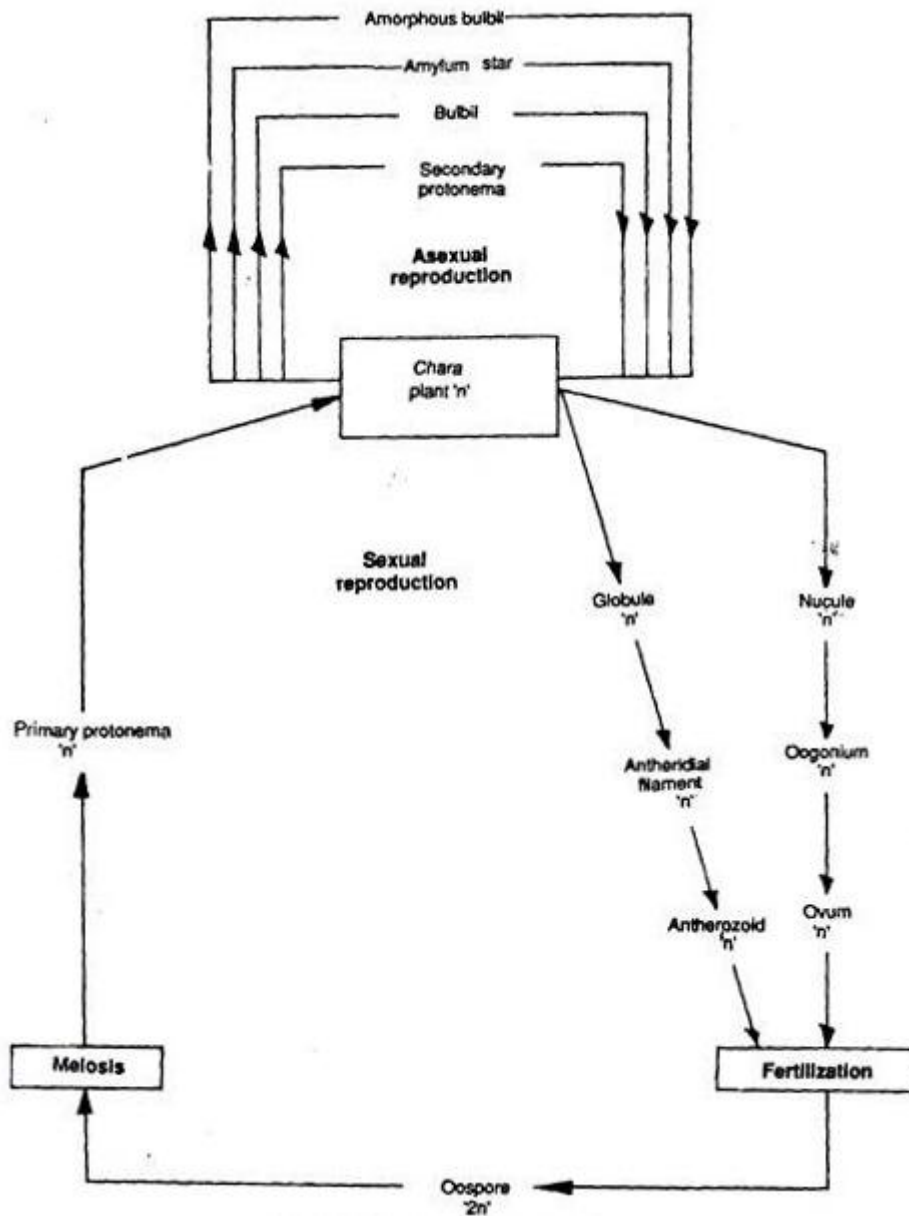


Figure 26- Cycles asexué et sexué du genre *Chara*

#### 4-2- Le genre *Spirogyra* :

##### a- Position systématique :

**Règne :** Plantae

**Embranchement :** Chlorophycophytes

**Classe :** Zygnophycées

**Ordre :** Zygnematales

**Famille :** Zygnematacées

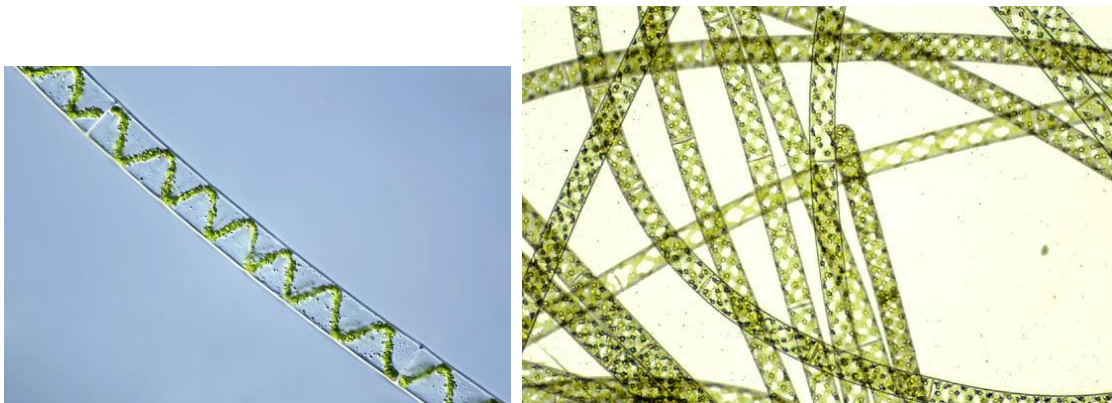
**Genre :** *Spirogyra*

##### b- Description :

*Spirogyra* (les **spirogyres**) est un genre d'algues vertes avec 300 espèces environ qui vivent toutes en eau douce ou saumâtre et ont un aspect flocculent et une texture visqueuse. Ces algues apprécient les eaux claires et fraîches. Elles colonisent le milieu aquatique de manière libre (non-fixée) dans la colonne d'eau et jusque sur le sédiment dans les eaux stagnantes ou à faible courant, et plus rarement de manière fixée au niveau du sédiment ou de rochers ou parois, alors fixées par leurs, le cas par exemple de *Spirogyra fluviatilis* qui comme son nom l'indique peut être trouvé dans certains fleuves. La présence massive de cette espèce est considérée comme bioindicatrice de pollution organique ou minérale.

Les spirogyres sont formées de filaments coloniaux. Ces filaments sont simples (non ramifiés) et en grande partie transparents et couverts d'une substance mucilagineuse gluante ; organisés de manière désordonnée. Les filaments sont longs de plusieurs décimètres, faits d'un enchaînement linéaire de cellules rectangulaires pourvues chacune d'un ou de plusieurs **chloroplastes** en forme de **ruban spiralé**.

Ces longs filaments ondulent très lentement dans l'eau, ce qui permet le rapprochement des individus, nécessaire à la reproduction sexuée.



**Figure27-** Filaments de *Spirogyra*

Les cellules de *Spirogyra* ne possèdent qu'un ou deux chloroplastes rubanés et disposés en forme de spirale (d'où le nom *Spirogyra*). Les cellules cylindriques, disposées en files, sont pourvues d'une paroi cellulosique transparente externe leur assurant une certaine rigidité. Adhérent à cette paroi, du côté interne, se trouve une mince membrane cytoplasmique, tout aussi transparente et invisible aux faibles grossissements des photos. Près de cette membrane, dans le cytoplasme, se situe le chloroplaste (ou les chloroplastes selon les espèces). Leur chlorophylle, exposée à la lumière, permet la photosynthèse ; les spirogyres accumulent ainsi de l'amidon stocké autour de pyrénoides.

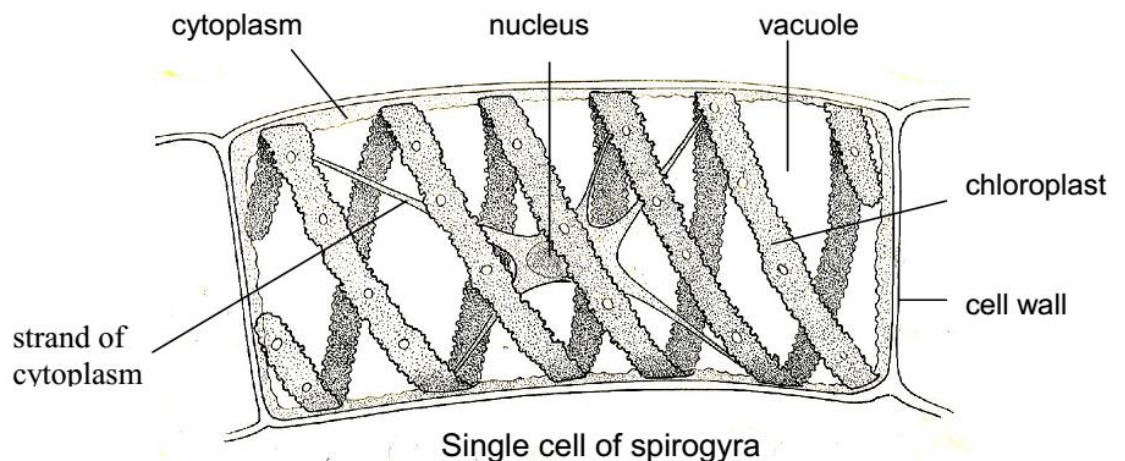


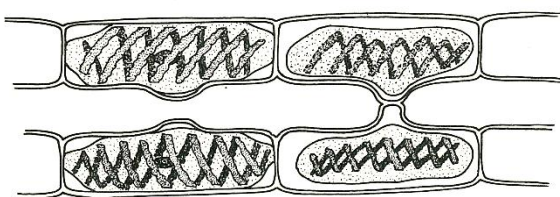
Figure28- Cellule de *Spirogyra*

### c- Reproduction :

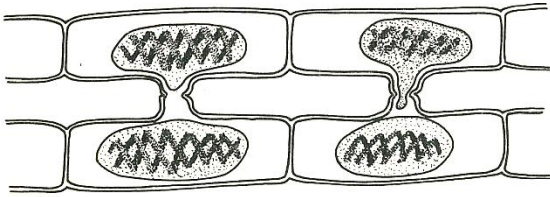
La reproduction est sexuée par une **cystogamie**. L'espèce est **dioïque** et le thalle est haploïde (n) (gamétophyte)

– Certains filaments, dans un ensemble de filaments parallèles, jouent le rôle de femelle et d'autres celui de mâle.

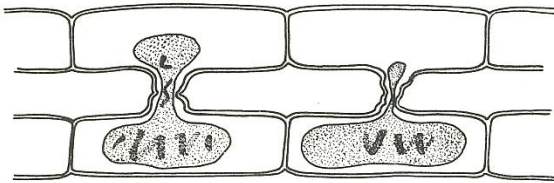
– Deux filaments s'accolent et chaque cellule émet une petite protubérance sous forme d'une extension tubulaire vers la cellule d'en face pour former un tube continu entre les deux cellules (pont de conjugaison).



- Dans le même temps, le contenu de chaque cellule a formé une sphère.

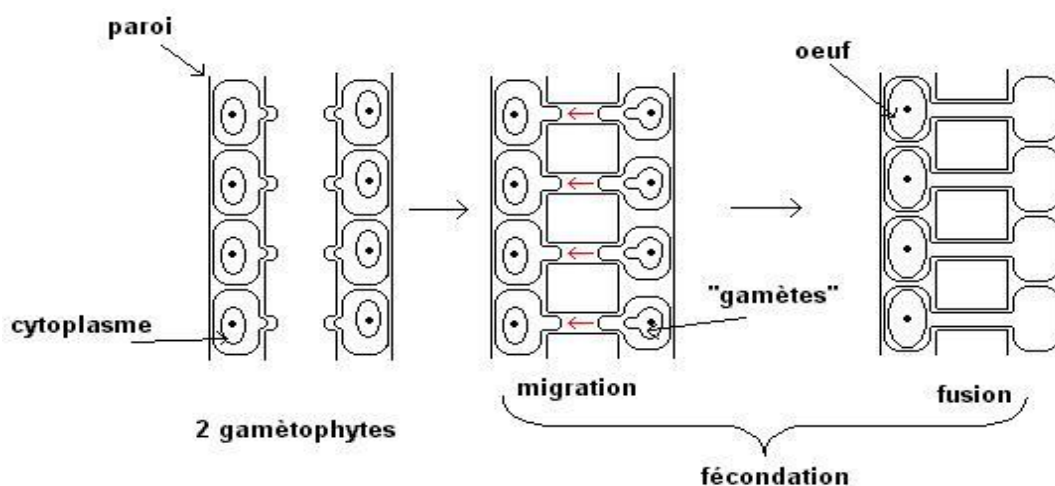
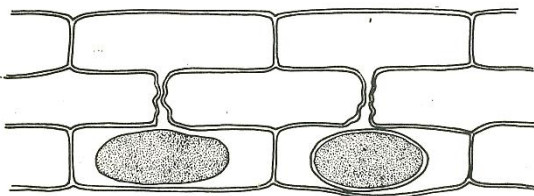


- Les sphères du filament mâle (équivalentes de spermatozoïdes), mobiles, après s'être frayé un chemin au travers du tube, fusionnent avec une sphère d'une cellule femelle dans l'autre filament.



- Ceci est une fécondation où les gamétophytes n'existent pas et avec des gamètes peu différenciés.

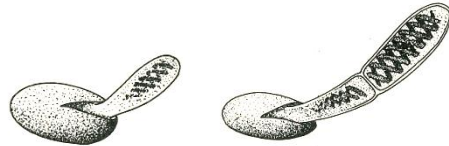
- Le résultat de cette fécondation est une cellule œuf ou zygote diploïde (zygospore) dans le filament femelle.



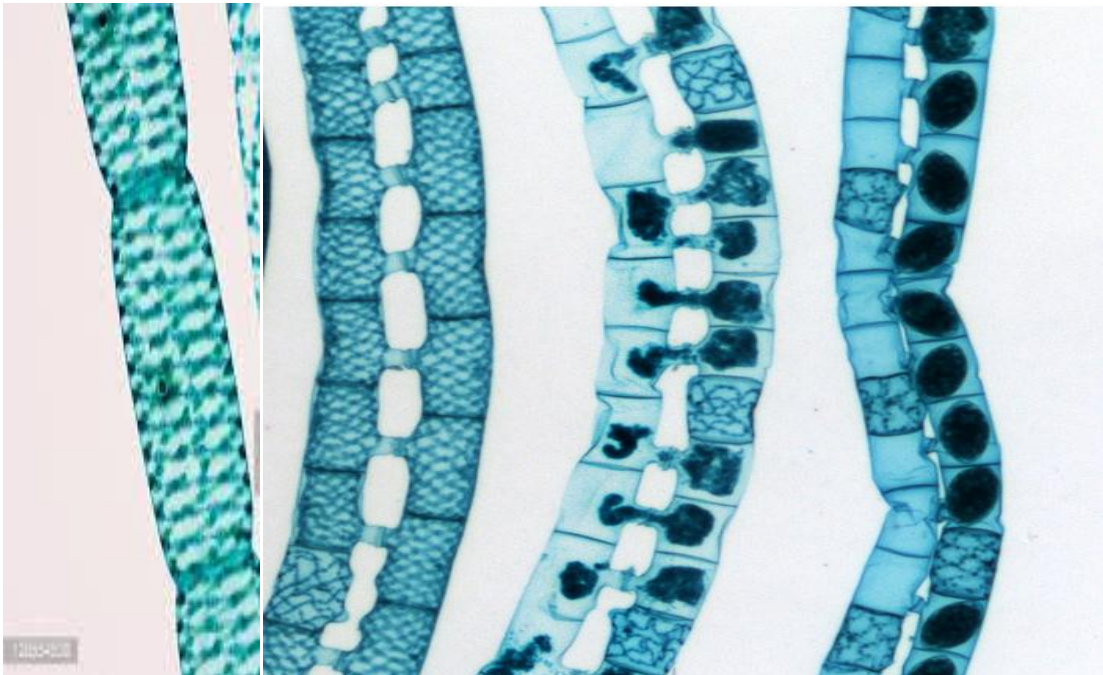
- Ce zygote particulier est entouré d'une paroi solide et constitue une forme de résistance à de mauvaises conditions du milieu pour rentrer en vie ralentie quelques temps.

– Toutes ces cellules peuvent être l'objet de dissémination et espérer retrouver des conditions favorables à leur développement.

– Dans ce cas, le zygote de *Spirogyra* va subir une méiose qui conduit à quatre cellules haploïdes, trois dégénèrent et une devient par mitoses successives un nouveau filament haploïde qui est le thalle de *Spirogyra*.

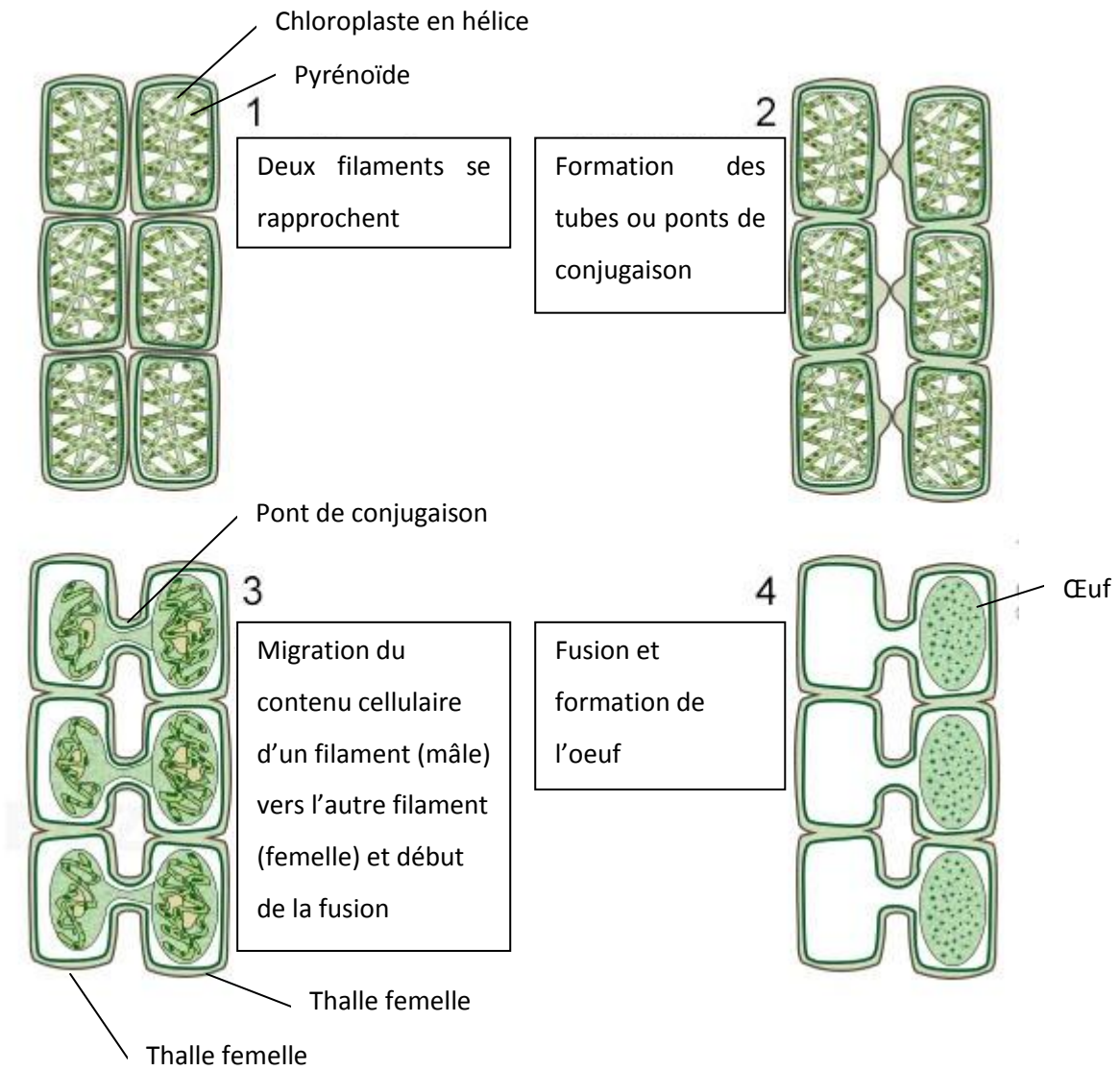


**Cycle de vie :** il est **monogénétique haplophasique** car la phase haploïde est plus importante et la phase diploïde est réduite qu'au zygote.

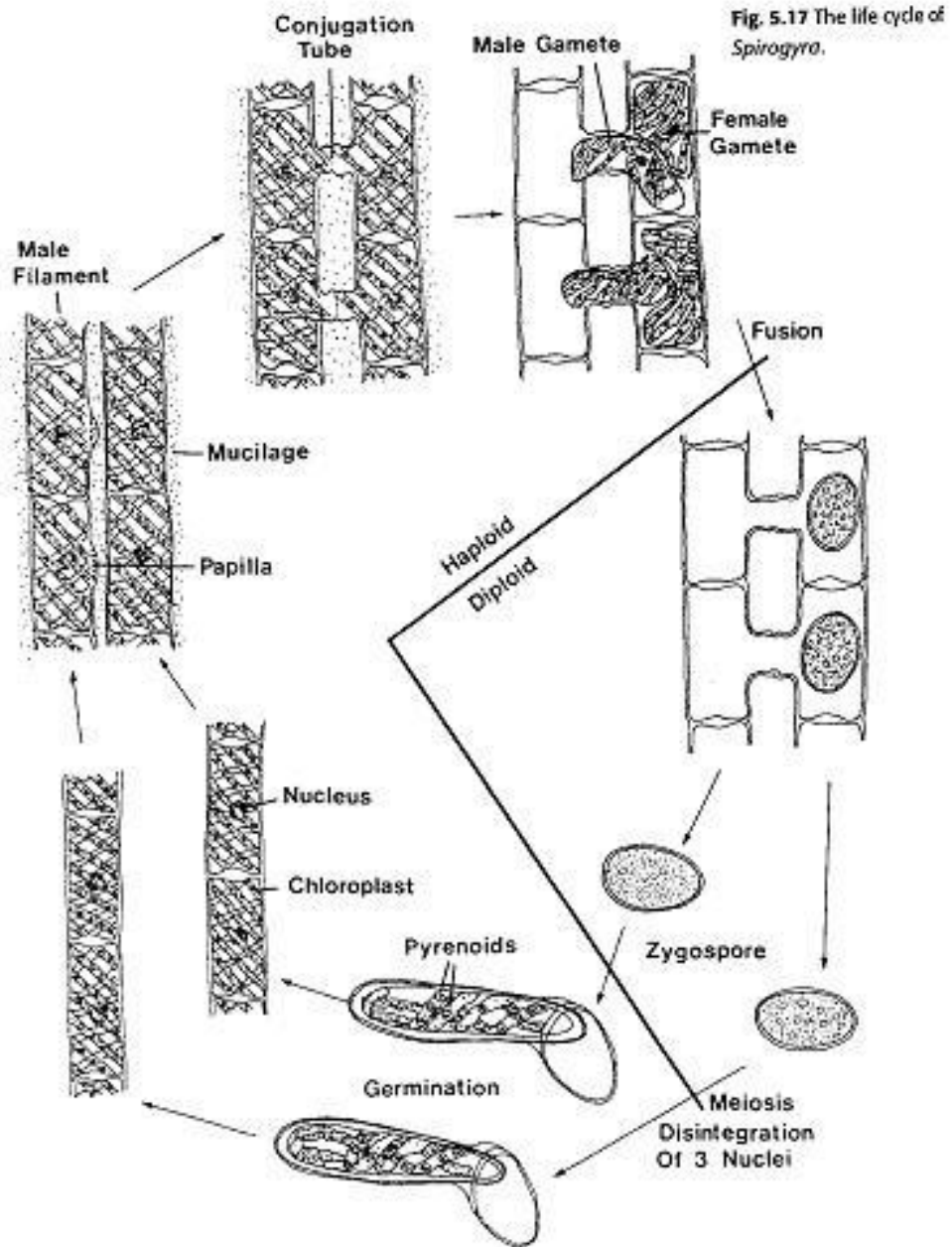


**Figure 29-** Cystogamie de *Spirogyra* sous microscope

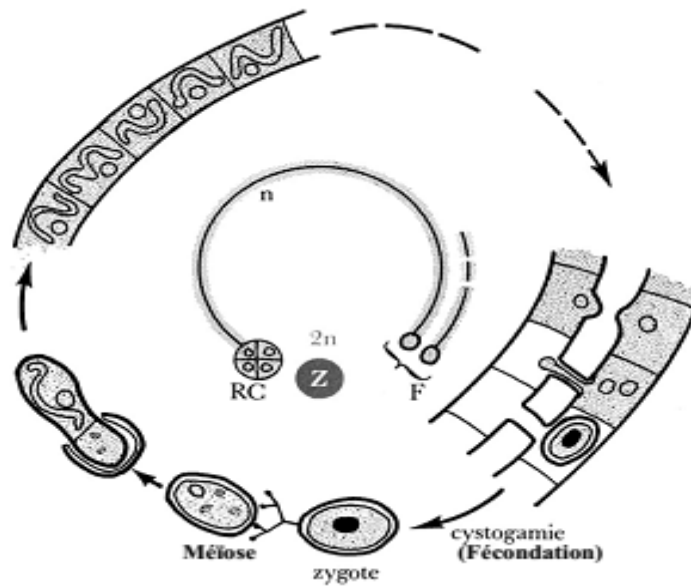
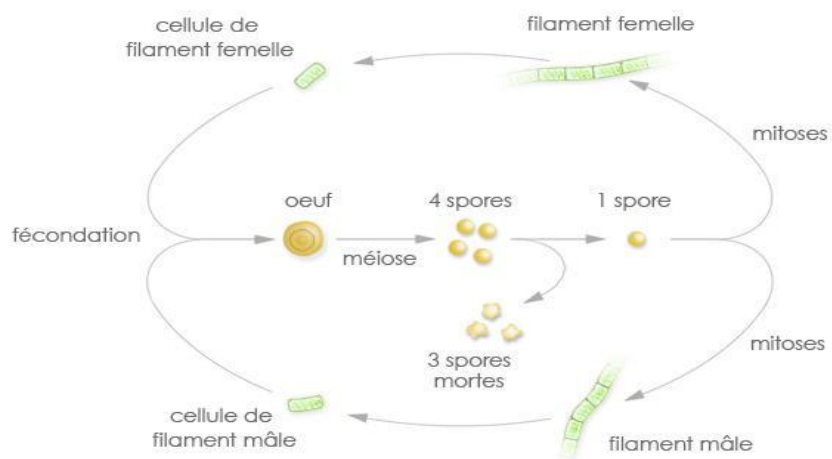




**Figure 30-** Etapes de la cystogamie



**Figure31-** Cycle de développement du genre *Spirogyra*



**Figure 32-** Cycle monogénétique haplophasique



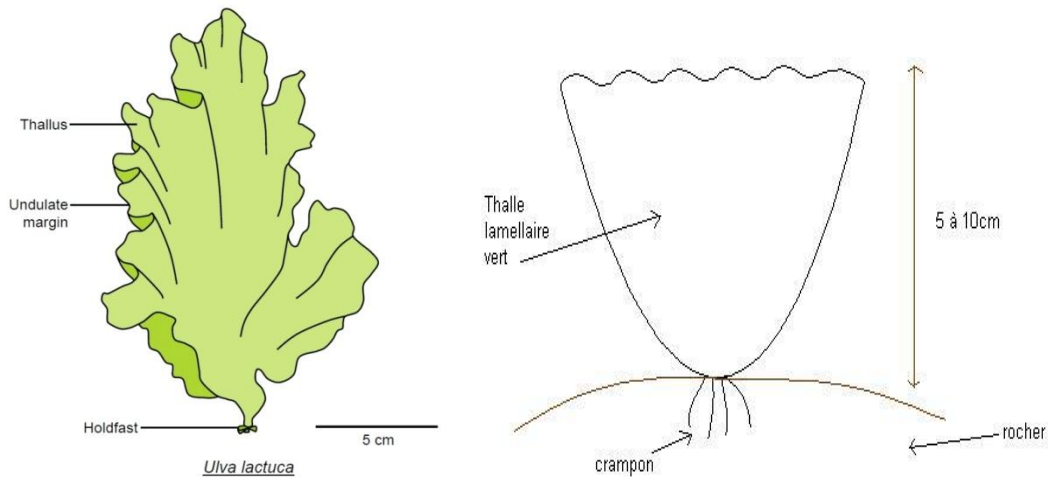
**4-3- L'espèce *Ulva lactuca* :****a- Position systématique :****Règne :** Plantae**Embranchement :** Chlorophycophytes**Classe :** Chlorophycées**Sous classe :** Septophycidées**Ordre :** Ulvales**Famille :** Ulvacées**Genre :** *Ulva***Espèce :** *Ulva lactuca***b- Description :**

Ces algues sont visibles surtout aux fortes périodes d'ensoleillement, la fin de l'hiver, le printemps, l'été. Elles ont une durée de vie assez courte, quelques semaines en général, mais plusieurs générations se succèdent au cours de l'année.

