

Les chlorophycophytes (algues vertes)

Un évènement d'endosymbiose primaire d'une Cyanobactérie s'est produit chez l'ancêtre commun à ce clade de la Lignée Verte. On retrouve donc un chloroplaste à double membrane qui contient de la chlorophylle a chez ces organismes. Dans ce groupe monophylétique (Figure 42), on peut regrouper les **Glaucophyta**, les **Chlorobiontes** et les **Rhodobiontes** ou algues rouges (ces 2 derniers clades étant regroupés sous le terme de **Métaphytes**). Les métaphytes ont la possibilité de former des organismes pluricellulaires.

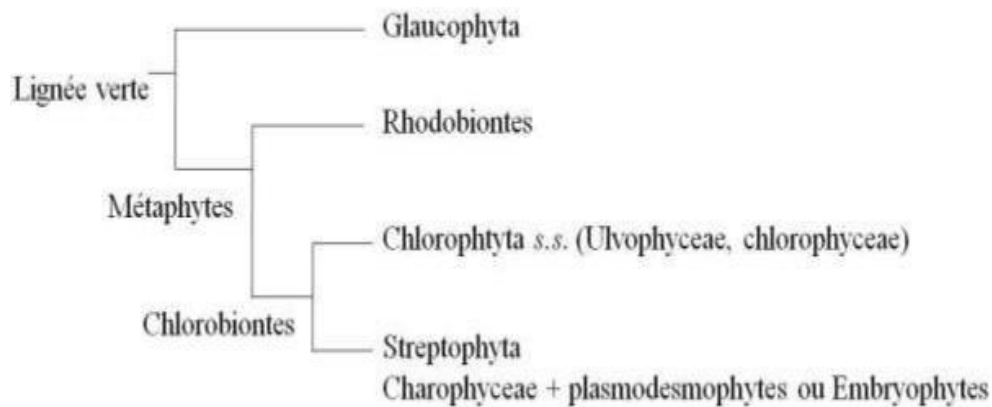


Figure 1 : Arbre phylogénétique de la lignée verte (ss : sens stricto)

Les **Chlorobionta** (**Chlorobiontes**) ou **Viridiplantae** définissent l'ensemble des organismes couramment reconnus comme les « végétaux verts ». Ils forment un groupe monophylétique comprenant les algues vertes et les plantes terrestres. Ils sont notamment caractérisés par la présence de **chlorophylle a** et de **chlorophylle b**.

Ils correspondent à l'image typique du végétal, de couleur verte, les chlorophylles n'étant généralement pas masquées par d'autres pigments.

Les **Chlorobiontes** se subdivisent eux-mêmes en deux clades principaux,

- 🚩 les **Chlorophyta** sensus stricto qui constituent au sein des plantes vertes un groupe monophylétique renfermant (**Chlorophyceae**, **Ulvophyceae**) qui rassemblent la plupart des algues vertes les plus connues et
- 🚩 les **Streptophyta**, groupe paraphylétique qui regroupent l'autre partie des algues vertes (**Charophyceae**) et les Plasmodesmophytes ou Embryophytes (plantes terrestres) qui présentent notamment des plasmodesmes qui permettent la communication entre deux cellules voisines.

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

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

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

Leurs formes et leurs tailles sont très variables (Figure 2): elles peuvent être microscopiques et unicellulaire comme la chlorelle (*Chlorella vulgaris*), le genre *cosmarium* et le genre *chlamydomonas*, grandes et pluricellulaire, en forme de lames plates, comme la laitue de mer (*Ulva lactuca*) et d'autres filamenteuses se présentent sous la forme d'un tube (*Enteromorpha intestinalis*).

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



Figure 2 : la diversité de thalle des algues vertes A/ Caractères généraux

Généralement les cellules des algues vertes se caractérisent par :

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

B/ Reproduction des chlorophycophytes

a/- Reproduction asexuée

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

b/- Reproduction sexuée

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

C/Cycle de vie

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

D/ Systématique

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

On reconnaît actuellement deux embranchements au sein des

Chlorobionta : les *Chlorophyta* et le *Streptophyta*.

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

❖ Les *Chlorophyta*

On ne reconnaît pas de caractères réels propres pour définir ce groupe mis à part les séquences génétiques. On distingue cinq classes :

-  *Prasinophyceae*,
-  *Pedinophyceae*,
-  *Ulvophyceae*,
-  *Chlorophyceae*,
-  *Trebouxiophyceae*.

