

I. LES CHAMPIGNONS

1. Introduction

Champignons = Fungi = mycètes (mukes = champignon).

Les champignons représentent l'un des plus importants groupes d'organismes sur terre et jouent un rôle clé dans un grand nombre d'écosystèmes (Mueller et Schmit, 2007). Ce sont des organismes eucaryotes unicellulaire ou pluricellulaire à mode de reproduction sexuée ou asexuée. Les spores produites peuvent avoir un rôle dans la dispersion des champignons, mais peuvent également jouer un rôle dans la survie de l'organisme lorsque les conditions environnementales deviennent défavorables (Madelin, 1994). Leur mode de nutrition de type **osmotrophe** se fait par absorption en libérant dans un premier temps des enzymes hydrolytiques dans le milieu extérieur (digestion des aliments a l'extérieur de la cellule, c à d que les nutriments pénètrent sous forme soluble). Ces organismes sont dépourvus de chlorophylle et sont tous hétérotrophes (Carlile et Watkinson, 1994 ; Redecker, 2002)._ils ne peuvent pas faire de photosynthèse, Ces organismes sont très importants et vivent en relation avec d'autres organismes, selon plusieurs manières :

- **saprophytes** : ils prélèvent leurs nutriments à partir de *matières organiques en décomposition*. Ils sont très importants en tant que décomposeurs et recycleurs de matières mortes.;
- **parasites** : leurs nutriments proviennent de la *matière vivante*.
 - * **mycoses** (chez les animaux),
 - * **maladies fongiques** (chez les végétaux: phytopathogène) : fabrication de mycotoxines ;
- **symbiotes** : ces mycètes obtiennent leurs nutriments grâce à un autre organisme, leur procurant en retour certains bénéfices.

Ce type d'association est essentiel pour les végétaux, 90% des plantes seraient en symbiose avec ces champignons. Ces champignons sont appelés **mycorhizes**. D'autres mycètes vivent en relation avec une algue. Ils ne peuvent survivre l'un sans l'autre. Ce sont les **lichens**.

2. La cellule fongique

La grande majorité des champignons se présentent sous une forme filamenteuse, caractérisée par une structure tubulaire, ramifiée, et plurinucléée. Le diamètre des hyphes varie

considérablement en fonction des conditions de l'environnement, de leur position dans la colonie, et surtout d'une espèce à l'autre, de 3-4 μm à plus de 10 μm .

Mycélium \rightarrow Mycète, Hyphe \rightarrow hyphomycètes, Thalle \rightarrow thallophytes. mycélium = réseau d'hyphes

Selon les groupes de champignons (et plus précisément, selon le degré de synchronisme entre les mitoses et la formation des cloisons), le nombre de noyaux par segments varie de un à plus d'une centaine, et est généralement plus élevé dans les segments apicaux où le champignon est en phase de croissance active. Ainsi, les Basidiomycètes possèdent typiquement un mycélium dicaryotique, avec deux noyaux par segments. Les levures possèdent un noyau par cellule.

1- **Non cloisonnée** (mycélium siphonné ou coenocytique)

Noyaux qui cohabitent dans le cytoplasme commun : chez les champignons inférieurs = zygomycètes.

2- **Cloisonnée** (mycélium septé) par des cloisons (septa)

Le filament est articulé (divisé en articles) : chez les champignons supérieurs = asco et basidiomycètes.

En règle générale, les septomycètes ont de hyphes fins (5 à 7 μm de large) tandis que chez les siphomycètes, les hyphes sont beaucoup plus large (10 à 15 μm)

Pores qui traversent les cloisons : passage cellulaire de cytoplasme, organites et noyaux.

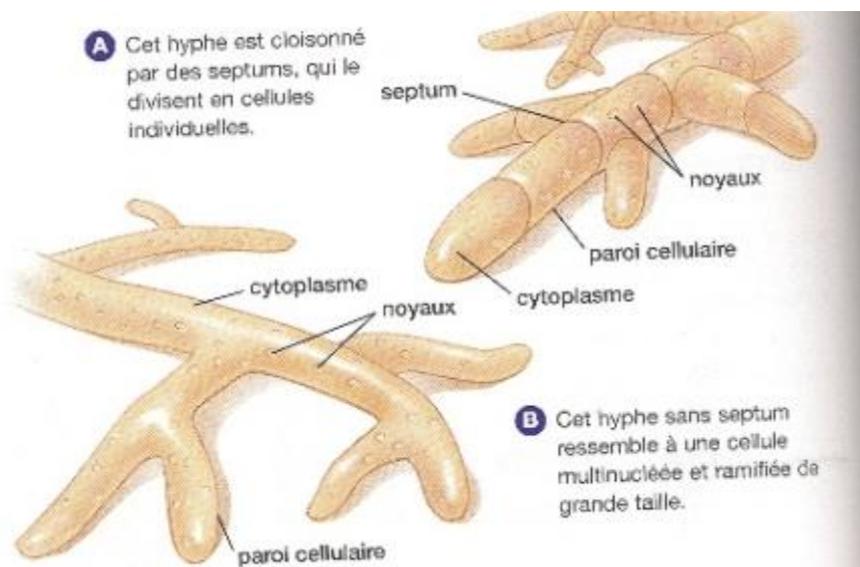


Figure 1 Structure d'un hyphe et son développement vers la formation d'un mycélium : (A), hyphe coenocytique ; (B), hyphe cloisonnée (Chabasse *et al.*, 2002).

Les septa sont formés par une extension localisée de la couche interne de la paroi de l'hyphe vers le centre de celle-ci, à la manière d'un diaphragme d'appareil photo qui se ferme. Dans de nombreux cas, les septa sont incomplets et possèdent un ou plusieurs pores qui restent ouverts pendant la majorité de la période de croissance de l'hyphe, permettant le libre passage du cytoplasme entre les articles adjacents.

a/ Le rôle des septa

Les septa ont plusieurs fonctions :

- * ils servent à renforcer et stabiliser ces longs tubes que sont les hyphes
- * ils servent aussi de protection au mycélium. En cas de brisure d'une hyphe, ils se ferment et isolent l'article brisé du reste de l'hyphe, protégeant celle-ci du milieu extérieur.
- *Enfin, en isolant les articles du reste de l'hyphe, ils permettent la différenciation et la spécialisation des articles et leur transformation en hyphes modifiées.

b/ Les différents types de septa.

En général, les **zygomycètes** n'ont pas de septa, mais parfois des septa complètement clos peuvent se former pour isoler de vieilles sections ou des sections endommagées du mycélium. (**Fig. 2-A**).

Les ascomycètes ont des septa perforés dont le pore peut être ouvert ou fermé par un corps membraneux composé de protéines appelé « corps de Woronin » (**Fig. 2-B**). Le pore des ascomycètes est relativement grand (0,05 à 0,5 μm) et permet le passage des organites cytoplasmiques et même des noyaux. Après qu'un pore a été obstrué par un corps de Woronin, il ne retrouve jamais sa perméabilité. La croissance de l'hyphe peut quand même se poursuivre à partir d'un nouvel apex formé derrière l'article endommagé ou d'un nouvel apex qui croît à l'intérieur de l'article endommagé à partir du septum. Les septa des ascomycètes sont aussi caractérisés par l'absence de parenthésome.

Mais le plus complexe des septa est celui que possèdent **les basidiomycètes** (**Fig. 2-C**).

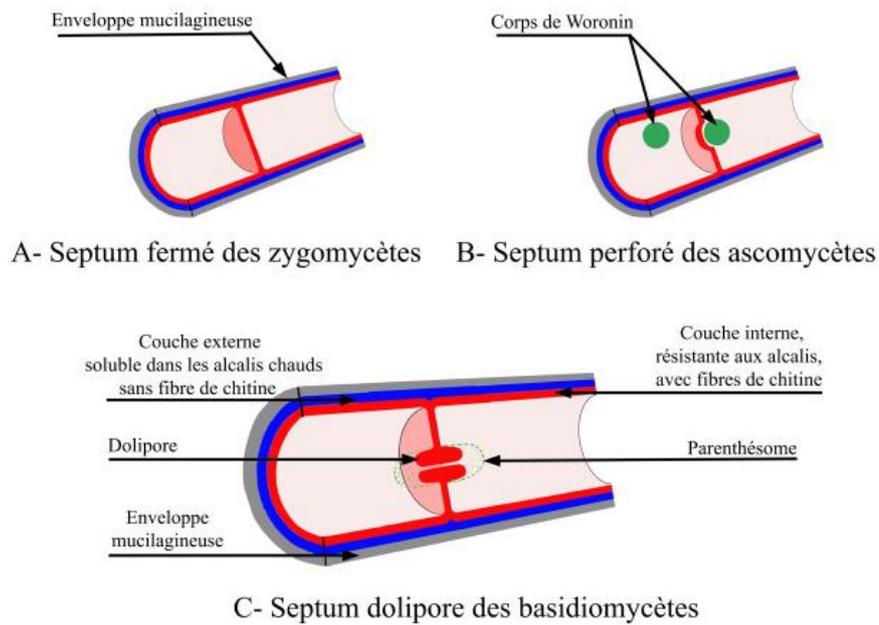


Figure 2: Quelques types de septa et de pores

Les basidiomycètes ont des septa qui divisent l'hyphe en articles. Ces septa possèdent un pore central relativement étroit (100-150 nm) ayant la forme d'un beignet, appelé dolipore (dolium = tonneau), qui peut se fermer complètement ou s'ouvrir et servir de filtre. Au microscope optique, le dolipore apparaît comme un petit bouton central au septum. Dans des conditions favorables, le pore lui-même peut-être observé (**Figure 3**). Grâce à ce dolipore, il existe une continuité entre les articles qui permet au cytoplasme, aux noyaux et aux mitochondries de migrer d'un article à l'autre le long de l'hyphe

À une certaine distance de chaque côté du dolipore se trouve une structure, la plupart du temps perforée, qui ressemble à une paire de parenthèses, d'où son nom, parenthésome. Le parenthésome c'est une membrane hémisphérique perforée provient du réticulum endoplasmique et serait une structure ancestrale au dolipore; il assurerait la continuité cytoplasmique tout en bloquant le passage aux organites majeurs. Les dolipores et les parenthésomes agissent ensemble comme un tamis dans le cytoplasme.

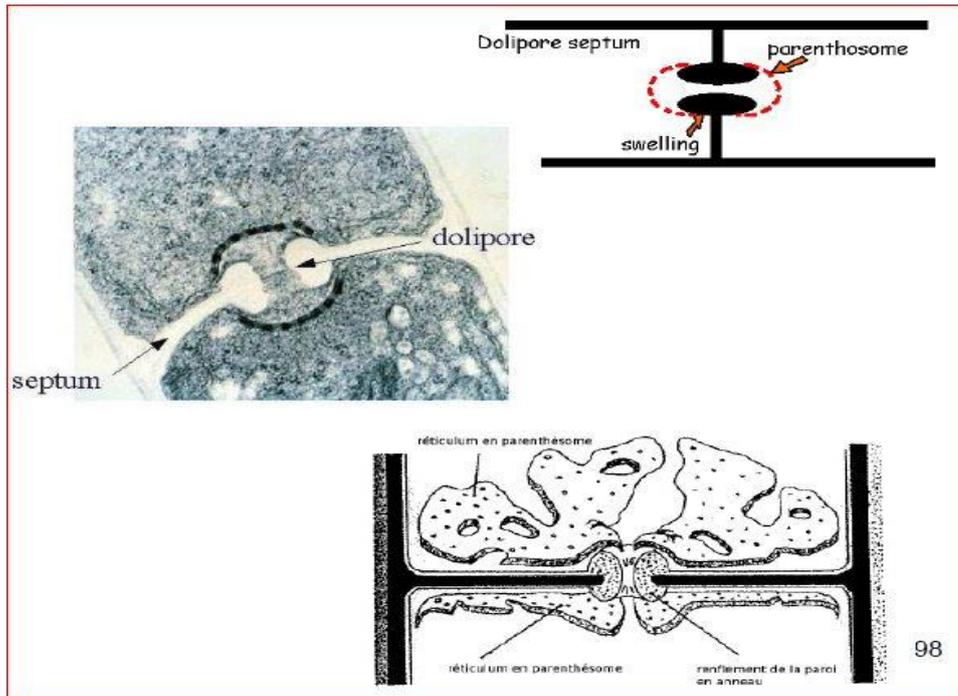


Figure 3: Dolipore en forme de beignet. On peut apercevoir le pore entrouvert.

Chez la Levure

Le thalle fongique peut aussi être **unicellulaire** comme chez plusieurs *Ascomycota*, *Basidiomycota*, *Zygomycota* et Deutéromycètes vivant comme des levures ou des organismes de type levures et aussi chez certains *Chytridiomycota*. Ces thalles sont formés de cellules qui sont d'habitude uninucléées. Certains de ces champignons unicellulaires sont dimorphiques capables de se développer soit comme mycélium soit comme levure (ou organisme de type levure) en fonction des conditions de croissance.

