

Chapitre 3 :

Les Algues.

I\ Généralités.

Les algues sont des thallophytes. Elles se reproduisent grâce à des gamètes qui se forment dans les gamétocystes et se multiplient végétativement par des spores formées dans les sporocystes.

Les algues se caractérisent par la présence d'un noyau et de plastes, et par la reproduction sexuée.

En 1975, des chercheurs ont trouvé un procaryote : l'Olochron, qui vit en symbiose avec l'Aclidie et qui contient de la chlorophylle A et B. Il serait à l'origine de tous les végétaux supérieurs contenant ces deux types de chlorophylles.

Les algues existent dans tous les milieux humides, dans l'air. Dans les régions tropicales on les trouve même sur les murs des bâtiments. Elles peuvent être endophytes de certains protozoaires ou métazoaires. Certaines algues s'associent à des champignons et forment les lichens.

Au point de vue reproduction, on trouve trois cycles différents chez les algues : haplophasique, haplodiplophasique ou diplophasique. Elles ont des modes de fécondation divers : planogamie (gamètes flagellés), oogamie (gamète mâle mobile et femelle immobile), cystogamie (pas de gamète flagellé), trichogamie...

II\ Caractères morphologiques et cytologique des algues.

- Elles peuvent être unicellulaires, filamenteuses, ou parenchymateuses. Leur taille est très variable : de $3\mu\text{m}$ à 60m .
- Cytologie des algues : Le plastidum est appareil cinétique qui concerne les flagelles.
- Chez les algues, les plastes sont très variés et différents par leur morphologie, leur nombre, leurs dimensions, la structure et la composition chimique.
- La morphologie des plastes varie beaucoup d'un groupe à l'autre. Les algues considérées comme les moins évoluées ne contiennent qu'un plaste par cellule. Ce sont les archéons.

D'autres algues ont leurs plastes réunis en réseau par un tractus incolore : on dit que ces plastes sont mesplastidiés. Les formes les plus évoluées d'algues renferment de nombreux plastes indépendants, comme ceux des plantes supérieures qui sont dits néoplastidiés. Cette fragmentation successive des plastes entraîne une augmentation de la surface active par rapport au volume des substances plastidiales renfermées dans la cellule. Certaines formes évoluées ont une structure hétéroplastidiées. On assiste à une division du travail entre deux séries de plastes : des chloroplastes spécifiques de la photosynthèse et des leucoplastes ou amiloplastes spécifiques de l'élaboration et de l'accumulation d'amidon.

Remarque : Quel que soit leur nombre, les chloroplastes montrent un phototachisme très net offrant leur plus grande surface aux rayons lumineux suivant l'intensité de ceux-ci.

III\ Structure.

A\ L'enveloppe.

Le nombre de chloroplastes est témoin de l'origine de ces groupes. Chez les algues, on a par exemple :

- Les rhodophytes ont un chloroplaste entouré de deux membranes. En fait, ces deux membranes ont une origine différente
- Euglénophytes et dinophytes ont trois membranes autour des plastes. Pour les dinophytes, cela viendrait de trois symbioses successives et pour les euglénophytes, ce serait une cellule eucaryote qui aurait englobé une association déjà symbiotique avec des chloroplastes à deux membranes et peut-être quelques restes d'algues vertes.
- Dans le cas des organites à quatre membranes, il y aurait deux symbioses successives, une symbiose entre un ancêtre eucaryote et une cyanobactérie. Ce qui donnerait l'archétype d'une algue rouge qui ensuite aurait subi une symbiose avec un eucaryote flagellé incolore.

En microscopie électronique, on a mis en évidence l'existence d'un organisme nucléomorphe (vestige de noyau).

B\ Les chloroplastes.

Ce sont les plastes chlorophylliens des algues. Ils possèdent une structure lamellaire due aux thylacoïdes qui sont des sacs membraneux aplatis, au niveau desquels sont localisés les pigments des cyanobactéries. Ils ne sont pas entourés de membrane dans le cytoplasme.

Chez les algues rouges, les thylacoïdes sont séparés les uns des autres. Les phycobilisomes sont à l'extérieur des thylacoïdes comme chez les cyanobactéries.