C'est une algue verte, autotrophe qui vit en mer en bordure des côtes rocheuses en Méditerranée et qui est fixée au rocher par un crampon. Le thalle vert est lamellaire, orbiculaire et translucide, de 5 à 50 cm de longueur, avec une marge lisse.

Elle est formée d'un thalle mince et aplati, souvent lobé, ne comportant que deux couches de cellules possédant chacune un seul chloroplaste qui porte un seul pyrénoïde. Cette lame souple peut varier du vert foncé au vert clair, avec une marge ondulée et peut atteindre un mètre de longueur dans des eaux riches en matières organiques (la taille est cependant très variable, généralement entre 20 et 60 cm). L'algue adhère au substrat grâce à un petit disque de fixation, surmonté d'un stipe très court.

*Ulva lactuca* vit en eaux peu profondes jusqu'à 10 mètres, de l'étage médio-littoral supérieur à l'infra-littoral. Cela lui permet de bénéficier d'un bon éclairage. Elle a une grande tolérance à la pollution et aux apports anthropiques, d'où une présence dans les ports, dans les zones de ruissellement d'eau douce, les flaques, etc... C'est une algue vraiment cosmopolite qui se rencontre quasiment partout sur la planète. On la rencontre en Arctique, dans l'Océan Atlantique de l'Arctique aux côtes sud-américaines, en passant par les îles Caraïbes, en Méditerranée et en mer Noire, mais aussi dans l'Océan Pacifique depuis les côtes américaines et îles d'Hawaï, sur les côtes australiennes et néo-zélandaises ainsi que dans l'Océan Indien et jusqu'en Antarctique.



**Figure 33-** L'aspect du thalle d'*Ulva lactuca*

**c- Reproduction :**

La reproduction est sexuée. La fécondation est une **planogamie** (gamètes mâles et femelles flagellés) **anisogamie** (entre deux gamètes différents).

–L'espèce est **dioïque**. Les thalles sont des gamétophytes haploïdes.

–Les cellules de la marge du gamétophyte contiennent des gamétocystes qui produiront des gamètes par divisions mitotiques.

–A maturité ces zoïdes biflagellés sont libérés par perforation circulaire, ce qui laisse alors la marge des thalles incolore.

–Les gamètes femelles sont plus gros que les gamètes mâles.

–Les gamètes mâles et femelles, biflagellés, vont fusionner lors de la fécondation pour donner un **planozygote** (zygote flagellé et mobile) diploïde **quadriflagellé**.

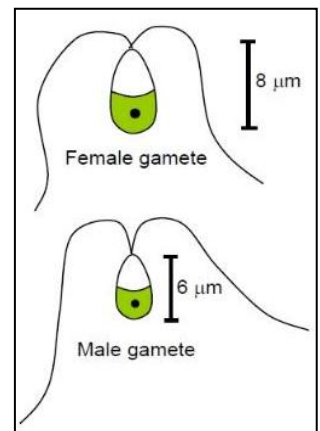
–Après fixation le zygote perd ses flagelles et s'entoure d'une paroi.

–Le zygote germe et se développe en un sporophyte diploïde identique morphologiquement au gamétophyte.

–Le sporophyte contient des sporocystes qui, après méiose, donnent des tétraspores ou **zoospores** haploïdes quadriflagellés.

–Les zoospores, après fixation, vont donner par mitoses de nouveaux thalles haploïdes ou gamétophytes mâles et femelles.

**d- Cycle de vie :** Le cycle reproductif est **digénétique haplodiplophasique** et **isomorphe** car les générations sont morphologiquement identiques.



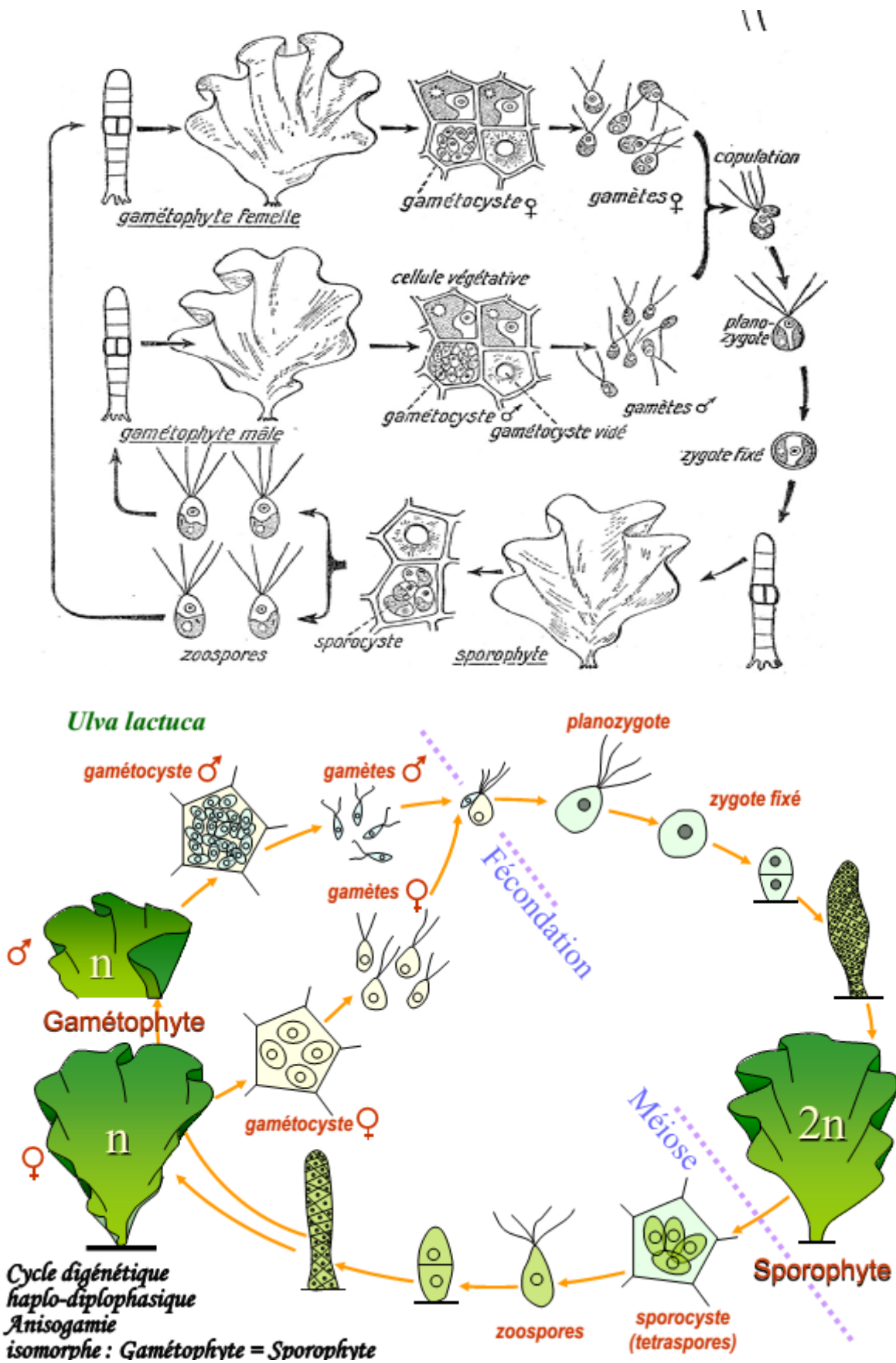


Figure34- Cycle de vie d'*Ulva lactuca*

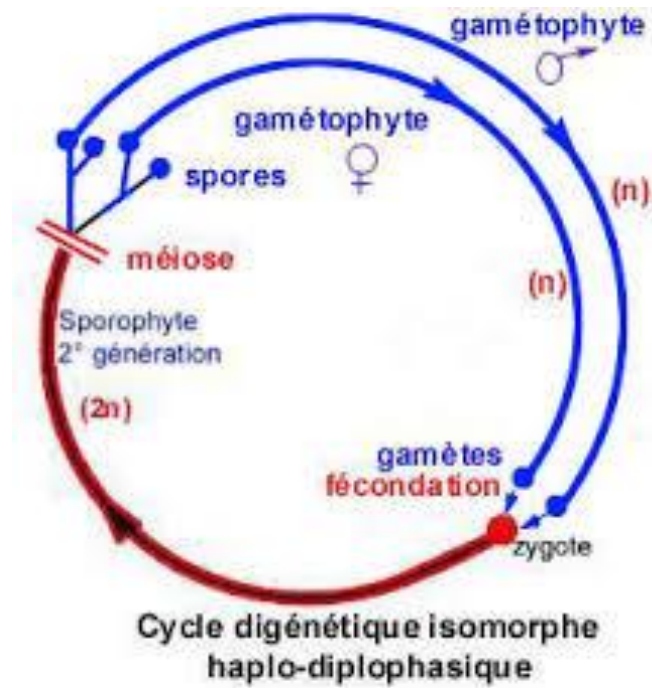
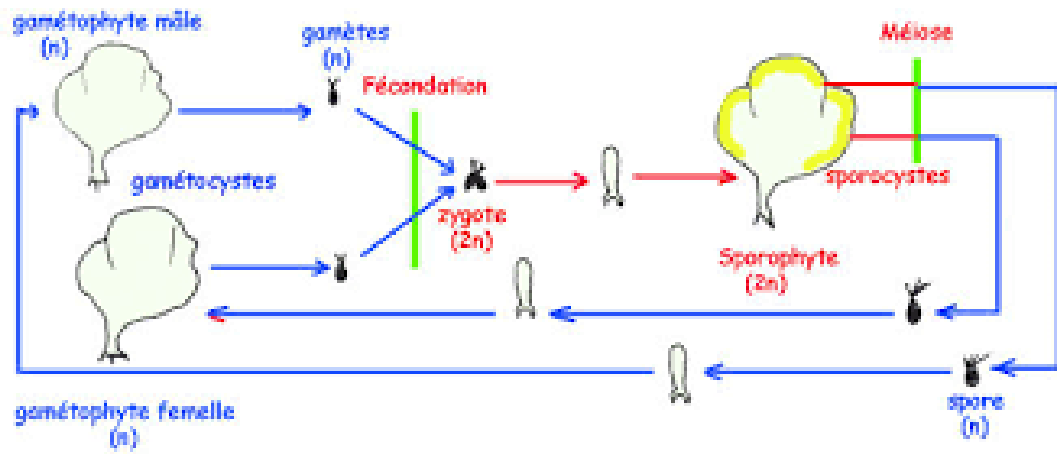


Figure 35- Cycle digénétique haplodiplophasique

## Chapitre 3- Les champignons ou mycètes

Les champignons ont été classés dans le passé comme faisant partie du règne végétal du fait de la présence d'une paroi cellulaire et de plusieurs similitudes entre leurs cycles de reproduction et ceux des algues. En 1969, Whittaker les a classés dans un règne à part, celui des *Mycota*, sur la base de plusieurs caractères particuliers comme **l'absence de chlorophylle** et d'amidon.

Les champignons, ou mycètes ou *Mycota*, constituent un règne, ce sont des organismes eucaryotes apparentés aux végétaux, mais qui s'en distinguent, en particulier, par leur mode de nutrition non photosynthétique.

Le groupe des champignons compte 120 000 espèces. Ces organismes nécessitent beaucoup d'eau pour accomplir leur cycle biologique et ils ne vivent donc que sur des milieux terrestres très humides. Ne possédant jamais de chlorophylle ni de plastes, ils sont **hétérotrophes** pour le carbone, contrairement aux autres groupes végétaux. Les premiers champignons seraient apparus au précambrien il y a 600 millions d'années.

Les champignons ont des formes de vie très variées. Les plus simples sont unicellulaires, mais la plupart sont pluricellulaires. Ils se nourrissent des matières organiques de leur environnement en sécrétant des enzymes qui « digèrent » les divers composés organiques qui les entourent et les réduisent en petites molécules solubles. Celles-ci diffusent au travers des parois de leurs cellules.

### **1- Mode de vie et de nutrition des mycètes :**

Les champignons sont hétérotrophes et doivent se débrouiller comme ils peuvent pour se procurer le carbone nécessaire à leur vie. Ils exploitent pour cela leur environnement immédiat, absorbant les matières organiques de trois façons différentes:

- **Les champignons saprophytes** : exploitent la matière organique morte ou en décomposition (feuilles mortes, débris végétaux ou animaux, excréments).

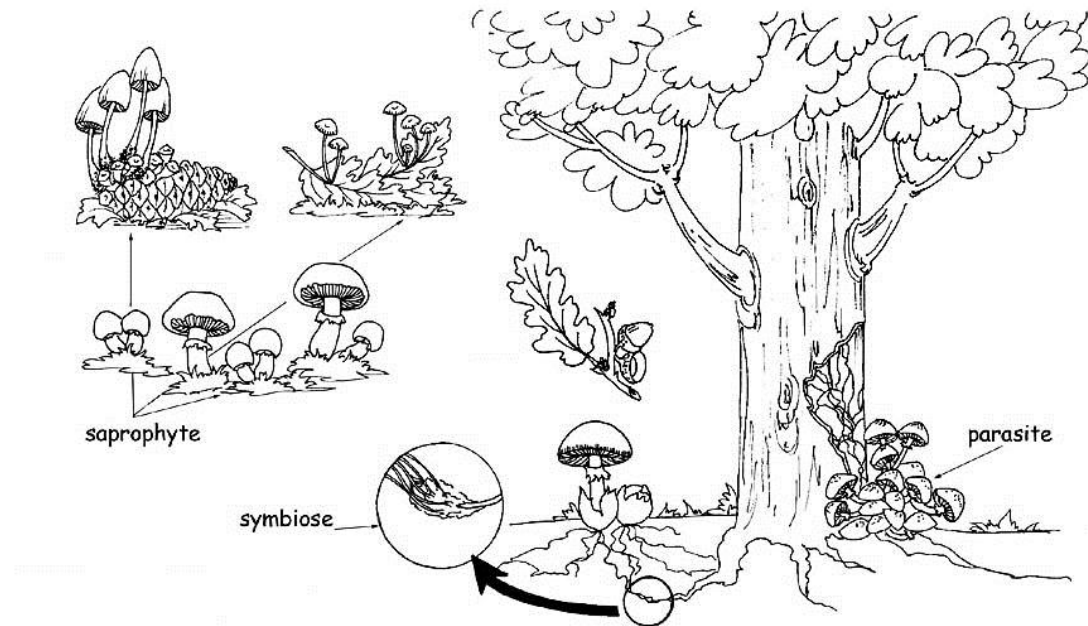
- **Les champignons parasites** : exploitent la matière organique vivante, qu'il s'agisse de végétaux, d'animaux (y compris les hommes), voire d'autres champignons.

- **Les champignons symbiotiques** : D'autres champignons préfèrent la symbiose ou le mutualisme, association avec un végétal autotrophe, chacun des deux organismes tirant profit de cette association. La symbiose permet parfois de créer des êtres nouveaux, comme les lichens ou les mycorhizes.

Le lichen est ni une mousses, ni une plante, ni un organisme individuel, mais plutôt une association symbiotique qui réunit un champignon et une algue.

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

Les cellules des champignons libèrent des enzymes. Celles-ci décomposent les substances complexes comme les protéines, les graisses et les sucres, en substances plus simples qui pénètrent dans les cellules des champignons en compagnie de l'eau, et des sels minéraux.



**Figure1-** Modes de nutrition des mycètes

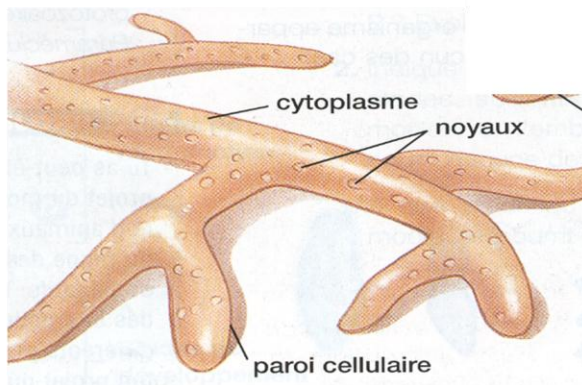
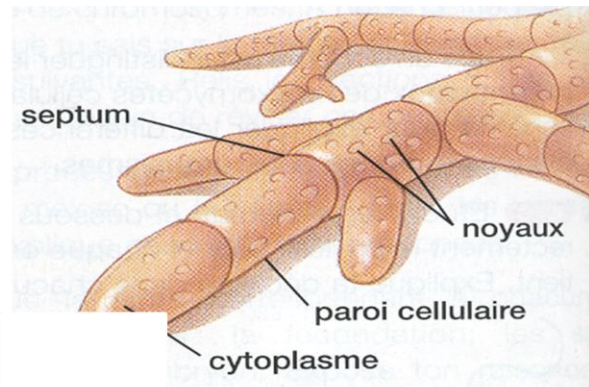
## 2- Morphologie :

Le champignon est un **thallophyte**, c'est-à-dire qu'il ne possède ni feuilles, ni tiges, ni racines. Son appareil végétatif ou thalle, est constitué de cellules allongées qui peuvent être cloisonnées et compartimentées entre elles, elles sont alors appelées **hyphes**. Chaque compartiment est une cellule à un ou plusieurs noyaux.

Lorsqu'il n'y a pas de cloison les séparant les unes des autres, on parle alors de **siphon (cénocyte)** ou hyphes non cloisonnés. Les hyphes s'associent pour former un réseau de filaments sous forme d'enchevêtrement appelé **mycélium**.

Le **mycélium** est la partie végétative des champignons composé d'un ensemble de filaments, plus ou moins ramifiés, appelés hyphes.

- A** Cet hyphe est cloisonné par des **septums**, qui le divisent en cellules individuelles.



- B** Cet hyphe **sans septum** ressemble à une cellule multinucléée et ramifiée de grande taille.

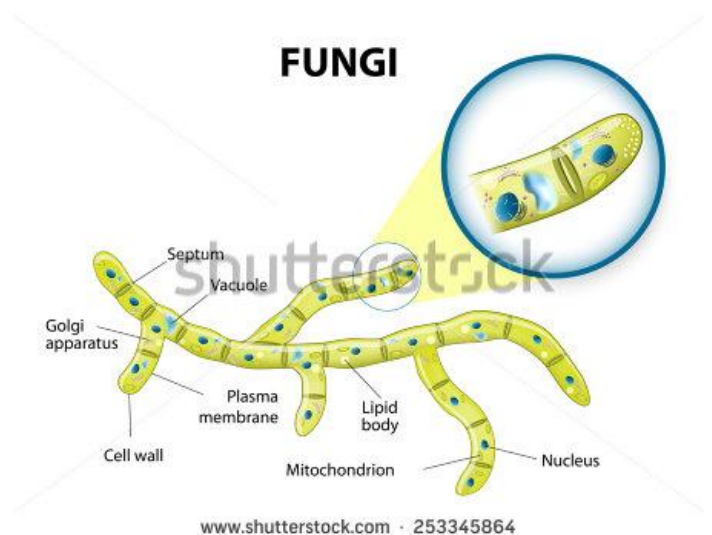
**Figure2-** Hyphe cloisonné et siphon

### 3- Cytologie :

- Le cytoplasme contient des mitochondries, un réticulum avec des ribosomes, des vésicules protéiques, des microtubules, du glycogène et des granulations lipidiques.

- La membrane cytoplasmique est entourée d'une paroi de structure complexe formée de glucides, polysides simples (mananes, glucanes, cellulose), polysides aminés (chitine, chitosane), stérols (principalement l'ergostérol) et des polyols.

- Les champignons noirs possèdent de la mélanine à des concentrations parfois importantes dans la paroi.





#### 4- **Reproduction :**

Afin de se reproduire, les champignons utilisent trois moyens :

La fragmentation.

Le bourgeonnement.

La spore.

##### a- **La fragmentation :**

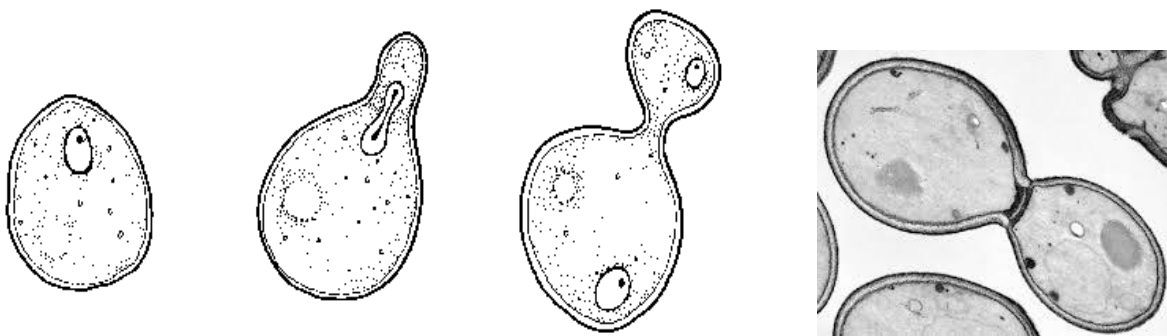
C'est la méthode **asexuée** la plus simple. Un petit morceau (fragment) se sépare de la masse principale et devient un nouvel individu.

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

##### b- **Le bourgeonnement:**

Les **levures** (unicellulaires) se reproduisent de façon asexuée par bourgeonnement. Elles font une copie du noyau et un petit bourgeon commence à se former sur la paroi cellulaire.

Ce bourgeon, qui contient le nouveau noyau continue de grandir et forme une nouvelle cellule indépendante.



**Figure4-** Bourgeonnement des levures

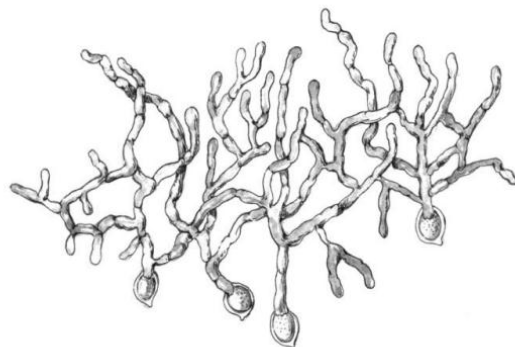
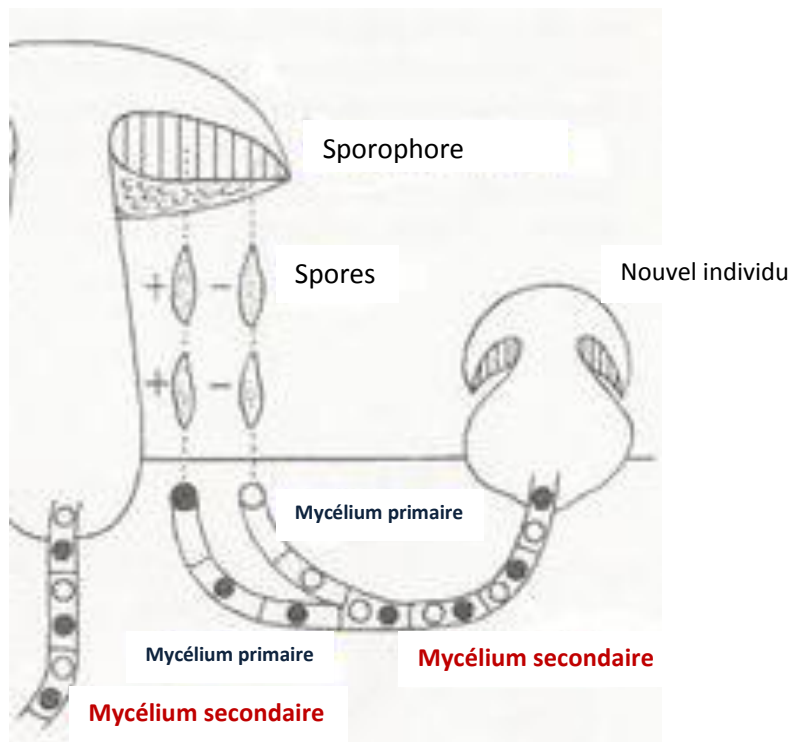
##### c- **Les spores**

Les champignons, produisent des spores de façon **sexuée ou asexuée** qui sont disséminées par le vent.

Les spores sont produites à l'intérieur de compartiments spécialisés des hyphes appelés **asques, basides ou zygosporanges**.

La germination d'une spore donne naissance à un filament mycélien haploïde ( $n$  chromosomes) appelé **mycélium primaire**. Mais ce dernier reste stérile. Il lui faut rencontrer un autre filament primaire porteur d'un sexe opposé. Cette rencontre donnera un **mycélium secondaire** fertile porteur de cellules à deux noyaux ( $2$  chromosomes). Les filaments mycéliens se ramifient et divergent dans toutes les directions. Dans des conditions idéales, le mycélium forme alors un disque à la surface du substrat.

Lorsqu'un mycélium a accumulé suffisamment de réserves et que les conditions climatiques sont favorables, un primordium se développe jusqu'à former un sporophore (partie visible du champignon résultant de la fusion de filaments du mycélium) qui donnera à son tour naissance à des spores.



**Figure5-** Germination des spores et formation des mycéliums primaires et secondaires.

### 5- Taxonomie des mycètes :

Les « vrais champignons » ou Amastigomycota ou Eumycètes comprennent quatre embranchements (ou phylum) :

Deuteromycota (les deutéomycètes ou champignons imparfaits)

Zygomycota (les Zygomycètes)

Ascomycota (les ascomycètes)

Basidiomycota (les basidiomycètes)

Le groupe des oomycètes est retiré du règne des mycètes car il est plus proche aux algues.

Les chytridiomycètes sont un groupe de champignons très mal connu.

**Principe de la nomenclature des rangs taxinomiques en mycologie.  
Exemple avec *Aspergillus nidulans*.**

Rangs taxinomiques	Exemple : <i>Aspergillus nidulans</i>
Règne : champignon ( <b>Fungi</b> )	Fungi
Division ou phylum : -... <b>mycotina ou mycota</b>	Ascomycotina
Classe -... <b>mycètes</b>	Euascmycètes
Ordre -... <b>ales</b>	Eurotiales
Famille -... <b>aceae</b>	Trichocomaceae
Sous famille... <b>adeae</b>	
Genre espèce :	
stade télémorphé (sexué)	<i>Emericella nidulans</i>
stade anamorphe (asexué)	<i>Aspergillus nidulans</i>

## 1- Les Deutéromycètes :

Deutéromycètes ou «champignons imparfaits» appartiennent aux champignons à hyphes septés, se multipliant de façon asexuée (végétative) . On ne connaît pas encore leur forme de reproduction et de sexualité ( s'ils en ont une).