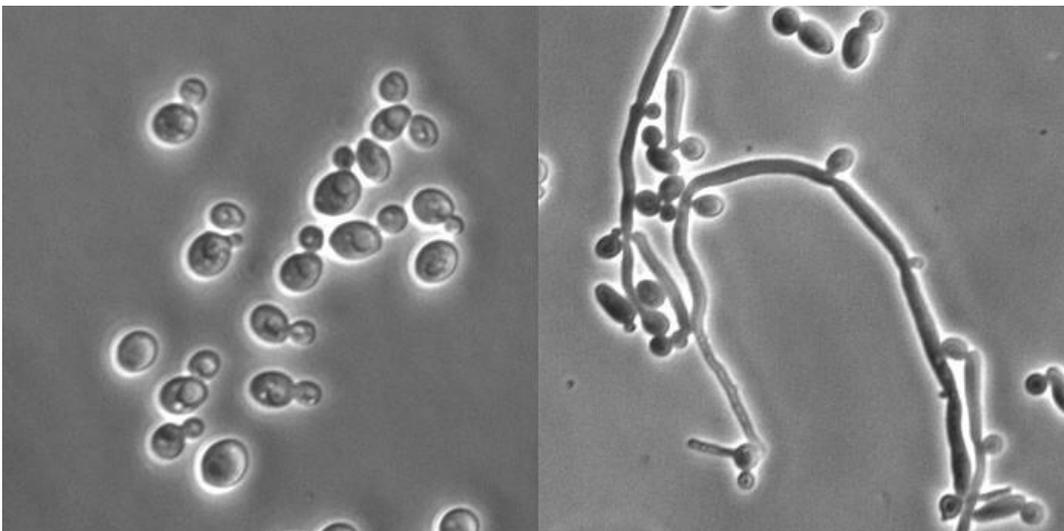


Figure 4: Dimorphismes chez *Candida albicans*

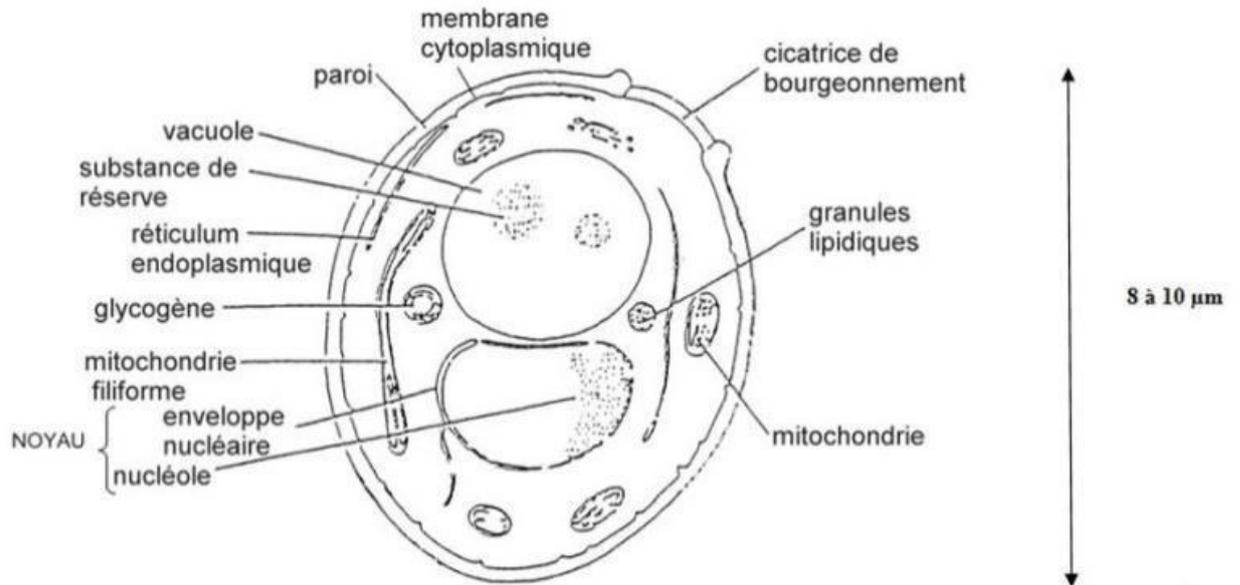


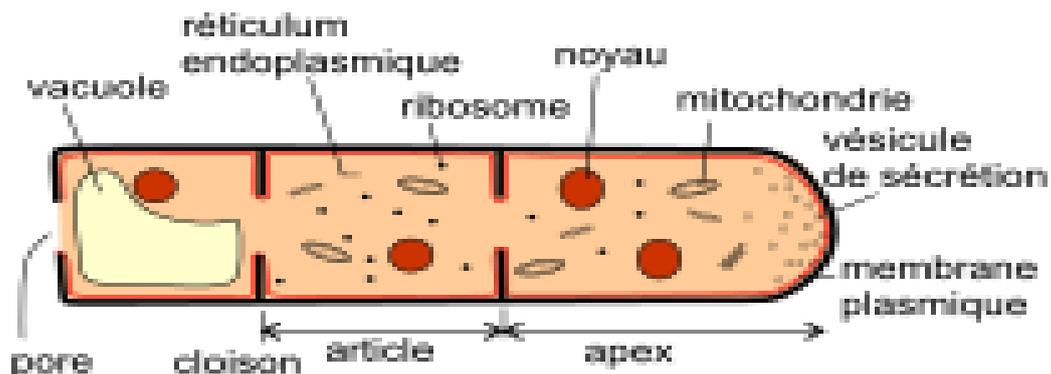
Figure 5: ultrastructure de la levure.

3. Structure de l'hyphe

Les mycètes possèdent un petit noyau. Ils possèdent entre 3 et 40 chromosomes différents. Pendant la mitose, l'enveloppe nucléaire reste intacte, contrairement aux plantes et aux animaux.

Les mitochondries ont des structures qui varient selon les différents règnes de mycètes. Les eumycètes ont des mitochondries à crêtes lamellaires, tandis que les mitochondries d'oomycètes ont des crêtes tubulaires. L'appareil de Golgi des mycètes est très peu développé, et n'est souvent formé que d'un saccule.

Dans les cellules plus âgées des vacuoles apparaissent et peuvent envahir la totalité de l'article.



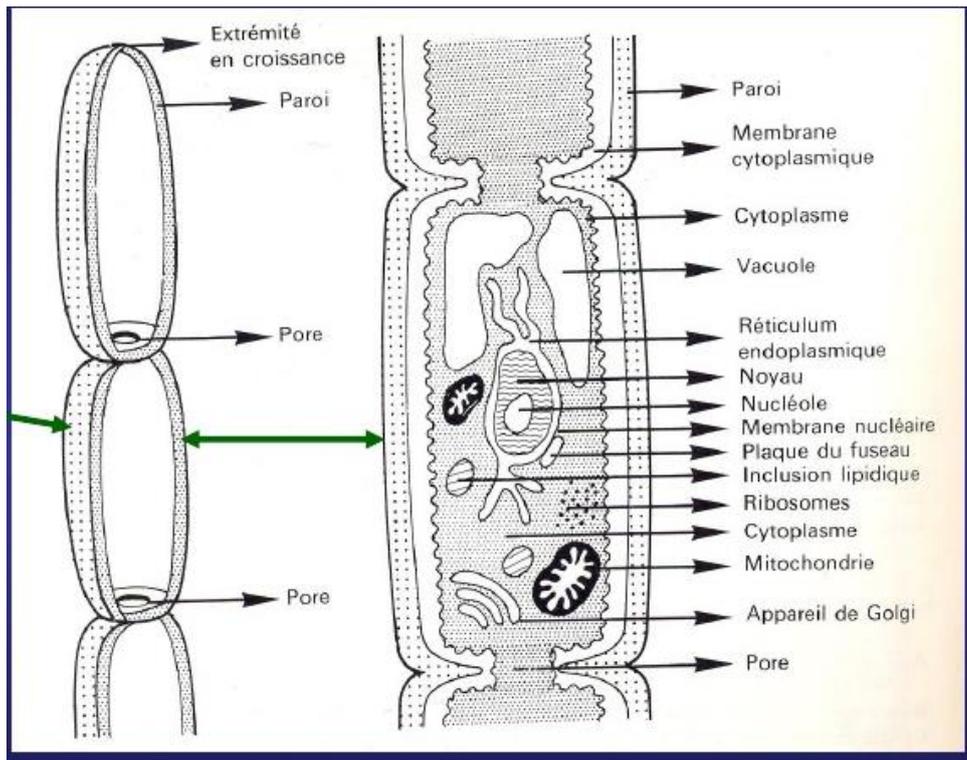
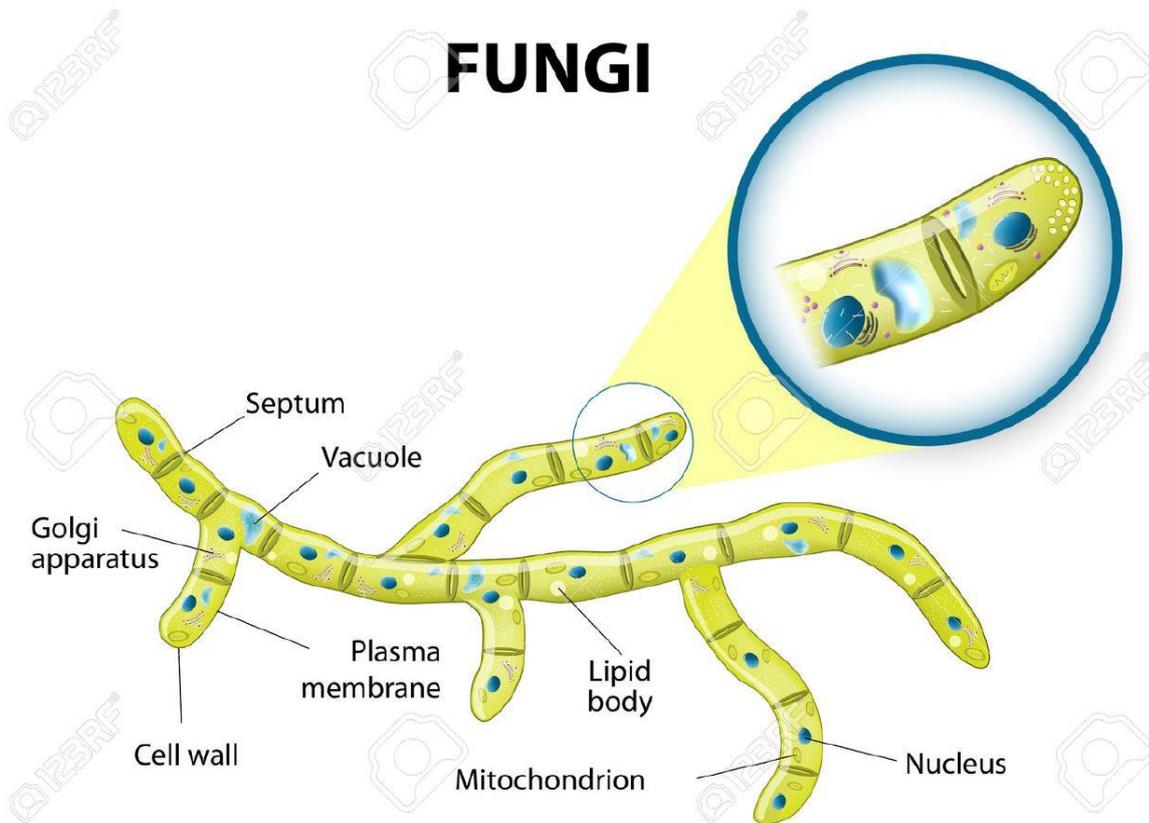


Figure 6: structure de l'hyphes,



3.1. La structure et la chimie de la paroi fongique

➤ Rôle de la paroi

Tout autour de hyphe, on a une structure qui va le délimiter.

* La paroi délimite sans exception toutes les cellules fongiques.

* C'est la zone de contact entre les champignons et le milieu extérieur.

*Les nutriments sont absorbés à travers cette paroi.

*Nécessaire à la vie du champignon. Elle représente 20 à 30 % du poids sec du mycélium. Elle a une taille qui varie en fonction de l'endroit : plus fine à l'extrémité.

*Elle confère une rigidité et forme hyphe => permet de rentrer en force. Certains champignons rentrent uniquement grâce à la force physique (cas des champignons phytopathogènes sans utiliser les enzymes lytiques).

*Elle a un rôle de protection contre les variations de pression osmotique et permet le maintien d'une pression osmotique intra cellulaire stable ; contre les agents; contre les radiations solaires.

➤ composition de la paroi

Les champignons filamenteux possèdent une paroi constituée essentiellement de polysaccharides, de glycoprotéines et de mannoprotéines (Figure 5). Les polysaccharides sont majoritairement la chitine, polymère de molécules de N-acétylglucosamine liées entre elles par une liaison de type β -1,4, et les glucanes, polymères de molécules de D-glucose liées entre elles par des liaisons β . Ces deux polysaccharides assurent la protection des moisissures vis-à-vis des agressions du milieu extérieur. La chitine joue un rôle dans la rigidité de la paroi cellulaire, les glycoprotéines jouent un rôle dans l'adhérence et les mannoprotéines forment une matrice autour de la paroi (Nwe et Stevens, 2008).