Classe 1 : *Chlorophyceae*

Ce sont essentiellement des algues d'eau douce. L'appareil végétatif est coccoïde ou monadoïde, unicellulaires, ou cénobiales filamenteux. Ces algues peuvent présenter 2 à 4 flagelles égaux et lisse ou

une couronne de flagelles. Leur cycle de reproduction est monogénétique haplophasique. Cette classe est hétérogène, est divisée en 12 ordres. Dont les plus importants sont

Ordre 1 *Chamydomonales*

Famille *Chlamydomonadaceae*

Genre *Chlamydomonas*

Ordre 2 *Vovocales*

Famille *Volvocaceae*

Genre : *Volvox*

Ordre *Chlorococcales*

Famille 1 : *Chlorococcaceae*

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

Famille 2 : *Endosphaeraceae*

Genres : *Chlorochytrium*, *Gomontia*

Famille 3 : *Scenedesmaceae*

Genre : *Scendesmus*

Ordre *Chaetophorales*

Genre : *Chaetophora*

Classe 2 : *Ulvophyceae* :

Les Ulvophyceae lato sensu ne contiennent pas d'algues monadoïdes. La grande majorité des taxons sont pluricellulaires. Les cellules flagellées possèdent deux (Généralement les gamètes) ou quatre (généralement les spores). Elles présentent des flagelles égaux et lisses ou parfois en couronne de flagelles, structure « stéphanoconté ».

Leur cycle de reproduction est variable monogénétique haplophasique ou digénétique haplodiplophasique iso ou hétéromorphe. Les Ulvophyceae sont essentiellement marines et benthiques. Il existe cependant des nombreuses espèces d'eau douce qui peuvent supporter d'énormes variations de salinité depuis l'eau de mer jusqu'à l'eau douce, exemple de l'espèce *Enteromorpha intestinalis*). .

❖ Systématique

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

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

Famille 1 : *Acrosiphonaceae*

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

Famille 2 : *Aphanochaete*

Genre : *Aphanochaete*

Famille 3 : *Borodinellaceae*

Genre : *Planophila*

Famille 4 : *Capsosiphonaceae*

Genre : *Capsosiphon*

Famille 5 : *Kornmanniaceae* Genre : *Kornmania*

Famille 6 : *Monostromataceae*

Genre : *Monostroma*

Famille 7 : *Chlorocystidaceae*

Genre : *Chlorocystis*

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

Genre : *Ulothrix*

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

Famille 1 : *Ulvaceae*

Genres : *Blidingia*, *Percursaria*, *Ulva*, *Enteromorpha*

Famille 2 : *Ulvellaceae*

Genres : *Achrochaete*, *Ulvella*

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

cycle de reproduction est digénétique haplophasique isomorphe, la fécondation est iso ou anisogamie. Cet Ordre comprend 6 familles différentes

Famille 1 : *Anadyomenaceae*

Genres : *Anadyomene, Microdictyon*

Famille 2 : *Wittrockiellaceae* Genre : *Wittrockiella*

Famille 3 : *Boodleaceae*

Genres : *Boodlea, Phyllodictyon, Struvea*

Parmi les familles les plus importantes sont :

Famille 4 : *Cladophoraceae*

Genres : *Cladophora, Chaetomorpha et Rhizoclonium*

Famille 5 : *Siphonocladaceae*

Genres : *Cladophoropsis, Siphonocladus*

Famille 6 : *Valoniaceae*

Genres : *Valonia, Dictyosphaeria, Ernodesmis et Ventricaria*

Ordre 4 : les *Bryopsidales*

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

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

Famille 1 : *Bryopsidaceae*

Genres : *Bryopsidella, Bryopsis et Trichosolen*

Famille 2 : *Codiaceae*

Genres : *Codium, Flabellia, Ostreobium*

Famille 3 : *Derbesiaceae*

Genres : *Derbesia, Pedobesia* Ordre 5 : Les *Halimadales*

Cet ordre comprend aussi 3 familles

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

Genre : *Caulerpa*

Famille 2 : *Halimedaceae* un seul genre aussi

Genre : *Halimeda* Famille 3 : *Udoteaceae*

Genres : *Avrainvillea, Udotea*

Ordre 6 : Les *Dasycladales*

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

Famille 1 : *Dasycladaceae*

Genres : *Batophora*, *Cymopolia*, *Dasycladus*

Famille 2 : *Polyphysaceae*

Genre : *Acetabularia*

Ordre 7 : *Trentepohliales*

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

Famille : *Trentepohliaceae*

Genres : *Cephaleuros*, *Phycopeltis*, *Stomatochroom*, *Printzinia*.....