Il s'agit donc d'un groupe artificiel ne constituant pas une vraie "classe" de champignons. Il n'a été créé que pour classer les champignons septés que l'on ne sait pas classer ailleurs du fait de l'absence (ou de la non connaissance) de leur reproduction sexuée. Les deutéromycètes regroupent le plus grand nombre des espèces d'intérêt médical.

Comme précisé ci-dessus il est artificiel de classer les Deutéromycètes, mais l'utilisation de critères de classification s'avère utile lorsqu'on veut identifier un champignon ne présentant pas de reproduction sexuée. Il ne s'agit que de regroupements morphologiques, et pas de vraies classes, ordres et familles. Certains auteurs utilisent les termes de morpho-genre, ou morpho-espèce, etc.

La classification distingue trois principaux groupes en fonction du regroupement ou non des appareils sporifères.

- Les Agonomycètes : des levures (unicellulaires)
- Les Coelomycètes : les appareils reproducteurs sont regroupés.
- Les Hyphomycètes : les appareils reproducteurs sont dispersés.

## 2- Les Ascomycètes :

### 2-1- Généralités :

Les Ascomycètes sont caractérisés par des spores formées à l'intérieur de cellules mères sous forme de sacs appelées **asques**. De ce fait, les spores sont nommées **ascospores**.

Plus de 48000 espèces d'Ascomycètes ont été décrites à ce jour. Le mycélium est cloisonné. Beaucoup sont des moisissures, et se reproduisent le plus souvent de façon asexuée (pas de production d'asques) (Ex.: Les Penicillium. Moisissures souvent vertes)

Les levures sont des Ascomycètes particuliers, qui ne présentent plus de mycélium. Elles sont constituées de cellules isolées se reproduisant par bourgeonnement. A l'état naturel, elles se développent sur la peau des fruits.

Certains Ascomycètes forment des carpophores visibles à l'œil nu, dont certains sont comestibles (Ex.: les Truffes, les Morilles, les Pezizes).

Plus de la moitié des espèces d'ascomycètes s'associent aux algues par symbiose pour former des lichens, aux racines des végétaux pour former les mycorhizes.

De nombreuses espèces sont utilisées pour la fabrication d'antibiotiques, de médicaments, pour des fermentations. Certaines sont très recherchées pour leur valeur gastronomique (Morilles, Truffes). Quelques-unes sont de redoutables parasites des végétaux, des animaux et des hommes.

Ils comprennent aussi les agents pathogènes les plus dévastateurs pour les plantes Ex : truffes, morilles, l'ergot de seigle, levures, tavelures

Les spores sont produites à l'intérieur de sacs (les asques) et sont projetées, à maturité, à l'extérieur par ouverture de l'asque.

## **2-2- Reproduction :**

### **a- Reproduction asexuée :**

Les ascomycètes fabriquent des conidiospores ou conidies qui germent pour donner de nouveaux hyphes cloisonnés qui vont développer des conidiophores et des conidies et ainsi de suite.

### **b- Reproduction sexuée :**

- Des mycéliums de types sexuels opposés s'entrelacent et produisent un gamétocyste appelé ascogone

- L'ascogone possède ainsi un échantillon des noyaux des deux parents.

- L'ascogone produit des hyphes qui forment un ensemble ascocarpe

- Les extrémités des hyphes sont séparées en asques. La fusion des noyaux s'y produit, suivi d'une méiose et d'une mitose, ce qui donne huit noyaux haploïdes. Une paroi cellulaire se développe autour de chaque noyau pour donner des ascospores

- Arrivées à maturité, toutes les ascospores sortent par l'extrémité de l'asque.

- La germination des ascospores donne naissance à des nouveaux mycéliums haploïdes

## **2-3- Exemples d'Ascomycètes :**

### **a- Le genre *Penicillium* :**

Le nom *Penicillium* est donné à un genre de champignons qui faisait partie des champignons imparfaits (Deutéromycètes)

Actuellement la forme de reproduction sexuée chez quelques espèces du genre *Penicillium* est connue, et ce genre est également classé avec l'embranchement des *Ascomycota*.

Ce sont des contaminants fréquents de nombreux substrats, notamment des aliments. Certains d'entre eux produisent des métabolites toxiques pour les mammifères.

Les *Penicillium* sont très répandus dans l'environnement, ce sont des contaminants alimentaires fréquents, mais certaines espèces sont utilisées par l'industrie : *P. roqueforti*, *P. camemberti*, *P. nalgiovense*.

Certaines espèces produisent des métabolites d'intérêt médical ; Fleming en 1928, a été à l'origine de la découverte de la pénicilline à partir d'une souche de *P. notatum*.

Très peu d'espèces sont incriminées en pathologie humaine.

• **Position systématique :**

**Règne :** Fungi

**Embranchement :** Ascomycota

**Sous- embranchement :** Pezizomycotina

**Classe :** Eurotiomycetes

**Sous classe :** Eurotiomycetidae

**Ordre :** Eurotiales

**Famille :** Trichocomaceae

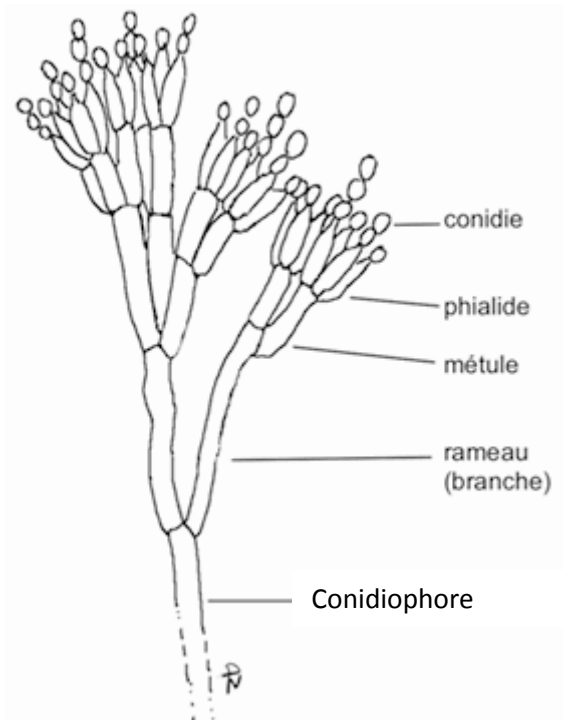
**Genre :** *Penicillium*

• **Description :**

Les *Penicillium* sont caractérisés par la présence de conidiophores dressés, plus ou moins ramifiés, terminés par des phialides.

Les phialides sont disposées en verticilles à l'extrémité des conidiophores. Elles sont insérées directement (*Penicillium* monoverticillés) ou par l'intermédiaire d'une rangée de métules (*Penicillium* biverticillés) ou de deux rangées successives de métules (*Penicillium* triverticillés) sur les conidiophores.

Les conidies produites en grand nombre par les phialides restent en chaîne et contribuent à donner à la tête conidienne un aspect en pinceau (ou pénicille).



**Figure 6-** Structure d'un Pénicillium

- **Reproduction :**

- **Reproduction asexuée :**

Quand les conditions sont favorables, les conidies germent et donnent un mycélium végétatif qui va se développer pour donner conidiophore qui porte des métules et des phialides et à l'extrémité s'alignent de nouvelles conidies.

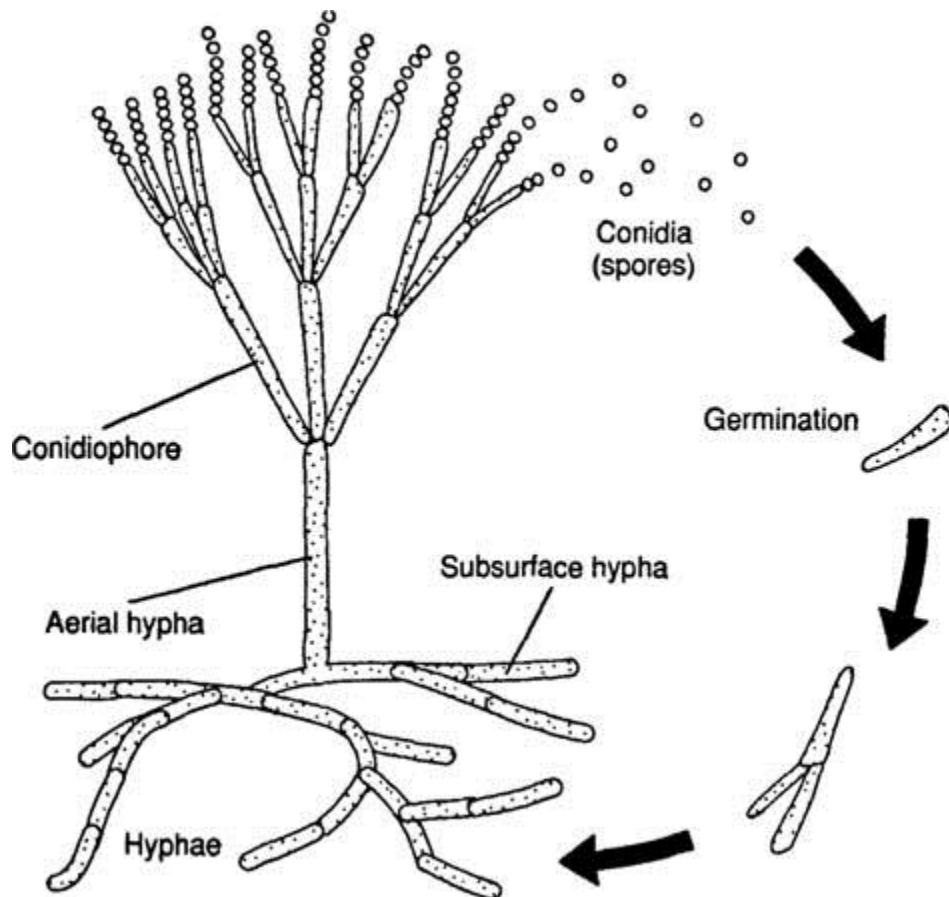
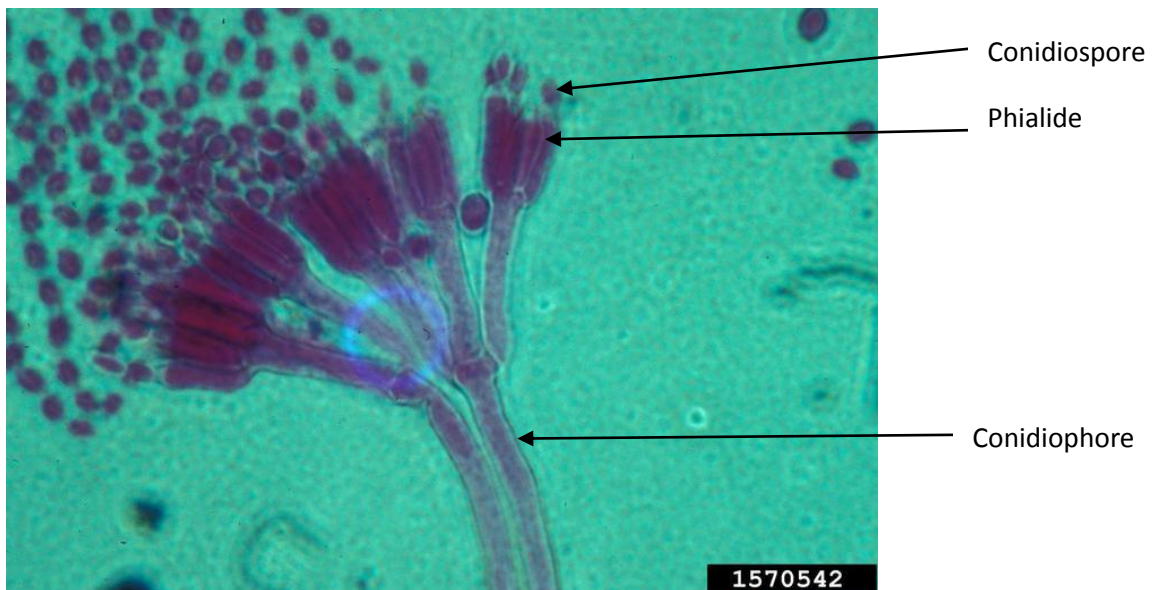


Figure 7- Reproduction asexuée chez *Penicillium*





**Figure8-** Observation microscopique du genre *Penicillium*

### ▪ Reproduction sexuée :

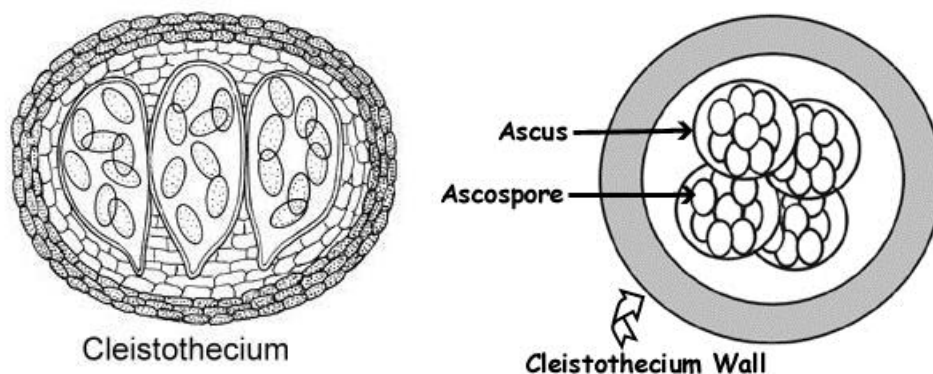
Chez certaines espèces de *Penicillium*, la reproduction sexuée est observée.

- Les spores germent et produisant un filament cloisonné haploïdes.
- Ces filaments se ramifient abondamment et constituent le mycélium primaire.
- Lorsque deux mycéliums primaires se rencontrent, ils peuvent entrer en phase de reproduction sexuée.

- Sur un des deux mycéliums primaires, se différencie alors une cellule multinucléée qui se comporte comme un gamétocyste mâle (antheridium). A proximité immédiate de celui-ci, l'autre mycélium primaire différencie une grosse cellule multinucléée, l'ascogone, ayant valeur de gamétocyste femelle.

- L'ascogone et l'antheridium fusionnent pour donner une cellule mère d'asque à 2n chromosomes.
- La cellule mère d'asque va subir une méiose puis une mitose pour donner 8 ascospores.
- Chaque huit ascospores vont rester enfermés dans des asques qui sont à leur tours enfermés dans un ascocarpe appelé (**cleistothèce**).
- A maturité, les cleistothèces s'éclatent pour libérer les ascospores.
- Les ascospores germent et donnent un mycélium végétatif haploïde (n) qui soit va donnera un conidiophore qui va se développer jusqu'à avoir des conidies pour une reproduction asexuée soit il refait un cycle de reproduction sexuée.

**Cycle de vie :** monogénétique haplophasique.



**Figure9-** La cleistothèce

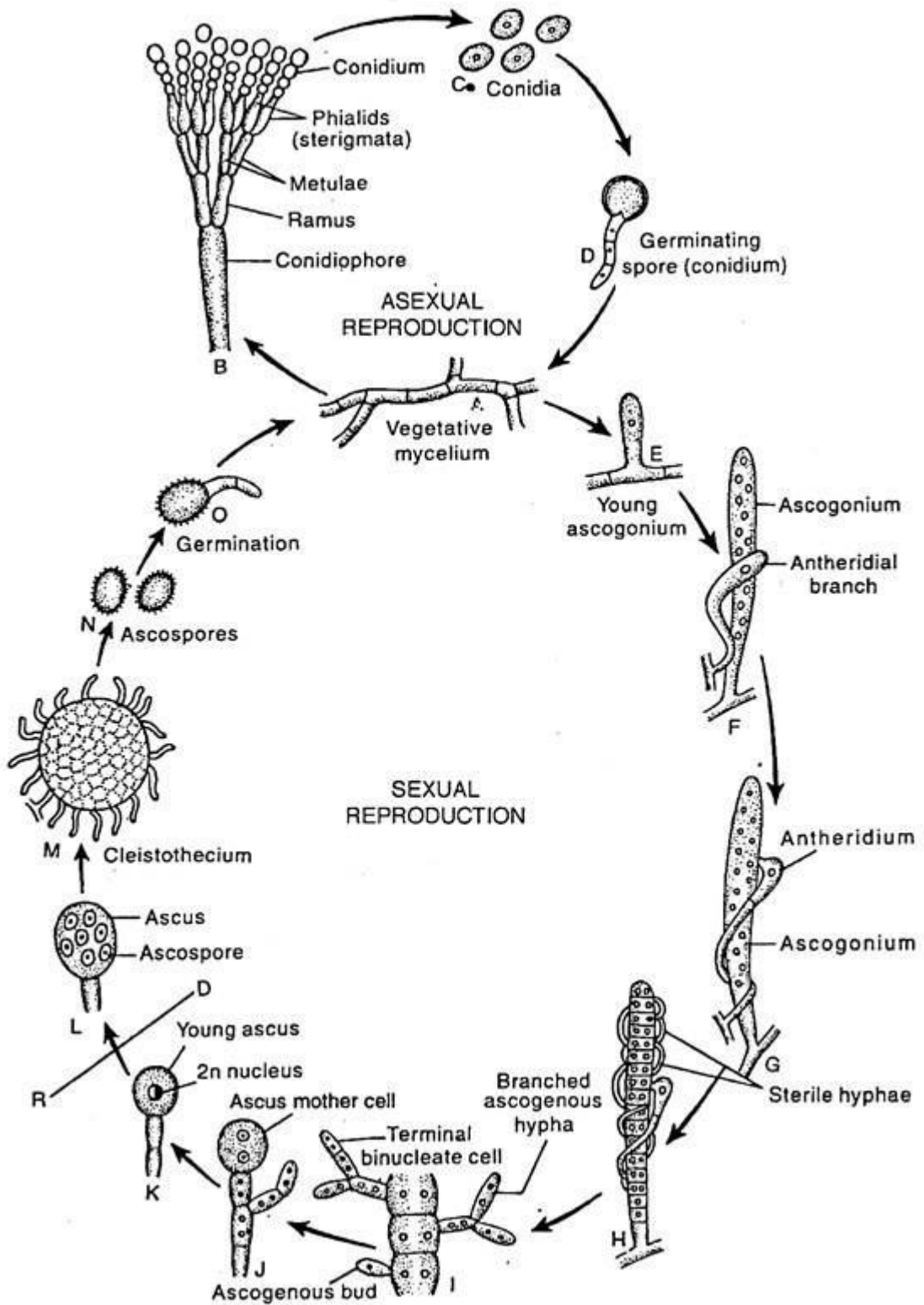
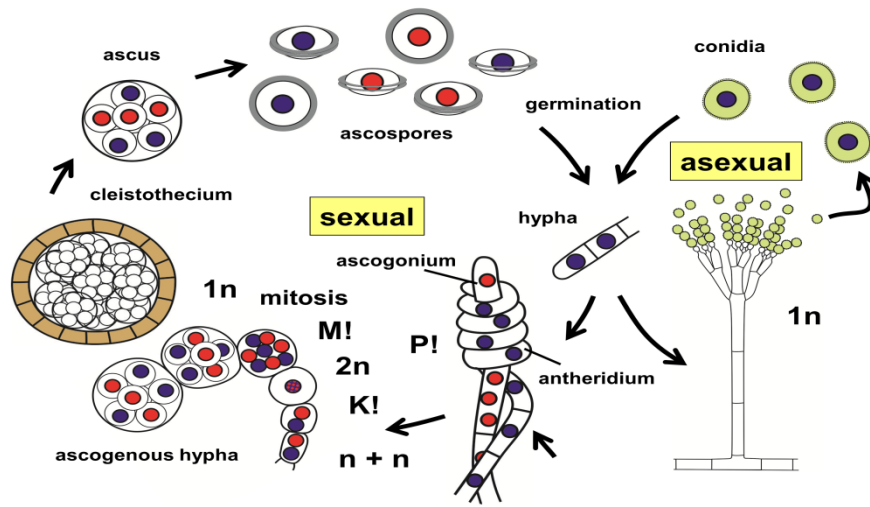
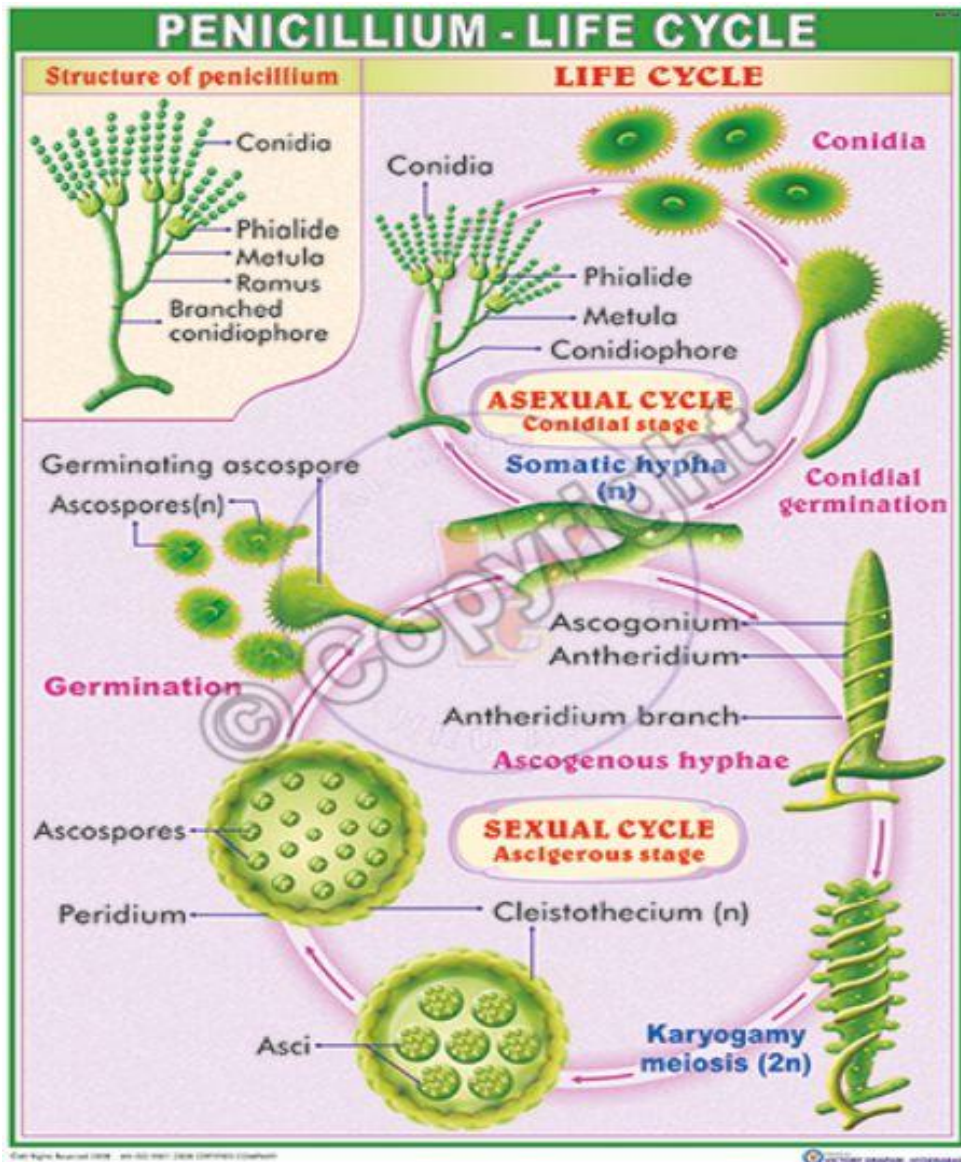


Figure 10- Cycle de vie du genre *Penicillium*



© M. Piepenbring, CC BY-SA





**b- Le genre *Morchella* :****• Taxonomie :**

Règne : Mycota

Embranchement : Ascomycota

Classe : Pézizomycètes

Sous-classe : Pézizomycetidées

Ordre : Pézizales

Famille : Morchellacées

Genre : *Morchella***• Description :**

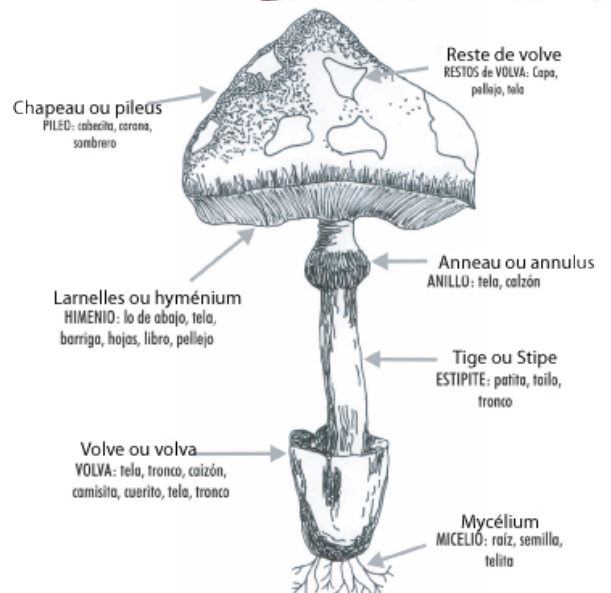
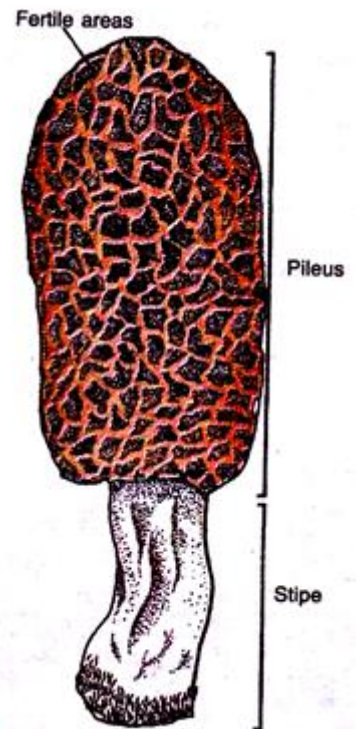
Espèces charnues, humicoles, sylvestres ou praticoles, à l'ascocarpe creux, formé d'un réceptacle (chapeau) ou partie fertile, rond, conique ou cylindrique, creusé d'alvéoles assez profonds, ronds, anguleux ou irréguliers, disposé sans ordre ou en rangées verticales, séparés ou non par des côtes saillantes, au pied adhérent directement à la base du chapeau ou séparé par une dépression ou vallécule profonde ou faible et aux asques cylindriques.

Les Morilles vraies sont toutes caractérisées par un sporophore totalement creux, aussi bien le chapeau que le pied.

Le pied s'insère à la base du chapeau.

Les Morilles coniques sont des champignons assez petits, même s'il y a des exceptions, leur taille ne dépasse généralement pas 10 cm (maximum 20 cm). Leur pied, de couleur blanche, est creux. Leur chapeau est alvéolé, de consistance un peu caoutchouteuse.

Deux groupes peuvent être distingués par leur couleur et leur forme : les Morilles blondes, au chapeau assez semblable à une éponge ronde, et les Morilles brunes, aux alvéoles moins profonds et au chapeau conique



Les Morilles aiment les terrains frais, les terrains calcaires, les vergers, les décombres, ou encore les lieux récemment brûlés.

Les hyphes de l'appareil reproducteur sexué forment des asques où sont fabriquées les ascospores.

Les asques sont organisés dans l'**hyménium** à l'intérieur de l'ascocarpe.