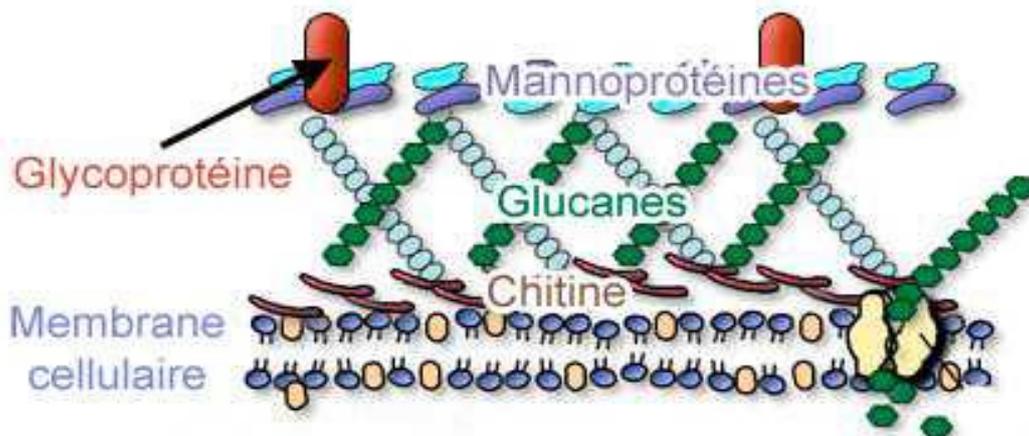


Figure 7: Schématisation de la structure de la paroi fongique (Nwe et Stevens, 2008).

➤ Composition de la paroi selon les groupes systématiques:

groupe	composants
Basidiomycota	Chitine β -(1-3), β -(1-6) glucane
Ascomycota	Chitine β -(1-3), β -(1-6) glucane
Zygomycota	Chitine chitosan
chytridiomycota	Chitine glucanes

La chitosane consiste en une forme de chitine faiblement ou non acétylé, formant un polymère essentiellement de β -1,4- glucosamine.

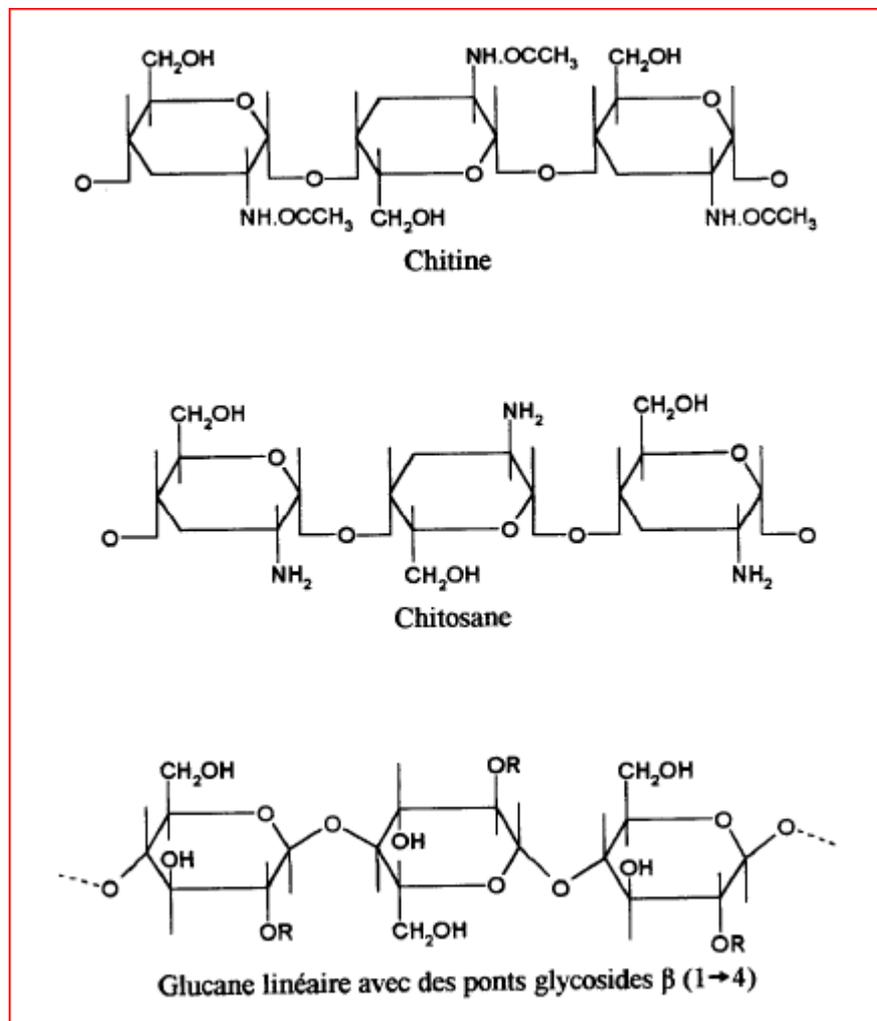


Figure 8: polysaccharides majeurs de la paroi fongique

3.2. Mécanisme de croissance de l'hyphe

Croissance généralement apicale

- L'apex est structurellement et fonctionnellement très différent du reste de l'hyphe.
- Cytoplasme plus dense
- L'épaisseur de la paroi de l'apex est moins importante
- Accumulation de «APICAL VESICULAR CLUSTERS (AVC: amas de vésicule apicales) »
= vésicules qui jouent un rôle essentiel dans la croissance.

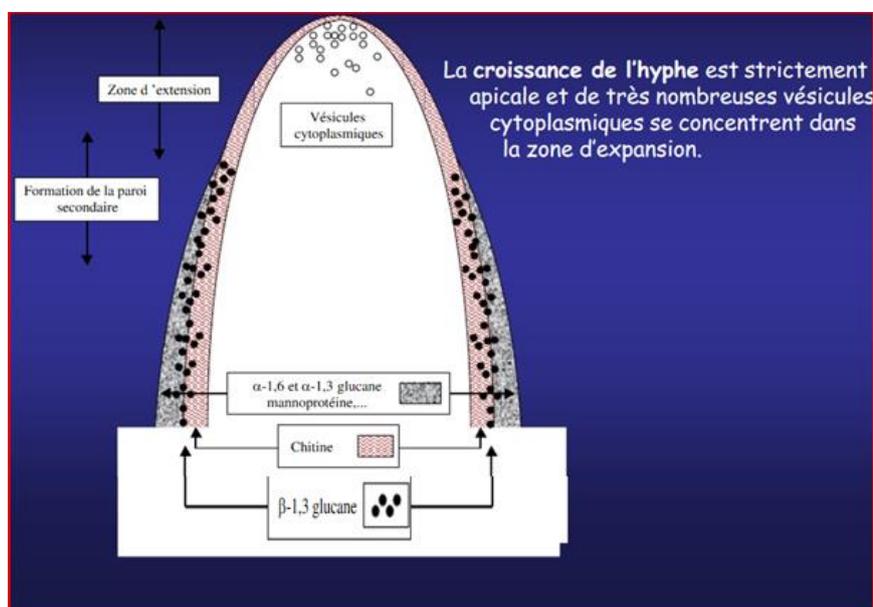
Rôle des AVC

•Aussi appelé **spitzenkörper**

- Si l'hyphe arrête croissance – AVC disparaissent
- Si l'hyphe recroît – AVC réapparaissent
- La position de l'AVC est lié à la direction de croissance.

•Les vésicules contiennent:

- Précurseurs de paroi (ex. N-acétylglucosamine, les sous-unités de la chitine).
- Enzymes lytiques de paroi (ex. chitinase, glucanase) pour casser et séparer les composants de la paroi.
- Enzymes de synthèse de la paroi (ex. chitin synthase, glucan synthase) pour assembler les nouveaux composants de la paroi et ainsi accroître la taille de la paroi.



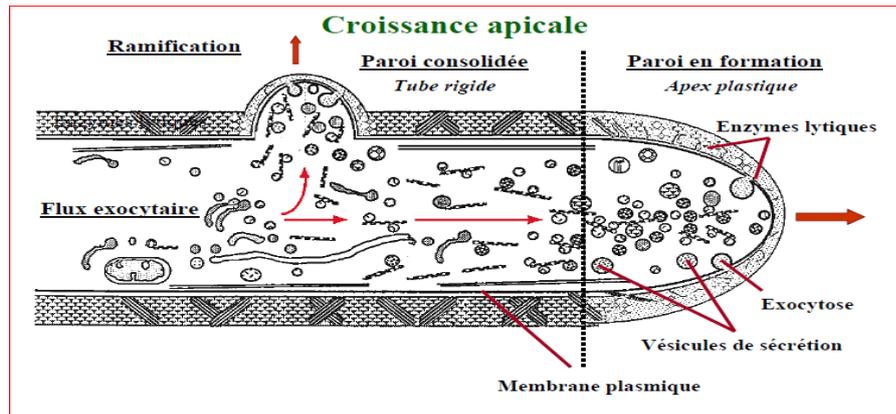


Figure 9: croissance fongique et ramification fongique

On observe alors un **Spitzenkörper**, c'est-à-dire un regroupement de vésicules d'exocytose au niveau de l'apex. Ces vésicules permettent à l'apex de croître, en apportant des enzymes de synthèse de la paroi (*glycane synthétase* et *chitine synthétase*), des enzymes de la lyse pariétale, des activateurs et quelques polymères (**Figure 10**).

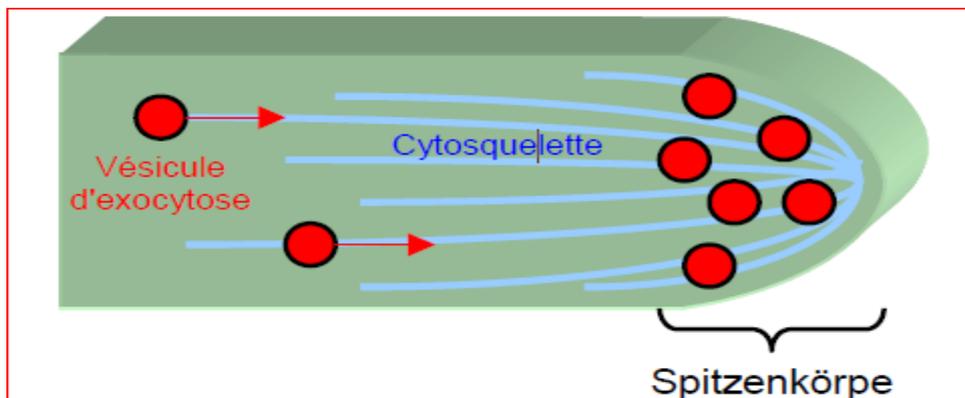


Figure 10: vésicules d'exocytose au niveau de l'apex

Des ramifications surviennent lorsque trop de matériel est apporté à l'apex. la ramification des filaments est nécessaire pour la colonisation et l'utilisation optimale du substrat. Une ramification apparaît quand un nouveau point de croissance est initié dans la paroi latérale (accumulation de vésicules). L'apparition de ramifications implique probablement les enzymes lytiques puisque la ramification apparaît au travers d'une paroi rigide et mature.

4. La reproduction chez les champignons

La reproduction des champignons est complexe, reflétant ainsi l'hétérogénéité de leur mode de vie. Elle peut être sexuée ou asexuée, bien que certains champignons alternent entre les deux types de reproduction (Nester *et al.*, 1998).

a) Reproduction asexuée "anamorphe"

La reproduction asexuée chez les champignons peut se faire par bourgeonnement, fission binaire, fragmentation, ou par formation de spores (Alexopoulos *et al.*, 1996).

- **Le bourgeonnement et la fission binaire**

Le bourgeonnement et la fission binaire sont les formes de reproduction asexuée les plus simples. Le bourgeonnement est une division inégale du cytoplasme, résultant en une cellule parent et une cellule fille, celle-ci étant plus petite que la cellule parent. La fission binaire par contre aboutit à deux cellules identiques..

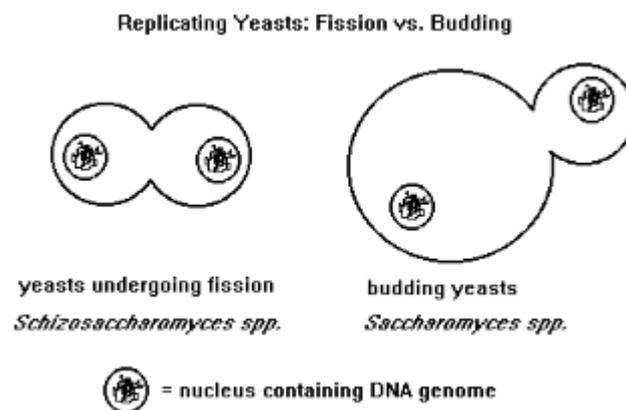


Figure 11: Illustration de la fission binaire et du bourgeonnement chez les levures (Abedon, 1997)

- **Le bouturage**

Le mécanisme, le plus simple, est celui du bouturage. Dans ce cas, le thalle végétatif se fragmente et les articles libérés, contenant les noyaux, font office de spores. Ils se dispersent et peuvent se fixer sur un substrat favorable. Ce mécanisme reste limité dans la nature, peut-être en raison de la fragilité des articles.