Classe 3 : *Prasinophyceae*

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

Ordre 1 : *Chlorodendrales*

Famille : *Chlorodendraceae* Genre : *Prasinocladus* Genre : *Tetraselmis* Genre : *Sherffelia*

Ordre 2 : *Pseudoscourfieldiales*

Famille : *Pycnococcaceae*

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

Ordre 3 : *Pyramimonadales*

Famille : *Monomasticaceae*

Genre : *Monomastix*

Ordre 4 : *Mamiellales*

Famille : *Mamiellaceae*

Genre : *Bathycoccus*, *Ostreococcus* et *Mamiella*

Classe 4 : *Pedinophyceae*

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

Classe 5 : *Trebouxiophyceae*

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

Trebouxiales, Microthamniales et Prsiolales

❖ Les Streptophyta

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

Classe 1 : *Mesostigmatophyceae*

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

Classe 2 : *Chlorokybophyceae*

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

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

Classe 3 : *Klebsormidiophyceae*

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

Classe 4 : *Colcochaetophyceae*.

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

Classe 5 : *Zygnematophyceae* appelées encore *Conjugatophyceae*

Cette classe regroupe entre 56 genres et 10 000 et 13 000 espèces. Elle regroupe des algues unicellulaires ou filamenteuses. Les cellules sont uninuclées, sont haploïdes (excepté le zygote), le noyau généralement situé au centre de la cellule. Les parois sont pectocellulosiques, la forme du plaste (étoilé, en lame ou en ruban) et contiennent un ou plusieurs pyrénoides. Les chloroplastes ont souvent les thylacoïdes empilées à la manière des grana des végétaux supérieurs. Ces algues sont caractérisées par une absence totale de flagelles et par un type de reproduction sexuée (conjugaison), les gamètes sont amiboïdes. Leur cycle de reproduction est monogénétique haplophasique. Dans cette

classe, il y a formation des zygospores qui peuvent épaissir leur paroi et faire office d'organes de résistance à la dessiccation. La multiplication végétative peut aussi s'effectuer par fragmentation ou aplanospores (spores dépourvus de flagelles).

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

Ordre 1 : *Zygnematales* (algues filamenteuses)

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

Genre : *Zygnema Spirogyra Mougeotia*

Ordre 2 *Desmidiiales*

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

Il contient 5 familles :

+ ***Mesotaeniaceae*,**

+ ***Gonatozygaceae*,**

+ ***Closteriaceae*,**

+ ***Peniaceae***

+ ***Desmidiaceae*,**

Cette dernière est la principale famille de l'ordre des *Desmidiiales*, dont les principaux genres sont : ***Micrasterias, Closterium, Cosmarium, Desmidium, Staurostrum***

Les plus anciens fossiles des *Desmidiiales* connus remontent au milieu du Dévonien ; les plus anciennes *Zygnematales* fossiles remontent au Carbonifère. Elles sont utilisées comme aliment en aquaculture et indicateur de la qualité des eaux par l'étude des associations des desmidiées).

Classe 6 : *Charophyceae* :

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

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

Les rhizoïdes des charales contiennent des statolithes (vacuoles referment des cristaux de sulfate de baryum), les parois cellulaires sont cellulosique souvent calcifiées (incrustées d'aragonite).

Les plastes sont nombreux sans pyrénoides, les thylacoïdes s'agencent en pseudo-grana.

Le GENRE *Spirogyra* :

a- Position systématique :

b- Règne : Plantae

Embranchement : Streptophyta

Classe : Zygomycetes Ordre : Zygnematales Famille : Zygnemataceae Genre : *Spirogyra*

c- 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 bioindicateur 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.