Chez les algues brunes (les phéophytes) diatomées et les chrysophytes, les thylacoïdes sont groupés par trois et accolés sur une grande surface. Chez les cryptophytes, les thylacoïdes sont groupés par paires.

Chez les algues vertes (A+B), les thylacoïdes forment un empilement irrégulier rappelant le granum des plantes supérieures et sont accolés sur une grande distance

C\ Le stroma et annexe plastidiaux.

Le stroma a un rôle métabolique et physique important car il renferme plusieurs enzymes, de l'ADN et des ribosomes. Les ribosomes des plastes sont différents de ceux des mitochondries. Parmi les annexes, on a les pyrénoides qui sont importants quand on fait de la détermination d'algue. Ce sont des organites de nature protéique. Ils apparaissent comme une différenciation du stroma plastidial. Chez les algues vertes, les pyrénoides sont entourés d'une membrane.

On a différentes localisations des chloroplastes : le stigma que l'on retrouve chez les cellules mobiles et il provient généralement de la différenciation d'une petite partie d'un plaste unique mais il peut également provenir de la transformation totale d'un plaste quand la cellule en possède plusieurs. Il est situé au voisinage de l'insertion des flagelles et est souvent associé à un photorécepteur pouvant être situé sur un renflement de la base flagellaire.

D\ L'appareil cinétique.

Beaucoup d'algues unicellulaires ou coloniales ont des flagelles. Le nombre de flagelles est souvent deux (on en a en général entre 0 et 4). Toutefois, on en trouve beaucoup plus chez certaines cellules reproductrices. Ces flagelles peuvent être égaux ou inégaux. Ils ont en général la même orientation. Les flagelles peuvent posséder des expansions fibrillaires appelées «mastigonèmes».

Le nombre, la forme et la disposition des flagelles sont une des manifestations de la diversité des algues. Cela permet de caractériser des groupes ou des espèces dans un but taxonomique.

IV\ Les cycles de reproduction.

A\ Les rhodophytes.

Ce sont les formes les plus primitives ; elles proviendraient d'une seule symbiose. Elle a un chloroplaste à 2 membranes : la membrane d'une cyanobactérie plus la membrane d'une vacuole. Elles ont des points communs avec les cyanobactéries. On note la présence de billiprotéines (phycobilline) et de phycobillisomes situés à l'extérieur des thylacoïdes. Il n'y a qu'une seule classe : les rhodophycées qui sont pour la plupart des algues marines. Il y a 600 genres connus dont 29 en eau douce. Les algues marines sont presque toutes rouges alors que les formes d'eau douce le sont rarement (les billiprotéines sont solubles dans l'eau).

1\ Caractéristiques :

- Elles possèdent de la chlorophylle A et D, donc possèdent des billiprotéines qui leur permettent de balayer tout le spectre d'absorption de la lumière, ce qui leur permet de pouvoir effectuer la photosynthèse. Elles vivent et se développent en grande profondeur. Leurs réserves sont constituées par l'amidon florigéen (ou rhodamylon).
- On peut observer la présence de synapses qui sont les stigmates laissés après une ouverture de la paroi lors de la formation de 2 cellules. Ces synapses ont aussi un rôle dans la migration de substances dissoutes qui est encore mal défini.

2\ Morphologie.

Elles sont cladomientes, c'est à dire, typiquement constituées par un axe primaire non chlorophyllien. Cet axe primaire peut se ramifier en cladome II et III. Ces cladomes portent des rameaux courts, ramifiés à croissance limitée et sont toujours chlorophylliens : ce sont les pleuridies.

On observe différentes structures de cladomes :

- Des cladomes uniaxiaux à croissance indéfinie par le jeu d'une cellule initiale apicale. Ils portent des pleuridies alternes ou opposées. L'axe du cladome est toujours constitué par une seule file de cellules qui sont haplostichées.
- Des cladomes multiaxiaux avec des pleuridies typiques, non cortiquantes. L'axe cladomien est formé de plusieurs files de cellules.