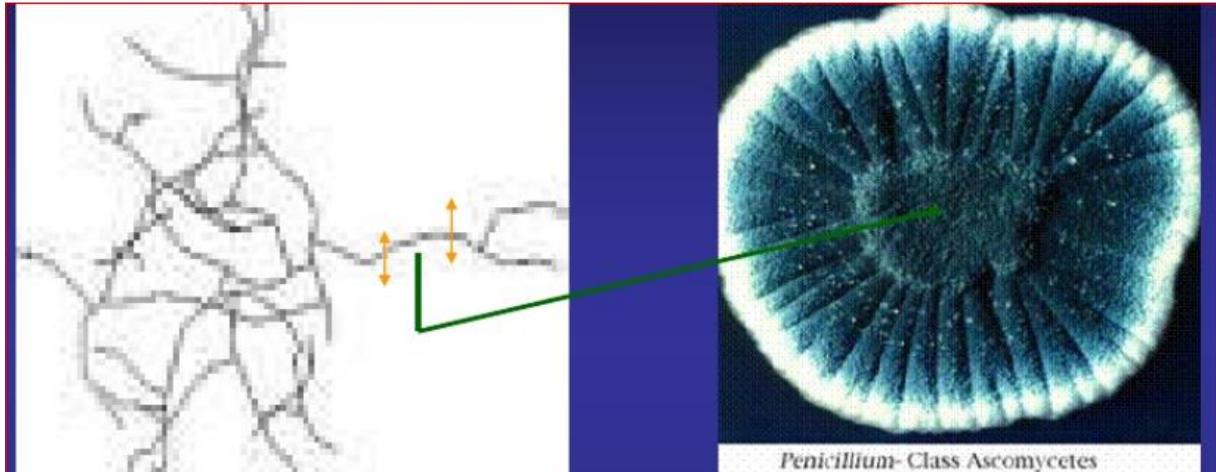


Figure 12: le mécanisme du bouturage

- **La sporulation**

La sporulation est la plus importante forme de reproduction asexuée chez les champignons. Elle se fait à travers les spores asexuées, formées au cours de la phase asexuée du cycle de vie des champignons (phase anamorphe).

b) Reproduction sexuée "téléomorphe"

La reproduction sexuée (ou la téléomorphe) fait intervenir la rencontre de filaments spécialisés (plasmogamie), la conjugaison des noyaux (caryogamie) et enfin une réduction chromatique (méiose) suivie d'une ou plusieurs mitoses. Ces événements sont suivis par la formation de spores (les ascospores, les basidiospores, les zygosporés), dont le processus varie en fonction des différentes classes de champignons (Deacon, 2005).

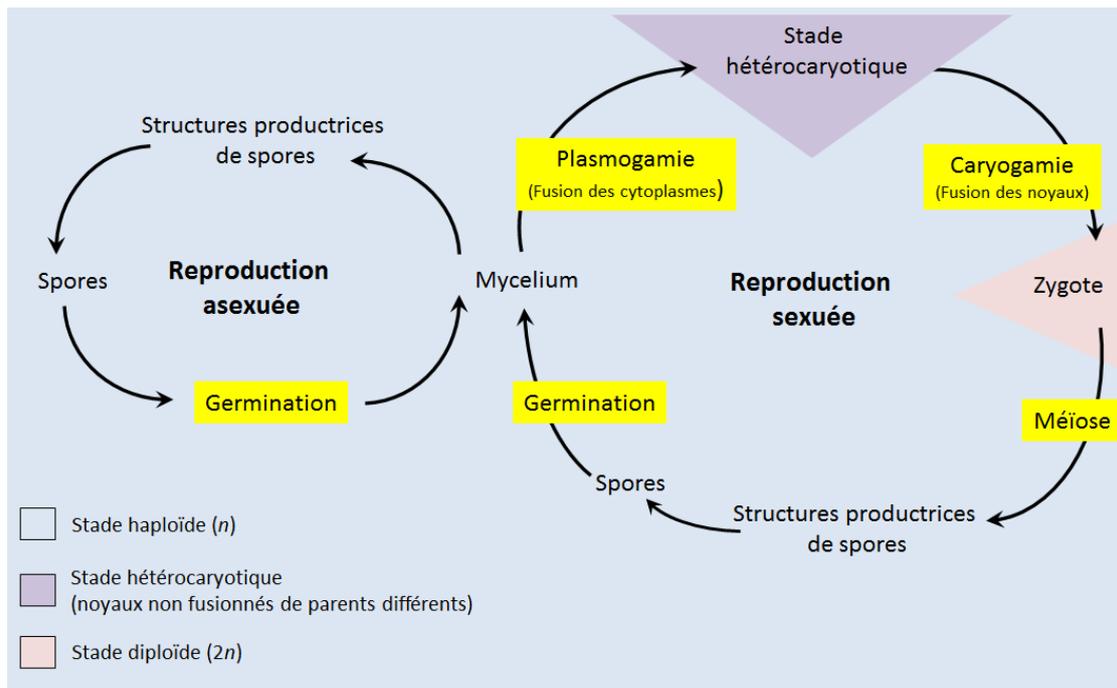


Figure 13: 1 Reproduction sexuée "téleomorphe" chez les mycètes

5. La Croissance fongique

Dans la nature la croissance fongique est très lente. Ceci est dû au faible fourniture en substrats et à l'hétérogénéité de la distribution des nutriments dans les habitats microbiens. Elle peut être également ralentie par certaines perturbations telles que les interactions antagonistes d'autres espèces, qui concourent pour le même substrat, les invasions des animaux, les stress provoqués par l'épuisement des nutriments, les changements des conditions physiques (températures, pH, etc.) et par l'inhibition causée par un métabolite toxique (mycotoxines, acides organiques ...) produit par un micro-organisme voisin (Brock et *al.*, 1994).

5.1. formation de la colonie fongique

La croissance des champignons filamenteux dans les milieux gélosés avec des conditions d'incubation favorables est rapide. Le développement radial de la colonie provoque une différenciation des structures mycéliennes qui évoluent du centre jusqu'à la périphérie de la

colonie (Carlille et Watkinson, 1996). Pour une colonie donnée, différentes zones de différenciation sont formées (Figure 14).

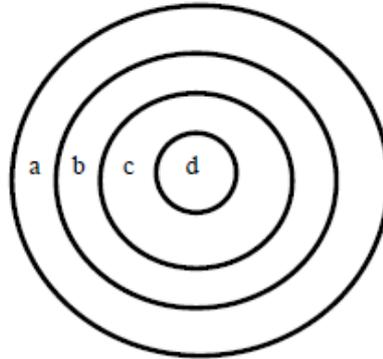


Figure 14 : Schéma d'une colonie fongique présentant les différentes zones de différenciation sur une surface gélosée (Carlille et Watkinson, 1996).

a : La zone d'**extension**, ou la **zone extérieure** de la colonie, dite extensive, correspond à la région dans laquelle les hyphes progressent dans un milieu inexploité,

b : La zone **productive**, où il y a la plus importante production de biomasse.

c : La zone de **fructification** la biomasse y est stationnaire et les spores en formation sur les hyphes émergents de la surface du milieu,

d : La zone de **vieillessement**, la **zone «âgée»** de la colonie, au centre, où les hyphes sont souvent creux ou vacuolés, du fait de la migration de leur contenu protoplasmique dans les spores ou dans des parties plus jeunes de la colonie. Dans cette région, des autolyses entraînent la disparition des parois cellulaires.

5.2. Stades du développement fongique

Trois phases interviennent lors du développement des moisissures : la germination, la croissance et la sporulation. En 2001, Osharov et May étudient et décrivent les différentes phases du cycle de vie asexuel d'un ascomycète (Figure 9). Les conidies sont produites par une structure spécialisée, le conidiophore. Après dispersion et contact avec un milieu adéquat, les conidies germent et donnent naissance à un hyphes. Le développement de cette structure forme un mycélium ramifié dont émerge un hyphes aérien porteur de conidiophores.

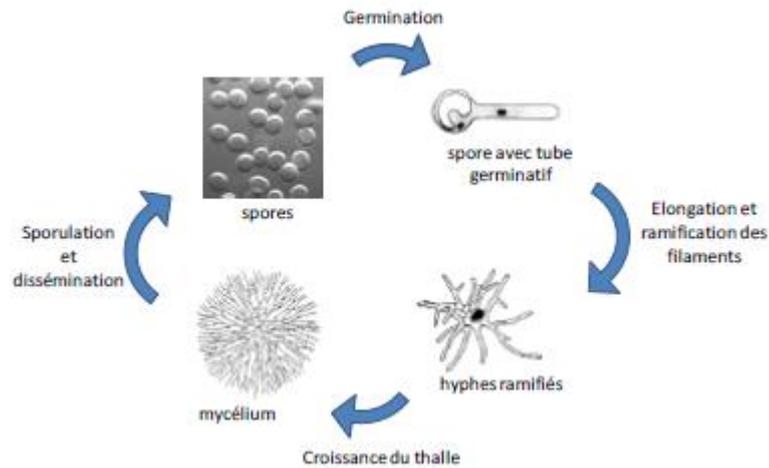


Figure 15. Cycle de vie des moisissures (D'après www.aspergillus.man.ac.uk)

a) La germination

Cette étape comporte deux phases. Dans un premier temps, la spore enfle (elle s'hydrate), son diamètre et sa biomasse augmentent. Lors de cette croissance sphérique, de nouvelles couches sont formées et recouvrent uniformément la surface intérieure de la spore. Les propriétés de surfaces sont modifiées, l'adhérence spore-spore et spore substrat augmente. L'apparition d'un hyphe à partir de la spore hydratée correspond à la seconde phase de la germination.

b) La croissance

En 1994, Carlile et Watkinson décrivent précisément cette étape. L'hyphe ayant émergé de la spore, après quelques heures, croît de manière exponentielle jusqu'à atteindre une vitesse d'élongation maximum de l'ordre du mm/h pour ensuite s'allonger à vitesse linéaire.

A l'arrière de l'apex, des ramifications se forment, s'allongent et se divisent à leur tour, constituant un enchevêtrement d'hyphes appelé mycélium.

c) Sporulation et dissémination

Ultime phase du développement fongique, la sporulation consiste en la formation de particules de taille comprise essentiellement entre 3 et 30 μm , enveloppées d'une paroi épaisse avant séparation (chlamydospores), enfermées dans des "sacs" à l'extrémité de l'hyphe (sporangiospores), produites sur les extrémités ou les côtés de l'hyphe (conidiospores), ou générées par bourgeonnement d'une cellule mère végétative (blastospores). Les conidies sont disséminées par des mécanismes actifs ou passifs.

Dans des conditions optimales de croissance, une spore unique de moisissures peut germer et produire une colonie fongique avec des centaines de milliers de spores en quelques jours. L'émission des spores n'est pas un phénomène continu mais dépend des conditions environnementales et du stade de croissance du microorganisme.

5.3. Facteurs environnementaux et nutritifs

Bien qu'ils soient relativement peu exigeants, les champignons filamenteux ont besoin d'un certain nombre de facteurs nutritifs et environnementaux tels que l'aération, le pH, la disponibilité d'eau, les nutriments et la température pour leur croissance (Brock et *al.*, 1994 ; Dix et Webster 1995).

➤ **Aération :**

Les champignons sont des organismes aérobies. Cependant, certains tolèrent des quantités relativement faibles d'oxygène (anaérobies facultatifs) et peuvent même se développer en absence totale de ce gaz (anaérobies stricts) (Alexopoulos et *al.*, 1996).

➤ **pH :**

La plupart des champignons préfèrent des milieux à pH acide. Généralement, ils se développent entre 4,5 et 8 avec un optimum entre 5 et 6. Certaines espèces (*A. niger*) peuvent pousser jusqu'à 1,7 à 2 (Dix et Webster, 1995a).

➤ **Aw :**

La quantité d'eau disponible dans le substrat et l'ambiance environnante sont très importantes pour la croissance des moisissures. Généralement, elles requièrent une activité d'eau (*aw*) faible par rapport aux bactéries. La limite inférieure de l'*aw* pour la croissance de *P. martensii* et *A. nidulans* est de 0,8 ; celle d'*A. candidus* est de 0,75 (Carlile et Watkinson, 1996).

➤ **Nutriments :**

Les plus importants sont le Carbone et l'Azote, utilisés sous forme de composés organiques, et des ions minéraux (potassium, phosphore, magnésium, calcium...) en quantités très faibles mais essentielles à la stimulation et l'orientation du développement fongique. Ces éléments nutritifs sont accessibles aux moisissures du fait qu'ils sont disponibles dans la nature (Roquebert, 1984).

Les moisissures modifient les substrats aux dépens desquels elles se développent. Elles prélèvent les éléments nécessaires pour édifier leur contenu cellulaire et produire l'énergie.

➤ **Température :**

Chaque micro-organisme se caractérise par sa croissance dans une gamme de températures cardinales bien définie (Tableau I-3) :

- Une température minimale au dessous de laquelle il n'y a pas de croissance microbienne.
- Une température optimale pour laquelle la croissance microbienne est la plus élevée.
- Une température maximale au dessus de laquelle il n'y a pas de croissance microbienne.

La majorité des moisissures sont mésophiles et se développent normalement à des températures comprises entre 5 °C et 35 °C. Elles arrêtent leur croissance et sont détruites à partir de 40 °C. Cependant, il existe une autre catégorie de champignons filamenteux qui se développent à des températures supérieures à 50 °C. Ils sont dits thermophiles ou thermotolérants. D'autres champignons montrent une préférence pour les basses températures et sont donc considérés psychrophiles ou psychrotolérants (Dix et Webster, 1995b).