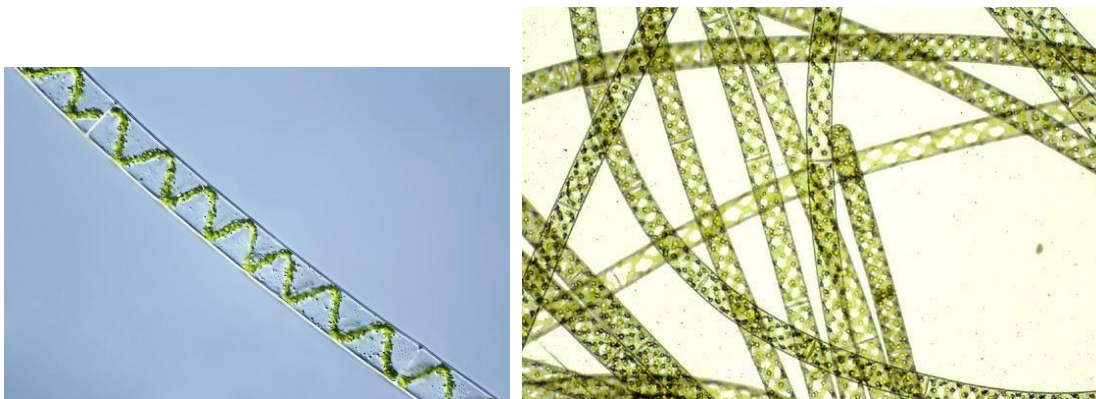


Figure3- Filaments de *Spirogyra*

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.

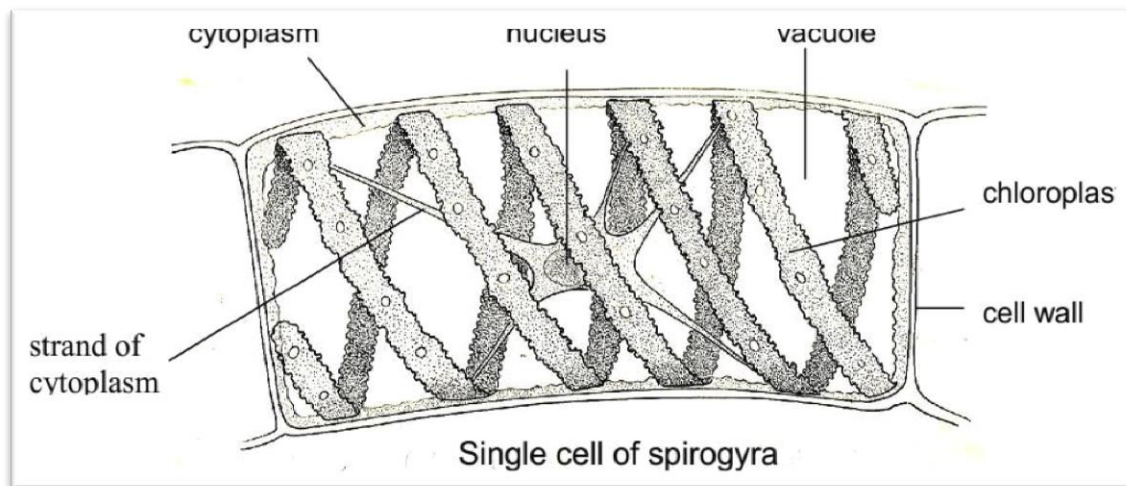
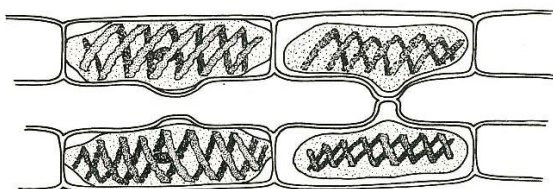


Figure4- Cellule de *Spirogyra*

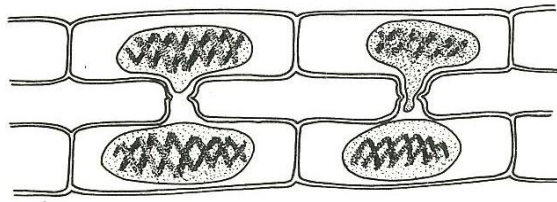
d- Reproduction :

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

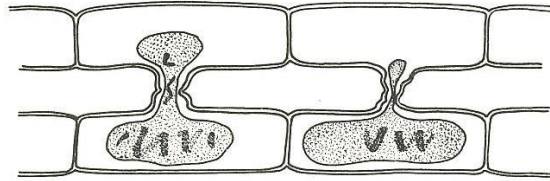
- Certains filaments, dans un ensemble de filaments parallèles, jouent le rôle de femelle et d'autres celui de mâle.
- Deux filaments s'accolent et chaque cellule émet une petite protubérance sous forme d'une extension tubulaire vers la cellule d'en face pour former un tube continu entre les deux cellules (pont de conjugaison).