L'**hyménium** est la partie fertile du sporophore des champignons. C'est un pseudo-tissu donnant naissance aux spores. Il peut se présenter sous le chapeau, sous forme de tubes, de lames, de plis ou d'aiguillons.

L'ascocarpe est une **apothécie** en forme de coupe garnie intérieurement d'un hyménium constitué d'asques (cellules fertiles) et de paraphyses (filaments stériles).

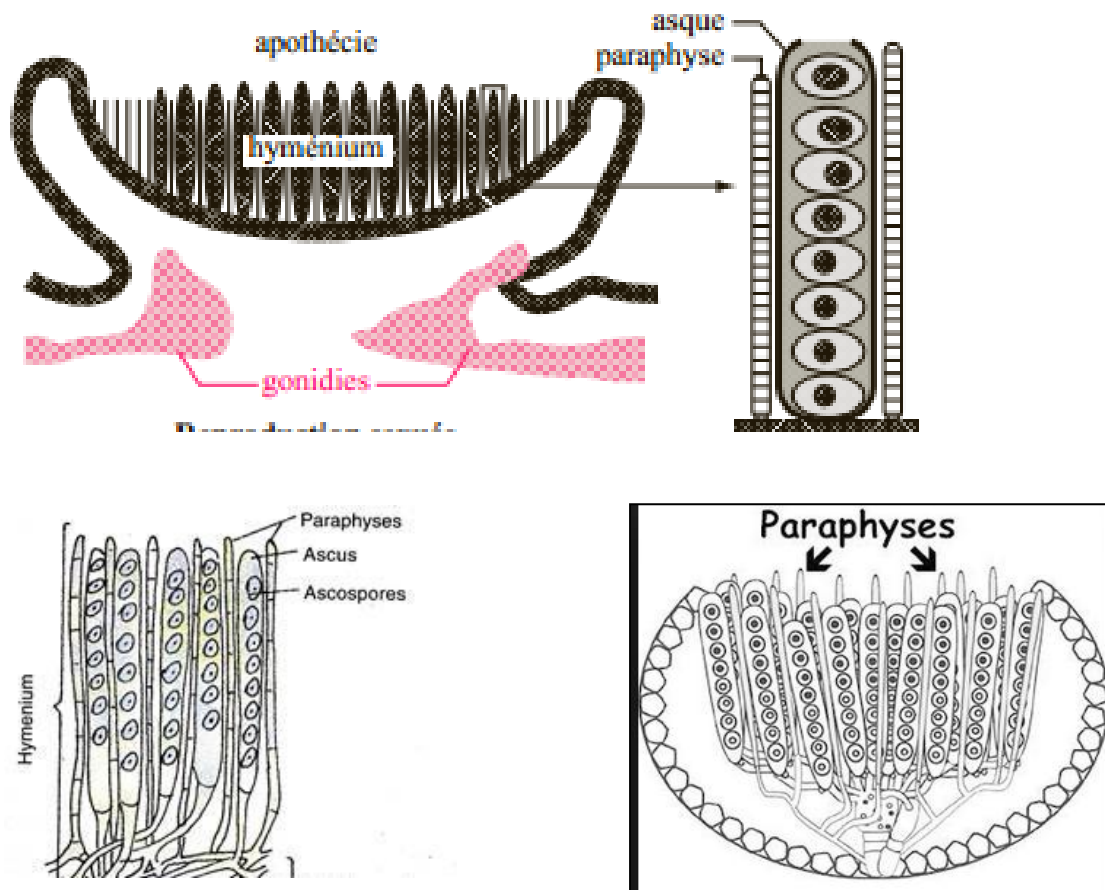


Figure 11- Apothécie et hyménium du genre *Morchella*

• **Reproduction :**

▪ **Reproduction asexuée :**

Les conidiospores germent et donnent un mycélium haploïde qui se développe en conidiophore qui va produire de nouveau des conidiospores.

### ▪ **Reproduction sexuée :**

Le cycle de vie du genre *Morchella* comprend trois générations.

- La première génération gamétophytique est représentée par un **mycélium primaire haploïde**.

- Sur un mycélium primaire se forme le gamétocyste mâle (**anthéridie**).

- Sur un autre mycélium primaire se forme un gamétocyste femelle (**ascogone**)

- Les deux mycéliums primaires de sexes opposés s'entrelacent.

- Le transfert des noyaux mâles dans l'ascogone se fait par l'intermédiaire d'un filament émis par celui-ci, le **trichogyne**, établissant une communication entre l'ascogone et le gamétocyste mâle.

- Dans l'ascogone fécondé, les noyaux mâles et femelles se rapprochent par paires, mais sans cependant fusionner, il y a une fusion entre les deux cytoplasmes sans une fusion des noyaux, c'est une **plasmogamie**.

- La **plasmogamie** donne naissance à une structure très particulière, un **mycélium myctohaploïde** (contient un ascogone avec une copie des noyaux mâles et femelles) qui représente la deuxième génération qui est sporophytique.

- De cette génération sporophytique est issue la seconde génération sporophytique constituée d'un **mycélium dicaryotique** (n+n) qui est un hyphes cloisonné avec des cellules dicaryotiques.

- Les hyphes dicaryotiques vont donner à leurs extrémités des asques (sporocystes) allongés dicaryotiques.

- Les noyaux dans l'asque-mère fusionnent (caryogamie) pour former un noyau diploïde. Ce noyau entre ensuite en méiose pour former quatre noyaux haploïdes.

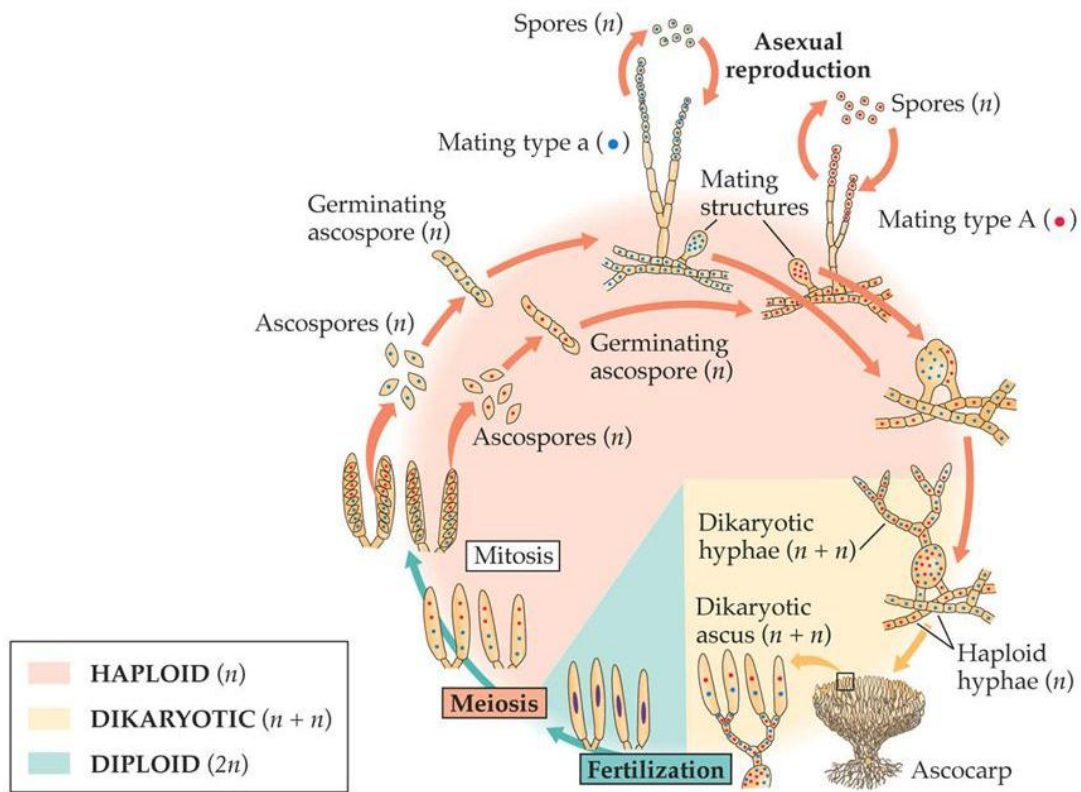
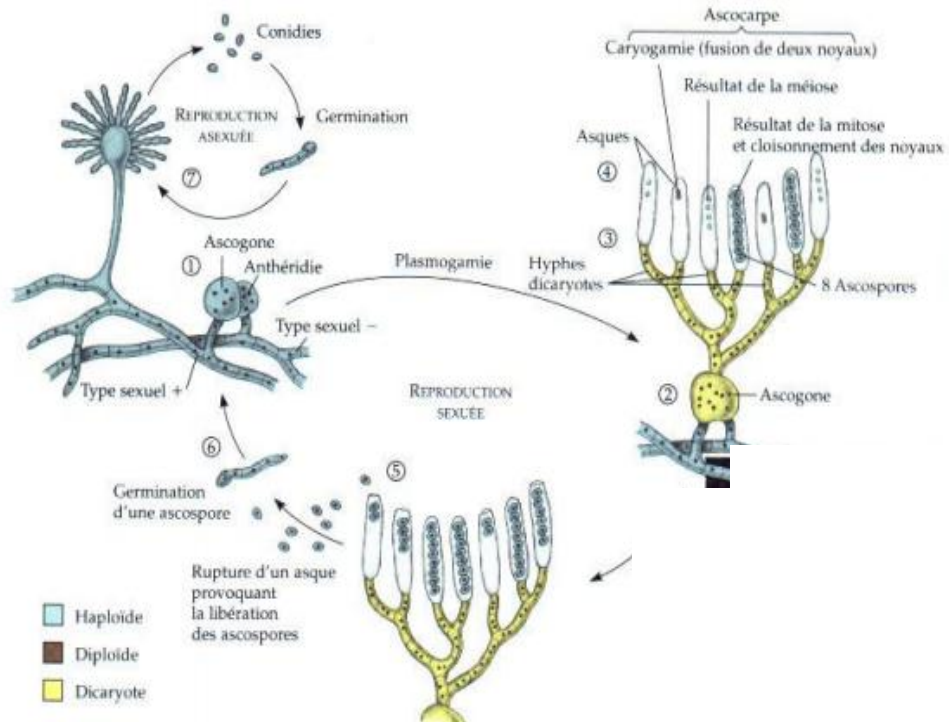
- Chaque noyau haploïde entre en mitose. Il en résulte huit noyaux haploïdes (ascospores)

- Les asques sont organisés dans l'hyménium du sporocarpe au niveau du sporophore.

- Les spores sont expulsées par un opercule s'ouvrant au sommet de l'asque.

- Il s'agit donc d'un cycle trigénétiq ue haplodicyodiplophasique.





LIFE: THE SCIENCE OF BIOLOGY, Seventh Edition, Figure 31.13 The Life Cycle of a Euascomycete © 2004 Sinauer Associates, Inc. and W. H. Freeman & Co.

Figure 12- Cycle de vie du genre *Morchella*

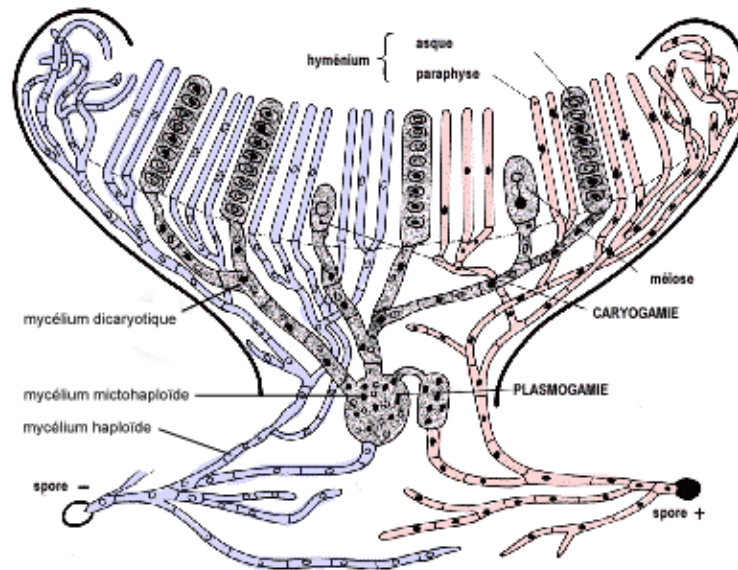
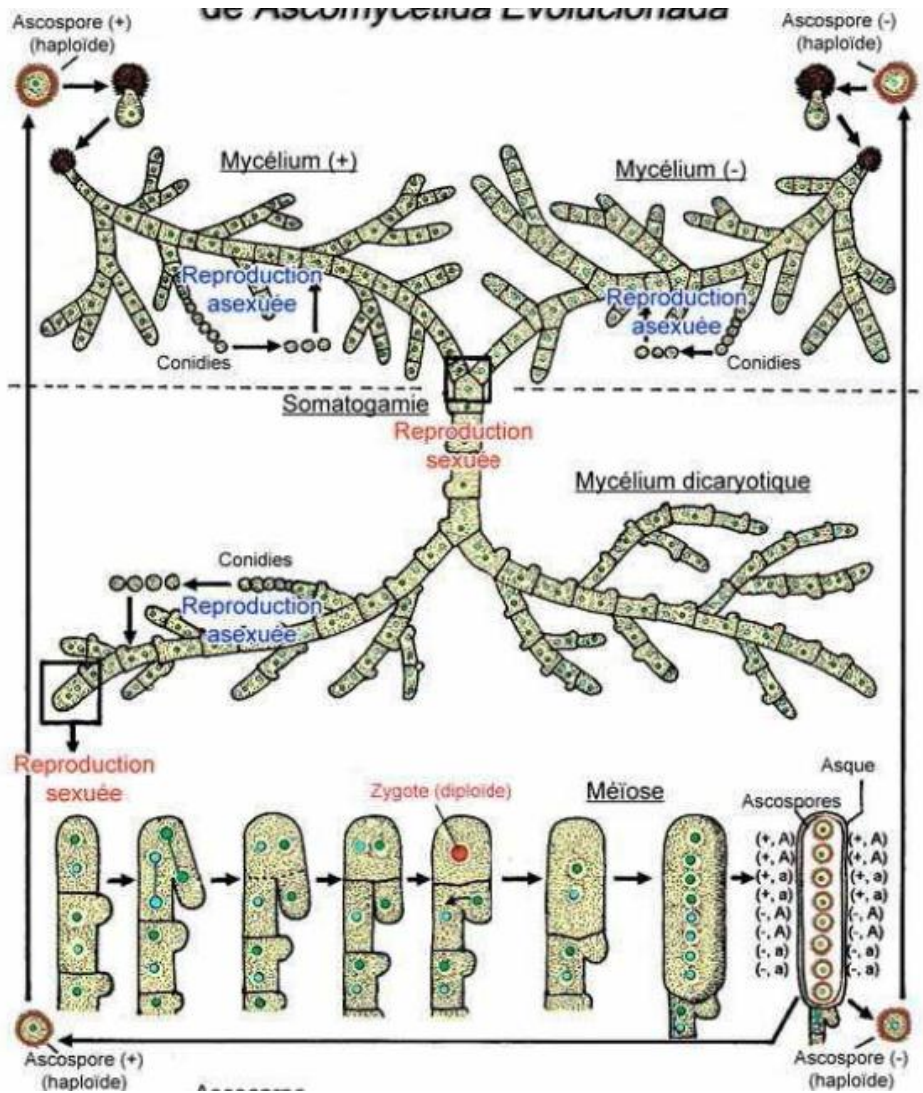


Figure 13- Reproduction asexuée et sexuée chez les ascomycètes.

### **3- Les Zygomycètes :**

#### **a- Généralités :**

Un groupe qui comporte 1000 espèces, ce sont des moisissures, très discrets et de taille le plus souvent microscopique, ce sont des champignons à spores non flagellés, dans lesquels les cellules ne sont pas séparées par des cloisons, leurs hyphes étant cœnocytiques ou siphonnés, avec de nombreux noyaux dans un même siphon.

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

Ils sont souvent des parasites de plantes ou d'animaux. La plupart vivent en milieu terrestre ou sur des matières végétales ou animales en décomposition.

Ils peuvent s'associer aux racines des végétaux pour former des mycorhizes. Le nom de cet embranchement vient des zygosporanges, les structures résistantes qui se forment durant la reproduction sexuée.

On trouve deux ordres selon le nombre des spores. Une spore unique (Entomophthorales) ou un grand nombre de spores (Mucorales).

Les spores sont produites au sein du sporocyste et libérées après rupture de la paroi du sporocyste.

#### **b- Reproduction :**

- **Reproduction asexuée :**

Les spores germent directement pour donner un nouvel hyphes avec un zygosporange qui libère des spores.

- **Reproduction sexuée :**

C'est une **cystogamie**.

Certaines espèces sont homothalliques (auto-fertile) et d'autres hétérothalliques (auto-stérile). Chez les espèces hétérothalliques, la reproduction sexuée nécessite deux colonies physiologiquement compatibles (désignées + et -).

- Des mycéliums de types sexuels opposés forment des prolongements appelés gamétanges cloisonnés à plusieurs noyaux.

- Les gamétanges haploïdes fusionnent et forment un zygosporange diploïde.

- La cellule se recouvre d'un revêtement épais et rugueux pour résister aux rigueurs du climat.

- Lorsque les conditions s'améliorent, la méiose survient

- Le zygosporange germe et produit des petits sporanges

- Les spores haploïdes se dispersent, germent et deviennent des nouveaux mycéliums.

c- **Exemple des Zygomycètes :**

• **Le genre *Rhizopus* :**

▪ **Position systématique :**

**Règne :** Mycota

**Embranchement :** Zygomycota

**Sous embranchement :** Mucoromycotina

**Classe :** Zygomycètes

**Ordre :** Mucorales

**Famille :** Mucoracées

**Genre :** *Rhizopus*

▪ **Description :**

*Rhizopus* est un genre de moisissures communes qui se développent sous forme de filaments dans les sols, sur les fruits et les végétaux en décomposition et sur le pain. Il fait partie de l'ordre des *Mucorales*.

Le hyphe est un siphon (sans cloison), multinuclé, à noyaux haploïdes, et à croissance apicale, possédant une paroi de chitine et de glucanes.

Le protoplasme renferme de nombreuses vacuoles qui repoussent le cytoplasme et les noyaux à la périphérie. Les réserves de nourriture sont stockées sous forme de glycogène et de lipides.

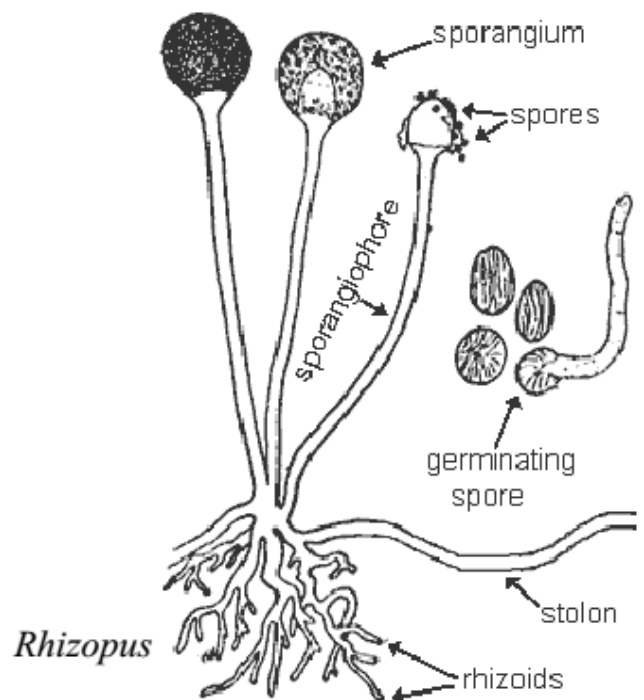
Le genre *Rhizopus* se caractérise par :

- La formation d'appendices en forme de racines, nommés rhizoïdes, qui se forment à la base des sporocystophores (ou sporangiophores) et fixent le mycélium sur le substrat.

- Les sporocystophores non ramifiés et groupés par 3 à 5.

- La présence de stolons, hyphes aériennes grâce auxquelles le champignon se dissémine.

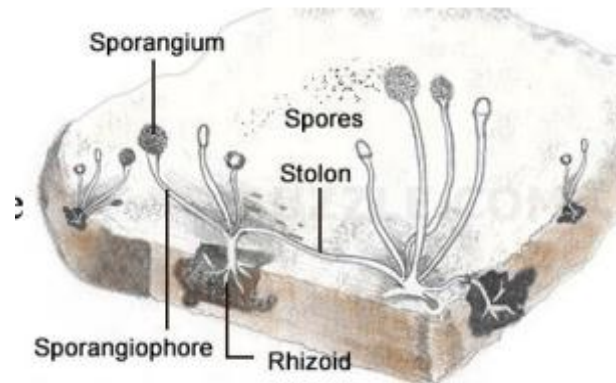
- Le sporocyste avec, dans le prolongement de l'axe du sporocystophore, une formation globuleuse, appelée columelle, qui s'effondre en une structure en forme d'ombelle



avec l'âge.

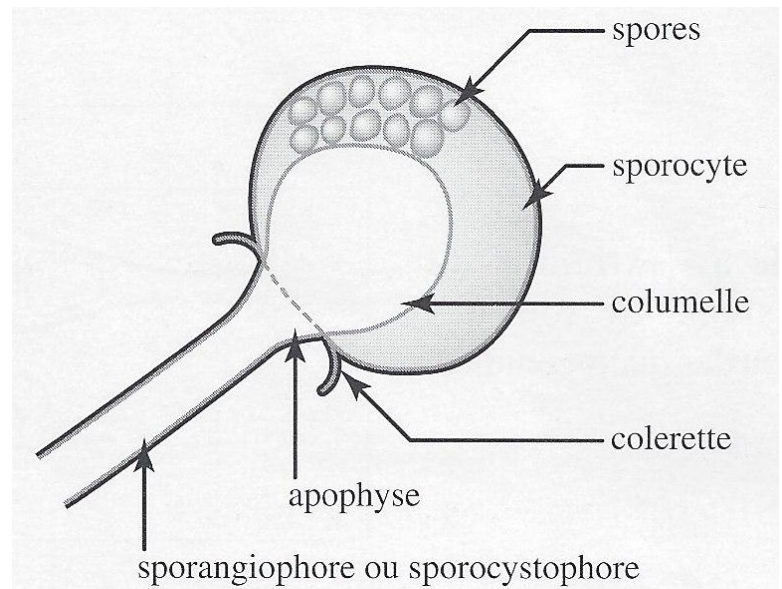
- Les sporangiospores munies de parois épaisses striées.

Le mycélium est lâche, extensif, cotonneux devenant brun-noir à maturité. Lorsqu'il envahit le substrat, il se manifeste comme une moisissure duveteuse, blanchâtre puis grise. À la loupe, on distingue clairement les fructifications noirâtres (sporocystophore et sporocystes).



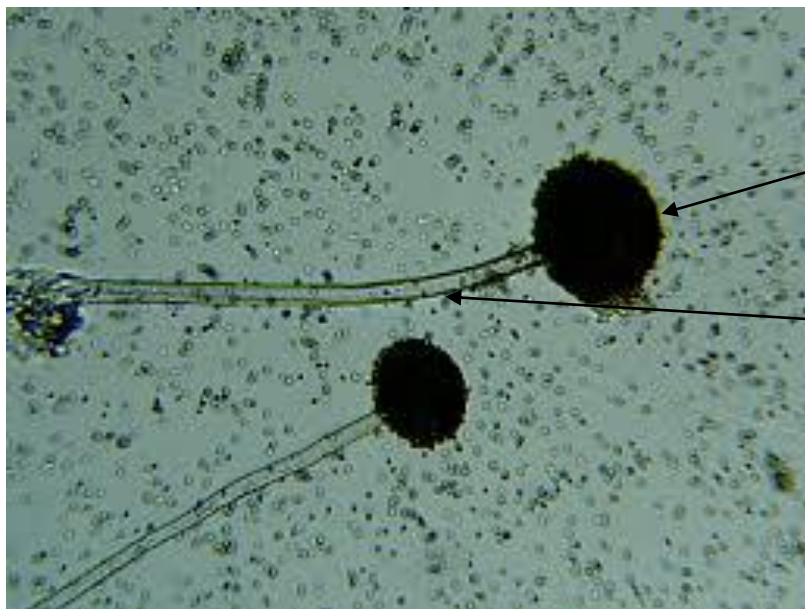
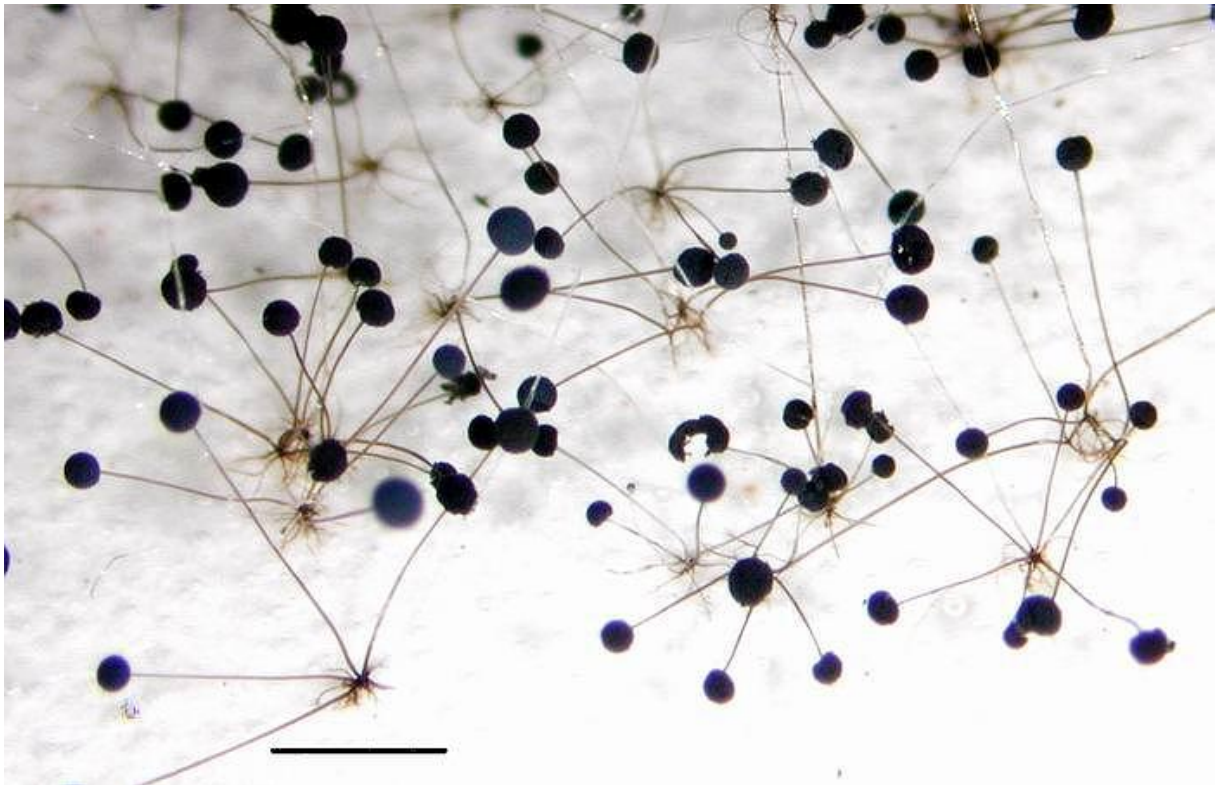
**Figure14-** Développement du *Rhizopus* sur le substrat (morceau de pain)

Les thalles de *Rhizopus* se reproduisent par des sporocystes (sporangies) qui produisent des spores directes, ce sont des vésicules sphériques formées au sommet des axes appelés : **sporocystophores ou sporangiophores**. Le sporocyste se sépare **sporocystophore** par une cloison appelée : **Columelle**.