Tableau 2 : Classification des champignons en fonction de températures cardinales (Dix et Webster, 1995).

Températures cardinales (°C)			
Micro-organismes	Minimale	Optimale	Maximale
Psychrophiles	0	15	20
Psychrotolérants	0	25-30	35
Mésophiles	5	25-30	35
Thermo-tolérants	5	25-30	50
Thermophiles	20	45	> à 50

6. Les spores fongiques noyau de dissémination

Lorsque les conditions le permettent, les moisissures produisent, à maturité, des spores qui peuvent être transportées par les courants d'air ou par les humains et les animaux, et se retrouver éventuellement dans les maisons et immeubles.

Ces spores sont des structures de reproduction invisibles à l'œil nu qui assurent la dissémination des moisissures, étape clé de leur cycle de vie . Le diamètre de ces organes de résistance varie de 2 à 250 µm, avec une majorité entre 2 et 20 µm. La dispersion de ces structures microscopiques peut ainsi se faire sur de grandes distances.

Chaque moisissure produit un très grand nombre de spores dont l'ensemble, appelé sporée, se présente très souvent sous un aspect poudreux et coloré à la surface de la moisissure. La taille,

la forme et la couleur des spores de moisissures varient grandement d'une espèce à l'autre. Par contre, en microscopie, toutes les spores d'une même espèce sont de couleur, de dimension et de forme relativement constantes ce qui, dans bien des cas, constitue un élément d'identification taxonomique (ACGIH 1999).

Dans les climats tempérés, c'est durant la saison de croissance des végétaux et quelque temps après celle-ci, que le nombre de spores se trouvant à l'extérieur est le plus élevé (WHO, 2000). Ces spores sont une forme latente des moisissures. La dispersion des spores peut se faire sur de grandes distances. Des études effectuées en milieu contrôlé ont démontré qu'une petite proportion des spores aéroportées peut se retrouver jusqu'à cent mètres de la source d'émission bien que la grande majorité de celles-ci se retrouvent à proximité de leur lieu de libération (Carlile et Watkinson, 1994). Des études d'aérobiologie ont démontré que sous certaines conditions, les spores fongiques peuvent même se retrouver à des kilomètres (Paul Comtois, comm. pers., juillet 2002). Les spores permettent aux moisissures de résister à des conditions aussi extrêmes que le froid, les feux de forêts, le processus de digestion et les grandes sécheresses. Cette résistance aux conditions environnementales peut varier considérablement d'une espèce à l'autre mais on retrouve des espèces adaptées à presque tous les climats et conditions extrêmes (voir le tableau 2).

Tableau 3 : Aperçu du degré de résistance des spores fongiques

CONDITION ENVIRONNEMENTALE	SEUIL DE RÉSISTANCE	DURÉE DE LA VIABILITÉ	EXEMPLES D'ESPÈCES CONCERNÉES
Chaleur très élevée	90°C (feux de forêt)	Quelques mois	Ascospores de <i>Byssochlamys fulva</i> ; <i>Neurospora</i> sp
Froid intense	Congélation	Un hiver	Plusieurs espèces d'Amérique du Nord
Sécheresse de l'air ambiant	± 0 % d'humidité relative	Semaines à années	La majorité des genres de l'environnement intérieur : <i>Eurotium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i>
Présence d'humidité dans le milieu sur lequel se déposent les spores	De 0 à 50 % d'humidité	Jusqu'à des années	<i>Eurotium</i> sp
	Plus de 50 % d'humidité	A ces taux, les spores devraient germer ; dans le cas contraire, elles pourrissent.	Toutes les espèces

Sources : Carlile *et al.* 2001 ; Kendrick, 1999; Block, 1991 ; Regnault, 1990

6.1. Les types de spores

Les spores qui sont le produit de la reproduction asexuée peuvent être endogènes ou exogènes.

- Les spores endogènes (endospores) sont produites à l'intérieur d'un sac fermé (sporange), porté par un filament spécialisé (sporangiophore). Ces spores, que l'on observe par exemple chez les *Mucorales*, sont libérées par le déchirement de la paroi de sporange à maturité.
- Les spores exogènes (conidies), retrouvées chez les *Ascomycètes*, *Basidiomycètes* et *Deutéromycètes*, sont formées par bourgeonnement à partir d'une cellule spécialisée (cellule conidiogène).

L'examen des spores et de leur organisation est une étape importante de l'identification fongique (Campbell *et al.*, 1996).

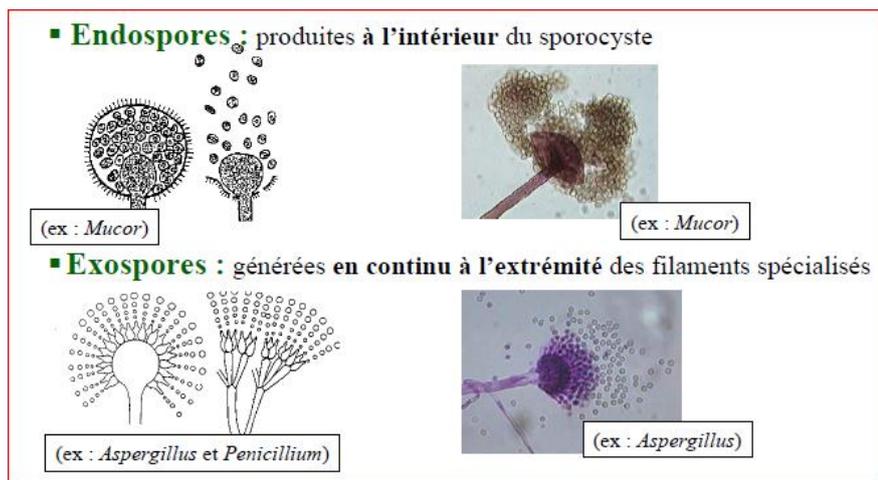
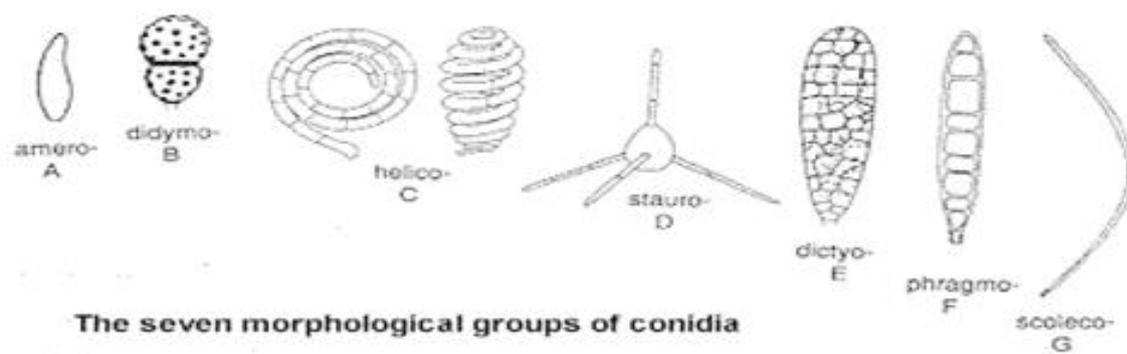


Figure 16: les endospores et les exospores

6.2. Aspect des spores

D'après la forme et les modalités de septation, on distingue 7 groupes de spores

- 1) **les amérospores** : spores unicellulaires de petite taille (*Penicillium*, *Aspergillus*)
- 2) **les didymospores** : spores bicellulaires (*Trichothecium*) ;
- 3) **les phragmospores** : spores pluricellulaires à cloisons transversales (*Curvularia*) ;
- 4) **les dictyospores** : spores pluricellulaires à cloisons transversales et longitudinales (*Alternaria*) ;
- 5) **les scolécospores** : spores étroites, effilées, souvent incurvées et cloisonnées transversalement (*Fusarium*).
- 6) **les hélicospore** : conidie incurvée (plus qu'un demi—cercle) ou enroulé en 2-3 dimension (*Illosporiopsis*)
- 7) **les staurospore** : conidie avec plusieurs branches.



The seven morphological groups of conidia

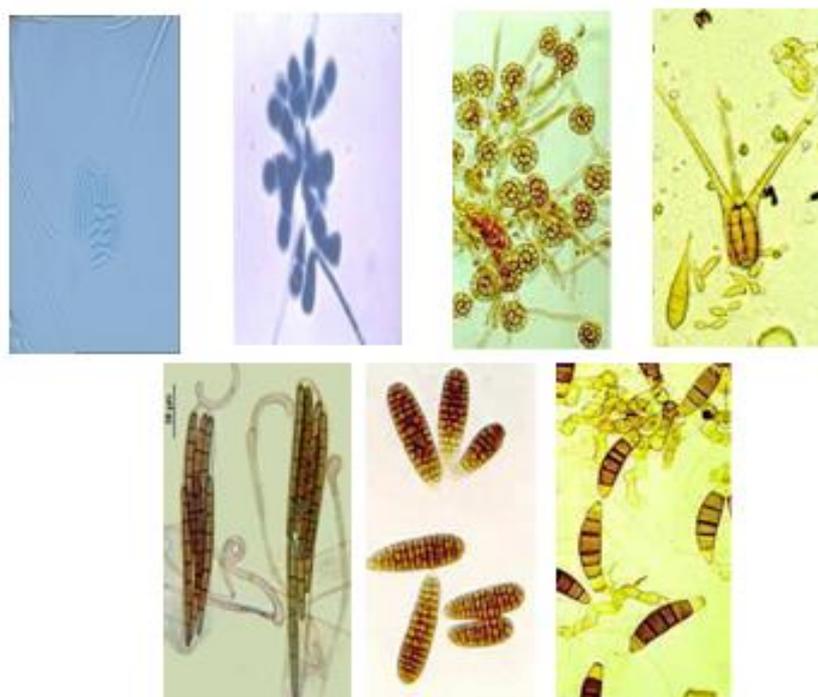


Figure 17: Les différents aspects des spores fongiques.

7. Taxinomie des champignons

Classification enseignée en 2006 par Régis Courtecuisse, suite aux apports de la biologie moléculaire :

Règne	Division	Classe
Fungi	Deuteromycota (=Adelomycètes) (pas de reproduction sexuée) sorte de poubelle d'attente où on range sous le nom de Fungi imperfecti des espèces dont on ne connaissait que le stade anamorphe, mais dont le stade téléomorphe les dirige vers les Basidio- ou les Ascomycota → classes : Mycelia Sterilia, Coelomycètes, Hyphomycètes, Blastomycètes	
	Chytridiomycota (zoospores à un flagelle ; pas de mycélium)	
	Zygomycota (zygospores (fusion de 2 gamétanges) ; mycélium siphonné, sans cloisons)	Zygomycètes : reproduction par mitospores (asexuées) → ordres des Mucorales, Dimargaritales, Entomophtorales, Zoopagales, Kickxellales
		Trichomycètes : reproduction par zygospores (sexuées) → ordres : Harpellales, Amoebiales, aselariales, Ecrinales
	Ascomycota (spores contenues dans des asques ; hyphes septées, ou levures)	
	Basidiomycota (spores portées par des basides ; hyphes septées)	

–*Chytridiomycota* ou Chytridiomycètes

Les Chytridiomycètes sont des champignons primitifs, parfois unicellulaires. Leur thalle coenocytique est peu développé. ils produisent au cours de leur cycle des zoospores (spores uni flagellées) mais l'étude chimique de leurs paroi et les données de la biologie moléculaire confirment qu'ils ont un lien parenté avec les champignons supérieurs (la présence de la chitine par exemple). Ils sont en général aquatiques; aussi bien parasites que saprophytes.



Figure18: *Chytridiomycète*

–*Zygomycota* ou Zygomycètes

comme tous les vrais champignons, produit des parois cellulaires contenant de la chitine. Ils se développent principalement sous forme de mycélium, ou filaments de longues cellules appelées hyphes. Contrairement aux soi-disant «champignons supérieurs» comprenant les Ascomycota et les Basidiomycota qui produisent régulièrement des mycéliums septés, la plupart des Zygomycota forment des hyphes qui sont généralement coenocytaires car ils sont dépourvus de parois croisées ou de septa. Il existe cependant plusieurs exceptions et des septa peuvent se former à des intervalles irréguliers dans les parties les plus anciennes du mycélium.