Les cladomes uni ou multiaxiaux, avec leurs pleuridies, forment un cortex appliqué sur l'axe.

Toutes les cellules coxales portent des pleuridies, mais celles-ci sont très courtes, soudées, constituant des nœuds le long des filaments axiaux.

Les cladomes rhodoméloïdes sont toujours liés à une structure uniaxiale. Les pleuridies ont un grand développement et forment un cortex appliqué sur l'axe. Une seule n'est pas appliquée et forme la pleuridie chlorophyllienne. Elles sont distribuées comme les feuilles d'un phanérogame.

Quand le cladome est en lames foliacées, les pleuridies sont soudées entre elles.

3\ Reproduction sexuée sans flagelle.

Les rhodophycées 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.

Le gamétophyte est dioïque, bien que les plantes mâles et femelles soient haploïdes.

- Sur les thalles femelles, à partir de la cellule coxale d'une pleuridie, naît un rameau particulier : le rameau carpogone. Il y a trois cellules incolores à la base du carpogone où se trouve l'oosphère munie d'un trichogyme.

- Sur les thalles mâles, à partir des cellules des pleuridies, naissent des petites ramifications portant de nombreux gamétocystes mâles produisant chacun un gamète unique nu et non flagellé : c'est une spermatie. Les spermatis flottent passivement dans l'eau et se fixent sur le trichogyme du carpogone et le contenu de la cellule de la spermatie passe du trichogyme puis au carpogone. A ce moment, il y a union des 2 noyaux. Le zygote ainsi formé est entouré de la paroi du carpogone surmonté du trichogyme qui flétrit. Les noyaux se divisent par mitoses successives. Un ensemble de cellules arrondies est un gonimoblaste. Ces cellules sont des carposporocystes qui donnent naissance à des carpospores avec un noyau à 2N.

L'ensemble carpogone plus gonimoblaste forme le carposporophyte. Ce dernier est situé sur le thalle qui lui a donné naissance. Ce qui donne un thalle à 2N, morphologiquement identique à ceux à N chromosomes. Ce thalle à 2N constitue le tétrasporophyte. Celui-ci donne naissance à des tétraspores provenant de cellules spécialisées : ce sont les tétrasporocystes où a lieu la méiose qui donnera 4 tétraspores à N chromosomes (espèce monoïque).

Les rhodophycées ont un cycle haplodiplophasique trigénétique (thalle à N chromosome donne un gamétophyte qui lui donnera un carposporophyte). Le gamétophyte donne le tétrasporophyte qui libérera les tétraspores.

B\ Les chromophytes

1\ Généralités.

Ce sont des algues qui possèdent les chlorophylles A et C. Ils font parti de la classe des Phéophycées. 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).

Par exemple : - au Japon, certains bords de mer sont exploités pour l'alimentation humaine : ce sont les Kombu. - Ils sont utilisés dans l'industrie alimentaire pour l'extraction des alginates dans : les yaourts, les cosmétiques, la peinture, l'imprimerie... Ils servent d'épaississants ou de gélifiants.

Dans ce groupe, l'anatomie et les modes de reproduction sont variés. Toutefois, 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). Elles sont toujours pluricellulaires. Les cellules reproductrices mâles sont toujours biflagellées (un flagelle antérieur et un postérieur). Les flagelles s'insèrent sur le côté de la cellule.

2\ Les cycles de reproduction.

On en a de 2 types : haplodiplophasique chez *Ectocarpus* et *Laminaria*, et diplophasique chez *Fucus*.

a\ *Ectocarpus siliculosus*.

Ils sont en forme de petites touffes de filaments bruns qui sont ramifiés et constitués de simples fils de cellules (ils sont rampants ou dressés). Chaque cellule renferme plusieurs plastes rubanés, où l'on trouve des pyrénoides.

On a deux types d'individus identiques morphologiquement :

- les gamétophytes à N chromosomes.
- les individus sporophytiques à 2N chromosomes.

1\ La multiplication asexuée.