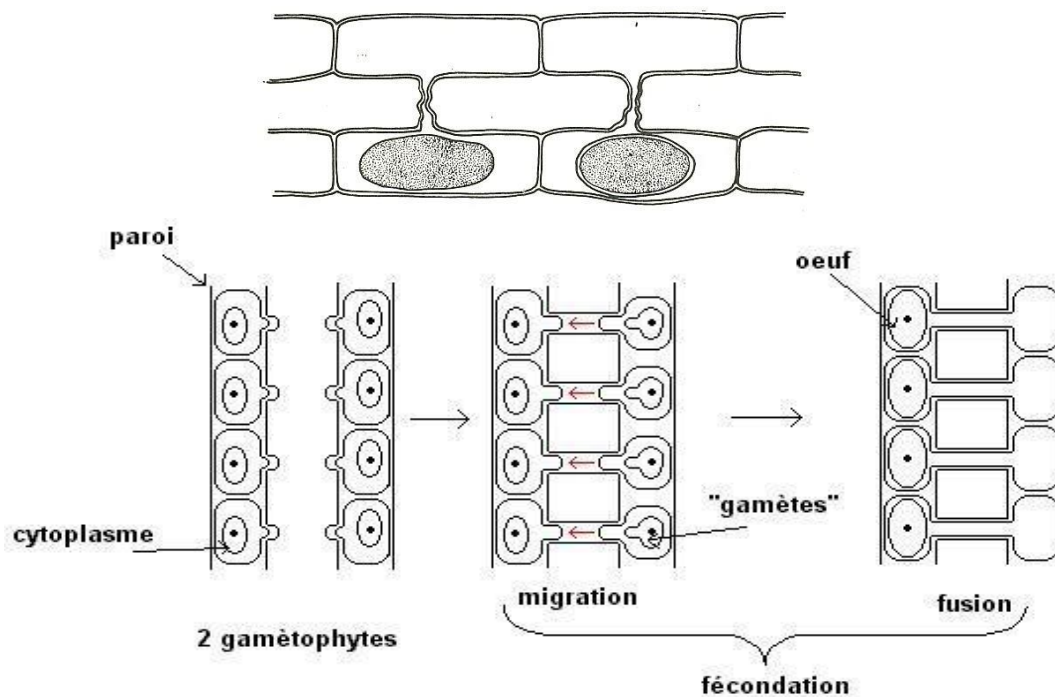
- Dans le même temps, le contenu de chaque cellule a formé une sphère.



- 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.



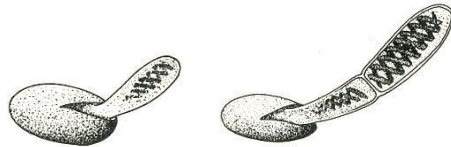
- Ceci est une fécondation où les gamétophytes n'existent pas et avec des gamètes peu différenciés.
- Le résultat de cette fécondation est une cellule œuf ou zygote diploïde (zygospore) dans le filament femelle.



- 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.