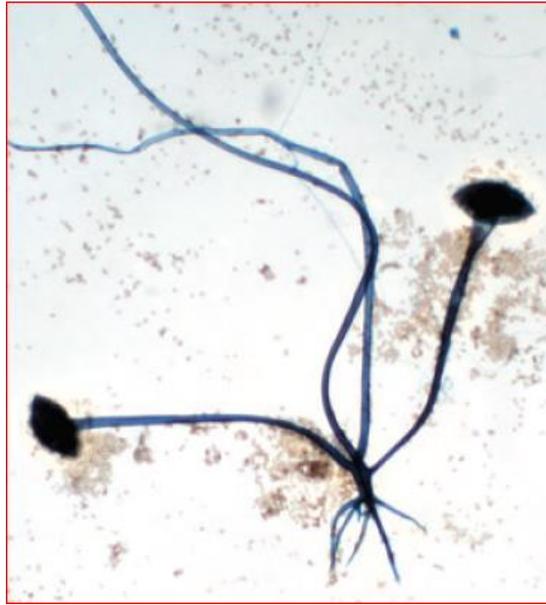
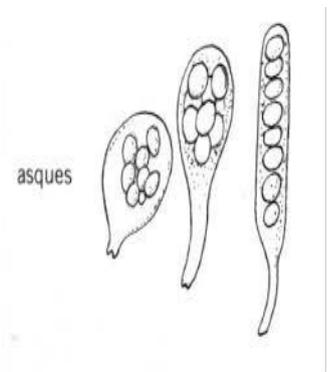


Figure19: Zygomycète

–*Ascomycota* ou Ascomycètes

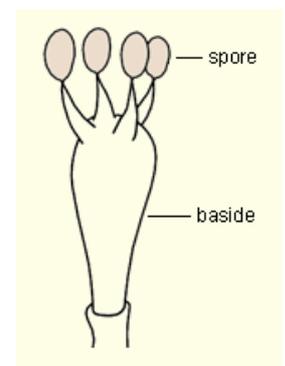
- Champignons à filaments cloisonnés.

- Spores produites à l'intérieur de sacs (les asques), projetées, à maturité, à l'extérieur par ouverture de l'asque.

–*Basidiomycota* ou Basidiomycètes

- Champignons à filaments cloisonnés.

- Spores se développent à l'extrémité de cellules spécialisées (les basides), dispersées par le vent à maturité.



2. Les algues

1. Introduction

La science qui étudie les algues se nomme la phycologie ou l'algologie.

Les algues sont des organismes chlorophylliens se développant dans l'eau ou dans des milieux très humides. Bien que surtout abondantes dans les eaux des mers, des lacs, des mares, des eaux courantes et des eaux thermales, on en trouve également sur les rochers humides et sur la terre. Exceptionnellement, elles peuvent être endophytes de tissus animaux ou végétaux. L'air, la lumière et des sels dissous sont, en plus de l'eau, nécessaires à leur développement.

Groupées avec les champignons dans la division des Thallophytes, (les algues constituent en réalité un vaste ensemble hétérogène d'embranchements très distincts les uns des autres et n'ayant entre eux que peu de caractères communs) (FELDMAN196, 3). La distinction entre ces différents embranchements d'algues est faite d'après des caractères d'ordre cytologique et biochimique ainsi que des différences de structure et de mode de reproduction.

En dehors de nombreuses formes unicellulaires, on trouve des algues pluricellulaires formant des thalles sans feuilles, ni tiges, ni racines, ni vaisseaux conducteurs.

Les algues d'eau douce comprennent un peu plus de 1100 genres et environ quatorze mille espèces répartis dans le monde. Ce sont des organismes très cosmopolites et la plus grande partie des espèces existantes a une distribution géographique très étendue. Ainsi la flore algale connue des régions intertropicales d'Afrique comporte une proportion importante (plus de 50 % le plus souvent) d'espèces que l'on retrouve dans les autres régions du globe.

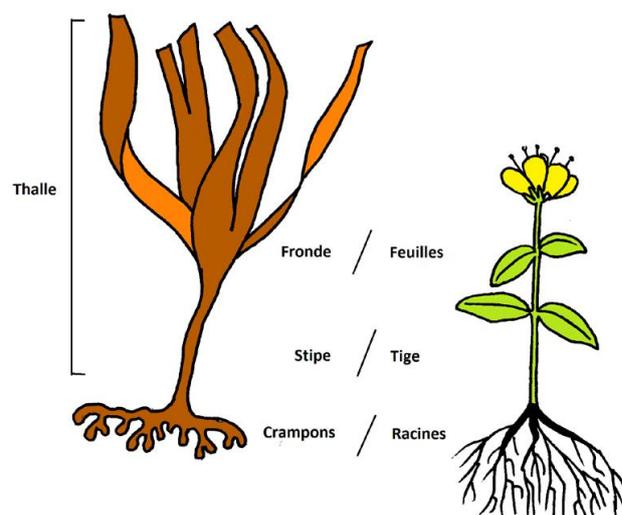


Figure1. Comparaison entre la morphologie d'une algue et d'une plante à

2. Morphologie et ultrastructure des Algues

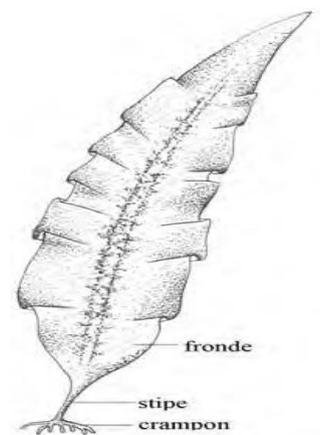
L'étude des structures cellulaires algales a progressé de façon considérable grâce à l'utilisation du microscope électronique.

La connaissance de ces structures a permis entre autres de découvrir les relations existant entre les différents groupes d'algues.

Les algues dont la taille moyenne n'excède pas quelques dizaines de microns sont appelées microalgues. Elles sont souvent constituées d'une seule cellule et sont parfois mobiles. Ces microalgues composent le phytoplancton* ou plancton végétal.

Les algues de grande taille, pluricellulaires, appelées également macroalgues, prennent des formes diverses selon les espèces : filament, lame, courroie... Certaines ont une architecture plus complexe avec des parties distinctes. Chez les algues, l'ensemble des tissus appelé thalle est composé de 3 parties :

- un système de fixation sous forme de disque ou de crampon
- un pédoncule plus ou moins long appelé stipe
- une lame ou fronde plus ou moins découpée formant des filaments, lanières...



2.1-)Paroi cellulaire

de nature glucidique (cellulose et composés pectiques), elle entoure la matière vivante de la cellule. Elle peut être absente chez certaines algues flagellées qui ne possèdent qu'une enveloppe mince formée par la pellicule externe du cytoplasme. Malgré la nature cytoplasmique de cette pellicule, celle-ci montre parfois des ornements disposés en réseau ou en spirale (par exemple chez les Euglénophycées du genre *Phacus*).

La paroi glucidique est généralement formée de plusieurs couches,. la couche externe est parfois visqueuse. La paroi peut s'imprégner de substances minérales : silice hydratée chez les Diatomophycées, carbonate de calcium chez diverses Chlorophytes ; des ornements en forme d'écailles ou plus complexes peuvent apparaître chez certaines Chrysophytes (écailles chez *Synura* par exemple).

Noyau :

il occupe en général le centre de la cellule et comprend un nucléole. Il est parfois suspendu au centre de la cellule par des travées cytoplasmiques, comme chez *Spirogyra* ou chez les Diatomées naviculoïdes.

Chez les genres à cellules à plusieurs noyaux (chez les-Rhodophytes principalement), les noyaux sont en général situés dans le cytoplasme entre les vacuoles et les plastes. En général, la structure ne diffère pas de celle du noyau des cellules de plantes supérieures, mais il est plus petit.

Plastes :

participe à la synthèse des formes de réserve comme l'amidon. Ils sont porteurs de la chlorophylle et des pigments accessoires. Ils sont de formes très variées mais caractéristiques et constantes pour chaque espèce. le **Pyrénoïde** un type de plastes chez les Chlorophytes responsable de la production de grains d'amidon.

Flagelles :

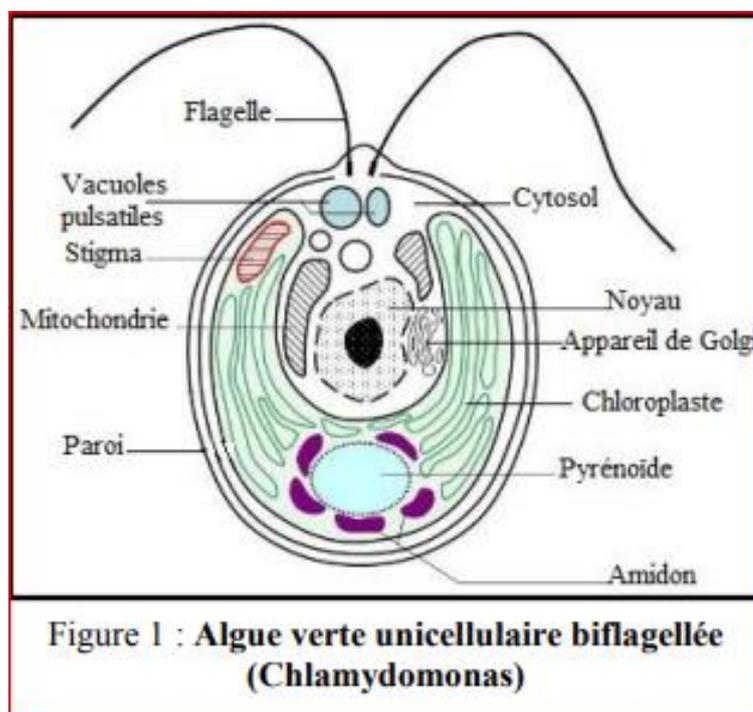
chez les zoospores et se forment au cours de la multiplication de certaines algues et les cellules végétatives; ainsi chez certaines micro algues mobiles ex: *Chlamydomonas*.

Vacuole pulsatile:

organite d'osmo-regulation, notamment important pour les especes qui vivent en eau douce, elle permet l'evacuation active de l'eau (de l'interieur de la cellule vers l'exterieur).

Le Stigma:

tache oculaire : élément photosensible, qui permet les réponses phototactiques. Orientation de déplacement par rapport à la lumière.



3.La morphologie des algues

Les algues se présentent sous un nombre de formes très variées, depuis le type unicellulaire jusqu'aux filaments ramifiés. On peut ainsi distinguer :

A. Les formes unicellulaires

1. Le type rhizopodiale

Les formes rhizopodiques n'ont pas de parois cellulaires rigides et émettent des pseudopodes comme les amibes ; Certaines espèces peuvent émettre des pseudopodes pour capturer et ingérer de petites proies.

2. Type coccoïde

Les cellules immobiles sont entourées d'une membrane fermée et bien définie : on trouve des formes simples sphériques ou subsphériques, *Chlorella* chez les Chlorophytes par exemple.

D'autres formes sont moins simples (triangulaires, discoïdes, quadrangulaires, allongées), pour aboutir à des cellules beaucoup plus compliquées : ainsi les Diatomées (Chrysophytes) sont constituées par une cellule circulaire ou allongée en deux valves s'emboîtant l'une dans l'autre.

3. Type flagellé ou monadoïde

Les cellules en général solitaires et mobiles possèdent 1, 2, rarement 3 (2 fouets égaux et un appendice flagelliforme) ou 4 fouets. Exp1 : Chlamydomonas : Algue verte unicellulaire à 2 flagelles,

Exp2 : l'Euglène : Euglena euglena : algue verte à un flagelle locomoteur.

B. Les formes coloniales

On peut distinguer deux sortes de colonies : les colonies mucilagineuses et les cénobes.

1. Les colonies Mucilagineuse

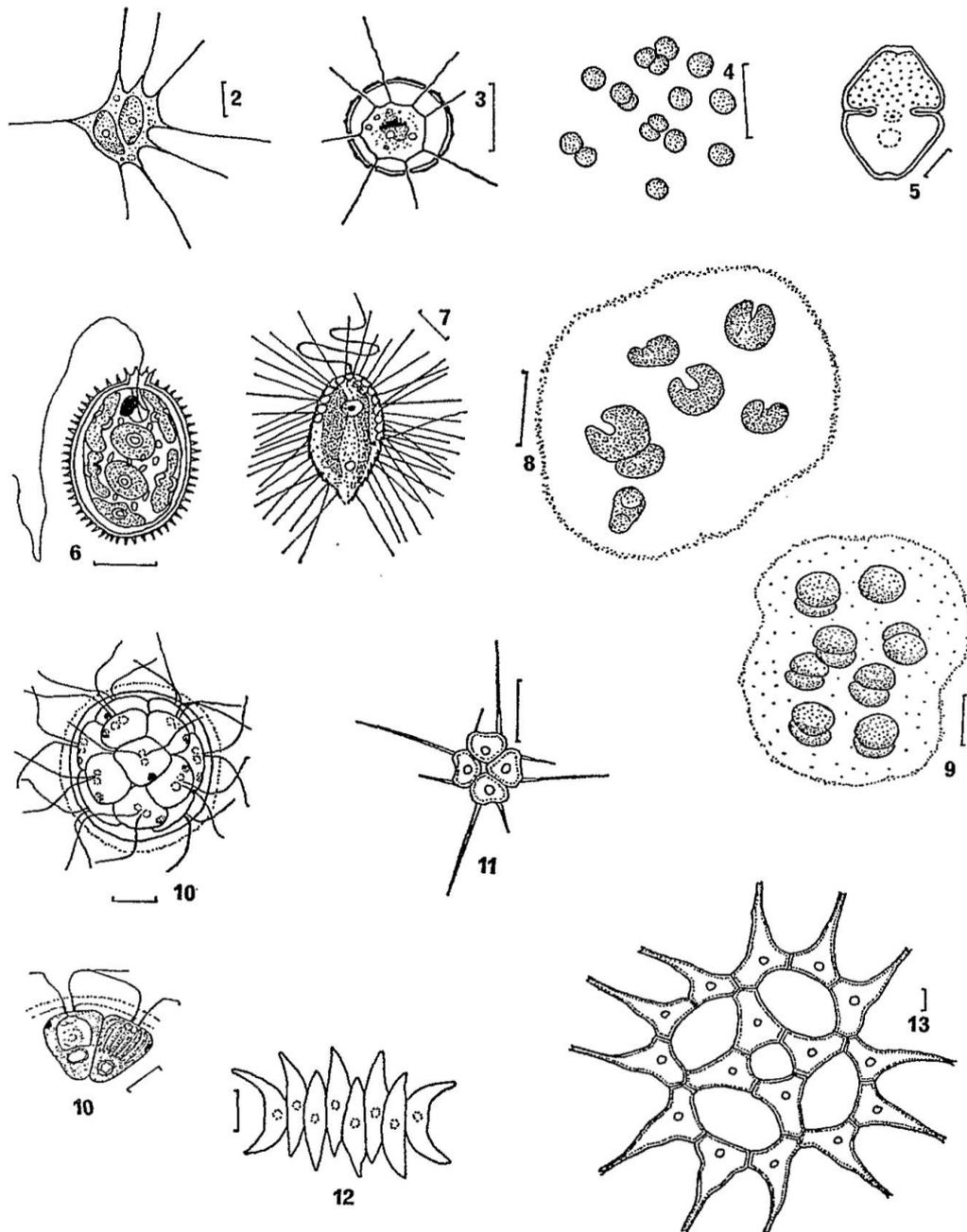
Les mucilages sont des substances végétales, constituées de polysaccharides, qui gonflent au contact de l'eau en prenant une consistance visqueuse, parfois collante, semblable à la gélatine.