Elle se fait à partir de sporocystes pluriloculaires. Ils se forment à partir d'une cellule qui subit de nombreuses mitoses, puis donne des petites loges qui vont donner naissance à une zoospore qui se fixera pour donner naissance à un nouveau gamétophyte. Si les zoospores sont haploïdes, ils proviennent d'un gamétophyte et s'ils sont diploïdes, ils proviennent d'un sporophyte.

2\ La reproduction sexuée.

Certaines cellules issues des sporocystes, à partir des gamétophytes (mâles ou femelles) donnent des spermatozoïdes. Certains gamètes se comportent comme des gamètes femelles attirants les gamètes mobiles mâles. C'est une reproduction de type planogamie car les gamètes mâles ont des flagelles (sont mobiles), isogame morphologiquement (même forme) mais anisogame fonctionnellement.

Les gamétophytes sont dioïques, qu'ils soient mâles ou femelles.

Le zygote formé va se développer en redonnant un sporophyte identique au gamétophyte. Dans des cas exceptionnels, le sporocyste reste sous la forme d'une grande cellule dont le noyau subit de nombreuses divisions cellulaires. Les nouveaux génomes donneront des gamètes.

⇒ Cycle haplodiplophasique, espèce dioïque, fécondation par planogamie isogame morphologiquement et anisogame fonctionnellement. La multiplication asexuée est réalisée grâce à des zoo-mitospores haploïdes et diploïdes.

b\ Les laminaires.

1\ Généralités.

Ils peuvent mesurer jusqu'à quelques dizaines de mètres. Leur thalle est constitué par un stipe. La croissance se réalise entre le stipe et la fronde grâce aux méristèmes intercalaires. L'appareil végétatif diploïde donne le sporophyte. Il n'y a pas de multiplication asexuée par mitospores. Les trois parties du thalle (stipe, méristèmes et fronde) ont la même organisation histologique. De l'intérieur vers l'extérieur, on distingue :

- Le méristoderme. Il assure la croissance en épaisseur et produit uniquement des cellules vers l'intérieur, ce qui forme des couches concentriques rappelant les cernes du bois de printemps et d'automne (vers l'extérieur, on a les canaux mucifer). Seules les cellules externes sont chlorophylliennes. Tout le méristoderme intervient dans l'absorption des nutriments.
- Le cortex. Il est plus ou moins épais selon l'âge. Il est constitué d'assises de cellules séparées par une matrice intercellulaire
- La moelle ou zone médulaire. Elle est composée de files de cellules ramifiées à plastes peu nombreux. Ils forment des hyphes comme chez les mycètes. Les parois longitudinales sont plus épaisses chez les fibres (vaisseaux conducteurs).

2\ La reproduction sexuée.

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. On trouve 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 biflagellés qui vont germés en donnant un nouvel organisme beaucoup plus petit : C'est le prothalle. 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. L'oogame s'ouvre mais reste fixé au gamétophyte.

Le zygote formé va redonner un appareil végétatif à $2N$. Chez les laminaires, le cycle est digénétique (2 générations).

Le gamétophyte haploïde est de taille réduite et de durée de vie très courte. Il n'y a pas de multiplication asexuée chez les laminaires.

c\ *Fucus vesicu.*

C'est algue brune très répandue dans les mers tempérées et froides de l'hémisphère Nord.

1\ Appareil végétatif.

Il est diploïde, constitué d'un ensemble de lanières plus ou moins rubanées, ramifiées dicotomiquement dans un même plan. L'algue est fixée sur un rocher grâce à un disque adhésif et peut atteindre quelques décimètres de long. Sur la fronde, on observe une nervure médiane saillante, des vésicules pleines de gaz (des flotteurs). La croissance de la fronde se fait par une cellule initiale unique, située dans une invagination au sommet des ramifications. Comme chez les Laminaires, il n'y a pas de multiplication asexuée.

2\ La multiplication sexuée.

Le thalle est diploïde, c'est un sporophyte, qui porte des gamétophytes regroupés à l'intérieur de conceptacles qui sont à l'extrémité des frondes. Le fucus est une espèce dioïque (une plante mâle et une plante femelle).