**Figure 15-** Sporange du *Rhizopus*.





Sporange ou sporocyste

Sporangiophore ou sporocystophore

**Figure 16-** Observation microscopique du genre *Rhizopus*



▪ **Reproduction :**

○ **Reproduction asexuée :**

Les spores formées à l'intérieur du sporocyste ou sporange, sont libérés par la dislocation ou la destruction de la paroi, ensuite chacun peut en germant engendrer un nouveau thalle mycélien.

○ **Reproduction sexuée :**

- Assurée par une **cystogamie**. Le cycle est monogénétique haplophasique.

- Deux siphons mycéliens différents engendrent latéralement de courts rameaux qui croissent l'un vers l'autre ce sont des filaments sexuels l'un mâle et l'autre femelle, bien que morphologiquement différents, leur développement est régit par des hormones par les quelles chacun d'eux agit sur l'autre.

- Quand les deux extrémités se rencontrent, le sommet de chacun d'eux se transforme en un progamétange plurinucléé qui grossit et devient globuleux.

- Après contact, les apex des deux progamétanges s'élargissent. Un septum se développe à l'arrière des apex des deux progamétanges, qui divise chacun en un gamétange et une cellule suspenseur.

- Les parois des deux gamétanges se rompent au point de contact et les protoplastes fusionnent (cystogamie)

- Ils fusionnent en une seule masse qui devient ensuite une **Zygospore (C)**. Cette fusion est une **cystogamie**.

- En même temps dans la zygospore, les multiples noyaux **haploïdes** provenant des deux gamétocystes se multiplient par des mitoses, après les quelles, une partie des noyaux dégénèrent.

- A ce stade, la zygospore est garnit d'un mélange de **noyaux haploïdes** des deux sexes, mais encore impubères de sorte qu'au lieu de copuler, se multiplient indépendamment.

- Ensuite, les noyaux haploïdes qui ne dégénèrent pas, devient pubères et s'accouplent ; on assiste ensuite à une **caryogamie (fusion des noyaux accouplés)** transforme chaque couple en un noyau diploïde (**C**).

- La zygospore devient un œuf à plusieurs noyaux diploïdes.

- Ensuite, tous les noyaux diploïdes dégénèrent sauf un qui, par une méiose se divise en 4 noyaux haploïdes, 3 dégénèrent et la zygospore se trouve finalement contenant qu'un seul noyau haploïde.

- La zygospore passe à l'état de vie ralentie jusqu'à que les conditions redeviennent favorable pour qu'elle germe et donne un nouveau mycélium de *Rhizopus*.

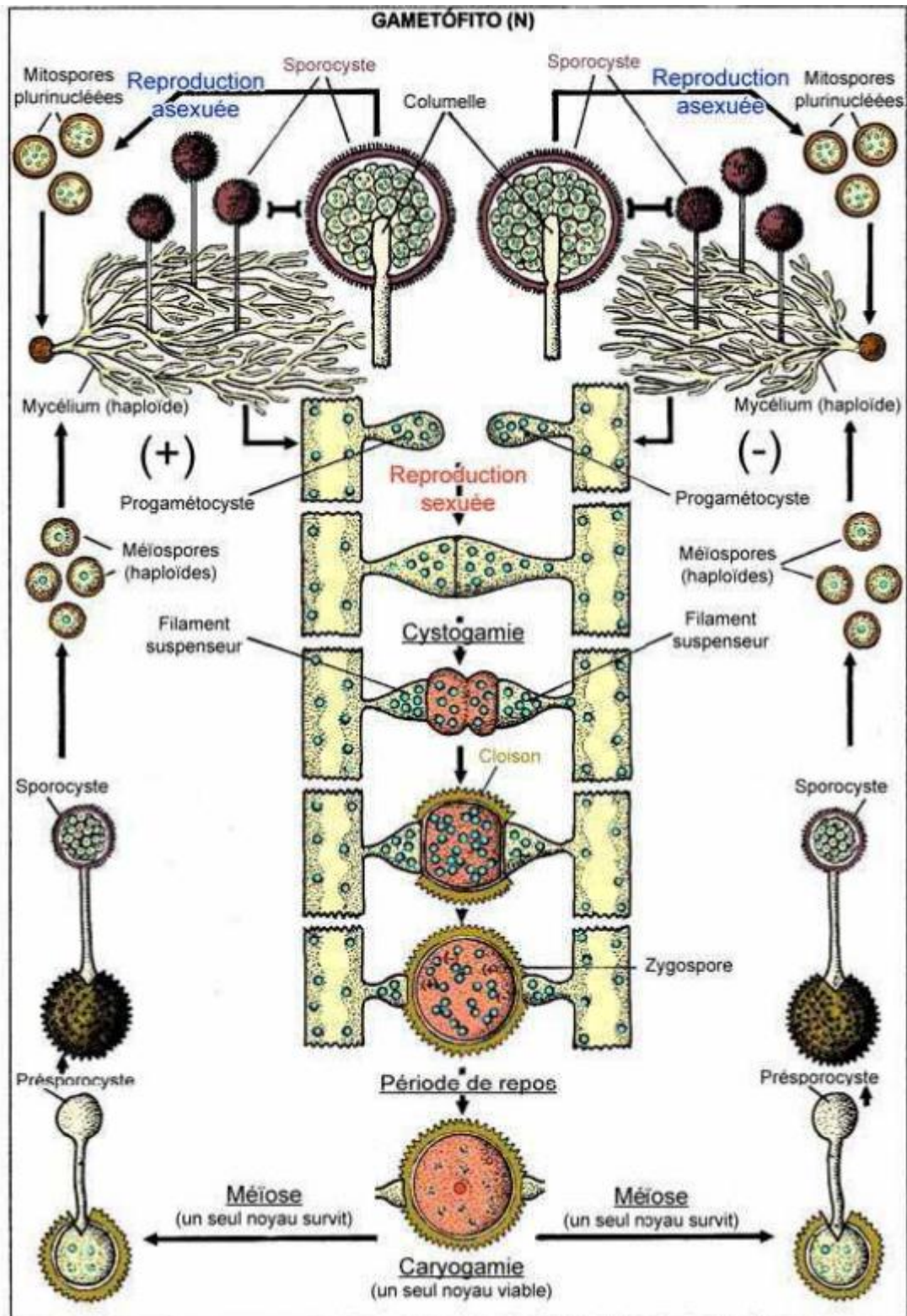
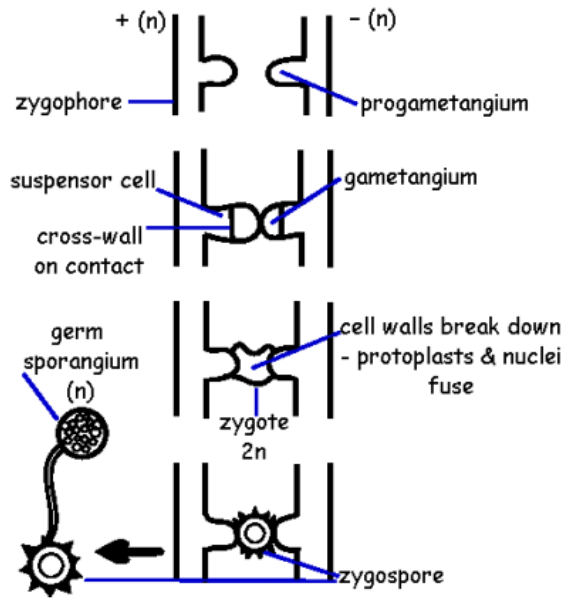
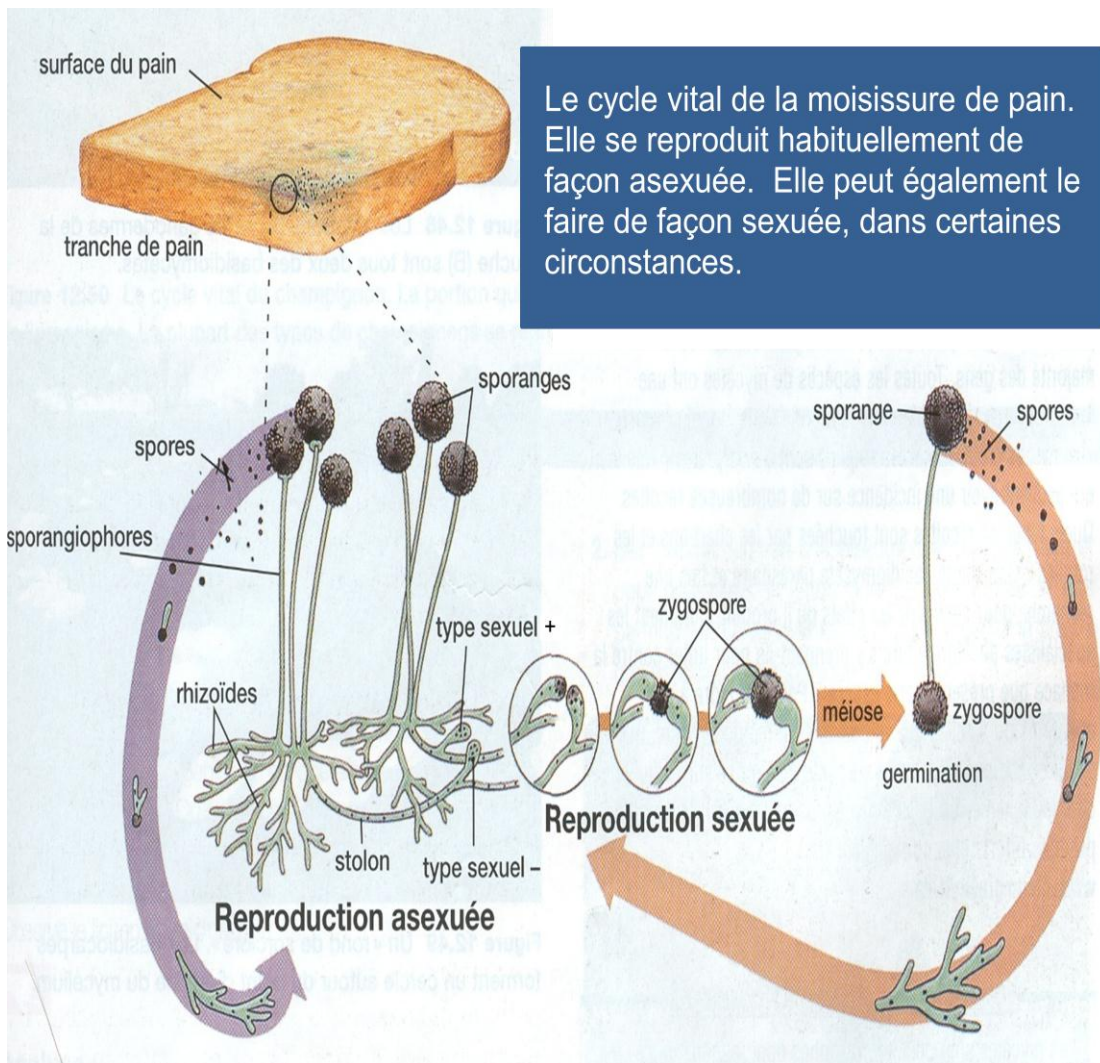


Figure 17- Cycle de vie du genre *Rhizopus*



**Figure 18-** La cystogamie chez *Rhizopus*



Le cycle vital de la moisissure de pain. Elle se reproduit habituellement de façon asexuée. Elle peut également le faire de façon sexuée, dans certaines circonstances.

#### **4- Les Basidiomycètes :**

##### **a- Généralités :**

*Basidiomycota* constitue un vaste embranchement de mycètes qui regroupe la plupart des espèces désignées dans la langue courante par le nom de champignon, ils sont caractérisés par des spores formées à l'extrémité de cellules spécialisées, **les basides** sur des carpospores (chapeaux) et sont dispersées par le vent à maturité.

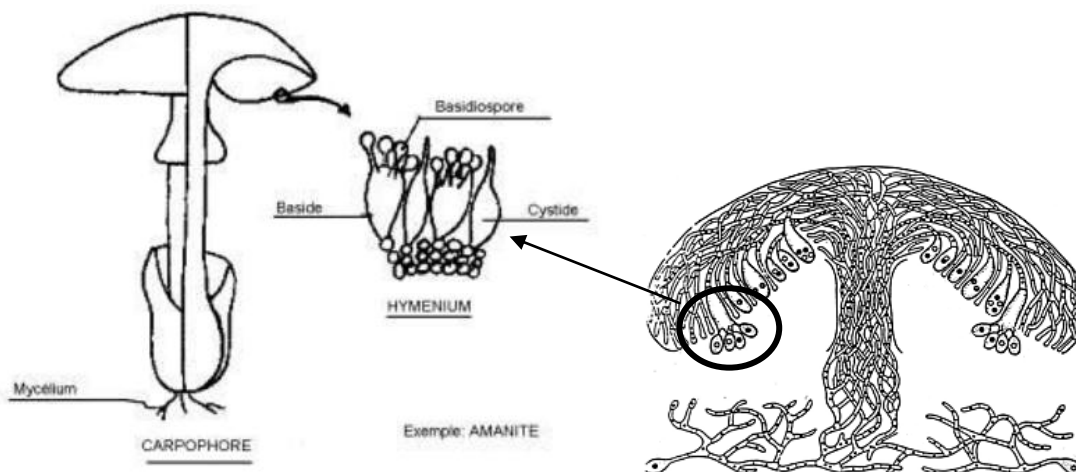
Les basidiomycètes sont couramment appelés « champignons à chapeau ». Ces champignons peuvent être classés sur des critères morphologiques (forme du pied et du chapeau, consistance de la chair, couleur des spores), organoleptiques (odeur et saveur) et chimiques.

L'embranchement comprend environ 25,000 espèces. Ils sont d'importants décomposeurs de bois et d'autres matières végétales. Ex : bolets, agarics,

Amanites.

Le thalle des Basidiomycètes est un **hyphes cloisonnés** qui vit sur la terre riche en humus, les végétaux en décomposition, le vieux bois, les agglomérations de feuilles mortes. Il peut être quelquefois parasite de certaines plantes vivantes. Mais il existe également des Basidiomycètes microscopiques, moins connus qui peuvent être phytopathogènes (rouilles, charbons) ou agent d'altération d'aliments.

L'hyménium d'un basidiomycète est formé de plusieurs basides terminées par des basidiospores et entre ces basides, sont disposées des cystides stériles.



**Figure19-** Le thalle des Basidiomycètes



## b- Reproduction :

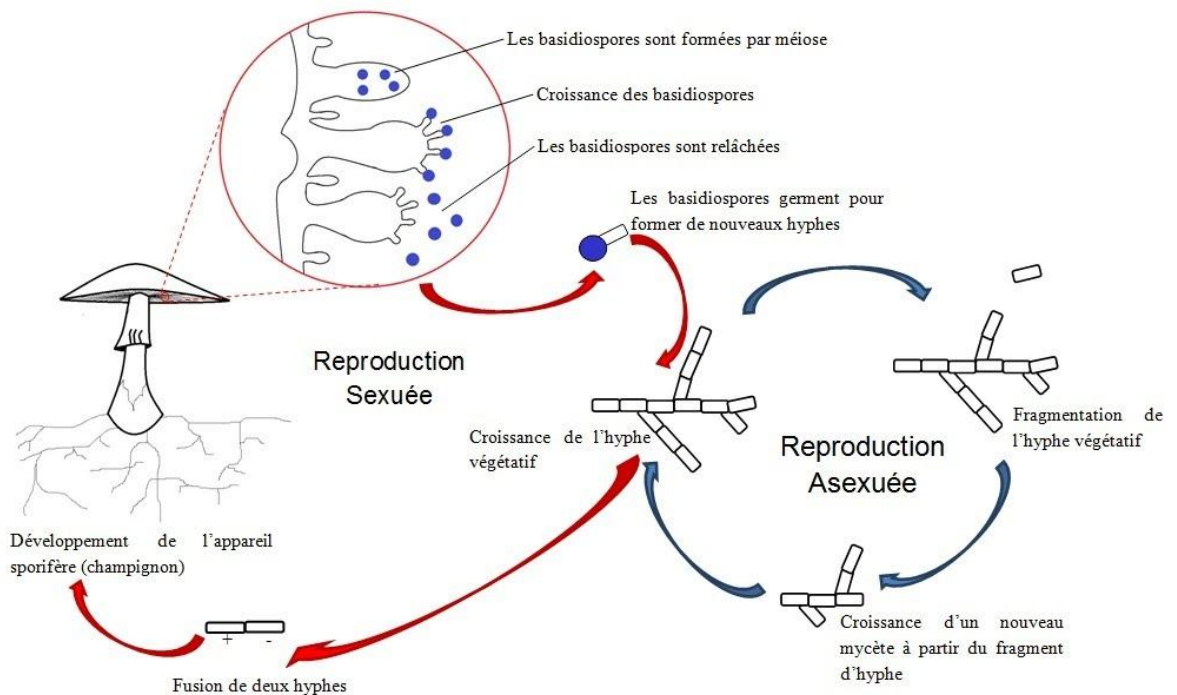
### • Reproduction asexuée :

Des spores asexuées (appelées conidies) se forment à partir des filaments mycéliens par simple multiplication cellulaire. La reproduction asexuée joue cependant un rôle plus secondaire que chez les Ascomycètes.

### • Reproduction sexuée :

Les basidiomycètes se caractérisent par des basides, ce sont des sacs de forme sphérique qui se développent à l'extrémité de certains hyphes généralement situés sous le chapeau (au niveau des lamelles pour les champignons en possédant). Celles-ci, contrairement aux asques, ne renferment pas les cellules sexuelles jusqu'à maturité. La fusion des noyaux haploïdes et la méiose se déroulent dans la baside. La méiose transforme le noyau diploïde en quatre noyaux haploïdes. Ces derniers sortent de la baside grâce à des filaments où ils poursuivent leur maturité et intègrent chacun une basidiospore.

- Les hyphes de types sexuels différents fusionnent.
- Il en résulte un mycélium dicaryote (à deux noyaux) qui se développe plus vite et refoule les hypes parentaux.
- Après s'être développé suffisamment, le mucélium dicaryote développe des masses compactes qui deviennent un champignon avec son chapeau.
- Sous le chapeau, il se développe des basides qui émettent des spores .



**Figure20-** La reproduction chez les Basidiomycètes

**c- Exemple de Basidiomycètes :****Le genre Amanita :****• Position systématique :****Règne :** Mycota**Embranchement :** Basidiomycota**Classe :** Agaricomycètes**Sous classe :** Agaricomycetideés**Ordre :** Agaricales**Famille :** Amanitacées**Genre :** *Amanita***• Description :**

Ce genre comprend un peu plus de 550 espèces, des plus toxiques aux comestibles les plus savoureuses.

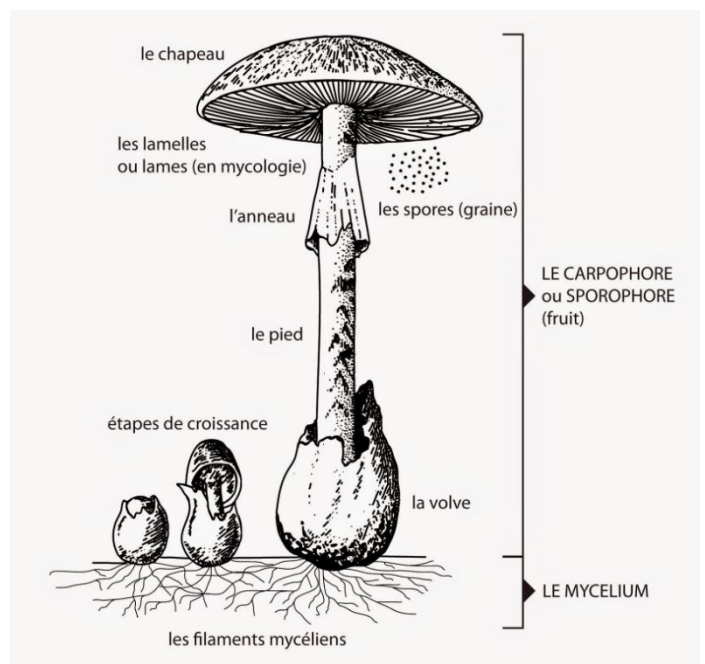
Le sporophore des amanites est un champignon terrestre à sporée blanche et lames libres, de couleur blanche, quelquefois jaune.

Le stipe (pied) est plus ou moins bulbeux souvent chaussé d'une volve plus ou moins visible, membraneuse ou floconneuse.

Un anneau, généralement en forme de collerette ou en « jupe », est présent chez les spécimens jeunes, mais parfois de façon fugace.

La volve est un reste du voile, sorte de « coquille » à l'intérieur de laquelle se forme le sporophore. Au départ, en phase hypogée, les amanites se présentent comme des œufs blancs, le sporophore se développant un peu comme un poussin dans sa coquille. Puis la volve se déchire, mais reste présente à la base du pied du champignon, parfois très effritée.

Des débris de volve subsistent également sur la cuticule de plusieurs espèces, sous forme de plaques ou de verrues.



**Figure 21-** Mycélium et sporophore du genre *Amanita*

**• Reproduction :****▪ Reproduction asexuée :**

Ce mode de reproduction est rare chez les Basidiomycètes, réalisé par la germination des conidies pour donner un nouveau mycélium qui va se donner un carpophore aérien .

**▪ Reproduction sexuée :**

La reproduction sexuée ne se réalise plus avec des organes sexuellement différenciés comme dans le cas des Ascomycètes. Il y a une simple fusion entre deux cellules morphologiquement indifférenciées appartenant à deux filaments voisins. Cette fusion, à l'origine du mycélium secondaire, ne concerne que les cytoplasmes des cellules. C'est la **plasmogamie**. Plus tard, la fusion des deux noyaux parentaux a lieu dans les basides. C'est la **caryogamie** qui correspond au passage de l'état haploïde ( $n$  chromosomes) à l'état diploïde ( $2n$  chromosomes).

Après la formation des noyaux diploïdes, les processus de **méiose** permettent le passage de l'état diploïde ( $2n$ ) à l'état haploïde ( $n$ ). Les noyaux migrent à l'extrémité des basides et sont distribués dans les basidiospores. Le nombre de noyaux dans les basidiospores est variable. Les basidiospores sont ensuite émises dans le milieu extérieur grâce à une augmentation de la turgescence de la baside mûre. Ces basidiospores peuvent ensuite être disséminées par le vent, la pluie ou le déplacement des animaux.

C'est un cycle **digénétique haplodiplophasique** qui passe par les étapes suivantes :

- Deux mycéliums haploïdes de types sexuels opposés subissent la plasmogamie.
- Un mycélium dicaryote se forme. Il croît très vite et refoule des mycéliums parentaux.
- Certains facteurs environnementaux, comme la pluie ou les changements de température, conduisent le mycélium dicaryote à former des masses compactes qui deviennent des basidiocarpes (ici des champignons).
- La surface des lamelles du basidiocape est tapissée de cellules dicaryotes terminales, les basides.
- La caryogamie, qui a lieu dans les basides, donne naissance à des noyaux diploïdes qui subissent la méiose.
- Chaque noyau diploïde donne quatre noyaux haploïdes. la baside produit ensuite quatre appendices qui laissent chacun pénétrer un noyau haploïde. Chaque appendice, rattaché individuellement à la baside, devient une basidiospore.
- À maturité, les basidiospores sont éjectées, tombent du chapeau et sont dispersées par le vent. Les basidiospores haploïdes germent dans un environnement adéquat et deviennent des mycéliums haploïdes éphémères.



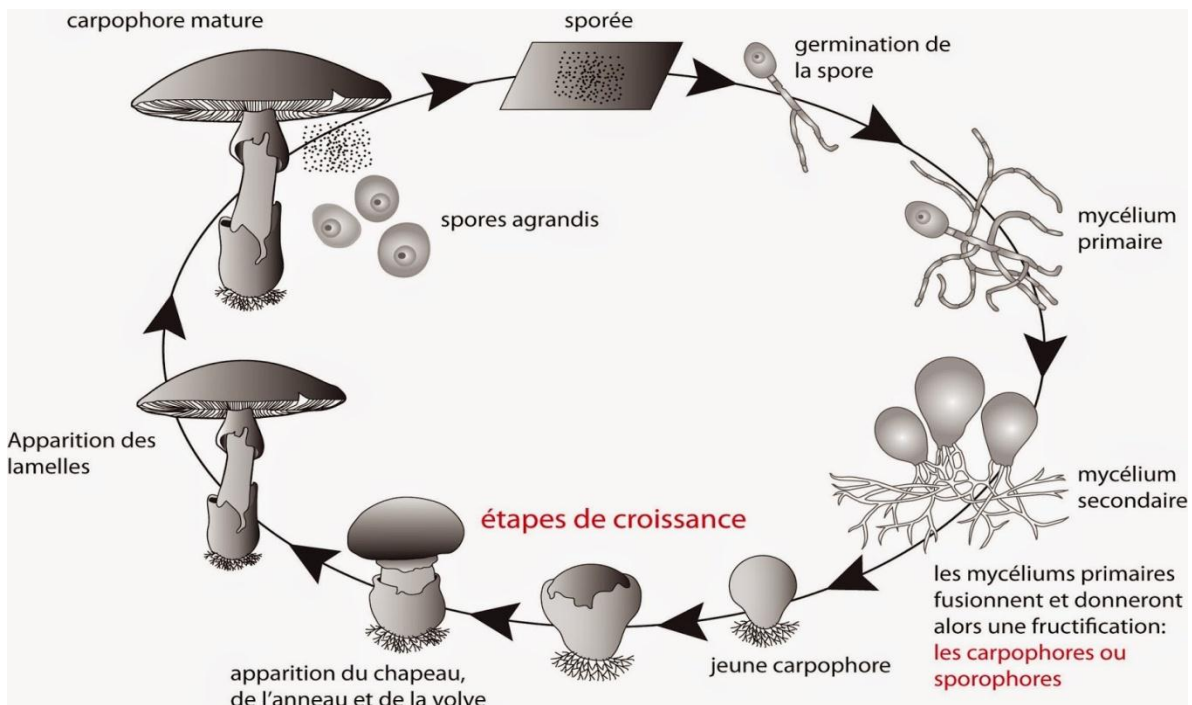
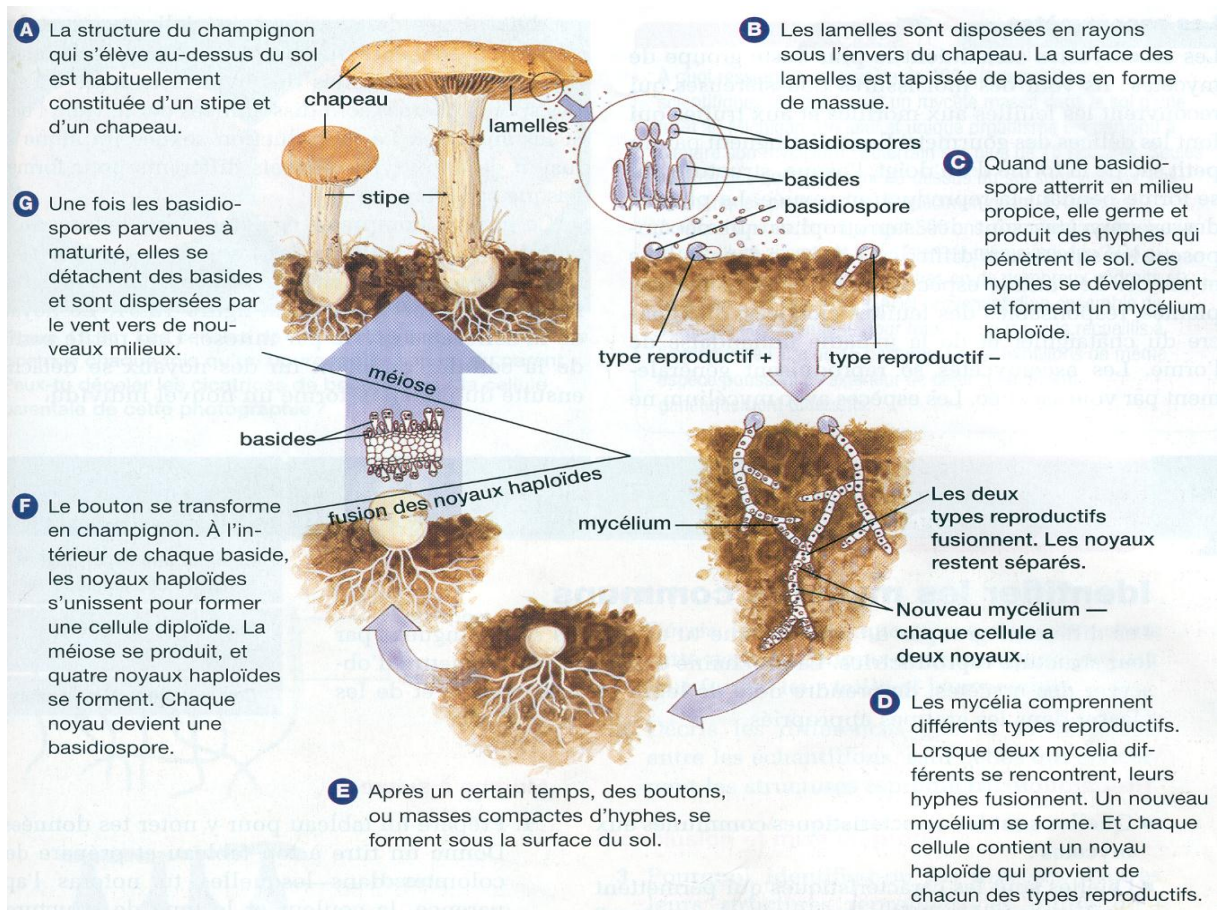


Figure 22- Le cycle de vie du genre *Amanita*

## Chapitre 4 : Les Bryophytes ou mousses

Appartenant au règne des plantes, les bryophytes sont le groupe le plus primitif et simple des cormophytes car elles ne contiennent pas les tissus vasculaires ni des racines.