Les colonies mucilagineuses sont constituées de cellules groupées sans forme définie dans une gelée englobant l'ensemble ; ce type de groupement est assez fréquent chez les Cyanophytes (*Microcystis*, *Aphanothece*) et chez les Chlorophytes (*Tetraspora*, *Kirchneriella*, *Dictyosphaerium*). Il existe des colonies constituées de cellules flagellées (*Eudorina*,

Pandorina, *Volvox*) et qui sont mobiles ; les cellules sont incluses dans une enveloppe gélatineuse traversée par les flagelles qui battent librement à l'extérieur.

2. Les Cénobes

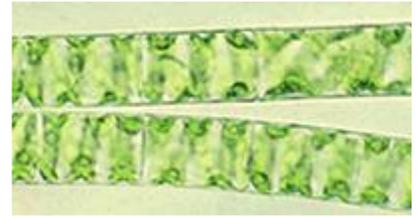
Ce sont des colonies immobiles ayant toujours une structure régulière. Ce type de forme est fréquent chez les Chlorophytes, Parfois les cellules marginales n'ont pas le même aspect que celles de l'intérieur (*Pediastrum*, *Scenedesmus*). Des méats peuvent exister entre les cellules (*Hydrodictyon*, certaines espèces de *Scenedesmus*).



PLANCHIE. - Figs 2 et 3 : Type rhizopodial : 4 et 5 : Type coccoïde : 6 et 7 : Type flagelle : 8 & 10 : colonies mucilagineuses (colonie entière et détail de deux cellules). 11 & 13 : cénobes

C- les formes filamenteuses

• **Thalles filamenteux** : la structure filamenteuse est une construction pluricellulaire simple, fréquente chez les algues.

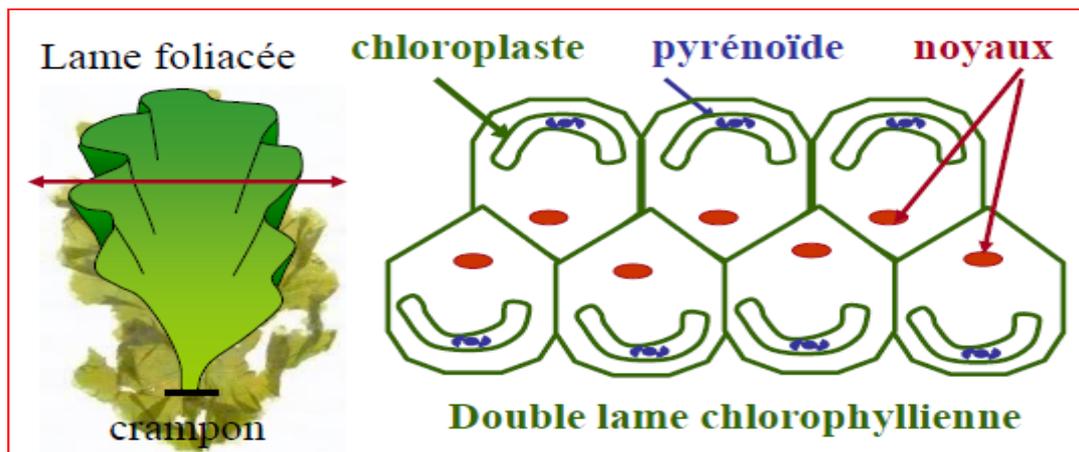


ex: *Spyrogira*

- Algue verte (Chlorophycée) d'eau douce
- pas de ramification
- chloroplaste en forme d'hélice = «rubané»

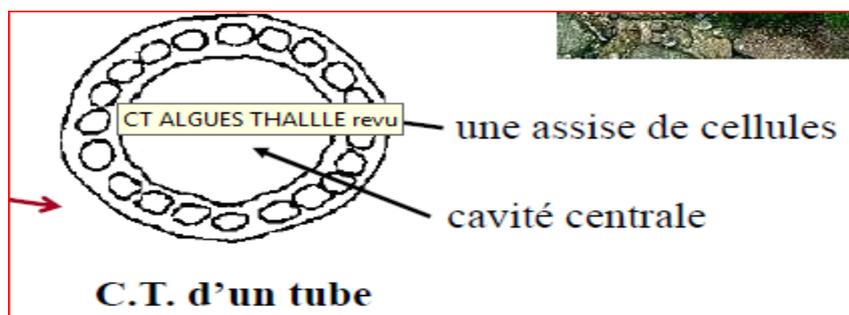
• **Thalles foliacés** ex: *Ulva lactuca*

- Algue verte -marine «La laitue de mer»
- Elargissement du thalle «en éventail» par mitoses transverses et longitudinales
- Thalle adulte = large lame formée de 2 assises de cellules



• **Thalles en tube** ex *Enteromorpha*

- Algue verte
- Tube creux formé d'une seule couche de cellules
- 2 assises de cellules (comme *Ulva lactuca*) qui s'écartent



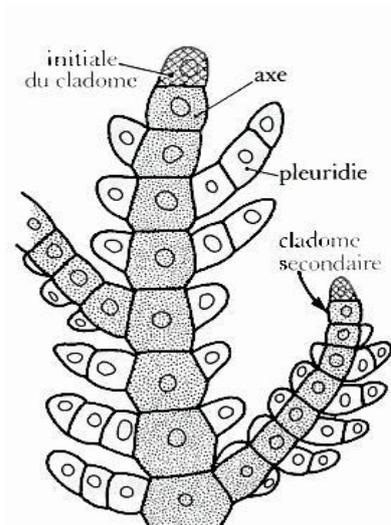
•**Thalles cladomiens** ex: *Sphocelaria* / *Plumaria*

plus complexe le thalle est constitué de plusieurs catégories d'axes à fonction déterminée. Le cladome est une organisation structurale comprenant un axe dressé à croissance indéfinie et des ramifications latérales à croissance définie: les pleuridies.



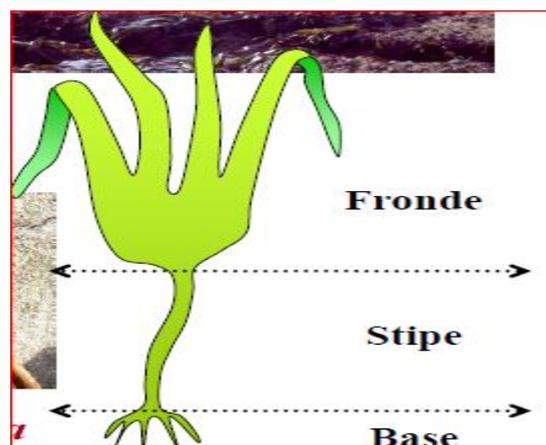
Si on tue la cellule apicale

-les pleuridies près de la cellule apicale (en cours d'élongation) n'arrêtent pas leur croissance-
les pleuridies ayant arrêté leur croissance la reprennent et se ramifient



•**Thalles fucoïdes**: ex *Laminaria*

sont toujours de grande taille à l'état adulte et montrent une différenciation en trois parties: une base importante, un stipe cylindrique ou plus ou moins aplati, une fronde de forme variée.

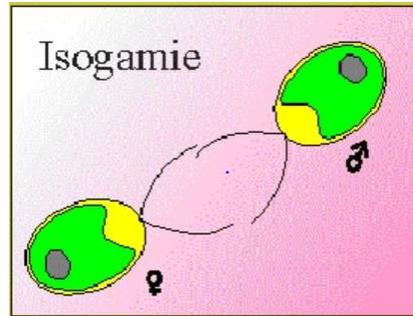


4. La reproduction des algues

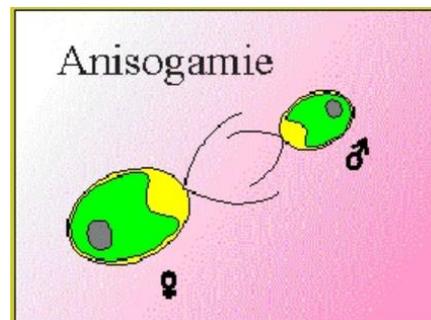
4.1. Reproduction sexuée

Il y a plusieurs formes de la reproduction sexuée chez les algues

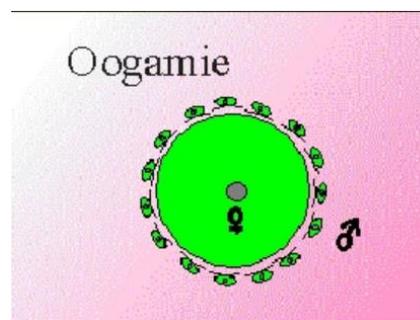
Isogamie fécondation mettant en présence deux gamètes morphologiquement et physiologiquement identiques



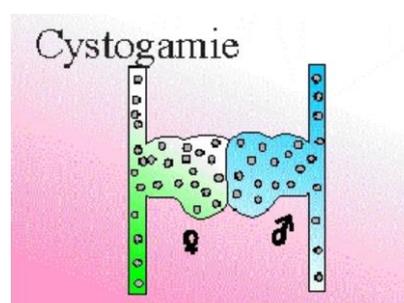
Anisogamie fécondation mettant en présence deux gamètes morphologiquement et/ou physiologiquement différents



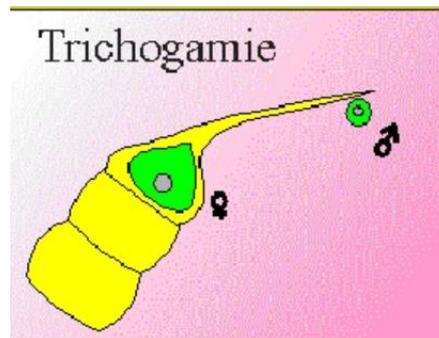
Oogamie 1 gamète petit, mobile, produit en grand nombre 1 gamète gros, immobile, chargé en réserve



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

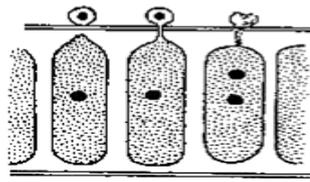


□ **Trichogamie** le gamète femelle reste dans le gamétophyte, émet un poil le trichogyne le gamète mâle sans flagelle, se colle sur le trichogyne.



□ **Aplanogamie** Lorsque les 2 gamètes sont immobiles et que leur rencontre se fait passivement (grâce à des courants d'eau). Il existe une papille sur gamète femelle pour faciliter la fécondation.

Aplanogamie



L'isogamie, anisogamie et oogamie sont dites Planogamie où au moins un des gamètes qui est mobile.

La planogamie et l'aplanogamie sont des formes bien adaptées au milieu aqueux.

4.2. Reproduction asexué

La reproduction peut être asexuée par mitose : bipartition pour les unicellulaires, bourgeonnement ou fragmentation pour les autres: la partie du thalle qui se détache, se fixe et se développe pour donner un nouvel individu.

Toutes les algues bénéficient, en principe, de cette possibilité végétative.

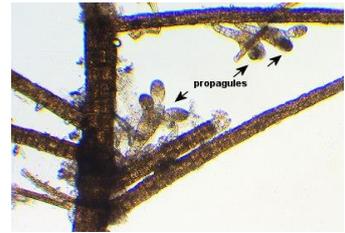
A. Multiplication végétative

Fragmentation du thalle

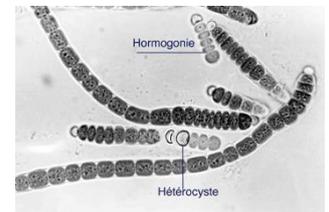
Ex1. Chez les Algues rouges du genre *Asparagopsis*, les Algues vertes du genre *Caulerpa* ou des Algues brunes des genres *Ascophyllum*, *Fucus* ou *Sargassum* : une partie du thalle se brise, est emportée par les courants et les vagues et redonnera un nouvel individu. C'est un véritable **bouturage**.