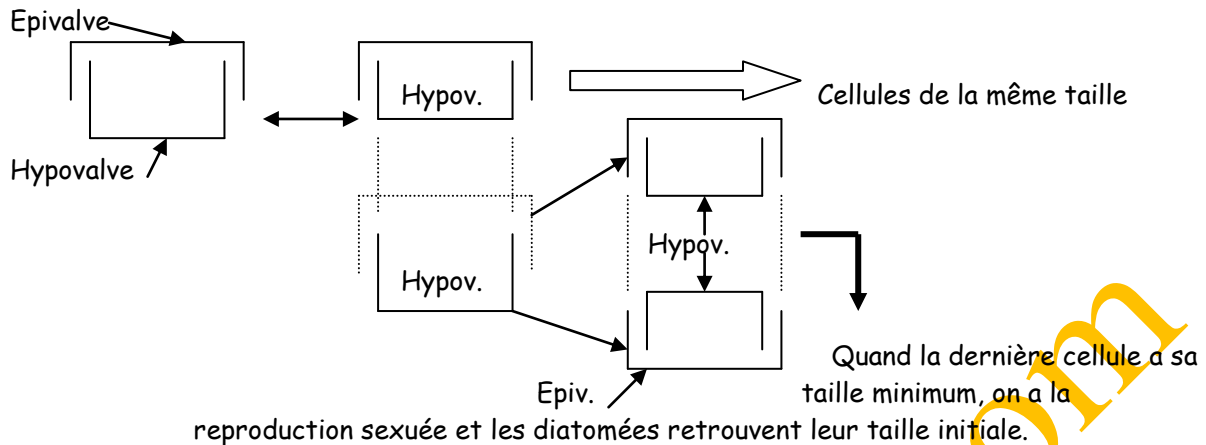
- Le gamétophyte mâle. A son extrémité, il y a des poils non fertiles (les paraphyses), qui sont de petits filaments ramifiés qui portent les gamétocystes. Chaque gamétocyste subit la méiose et donnent quatre noyaux. Puis, il subit quatre mitoses qui donnent 64 spermatozoïdes biflagellés sur le côté.
- Le gamétophyte femelle. On y trouve des réceptacles mélangés à des paraphyses non ramifiés, ce qui donne un gamétocyste femelle où se réalise la méiose qui va donner quatre cellules, puis huit oosphères non flagellées. Ces dernières sont libérées dans l'eau de mer et attirent les spermatozoïdes. Là, a lieu la fécondation qui donne naissance à un zygote à $2N$ qui germera en donnant un thalle mâle ou femelle à $2N$. C'est une reproduction par oogamie. Le cycle est diplophasique et monogénétique, l'espèce est diplophasique.

d\ *Bacilliarophyceae.*

C'est une diatomée avec un important rôle écologique : ils constituent la base de chaînes écologiques et ont un rôle d'auto-épurateurs dans les rivières et servent d'indicateurs de pollution.

Ces diatomées sont constituées par 2 valves (épivalves et hypovalves). Quand la cellule se divise, il apparaît entre les deux valves, des connectives (ou ceintures ou bandes) qui sont

appelées des cingulum. L'épivalve génère une valve de même dimension que son ancienne hypovalve. La diatomée est comme une boîte de camembert.



C\ Les chlorophycées.

1\ Généralités.

Ce sont des algues qui possèdent de la chlorophylle A et B.

Elles sont regroupées en quatre classes :

- Les chlorophyceae
- Les Prasinophyceae
- Les Zygothryxaceae
- Les charophyceae

On trouve, dans ces quatre classes, tout types d'algues : unicellulaires, flagellées, filamenteuses, ramifiées, en siphon (pas de cellules déterminées mais avec un grand nombre de noyaux)... Dans la sous-classe des chlorophycidées, on trouve par exemple l'ordre des volvocales, et comme type de chlorophycées flagellées, on a le genre *Chlamydomonas*.

2\ Cycle de *Chlamydomonas isogame*.

C'est une espèce dioïque. Les cellules normales peuvent donner des sporocystes qui donneront des sporocystes qui redonneront des *Chlamydomonas*.