C'est un embranchement de végétaux de petite taille, comprenant les **Mousses**, les **Hépatiques** et les **Anthocérotes**. Ce sont des plantes en majorité terrestres, qui poussent généralement dans des lieux humides, sur le sol, les troncs d'arbres ou les rochers. Le niveau d'organisation des Bryophytes les situe entre les algues vertes et les plantes vasculaires les plus simples.

Le terme **bryophyte** s'applique aux plantes terrestres qui ne possèdent pas de vrai système vasculaire.

Les bryophytes sont actuellement de petits végétaux terrestres, de quelques centimètres de long (les plus grandes ne dépassent pas 1 mètre), **chlorophylliens**, et vivant généralement dans des lieux humides et ombragés. L'accomplissement de leur cycle biologique reste encore fortement dépendant de la présence d'eau puisque les gamètes mâles doivent absolument nager depuis l'anthéridie jusqu'à l'archégone pour féconder l'oosphère.

Les bryophytes possèdent les deux premières adaptations qui ont permis le passage des plantes à la terre ferme : une cuticule cireuse qui les enveloppe et retient l'eau, et la capacité de produire des gamètes qui se développent à l'intérieur des gamétanges. Même dotés d'une cuticule et d'une enveloppe protectrice pour leur embryon, ils ne sont pas complètement libérés de leur environnement aquatique initial. Ils ont besoin d'eau pour se reproduire et ils n'ont pas de tissus conducteurs pour amener l'eau du sol aux parties aériennes de la plante.

Il existe environ 23.000 espèces encore vivantes réparties en 3 classes :

13.500 espèces de mousses

9.000 espèces d'hépatiques

350 espèces d'anthocérotes

### 1- Morphologie :

En général, l'appareil végétatif est un **cormus** constitué d'axes rudimentaires possédant des tissus peu différenciés. L'épiderme est souvent dépourvu de stomates et il n'existe pas de tissus conducteurs vrais.



Les Bryophytes ne disposent pas de xylème ni de phloème (tissus conducteurs de l'eau et des nutriments). Ces deux tissus ne sont apparus que plus tard au cours de l'évolution, chez les plantes vasculaires. Certains bryophytes disposent cependant de tissus conducteurs spécialisés, mais ces derniers ne sont pas lignifiés : les « leptoides » et les « hydroïdes ».

Les pseudophylles n'ont pas l'histologie des vraies feuilles.

Il n'existe pas d'organes comparables aux racines chez les bryophytes mais des organes « rhizoïdes » (mono ou pluricellulaires) les fixent au substrat mais n'absorbent pas la solution du sol. Ces pseudos racines sont en fait d'anciens cormus (tige + feuille) qui en l'absence de photosynthèse se nécrose, se décolore et forment ainsi un humus primitif.

Les bryophytes ne pouvant absorber l'eau par leur rhizoïdes ont la faculté de permettre à l'eau de rentrer par toutes les parties de la plante. De plus en cas de forte sécheresse la plante peut entrer en état de vie ralentie (reviviscence) en attendant des conditions de développement mieux adaptées.

Comme les plantes vascularisées, les bryophytes peuvent profiter d'une symbiose avec des champignons.

## 2- Physiologie :

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.

## 3- Habitats et répartition :

Capables de tirer leurs nutriments de l'air et des aérosols, comme les lichens qu'ils accompagnent souvent, les bryophytes sont en tant que groupe taxonomique très ubiquistes. Grâce à de nombreuses adaptations, ils ont colonisé presque toute la planète, jusqu'aux zones subpolaires. Ils sont toutefois absents (plus que les lichens) du milieu marin, et des milieux extrêmement arides. Grâce à des spores aéroportées, ils comptent parmi les premières espèces à pouvoir coloniser les nouveaux habitats (ex : terrils, îles volcaniques nouvelles...) De nombreuses espèces vivent sur le sol, d'autres sont saxicoles (ou devenues muricoles)

ou épiphytes, ou encore se développent sur les bois-morts tombés au sol. Dans les réserves naturelles et en forêt dans les îlots de sénescence.

#### 4- Classification :

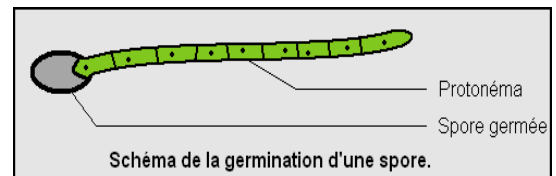
##### 4-1- Les Mousses :

Les mousses constituent un embranchement des végétaux invasculaires terrestres, elles ne possèdent ni racines ni vrai système vasculaire lignifié.

Les Mousses sont les Bryophytes les plus répandues et les plus riches en espèces. On les rencontre dans le monde entier. Elles ne mesurent en général que quelques centimètres.

##### a- Morphologie :

Chez les **mousses**, c'est un cormus dont la partie prostrée est réduite à de simples filaments pluricellulaires ramifiés, issu du développement de la spore méiotique : le **protonéma**, dont la durée de vie est éphémère. La structure du protonéma est relativement proche de celle du thalle de certaines algues vertes filamenteuses.



Des axes primaires érects bourgeonnent à partir du protonéma. Ils sont munis d'appendices foliacés chlorophylliens et sont fixés au sol par des rhizoïdes. La présence de rhizoïdes au lieu de racines et l'absence de feuilles vraies sont considérés comme des caractères primitifs. Au contraire, l'absence de tissus conducteurs résulterait d'une évolution régressive liée à une adaptation à des milieux très humides s'accompagnant d'une réduction de la taille de l'appareil végétatif. A l'extrémité des gamétophytes, il se développe des corbeilles ou involucre constituées d'appendices foliacés, au sein desquels se développent les gamétanges.

##### b- Classification des mousses :

La classe des mousses comporte 3 ordres qui se diffèrent par des caractères morphologiques et anatomiques :

- Les Bryales
- Les Sphagnales
- Les Andraeales



### • Les Bryales :

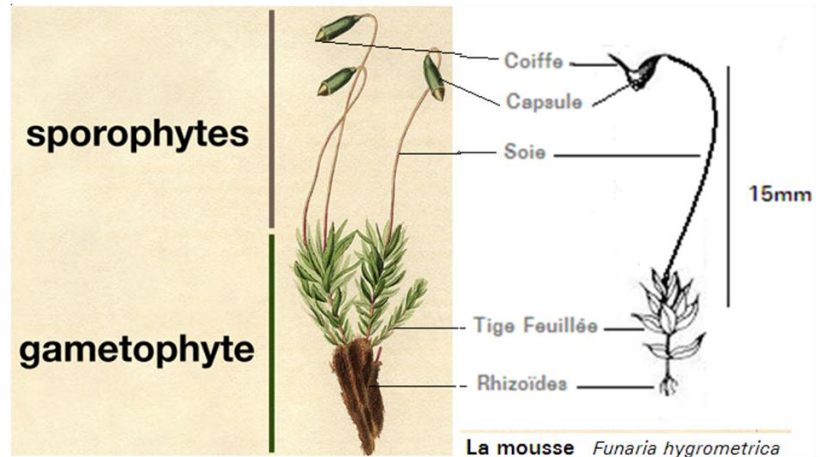
C'est de loin, le groupe des mousses le plus riche (plus de 15 000 espèces)  
Un pied des Bryales est formé d'un gamétophyte végétatif et d'un sporophytes qui va donner des spores.

**Le gamétophyte** est de couleur verte claire de 2 à 3 cm de haut, formé de :

**Rhizoïde** : Poil filamenteux permettant à la mousse de se fixer sur son support et d'absorber de l'eau et des sels minéraux.

**Tige** : Partie principale de la mousse, qui porte les feuilles en spirale tout autour d'elle. Elle peut être dressée ou couchée.

**Feuille** : Partie de la mousse naissant sur la tige, spécialisée dans la captation de la lumière, la fonction de photosynthèse et l'absorption d'eau. Le sporophyte est formé de



**Figure1-** Pied des Bryales

**Pédicelle ou soie** : Axe long et mince supportant la capsule et permettant son alimentation en substances nutritives. **Capsule** : Organe creux fabriquant de petits grains servant à la reproduction, les spores. Fermée avec un couvercle qui s'ouvre pour libérer les spores mûres.

### • Les Sphaignales:

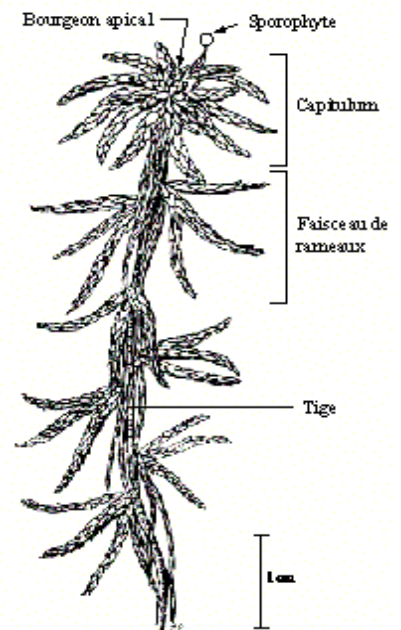
Cet ordre contient une seule famille : Sphaignacées et un seul genre Sphaignum, avec 300 espèces, très utilisées dans l'industrie cosmétique.

Plante moyenne à robuste, jusqu'à 20 cm de long, en touffes denses ou lâches de couleur très variable, verte avec une coloration jaunâtre, brunâtre ou parfois rougeâtre.

Bryophyte typique de milieux très humides et sur sols acides. La plante contient des cellules mortes qui se gorgent d'eau.

Ce sont des espèces dioïques, Le pied est formé d'un gamétophyte végétatif et d'un sporophyte.

**Les gamétophytes** n'ont pas de rhizoïdes, l'absorption se fait par les feuilles et la tige.



**Figure2-** Plante des Sphaignales

Les feuilles sont disposées en spirales autour de la tige ou des rameaux contrairement aux hépatiques à thalles.

- L'extrémité de la tige (capitulum) est pourvue de nombreux rameaux, mais de plus en plus courts vers le sommet (donne un aspect d'étoile).

**Les sporophytes** est formé d'un pédicelle hyalin et capsule brune.

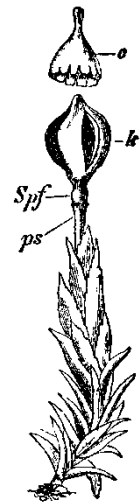
Les rameaux sont arqués vers le bas, ce sont des rameaux pendants. Cette plante meurt par le bas et continue à croître.

#### • Les Andréales :

Ce sont des mousses qui vivent dans les roches siliceuses et aussi dans les régions froides. La structure du gamétophyte est identique à celle des *Bryales*

Elle possède une tige avec des feuilles en spirales, un pédicelle chlorophyllien et une capsule globuleuse.

Cette capsule s'ouvre en 4( C'est une exception: les autres mousses n'ont pas de capsule qui s'ouvre en 4)



**Figure3-** Plante des Andréales

#### c- Reproduction des mousses :

Les mousses sont des espèces dioïques. La reproduction est sexuée et la fécondation est une oogamie.

Les cellules reproductrices, spores et gamètes, sont respectivement formées dans les sporanges (capsules contenant les spores) et les gamétanges (anthéridie et archégone), qui sont des organes spécialisés munis d'une enveloppe pluricellulaire.

Chez la plupart des espèces de mousses, les gamétophytes mâles et femelles sont distincts. Les mâles portent des anthéridies et les femelles des archégonies

Chez les mousses, les gamétanges se différencient à l'extrémité des axes des gamétophytes.

Les gamétanges mâles ou anthéridies sont de petits sacs ovoïdes portés par un court pédicelle et limités par une enveloppe pluricellulaire. A maturité, ils sont remplis d'anthérozoïdes biflagellés (les gamètes mâles) qui seront disséminés.

Les gamétanges femelles ou archégonies ont la forme de petites bouteilles.

Le spermatozoïde nage dans une mince couche humide vers l'archégone et féconde l'oosphère.

Le zygote diploïde se divise par mitose et devient un embryon de sporophyte à l'intérieur de l'archégone.

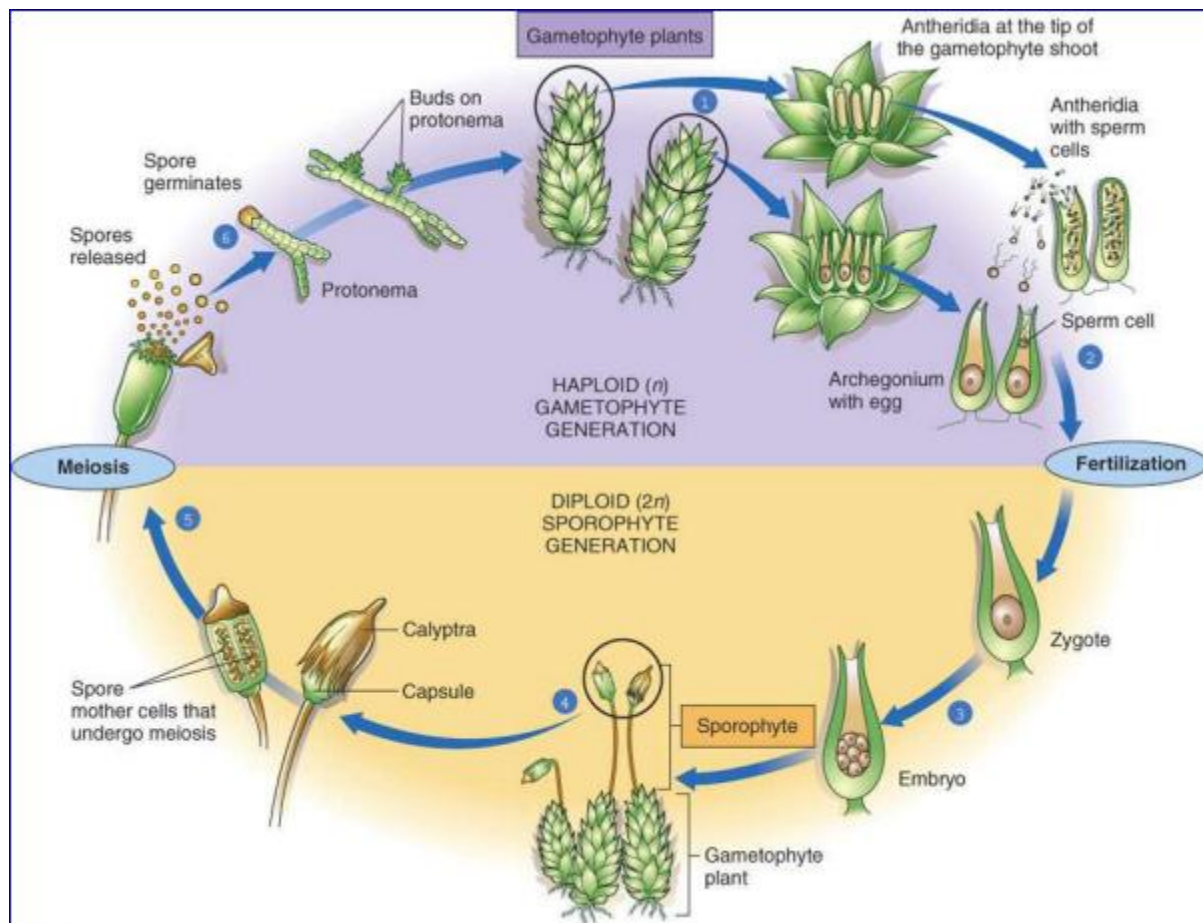
Le jeune sporophyte, encore rattaché au gamétophyte femelle, laisse croître une longue tige.

Au bout de la tige se développe un sporange, c'est-à-dire une capsule dans laquelle se développent des spores haploïdes par méiose. Les spores se dispersent quand le sporange éclate.

La spore se développe par mitose et forme un protonéma filamenteux qui ressemble à une algue verte.

Le protonéma continue sa croissance pour former un nouveau gamétophyte.

Le cycle est **digénétique haplodiplophasique**.



**Figure 4-** Le cycle de vie d'une mousse



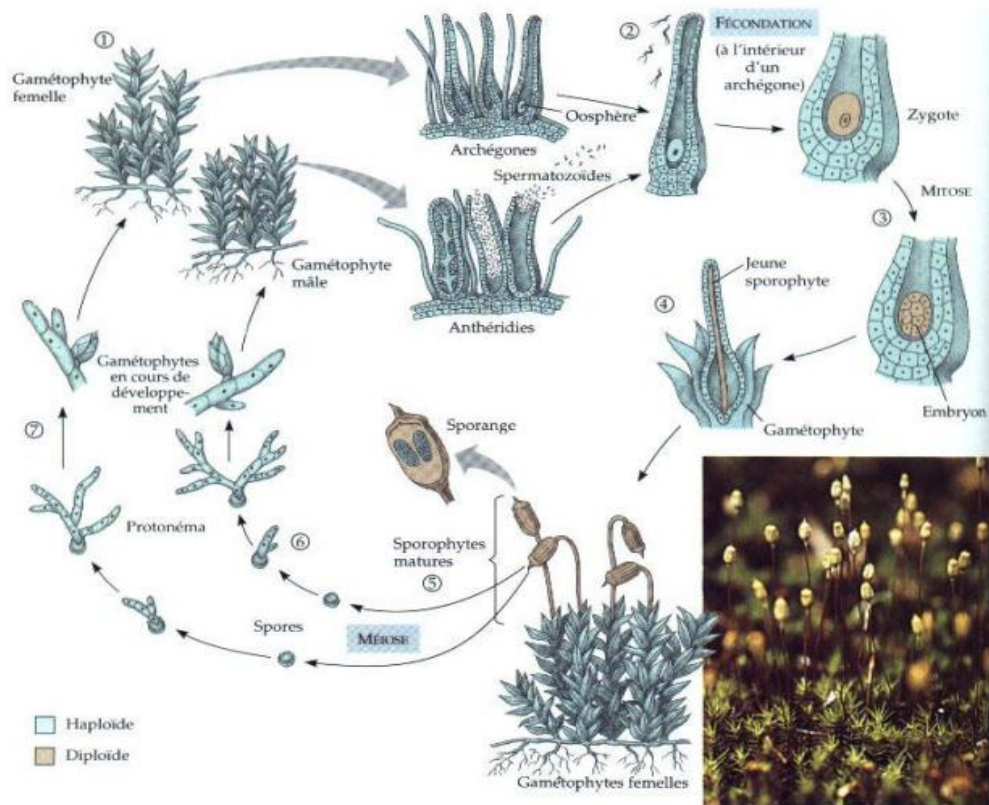
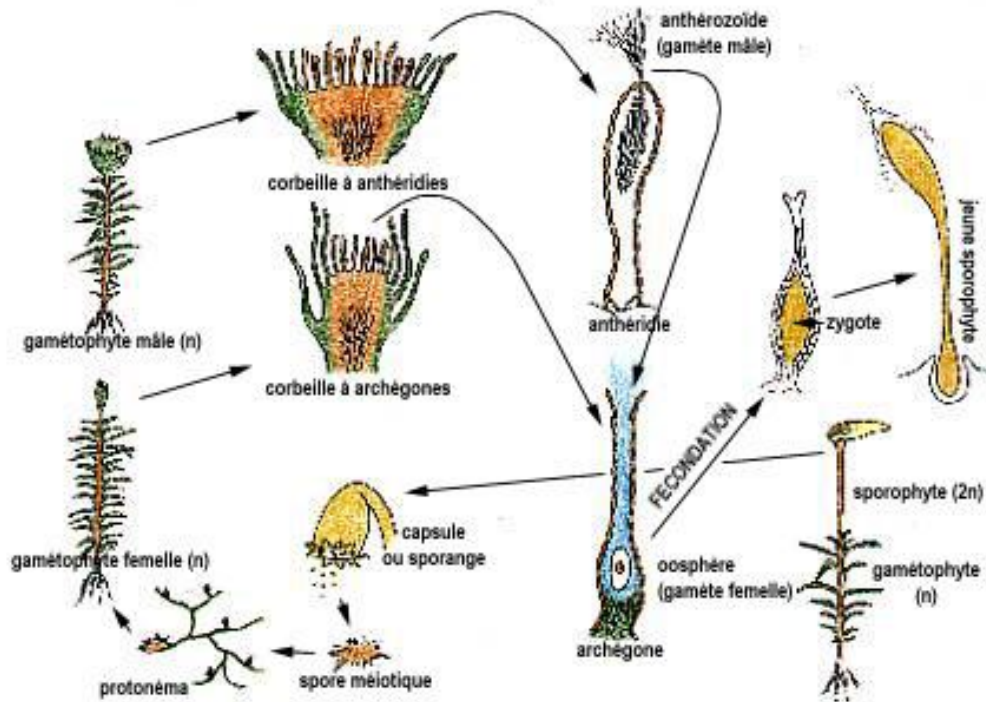


Figure5- Reproduction des mousses.

#### 4-2- Les hépatiques :

Les Hépatiques ou marchantiophytes sont une classe de plantes invasculaires terrestres qui ont conservé le plus de caractères ancestraux. Ce sont des thallophytes. Le plant a l'apparence des lobes de foie d'un animal, d'où vient son nom.

##### a- **Morphologie :**

Les hépatiques sont généralement de petite taille et peu spectaculaires. Elles colonisent des milieux humides et ombragés comme les troncs ou les branches des arbres, milieux pierreux ou sols proches de sources, cours d'eau, mares...

L'appareil végétatif est formé d'un large ruban chlorophyllien ramifié dichotomiquement et appliqué au substrat. Il est constitué de deux couches de tissus différenciés. En coupe transversale on y voit plusieurs types de cellules parenchymateuses. Les hépatiques ont une symétrie dorso-ventrale et sont souvent appliquées contre leur substrat.



Elles sont en général plus sensibles à la sécheresse que les mousses. Leur sporophyte est éphémère et porte une capsule ronde s'ouvrant par valves ou se déchirant en plateaux. De nombreuses espèces contiennent des oléocorps dans leurs cellules, rendant certaines très aromatiques.

On les trouve sur divers substrats (bois en décomposition, sol, conglomérats, écorces, cailloux, etc.).

Leurs principales caractéristiques particulières des hépatiques sont :

- présence d'inclusions lipidiques appelées oléocorps (ce sont des gouttelettes d'huile)
- synthèse d'acide lunularique<sup>1</sup>
- perte des stomates au profit de pores aériens

##### b- **Ecologie et habitat :**

Parfois épiphytes, les Hépatiques sont une des constituantes de la Bryoflore épiphyte corticole (ou sur les feuilles en zone tropicale humide). Parmi les épiphytes, on trouve par exemple :

Des espèces assez fréquemment corticoles : *Frullania dilata*, *Radula complanata*, *Leujeunea carvifolia* et quelques espèces de *Metzgeria* (*Metzgeria furcata*, *Metzgeria conjugata*,...)

Des espèces plus rarement corticoles (espèces accessoirement corticoles) ; *Porella arboris-vitae*, *Porella platyphylla*, *Frullania tamarisci* ou corticoles rares ou très localisées : *Cololejeunea minutissima* (euryméditerranéo-atlantique strictement littorale), etc.

Parfois Symbiotiques, une grande partie des hépatiques sont mycorhizées par des champignons (Glomerales), ce qui permet aussi probablement à certaines d'entre elles de mieux survivre dans les écosystèmes froids (toundra, taïga et localement en Antarctique).

### c- Classification :

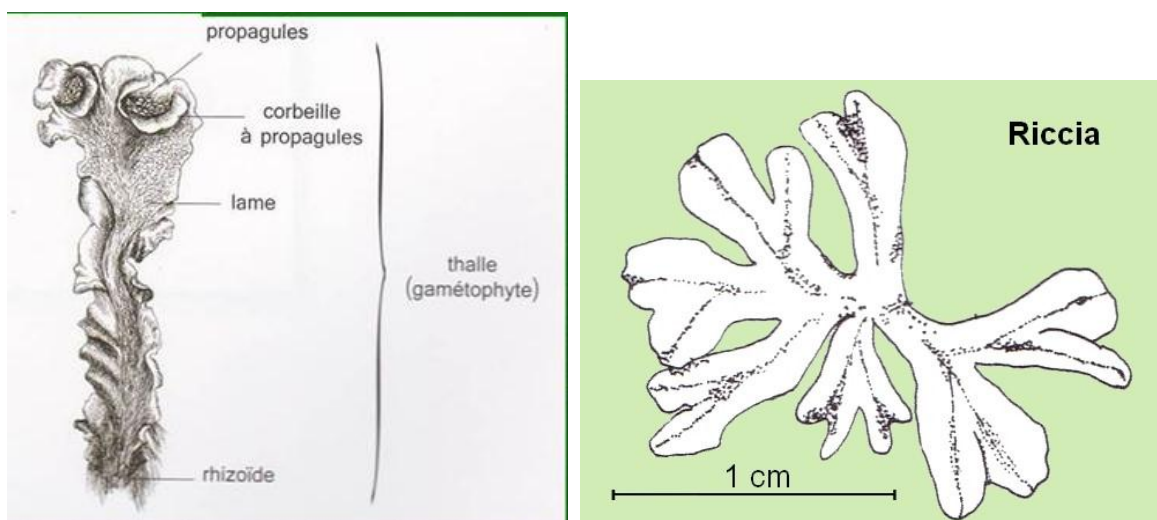
La classe des hépatiques contient trois ordres :

- Marchantiales : 32 genres, 700 espèces
- Jungermanniales : 125 genres, 8000 espèces
- Metzgeriales : 17 genres, 550 espèces

### • Les Marchantiales ou hépatiques à thalles :

Formée d'une lame verte de 4 à 8 mm de large et 2 à 3 de long, couchée sur le sol. Elle pousse en forme de revêtements stratifiés sur la terre humide, sur les parois des rochers, des fossés et sur les berges de ruisseaux.