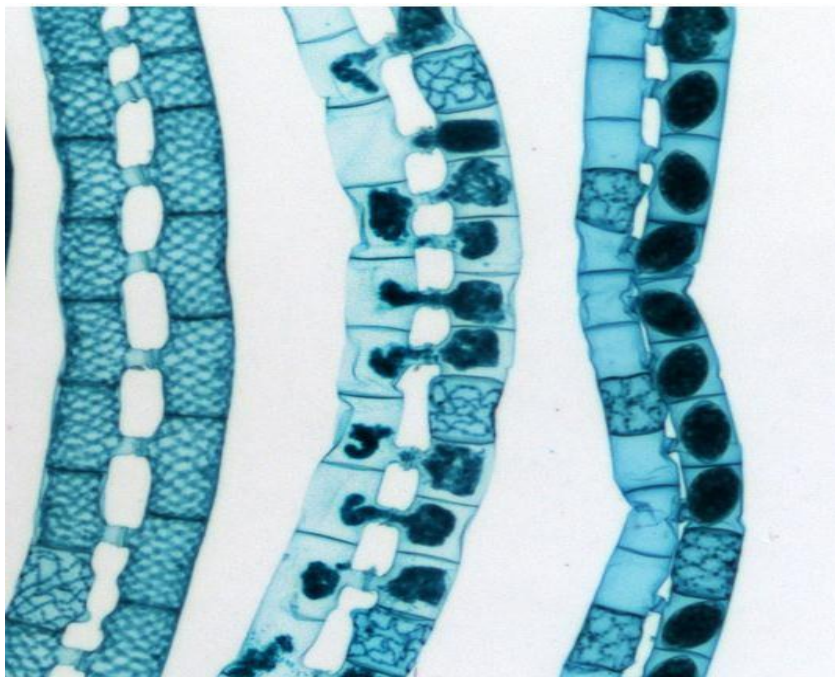


Figure 5- Cystogamie de *Spirogyra* sous microscope

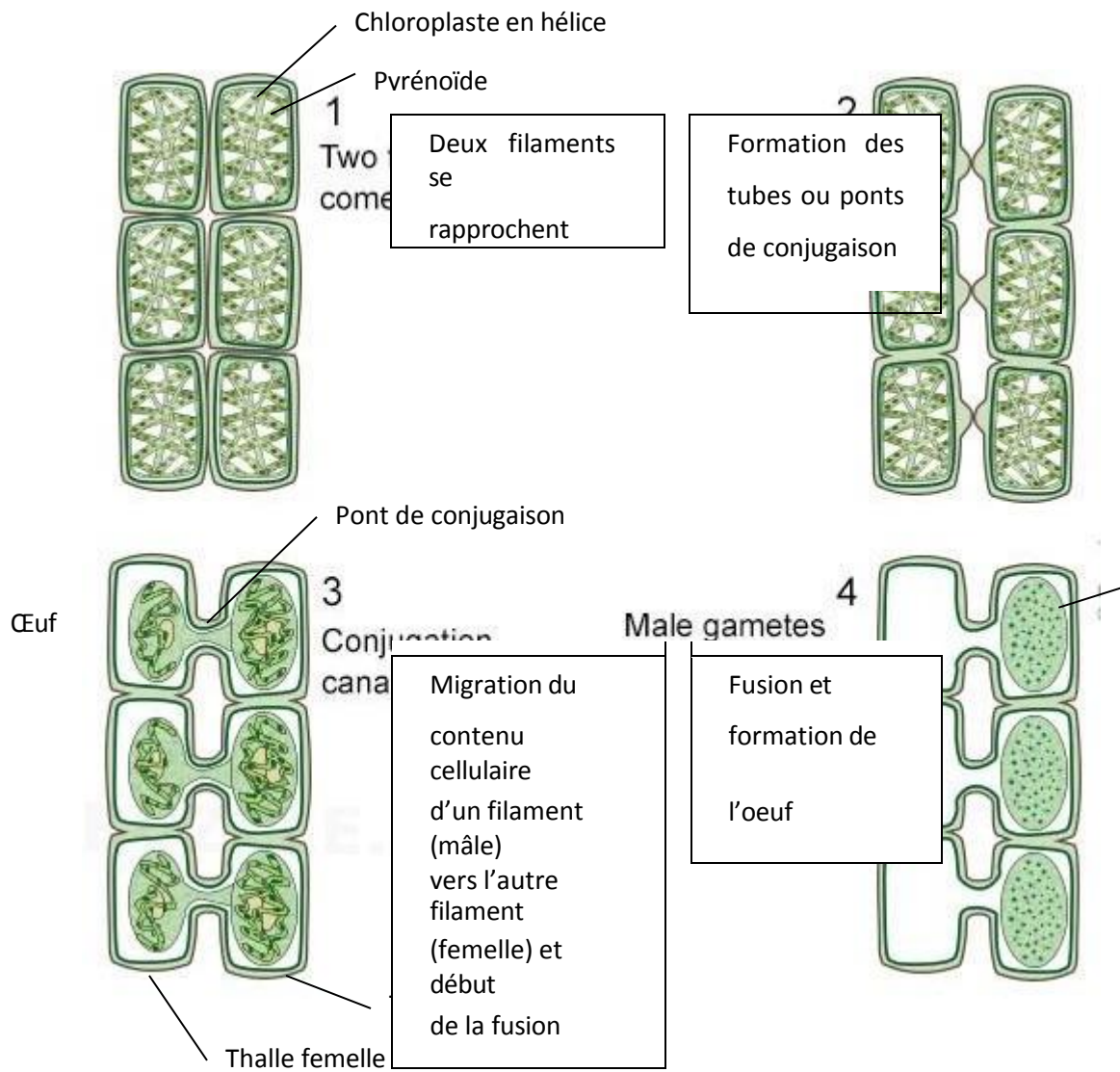


Figure 6- Etapes de la cystogamie