Le gamétocyste : il est obtenu grâce à une réunification des parties antérieures (là où sont les flagelles). Il donne un pré-zygote à quatre flagelles (pendant peu de temps). Ce planogamète perd ses flagelles et donnent un zygote avec une membrane épaisse, qui peut servir de forme de résistance. Dans le zygote, il y a la réduction chromatique qui donne les méiospores qui redonneront un nouveau *Chlamydomonas*. Cette espèce a un cycle monogénétique.

3\ Cycle de reproduction de l'Ulve (*Ulva lactuca*).

L'Ulve fait parti de l'Ordre des **Ulvales** et de la sous-classe des **Ulotrichophycidées**. Le thalle est en forme de lame avec deux couches cellulaires. Il se reproduit à grande vitesse à cause de l'eutrophisation des côtes (les eaux marines sont trop riches en phosphore). Ces algues sont bien étudiées pour de multiples raisons :

- Elles n'ont pas de multiplication asexuée.
- Leur reproduction sexuée est celle d'une espèce dioïque.

Les deux types de gamétophytes sont identiques morphologiquement. Les cellules qui bordent ces thalles deviennent des gamétocystes et libèrent des gamètes biflagellés (de 16 à 32

gamètes pour le mâle et de 8 à 16 pour la femelle). Les gamètes femelles sont aussi biflagellés mais bien plus grosses.

La copulation donne un œuf planozygote à quatre flagelles. Il se fixe et donne un thalle diploïde, morphologiquement identique aux thalles haploïdes des deux sexes. Les cellules en bordure de ce thalle diploïde (ou sporophyte) donnent des sporocystes à l'intérieur desquels il y a réduction chromatique et formation de quatre méiospores quadriflagellées. Ceux-ci se fixent et redonnent des thalles haploïdes. Dans chaque sporocyste, on a deux méiospores mâles et deux femelles.

→ Cycle haplodiplophasique, digénétique (à deux générations). Comme il a des thalles mâles et femelles, individus dioïques et planogamie anisogame car les gamètes mâles et femelles se différencient par leur taille.

4\ Cycle d'Oedogonium.

Il fait toujours parti des chlorophycées mais de la sous-classe des Oedoniophycidées. Cette sous-classe se caractérise par des genres coloniaux qui forment des filaments. Ces filaments se caractérisent par une croissance intercalaire : seules certaines cellules se divisent. Celles qui ont subi la division portent une calotte marquée par des cicatrices (on a la formation d'un bourrelet). Les espèces de Oedogonium sont monoïques ou dioïques.

Pour reconnaître une espèce, il faut observer le zygote. Les zygotes portent différentes ornementsations.

Dans le cas des monoïques, le sporocyste va former une zoospore (ou androspore) qui va s'insérer dans la cellule se trouvant sous l'oosphère puis va former un mâle nain qui, lui, ira féconder l'oosphère.

5\ Cycle des zygothécées. Cas du Zygnéma.

Ce sont des algues filamenteuses ou unicellulaires. Leur caractère commun est la façon dont se déroule la reproduction sexuée.

Le zygnéma est une espèce dioïque. La reproduction a lieu quand les conditions du milieu deviennent défavorables. Les filaments se mettent en parallèle les uns aux autres. Une cellule prend le rôle de cellule mâle et fait migrer tout son cytoplasme vers la cellule contiguë (réceptrice ou femelle). Il y a fécondation et formation d'un zygote par une cystogamie anisogame. Quand une cellule commence à subir ce phénomène, toutes les autres font de même : c'est une conjugaison scalariforme. Il n'y a pas de gamètes flagellés. L'œuf s'entoure d'une membrane épaisse, différemment ornée selon les espèces, puis se laisse tomber au fond du milieu de vie. Quand les conditions redeviennent favorables, il germe, subit la méiose et donne quatre noyaux haploïdes dont trois qui dégénèrent. Le noyau subsistant va donner un nouveau thalle haploïde.

Remarque : Pour la cystogamie isogame, le contenu des deux cellules migre dans un canal copulateur où le zygote se forme.

6\ Les pyrophytées.

Elles ont deux parties séparées par sillon longitudinal où se trouve un flagelle. Un autre flagelle se trouve dans un autre sillon partant du centre.