Leur morphologie est de type thalloïde, leur face inférieure est en contact avec le substrat et possède des structures unicellulaires, les rhizoïdes, leur permettant de se fixer au substrat. Leur croissance est dichotome et due à des cellules apicales (il n'y a pas de méristème). Ils ne possèdent pas de stomates mais des pores aérifères ouverts en permanence. Ces pores débouchent dans une chambre aérifère permettant ainsi la respiration et la photosynthèse. Il n'y a pas non plus de tissus conducteurs vrais, la conduction a lieu de cellule à cellule.



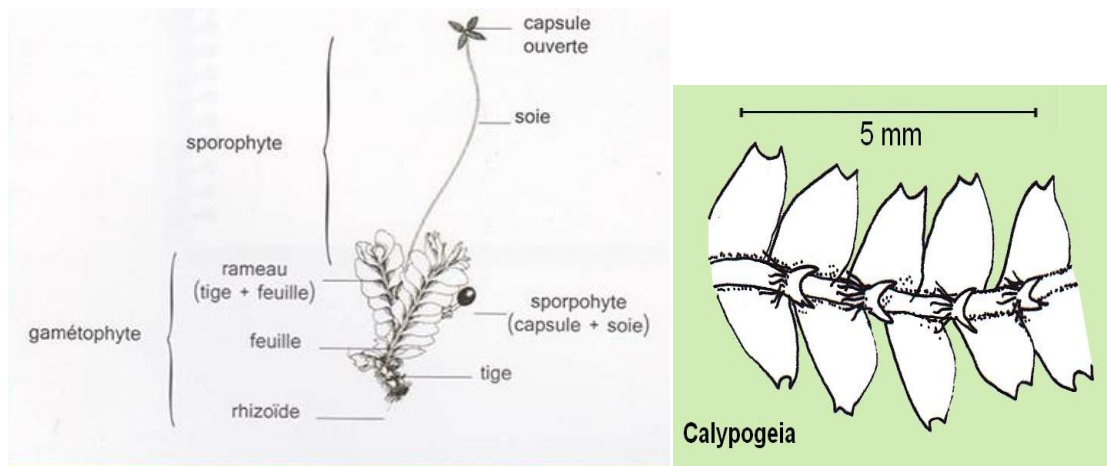
**Figure6-** Hépatiques à thalle

• **Les Jungermanniales ou hépatiques à feuilles :**

à feuilles si elle est formée d'une tige (sans canaux ni cellules spécialisées) de 2 à 4 cm comportant des feuilles alignées sur deux rangs latéraux et parfois un rang de petites feuilles ventrales plus petites situées entre les rhizoïdes.

Le gamétophyte est un axe cylindrique rampant qui porte des excroissances ou lobes de plusieurs types : dorsaux, latéraux, le plus grand lobe ventral est dit « amphigastre ».

Le sporophyte est plus volumineux, il est constitué d'un suspenseur : la soie et d'une capsule terminale qui s'ouvre par 4 valves.



**Figure7-** Hépatiques à feuilles

• **Les Metzgeriales :**

Chez les hépatiques à thalle lisse, le pédicelle est hyalin et la capsule est globuleuse et brune. À maturité, elle s'ouvre en 4 valves. Le même type de sporange se constate chez les hépatiques à feuilles.

Les Metzgeriales sont typiquement petits et assez fins pour être translucides, la plupart des tissus n'étant qu'une seule couche cellulaire. Parce que ces plantes sont minces et relativement indifférenciées, les Metzgeriales sont parfois appelés «hépatiques simples».

Les Metzgeriales diffèrent également des Jungermanniales apparentés dans l'emplacement de leur archégonie (structures reproductives féminines). Alors que l'archégonie dans les Jungermanniales se développe directement à partir de la cellule apicale à la pointe d'une branche fertile, l'archégonie des Metzgeriales se développe à partir d'une cellule derrière la cellule apicale. En conséquence, les organes reproducteurs féminins et les sporophytes qui se développent en eux sont toujours situés sur la surface dorsale de la plante.



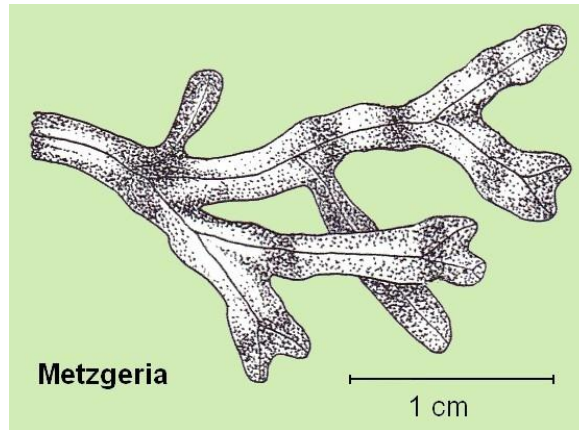
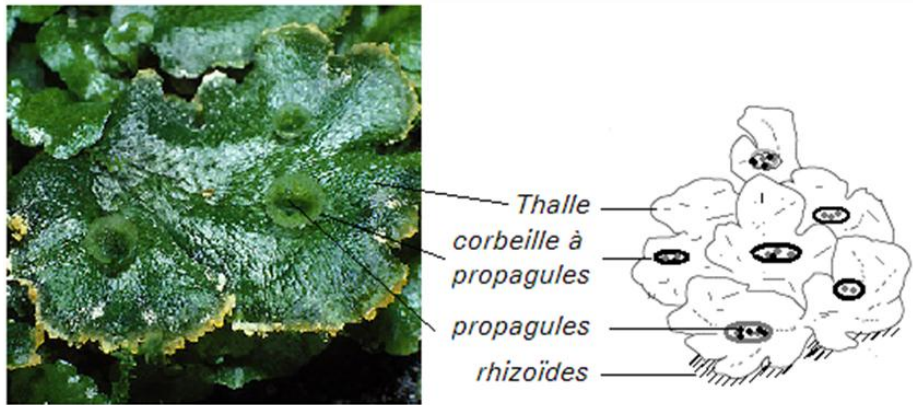


Figure 8- Le thalle des Metzgeriales

d- Reproduction des hépatiques :

• Reproduction asexuée :



L'hépatique *Marchantia polymorpha*

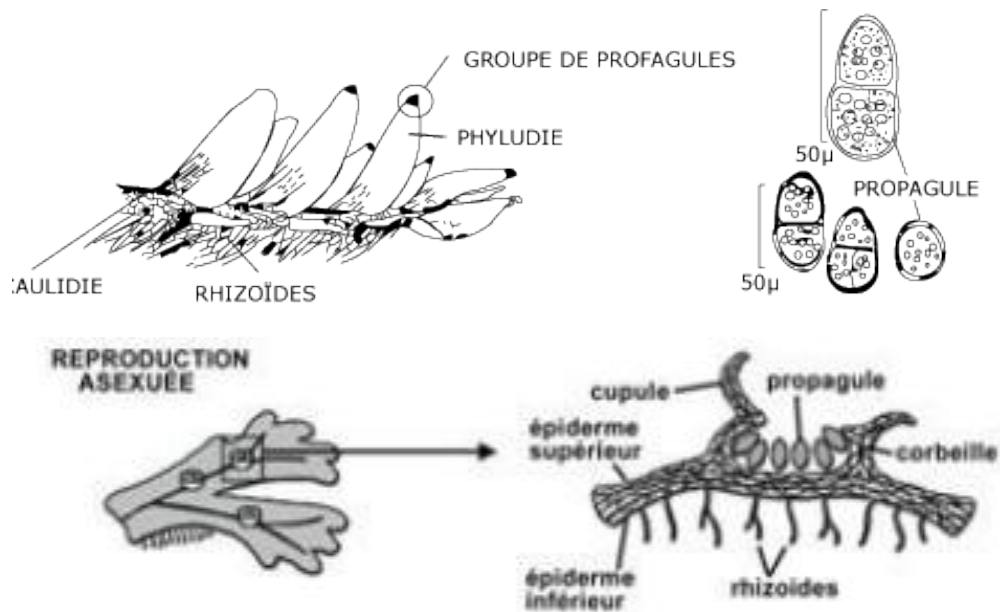
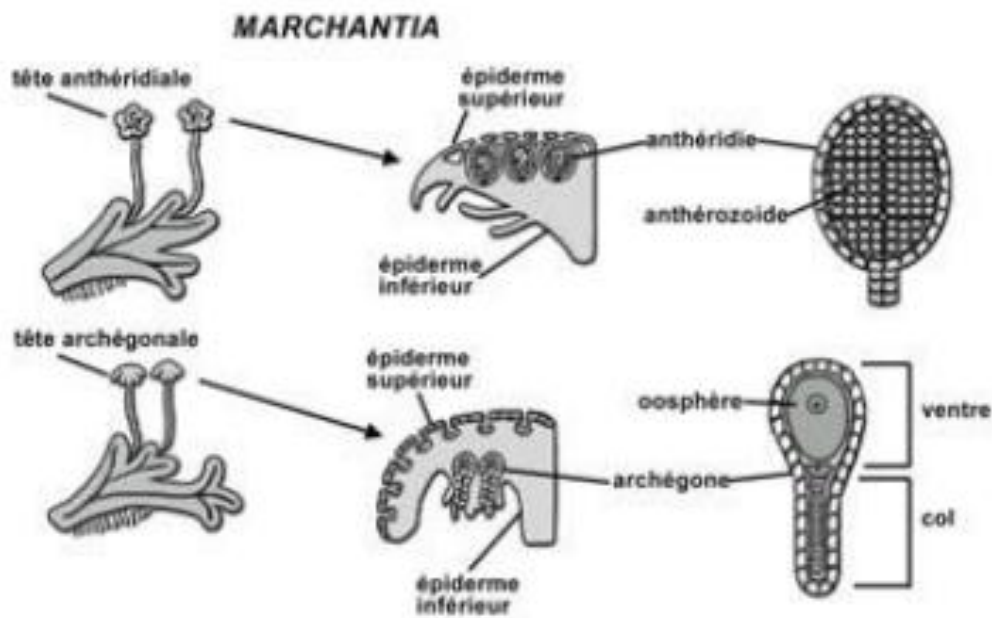


Figure9- Les propagules des hépatiques

La reproduction asexuée est une multiplication végétative grâce à des corbeilles à **propagules**, ces dernières sont des organes de multiplication végétative *spécialisés*, qui peuvent être formés. Il s'agit soit de cellules isolées, soit de petits massifs cellulaires d'aspects 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 de ou d'hépatiques comme *Lunularia* ou *Marchantia*.

### • Reproduction sexuée :

Les anthérozoïdes mâles sont formés dans les têtes anthéridiales sur des plants mâles. Les oogones femelles sont portées dans les têtes archégonales sur des plants femelles.



**Figure10-** Les organes reproducteurs des hépatiques

La majorité des hépatiques sont dioïques. Quand les conditions sont favorables, il y a apparition des structures qui vont porter les archégonies et les anthéridies sur leurs faces inférieures. La fécondation est une **oogamie**. Cela va déboucher à la production d'un embryon puis d'un sporophyte très réduit qui va ressembler à l'embryon et qui va rester fixé au gamétophyte. Il comprend une capsule sporogène où va avoir lieu la méiose. La capsule s'ouvre par déchirement. La phase dominante est la phase gamétophytique haploïde (n).

- Les méiospores germent pour donner un protonéma haploïde très court à partir duquel une lame verte foliacée, appliquée sur le substrat, prend rapidement naissance.



- Le gamétophyte adulte(n) peut être considéré comme un thalle. Il est édifié par quelques cellules méristématiques situées dans l'échancrure apicale du thalle (et non par une cellule apicale unique comme chez le mousse) et se ramifie de façon dichotomique.

- Durant la bonne saison, les thalles en croissance produisent des rameaux spécialisés, dressés (+/- 3 cm de haut), insérés dans le prolongement direct de la nervure, au point où fonctionnait le méristème : ce sont les **gamétangiophores**.

- Les rameaux produits par certains thalles portent, au sommet d'un axe, un plateau lobé dont l'anatomie est identique à celle du thalle. Néanmoins, entre les chambres aérifères, se différencient des anthéridies enfoncées dans des cavités ovoïdes formées par des replis de l'épiderme; ces cavités s'ouvrent par un petit canal à la face supérieure. L'éclatement des anthéridies libère les anthérozoïdes qui sont projetés sur le plateau dans un film d'eau.

- Les rameaux spécialisés produits par les thalles femelles ont une structure analogue à celle des rameaux mâles. Ils se distinguent cependant par leurs lobes plus profondément échancrés, généralement au nombre de 9. Les archéogones, au nombre de 12 à 16 et de structure fort semblable à celle des archéogones des mousses, sont initiés entre les lobes de manière centripète. Ils sont protégés par un involucre (sorte de collerette)

- La fécondation a lieu par temps humide, avant l'élongation complète du rameau spécialisé. Elle se produit grâce au film d'eau qui recouvre les thalles.

- L'oeuf fécondé (zygote) se développe à l'intérieur de l'archégone dont les parois se modifient pour abriter le jeune sporophyte en croissance.

- Le sporophyte est nettement réduit par rapport à celui des mousses. La soie ( l'axe portant le sporange) reste très courte et ce n'est que peu avant la maturité que le sporange est poussé en avant et déchire le sommet de l'archégone accrescent.

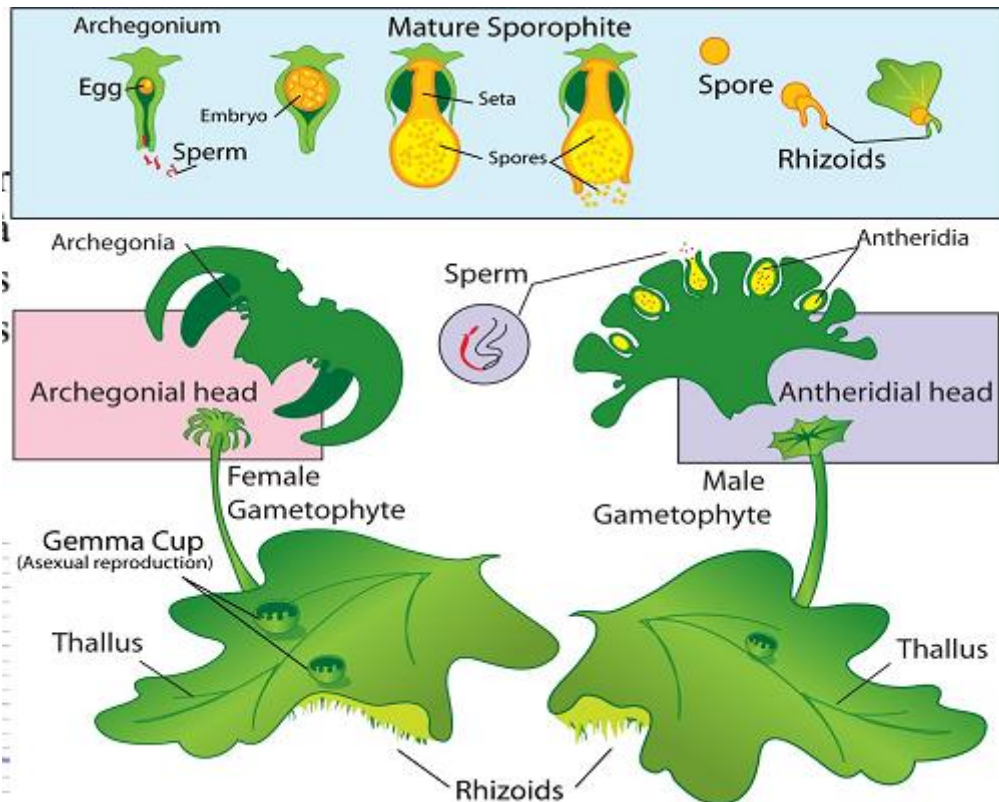
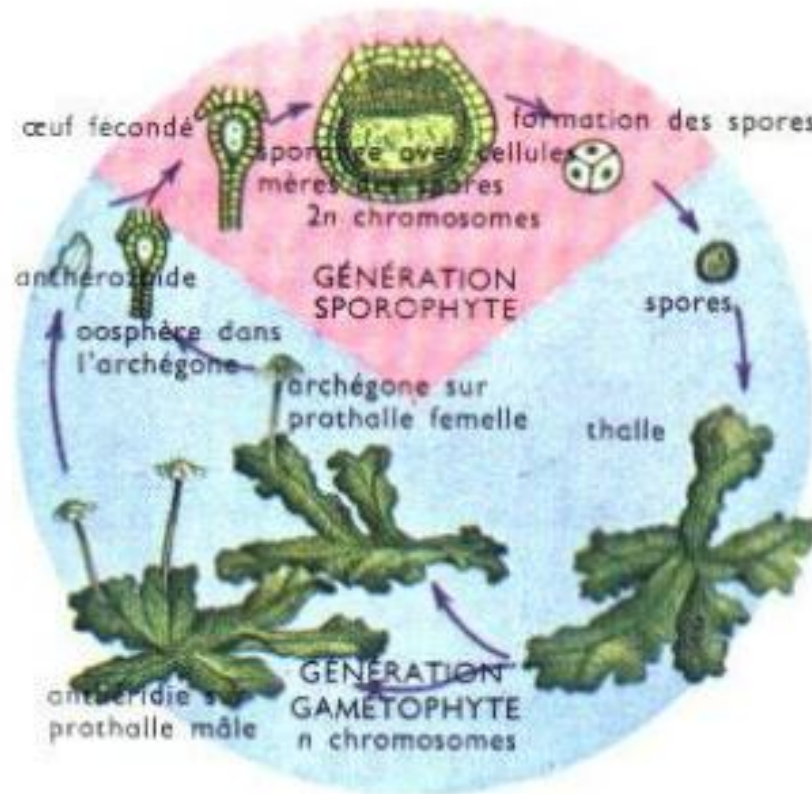
- Le sporange ne possède ni columelle, ni coiffe. Il s'ouvre par 4 à 6 valves qui sont des déchirures de la paroi plutôt que des fentes de déhiscence.

- Les cellules mères subissent la réduction chromatique et chacune d'elles donnera 4 méiospores (archéospores) libérées après la destruction des tissus du thalle (en général, un an après).

- Les spores sont accompagnées de structures sensibles à l'hygrométrie qui facilitent leur dispersion et la dissémination : les **élatères**. Elles seraient également impliquées dans la poussée qui fait éclater le sporange.

- La nouvelle génération donne un protonéma.

Le cycle est **digénétique haplodiplophasique**



**Figure11-** Le cycle de vie des hépatiques

### 4-3- Les Anthocérotes :

Les Anthocérophytes sont peu nombreux, peut-être 150 espèces mondialement réparties entre quatre à six genres.

C'est une classe de plantes invasculaires terrestres aux caractères ancestraux. Ils ressemblent aux hépatiques, mais ils diffèrent par leurs sporophytes dont la capsule s'allonge comme une corne. Cette classe comprend l'ordre des Anthocerales seulement.

Certaines espèces tropicales sont des épiphytes sur les feuilles, les rameaux ou les troncs des arbres.



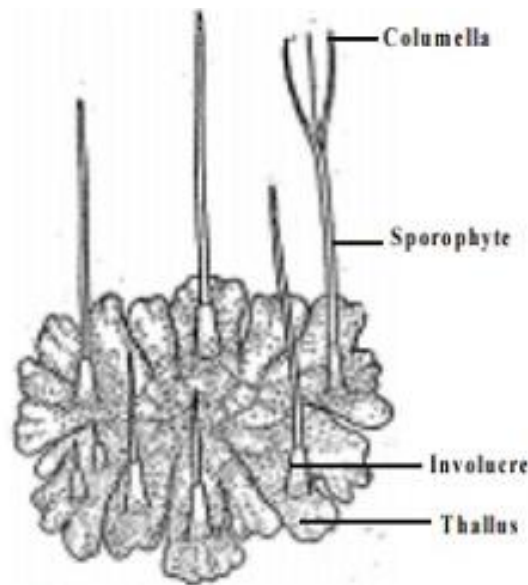
#### a- Morphologie :

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.

Il y a présence d'un pyrénoïde dans leur chloroplaste qui est unique.

Des algues symbiotiques établissent des colonies dans ces cavités. Les pseudo-stomates serviraient à permettre l'entrée de ces algues dans le thalle. 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.

Reconnaissables par leur unique plaste avec pyrénoïdes. Les gamétophytes sont dans des cryptes à l'intérieur de la plante. Une fois fécondés, le sporophyte sort sous forme de tube et la déhiscence se fait par fente de ce tube. Au centre il y a columelle.



**Figure12-** Aspect des Anthocéroterées

**b- Reproduction :**

- **Reproduction asexuée :** par propagules comme chez les hépatiques.
- **Reproduction sexuée :** La fécondation est une **oogamie**. Le thalle est monoïque.
  - Le Gamétophyte est un thalle à croissance dichotome (phase dominante).
  - Les gamétanges (archégonies et anthéridies) sont inclus dans le thalle.
  - Grâce aux gouttellettes d'eau, les spermatozoïdes issus des anthéridies sont transportés jusqu'à l'archégonie.
  - L'oosphère est fécondée.
  - Un zygote diploïde se forme dans l'archégonie.
  - Le zygote subit des mitoses pour former un sporophyte diploïde (2N)
  - Le sporophyte contient des sporanges contenant les cellules mères des spores.
  - La cellule mère des spores subit une méiose pour donner des spores haploïdes.
  - Le sporophyte ou sporogone 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.
  - Quand les conditions sont favorables les archéospores germent et donne un protonéma qui se développe en gamétophyte haploïde qui va développer des gamétanges (anthéridies et archégonies) et ainsi de suite.
  - Le cycle est **digénétique haplodiphasique**.

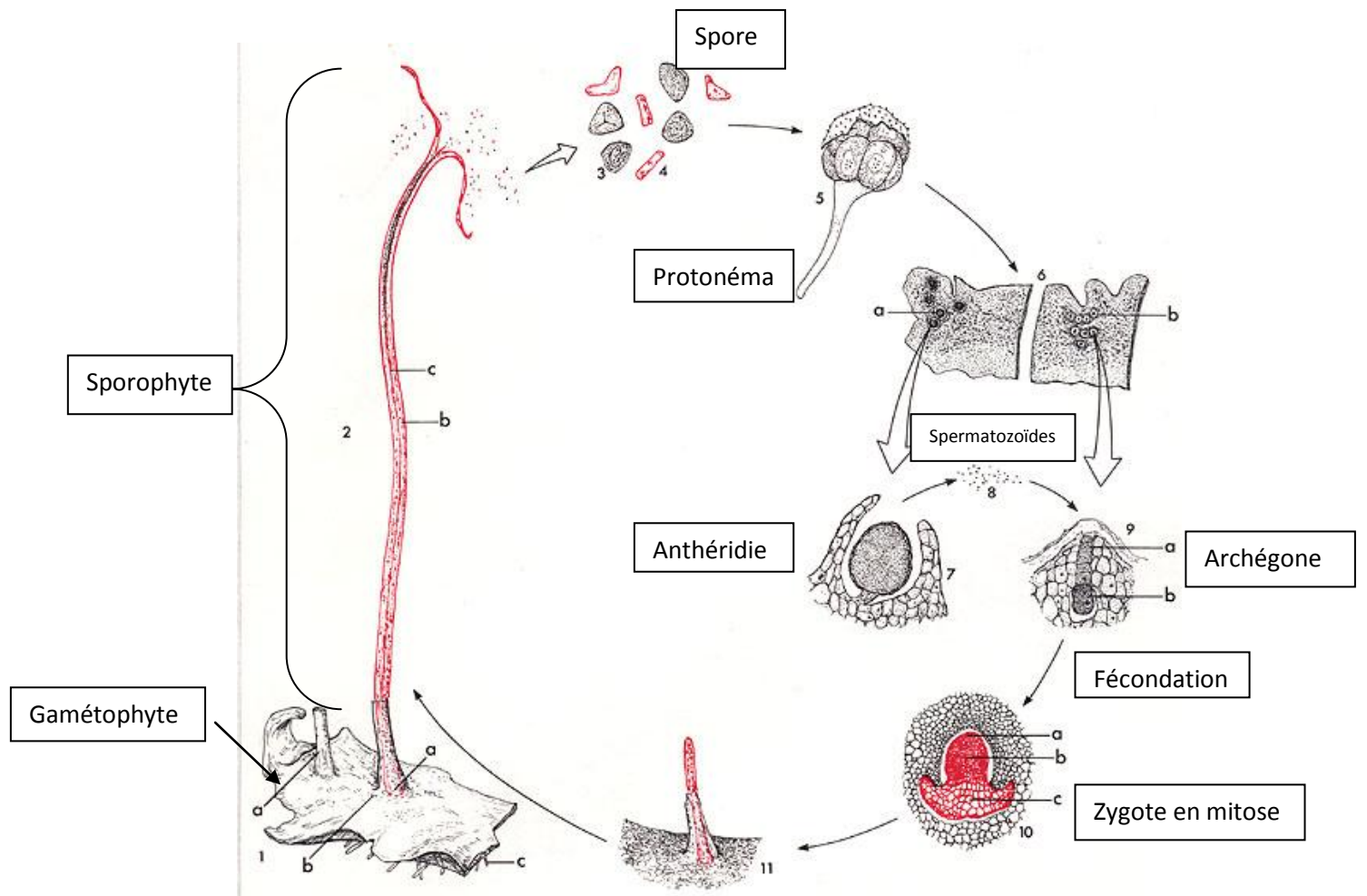
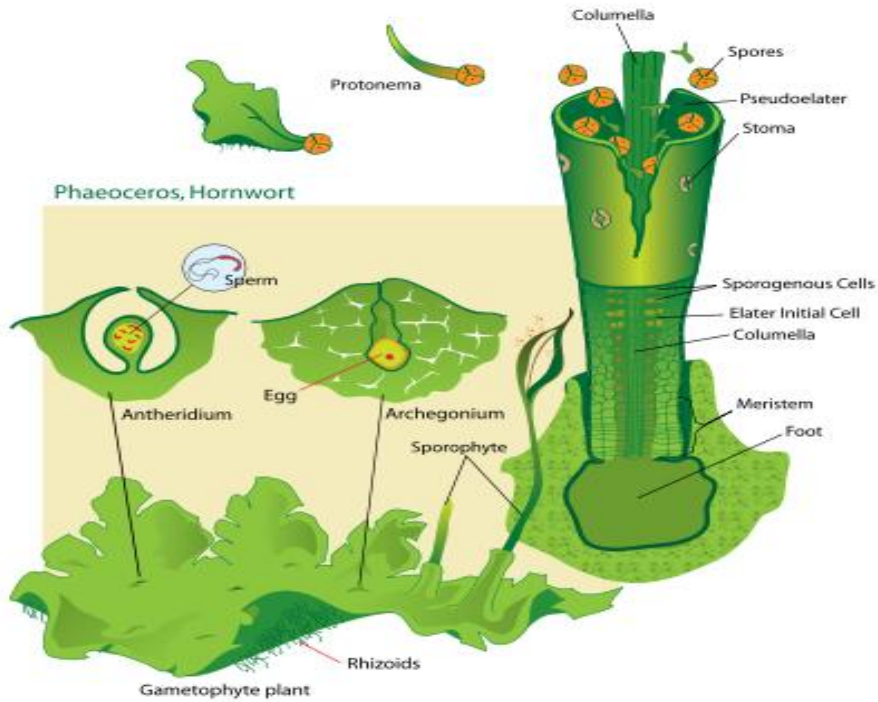


Figure13- Cycle de vie des Anthocérotes.



## Chapitre 5 : Les Ptéridophytes ou Fougères

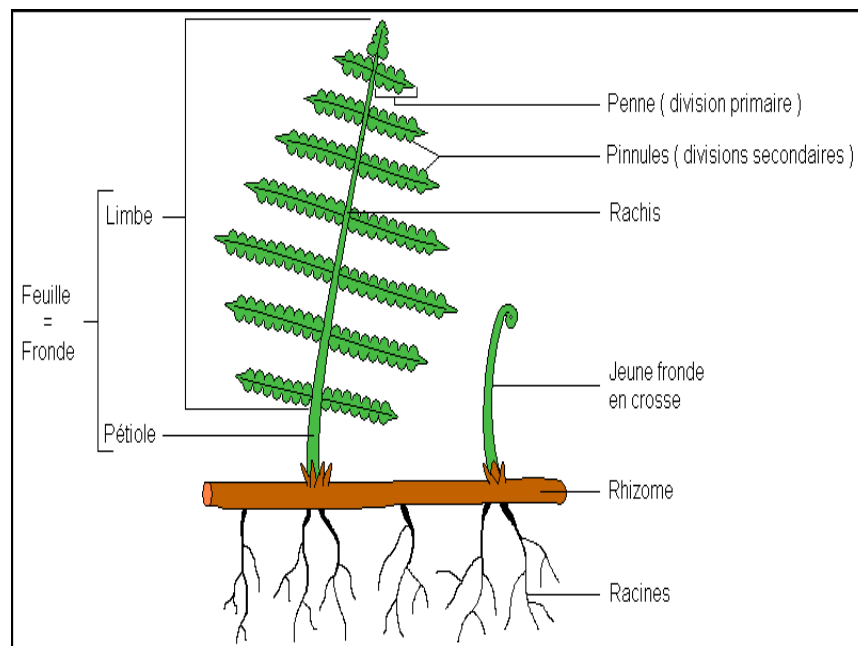
Les Ptéridophytes (Ptéros= ailes) sont un groupe de végétaux apparus il y'a moins de 400 millions d'années. Ce sont des cormophytes et cryptogames vasculaires. Les Ptéridophytes sont bien adaptés à la vie terrestre, cependant la fécondation nécessite encore la présence de l'eau puisque les gamètes mâles (anthérozoïdes à 30-40 flagelles) sont nageuses.

Les Ptéridophytes ont une sexualité discrète, comme tous les végétaux inférieurs (ni fleurs, ni graines, ni fruit) les phénomènes de reproduction sont cachés elle appartient à donc au même titre que les algues, champignons et bryophytes au monde des **Cryptogames** (Kryptos= caché, Gamas=union) ; mais les ptéridophytes forment un embranchement à part puisqu'elles **possèdent un appareil vasculaire**, ce qui est une nouveauté biologique. C'est pourquoi, les Ptéridophytes sont appelés **Cryptogames vasculaires**.

Ce sont des végétaux possédant des racines, tiges et feuilles, mais, dépourvus de fleurs. Par comparaison aux Bryophytes, les Ptéridophytes montrent un appareil végétatif plus différencié et adapté à la vie aérienne. , et privilégie la génération diploïde sur la génération haploïde.

Ces plantes commencèrent à s'éteindre au permien (-200 Millions d'années) pour céder la place à des végétaux mieux adaptés à la vie terrestre : les spermaphytes qui possèdent une protection accrue du gamétophyte femelle.

### 1- Anatomie et morphologie :



**Figure1-** Aspect général d'une fougère



**a- Sporophyte :**

La génération sporophytique diploïde est prédominante chez les ptéridophytes. Ceci se traduit par un appareil végétatif perfectionné, muni d'organes et de tissus Structurellement et fonctionnellement différenciés.

- **Les racines :**

L'appareil racinaire apparait avec les ptéridophytes grâce à la présence des tissus conducteurs. Il permet une meilleure tenue de la plante au sol mais surtout de puiser les sels minéraux et l'eau en profondeur. De plus il permet une résistance relative aux températures froides.

- **Les tissus conducteurs :**

Les Ptéridophytes sont les premiers végétaux vasculaires, ce qui leur a permis de conquérir de nombreux territoires. En effet les vaisseaux permettent de distribuer la nourriture à chacune des cellules d'un organisme. De plus ces vaisseaux permettent à la plante de résister à son propre poids, ce qui était inutile dans le milieu aquatique. On y distingue deux types de tissus différents : le phloème et le xylème.

**Xylème :** Les vaisseaux du bois ont pour rôle le transport de l'eau et des sels minéraux (ou sève brute) absorbés vers les feuilles. Ils se forment par empilement de cellules qui vont produire beaucoup de lignine. Le xylème est sous forme de tube rigide par lequel circulera la sève brute. Il contient des éléments lignifiés typiques qu'on appelle : **Les Trachéides** (sont des suites de cellules sclérifiées (donc mortes) et vidées de leur contenu pour devenir des capillaires de conduction de la sève brute. Les ptéridophytes sont des plantes vasculaires ou **Trachéophytes**.

C'est la perte d'eau, par transpiration et évaporation, au niveau des feuilles qui entraîne l'aspiration de la sève brute vers le haut. Ce sont ces vaisseaux du bois qui donnent aux végétaux leur port érigé.

**Phloème :** Les vaisseaux du liber distribuent aux organes la sève riche en sucres et autres substances produites par photosynthèse dans les feuilles (ou sève élaborée). Ces vaisseaux sont constitués de cellules vivantes. La circulation de la sève se fait donc de cellule à cellule.

- **Les feuilles ou frondes :**

C'est avec la ramification des tiges que sont apparues les feuilles proprement dites. Structurellement parlant, une feuille possédera ainsi un pétiole, un rachis et un limbe divisé en pennes et pinnules.

### a- Le gamétophyte :

Contrairement à ce que l'on connaît des premières plantes terrestres ou les générations sporophytiques et gamétophytiques étaient sensiblement de même morphologie, les ptéridophytes se caractérisent par une génération gamétophytique très réduite. Cette réduction se serait faite par une évolution régressive conduisant à une organisation thallophytique, d'où le nom de prothalle que l'on donne à la génération gamétophytique des ptéridophytes. Ces prothalles ont en effet l'aspect de lames cordiformes de quelques millimètres de long chez les fougères, ou de minuscules tubercules chez les lycopodiales. Ils sont munis de rhizoïdes, mais dépourvus d'organes (feuilles, tiges, racines) et de tissus conducteurs. Les prothalles portent les organes de reproduction sexuée (gamétanges).

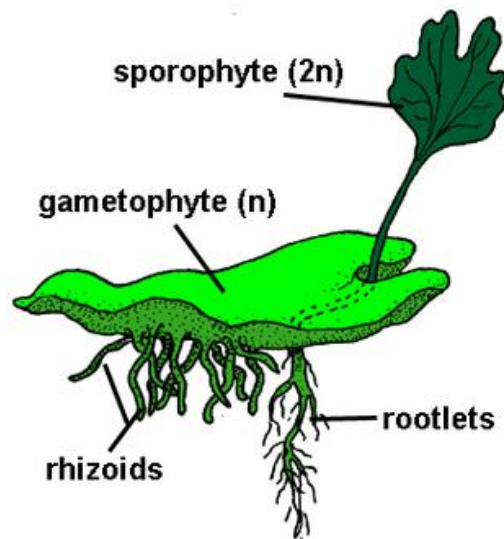


Figure2- Gamétophyte et du sporophyte d'une ptéridophyte.

### 2- Physiologie :

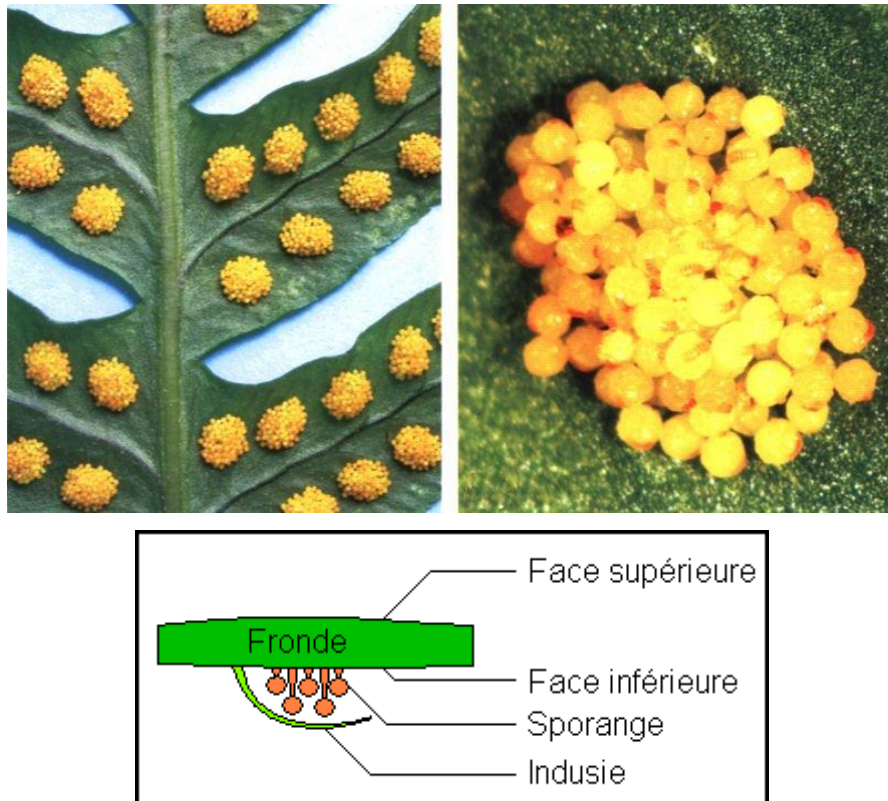
Ce sont des végétaux chlorophylliens, autotrophes qui puisent l'eau et les sels minéraux du sol et fabriquent la matière organique par la photosynthèse.

### 3- Reproduction :

#### a- Les organes reproducteurs :

- **Les sporanges :**

Les sporanges se différencient au niveau des feuilles du sporophyte. Ils sont regroupés en sores à la face inférieure des feuilles chez les fougères, ou disposés à l'aisselle des microphylls, elle-même regroupées en épis à l'extrémité des tiges chez les prêles et les sélaginelles. Les sores sont protégés par une lame très mince, l'indusie (certaines espèces en sont dépourvues).

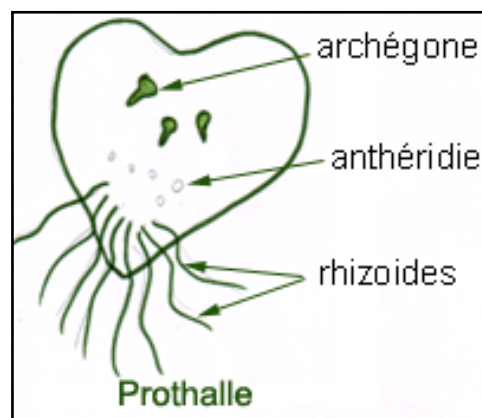


**Figure3-** Les sporanges d'une fougère.

- **Les gamétanges :**

Ils se différencient sur la face inférieure du prothalle chez les fougères et sur la partie saillante des prothalles chez les sélaginelles. Les anthéridies au sein desquelles se différencient des anthérozoïdes multi flagellés sont très réduites et ressemblent à de petites sphères avec une paroi d'une seule couche de cellules.

Les archégonies dont la structure générale rappelle en plus petit celles des bryophytes sont formés d'un col réduit et d'un ventre, inclus dans les tissus du prothalle, au sein duquel se différencie l'oosphère.



**Figure4-** Les gamétanges d'une fougère.

- **Reproduction asexuée :**

Elle se fait essentiellement par fragmentation du rhizome à croissance indéfinie. Certaines espèces ne se reproduisent que par cette méthode (ex. *Pteridium aquilinum* ou Fougère aigle).

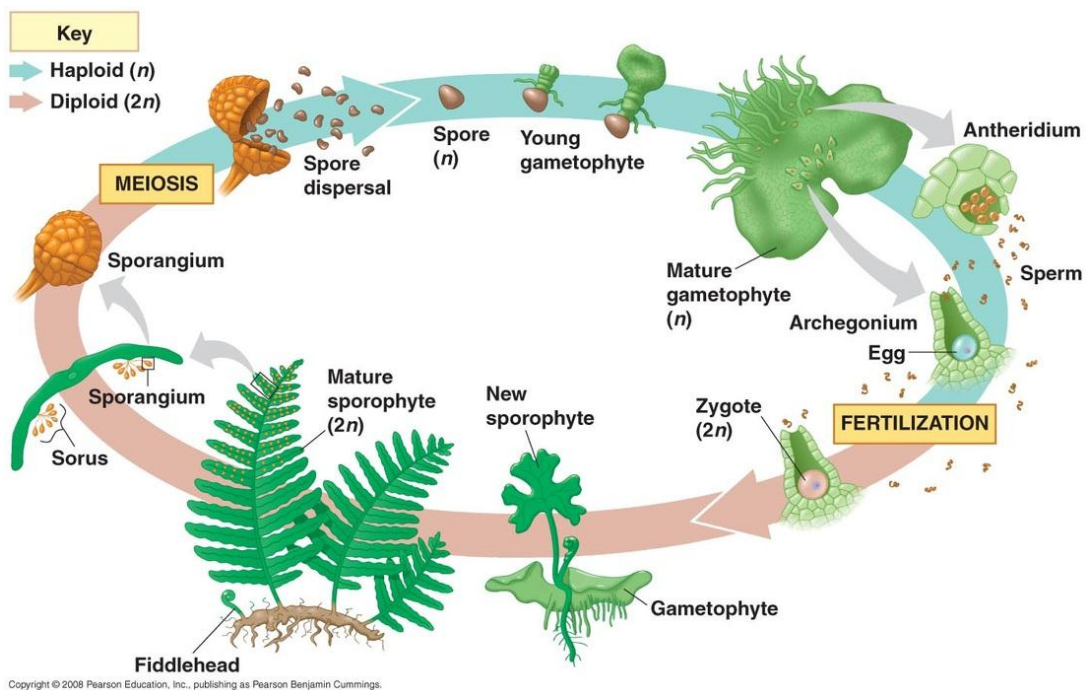
- **Reproduction sexuée :**

La fécondation est une oogamie, et les plantes peuvent être monoïques ou dioïques selon l'espèce.

Les anthéridies et les archégonies arrivent à maturité à des moments différents pour assurer une fécondation croisée. Les gamètes mâles, les anthérozoïdes, nagent dans l'eau du milieu extérieur et sont attirés par chimiotactisme vers les archégonies, pour aller féconder l'oosphère.

L'œuf se développe au sein de l'archégonie pour former le jeune sporophyte qui vivra dans les premiers temps en parasite du gamétophyte qui finira ensuite par dégénérer et disparaître.

On a deux cas, Généralement l'**isosporie** est associé à l'**isoprothallie** (thalles identiques et monoïques). En cas d'**hétérosporie**, on a des plantes dioïques, avec généralement des petits spores donnant des petits thalles mâle, et des gros spores donnant des gros thalles femelle (**hétérothallie**). Le cycle biologique des ptéridophytes est typiquement digénétique, diplohaplophasique avec une forte prédominance de la génération sporophytique sur la génération gamétophytique.



**Figure 5-** Cycle de vie d'une fougère.

#### 4- Classification :

L'embranchement des ptéridophytes comprend quatre classes :

**Les Psilotinées** : n'ont pas de racines ni feuilles mais possèdent des formations ligneuses différenciées.

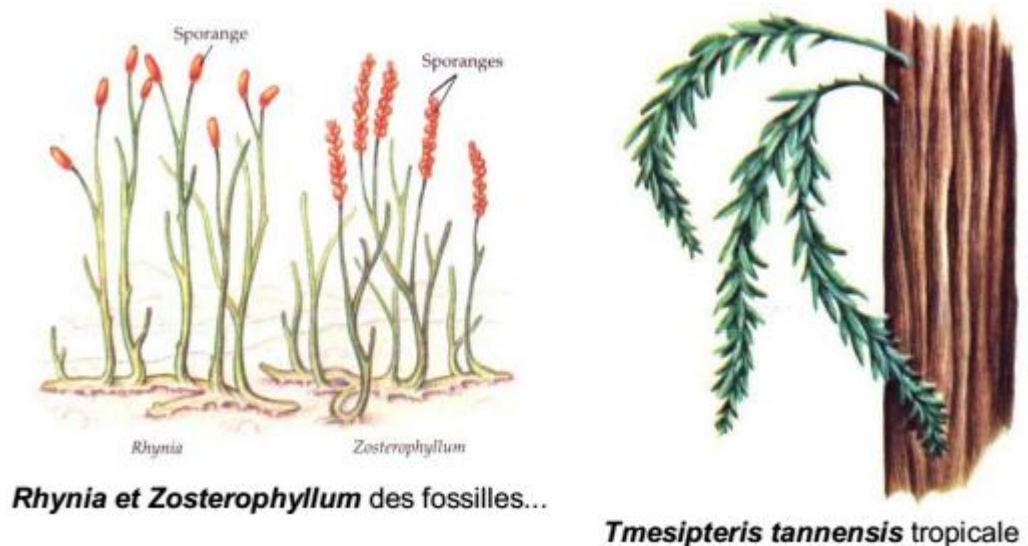
**Les Lycopodiinées** : ont des petites feuilles en forme d'écailles

**Les Equisetinées** : sont les prêles

**Les Filicinées** : sont les fougères bien connues par leurs frondes

**a- Psilotinées**: Plantes vasculaires les plus anciennes. Ce sont presque exclusivement des plantes fossiles à l'exception de quelques espèces actuelles (genres *Psilotum* et *Tmesipteris*). Ce sont des plantes herbacées dépourvues de racines (exemples : *Rhynia*, *Psilophyton*, *Zosterophyllum*, *Asteroxylon*)

Cette classe regroupe trois ordres : Psilotales, Rhyniales, Psilophytales



**Figure6-** Les Psilotinées

**b- Lycopodiinées** : Bien que ne possédant pas de vraies racines, on suppose que c'est dans cette classe que se trouvent les ancêtres des plantes à fleurs.

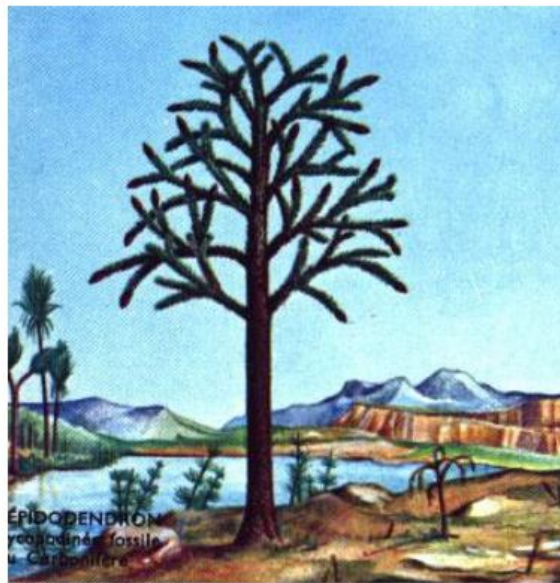
Cette classe regroupe trois ordres :

**Lycopodiales** : Ce sont des Plantes isosporées, comptant plus aujourd'hui que 2 genres dont le plus important est *Lycopodium*.

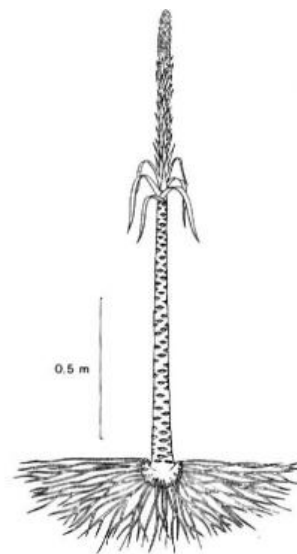
**Selaginellales** : représenté actuellement par le genre *Selaginella* qui est hétérosporé et supposées être à la source des végétaux actuels.



**Lepidodendrales :** Arbres fossiles hétérosporés atteignant 30 m de haut, avec deux genres principaux : *Lepidodendron* et *Sigillaria*. Les feuilles sont simples, étroites, ligulées et caduques.



*Lepidodendron* sp.



*Pleuromeia sternbergi*



*Lycopodium clavatum* et *Lycopodium cernuum*



*Lycopodium lucidulum* et *Lycopodium obscurum*



Figure7- Les Lycopodiniées



c- **Equisetinées ou prêles** : Il subsiste plus de ce groupe, qu'un seul genre : *Equisetum*

Les équisétinées est une classe caractérisée par un rhizome souterrain d'où surgissent des tiges verticales divisées en articules successifs, cannelées, creuses, portant à chaque noeud des feuilles réduites disposées en cercle (verticillées). Les sporanges sont portés par des organes spéciaux, en épi terminal d'une tige fertile, comprennent sept ordres dont six fossiles :

Protoarticulatales

Pseudoborniales

Sphenophyllales

Cheirostrobales

Tristachyales

Talamitales

Equisetales : la famille des Équisetacées représentée par un seul genre *Equisetum*

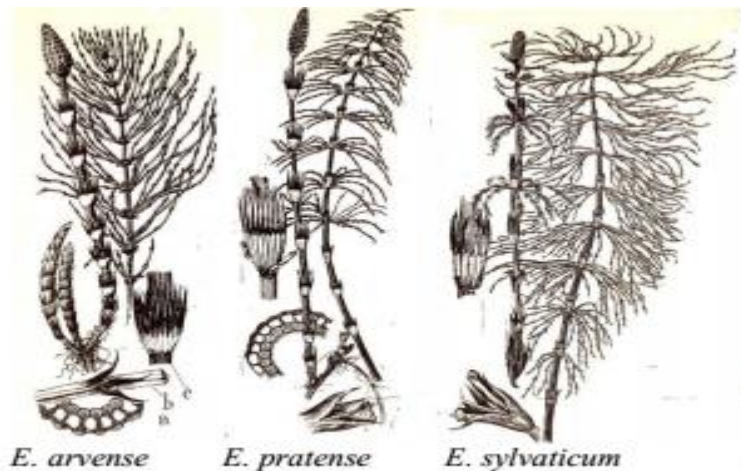
Equisetinées fossiles



*Calamites* sp.



*Calamites carinatus*



*E. arvense*

*E. pratense*

*E. sylvaticum*

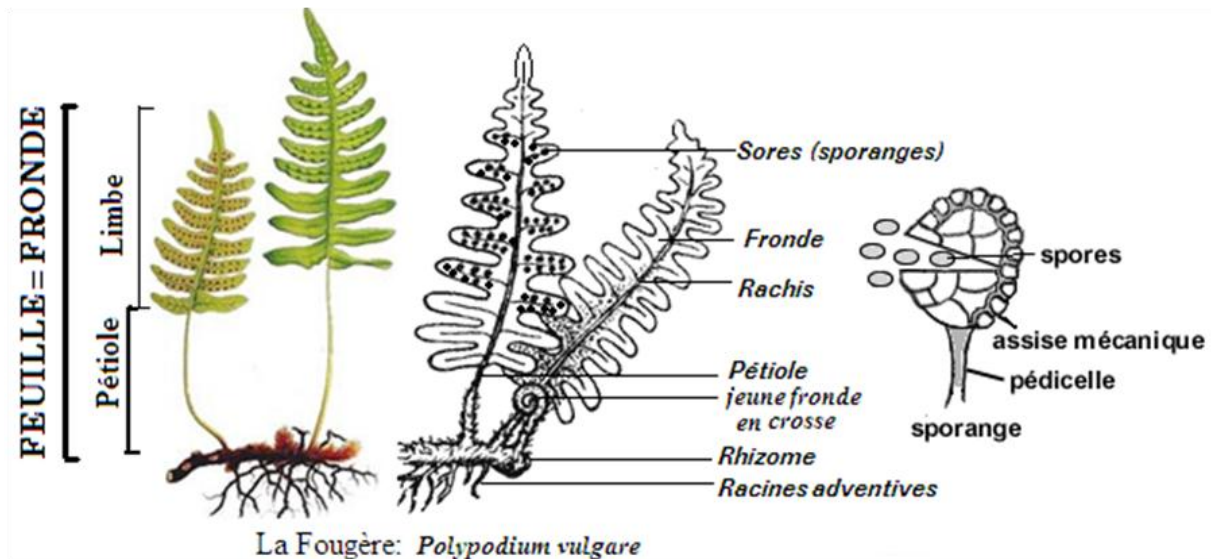
**Figure8-** Les Equisetinées ou prêles

#### d- Filicinées ou Fougères :

Ce sont des ptéridophytes caractérisées par leurs grandes feuilles (frondes), des sporanges petits et nombreux.

Les fougères sont les plus nombreuses plantes sans graines de la flore moderne. Il en existe plus de 12 000 espèces.

Les feuilles des fougères portent le nom de frondes. Elles se divisent souvent en plusieurs folioles appelées pennes. À mesure que la fronde croît, son bout enroulé, nommé crosse, se déroule.



Fougères fossiles



*Psaronius sp.*



*Tempskya*

**Figure9-** Les Filicinées ou Fougères

Les Filicinées comprennent onze ordres, les cinq premiers sont fossiles

Iridopteridales

Stauropteridales

Cladoxylales

Zygopteridales

Inversicaténales

Osmondales avec la famille des Osmondacées et les genres *Osmunda*, *Todea* et *Leptopteris*

Ophioglossales avec la famille des Ophioglossacées et les genres *Ophioglossum*, *Botrychium* et *Helminthostachys*

Marsileales avec la famille des Marsileacées et les genres *Marsilea*, *Pilularia*, *Regnellidium* tous aquatiques

Salviniales avec les familles des Salviniacées et Azollacées et les genres *Salvinia* et *Azolla* tous aquatiques

Marattiales avec la famille des Marattiacées et les genres *Archangiopteris*, *Angiopteris*, *Macroglossum*, *Marattia*, *Danaea* et *Christensenia*, toutes tropicales

Filicales avec 25 familles.

Schizaeacées et les genres *Schizaea*, *Ligodum*, *Artemisia* et *Mohria*

Gleicheniacées et les genres *Gleichenia*, *Platyzoma* et *Stromatopteris*

Hymenophyllacées et les genres *Trichomanes*, *Cardiomanes*, *Hymenophyllum* et *Serphyllopsis*

Hymenophyllopsiadacées et le genre *Hymenophyllopsis*

Negripteridacées et le genre *Negripteris*

Loxomacées et les genres *Loxoma* et *Loxomopsis*

Dicksoniacées et les genres *Dicksonia*, *Chotium* et *Culcita*

Plagiogyriacées et le genre *Plagiogyria*

Cyatheacées et les genres *Lophosia*, *Metaxia*, *Alsophila*, *Hemitelia* et *Cyathea*

Dipteridacées et le genre *Dipteris*

Matoniacées et les genres *Matonia* et *Phanerosorus*

Thyrsopteridacées et le genre *Thyrsopteris*

Dennstaedtiacées et le genre *Dennstaedtia*

Pteridacées et les genres *Lindsaya*, *Pteridium*, *Pteris* et *Adiantum*

Parkeriacées et le genre *Ceratopteris*

Davalliacees et les genres *Humata* et *Davallia*

Aspidiacées et les genres *Woodsia*, *Polystichum* et *Aspidium*

Aspleniacees et les genres *Asplenium* et *Phyllitis*

Polypodiacees et les genres *Polypodium* et *Pyrrosia*

Vittariacees et le genre *Vittaria*