Ex2. Chez les Algues vertes du genre *Valonia* : formation des thalles-fils par **bourgeonnement**

Ex3. Chez les Algues brunes du genre *Sphacelaria*, il y a **formation de propagules** : apparition d'un massif de cellules sur le thalle capables après séparation de l'algue-mère de donner naissance à un nouvel individu.



Remarque: Chez des Cyanobactéries filamenteuses ("Algues bleues") certaines cellules se segmentent, donnent de petits fragments pluricellulaires appelés **hormogonies** qui se détachent (véritables boutures) et permettront la naissance d'un nouveau thalle.



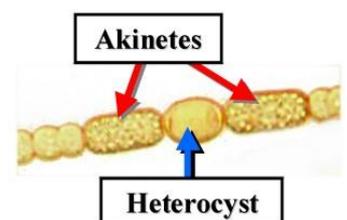
B. Formation de cellules spécialisées ou spores.

1.2.1. Formation de spores

Une partie du thalle (**eucarpie**) ou la totalité du thalle (**holocarpie**) donne des cellules fertiles ou **cystes** appelées **sporocystes** (ou sporanges) qui contiennent les cellules-mères des spores. Les spores libérées par ouverture des organes précédents, sont dispersées, tombent sur un substrat et après germination donnent naissance à un nouvel individu. Certaines spores sont immobiles les **aplanospores** (2) d'autres sont mobiles les **zoospores**

1.2.2. Formation de spores résistantes.

Certaines cellules du thalle "s'enkystent" donnent des spores capables de mener une vie ralentie quand les conditions sont défavorables puis de germer si ces conditions redeviennent favorables; ces spores résistantes sont appelées **aKinètes**.



5. Classification des algues

La classification des algues est basée sur sept critères principaux:

- morphologie des cellules ou thalles (quand pluricellulaires);
- morphologie et chimie de la paroi;
- nombre et type d'insertion des flagelles;
- type de chlorophylle et présence de pigments accessoires;
- l'habitat;
- les structures reproductrices;
- le cycle biologique.

A. Les Cyanophytes

Dénommées aussi Algues bleues ou Schizophytes ou encore Myxophytes, ne possèdent pas de noyau à membrane définie (ce sont des Procaryotes, à l'inverse des autres groupes qui sont des Eucaryotes). Les pigments présents dans la cellule sont nombreux : chlorophylle verte a et c, phycocyanine bleu-vert, phycoerythrine rouge et pigments d'accompagnement, β carotène et xanthophylles jaunes ou ochracés. Certaines espèces ne possèdent que de la chlorophylle.

Ces pigments ne sont pas portés par des plastes mais sont diffus dans le cytoplasme et donnent aux cellules une coloration homogène. Le mélange de ces pigments dans le cytoplasme donne en général la teinte bleu-vert caractéristique des Cyanophycées mais on rencontre aussi des teintes vertes noirâtres, brunâtres, rouges, bleues ou même violettes.

Les Cyanophytes ne possèdent pas de formes flagellées. C'est un groupe d'algues très abondant dans les eaux douces africaines.

B. Les Chlorophytes

Sont les algues vertes, comme tous les groupes vivants des eucaryotes à noyau bien individualisé; elles possèdent des plastes d'un vert franc contenant de la chlorophylle a et b associée à de l' α et β carotène et des xanthophylles identiques à celles des plantes supérieures. Les formes nageuses possèdent en général deux ou quatre flagelles de même taille.

C. Les Euglénophytes

Sont des algues unicellulaires et flagellées, le plus souvent mobiles, avec des plastes verts contenant de la chlorophylle a et b associée à du α carotène et des xanthophylles. Certaines espèces prennent une teinte rouge qui masque la teinte verte des plastes.

Les euglénophytes sont à la fois proches des algues brunes et des protozoaires.

À la mauvaise saison ou si la lumière est trop faible, l'euglène se nourrit par phagocytose comme un protozoaire.

Si les conditions deviennent très difficiles, certaines euglènes perdent leurs flagelles, se chargent de réserves, s'arrondissent et s'entourent d'une enveloppe protectrice qui leur permet d'attendre de meilleures conditions.

Parmi les genres les mieux étudiés, citons : *Euglena*, pigmenté, pratiquant la photosynthèse ; *Astasia*, incolore, absorbant des substances dissoutes ou *Peranema*, incolore, se nourrissant par phagocytose.

.

D. Les Chrysophytes

Sont caractérisées par des chromatophores bruns, jaunes ou vert-jaunâtres. Elles ne possèdent jamais d'amidon. Il existe de nombreuses formes flagellées possédant pour la plupart deux fouets inégaux. Ce groupe se divise en cinq classes :

1. Les Chrysophycées

A plastes jaunes ou bruns renfermant des chlorophylles a et c, du carotène et diverses xanthophylles, sont des organismes unicellulaires ou coloniaux, rarement filamenteux. Elles forment souvent des logettes ou kystes siliceux plus ou moins sphériques.

2. Les Xanthophycées

Possèdent des plastes vert-jaune ou vert à peine jaunâtre ou les chlorophylles a et c sont associées à plusieurs xanthophylles et du α carotène, les pigments bruns étant absents. Leur teinte est souvent très proche de celle des Chlorophytes mais l'absence d'amidon permet de séparer facilement ces deux groupes.

3. Les Diatomées ou Diatomophycées

sont des algues unicellulaires ou coloniales, quelquefois filamenteuses, à plastes bruns ou jaunes contenant de la chlorophylle a et d du α carotène et plusieurs xanthophylles. Elles sont caractérisées par leurs parois cellulaires imprégnées de silice formant une logette bivalve appelée frustule.

Lorsque les diatomées meurent, leur contenu cellulaire se décompose et il ne reste plus que cette paroi externe qui sédimente et qui forme une roche que l'on appelle la diatomite ou terre de diatomées.

La terre de diatomées ou Diatomite est utilisée comme additif dans les huiles décolorantes et désodorisantes et les engrais.

Elle est également employée en tant que filtre pour les piscines, comme isolant thermique (briques réfractaires) et phonique et comme additif à la peinture pour augmenter la visibilité nocturne des signaux indicateurs et des plaques d'immatriculation.

4. Les Phéophycées

Sont des algues brunes toujours filamenteuses ou thalloïdes, jamais unicellulaires.

Elles sont surtout marines et ne sont représentées en eaux douces que par cinq genres et cinq à six espèces fort rares. Elles possèdent des plastes bruns contenant des chlorophylles a et c, du β carotène et des xanthophylles (surtout de la fucoxanthine et de la diatoxanthine). Elles ne produisent jamais d'amidon.

5. Les Raphidophycées

Sont toujours des formes unicellulaires, solitaires, nageant à l'aide de deux flagelles de taille inégale. Leurs pigments sont constitués par de la chlorophylle c, du β carotène et trois xanthophylles. Cette classe ne comprend qu'une vingtaine d'espèces d'eau douce.

E. Les Rhodophytes

Ou les algues rouges, taxon frère des algues vertes. Elles sont principalement marines et pour la plupart pluricellulaires. Leur présence dans les eaux douces se limite à une trentaine de genres peu fréquents. elles présentent de la chlorophylle **a** et **d** et des pigments comme les **α** et **β** carotènes, les phycoérythrines, phycocyanines. On note aussi la présence d'un amidon floridien (semi liquide) appelé rhodamylon. En eau douce, la couleur des Rhodophytes est bleu-vert, rouge-violacé, très souvent vert sale ou vert noirâtre. Il n'existe pas de formes flagellées.

F. Les Pyrrhophytes

Ou dinoflagellés, sont des plastes bruns, plus rarement rouges ou bleu-vert contenant des chlorophylles a et c, du carotène. Les formes unicellulaires biflagellées sont très nombreuses. Elles font partie du phytoplancton et sont responsables du phénomène des eaux rouges. Certains dinoflagellés ne possèdent pas de pigments photosynthétiques. Les réserves sont constituées par de l'amidon.

1-Identification et constitution.

Les protozoaires appartiennent au règne des protistes. Ce mot vient du grec protos = premier et de zoo = animal.

Les protozoaires sont des êtres vivants unicellulaires microscopiques, se sont également des cellules eucaryotes.

Les protozoaires sont les ancêtres des animaux, Chaque protozoaire est une cellule très spécialisée capable de remplir toutes les fonctions vitales. Les protozoaires doivent se déplacer, digérer, respirer, éliminer leurs déchets par excrétion et se reproduire pour survivre. Leur cellule unique est donc beaucoup plus complexe que les cellules retrouvées chez les métazoaires.

Les cellules protozoaires se constituent d'un noyau, de vacuoles, de mitochondrie, d'un réseaux de membranes et d'une flagelle pour leur permettent de se déplacer.

Les protozoaires ont une taille comprise entre 1 et 600 μ m. Les plus petits sont les sporozoaires ainsi que certains parasites intracellulaires. Les plus grands sont les amibes qui peuvent atteindre jusqu'à 5mm.

Les protozoaires possèdent tous les constituants classiques de la cellule eucaryote (organites spécifiques) :

- **Membrane lipoprotéique** mince : plasmalemme.
- **Membrane lipoprotéique** parfois doublée d'une enveloppe superficielle. Cette membrane a un rôle de protection contre les agressions et la déshydratation.
- **L'appareil de Golgi** (synthèse de membrane).
- **Le noyau.** On trouve toutefois des protozoaires avec constamment deux noyaux : les ciliés (exemple : paramécies) qui possèdent un macronucléus et un micronucléus.

****Le macronoyau** est dit « polyploïde » ($x n$), il est impliqué dans tout ce qui est métabolisme plus régénération = matériel génétique actif.

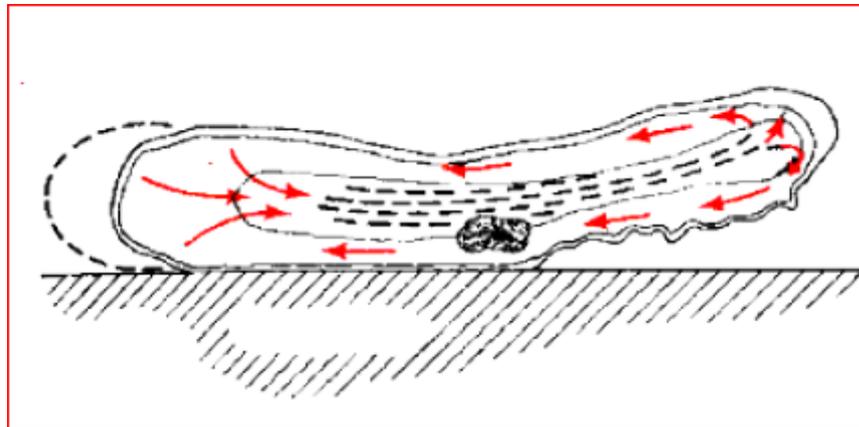
****Le micronoyau** est « diploïde » ($2n$), il est impliqué dans le phénomène de recombinaison génétique = reproduction.

- Il y a beaucoup de vacuoles, notamment la **vacuole pulsatile** qui gère les mouvement osmotique. **Vacuoles phagocytaires** (plus cytosomes) **Vacuoles sécrétoires** (produites par Golgi, possèdent des enzymes).

- Pour les protozoaires anaérobies, il existe des vésicules dites « hydrogénosome » où se fait le transfert de l'oxygène.
- **La locomotion** Le mouvement orienté permet la recherche de nourriture, d'un abri, d'un nouvel habitat, d'un partenaire sexuel. On trouve trois types d'appareils locomoteurs.

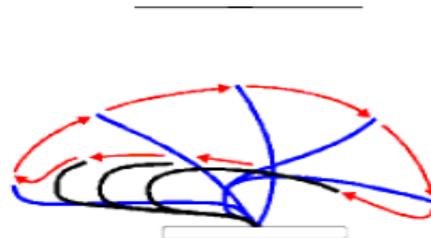
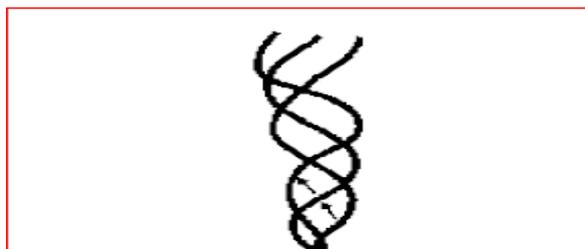
****Les pseudopodes**

sont des extensions cytoplasmiques temporaires pour la locomotion et la capture des proies. En général, des pseudopodes se rétractent pendant que d'autres se forment. Les pseudopodes sont le principal moyen de locomotion des amibes. Le mouvement caractéristique produit par les pseudopodes est appelé mouvement amiboïde.



**** Les cils et flagelles**

Les cils et flagelles sont permanents, en position fixe. Selon les cas, on les trouve sur toute la surface du corps ou localisés. Ils ne sont efficaces qu'en milieu fluide.



Les Protozoaires sont généralement cosmopolites et peuplent les milieux les plus divers. : eaux douces stagnantes ou courantes, eaux saumâtres, salées et super-salées, tourbière et

sphaignes (dans la mince couche d'eau qui entoure la plante) et même la terre humide, voire sèche.

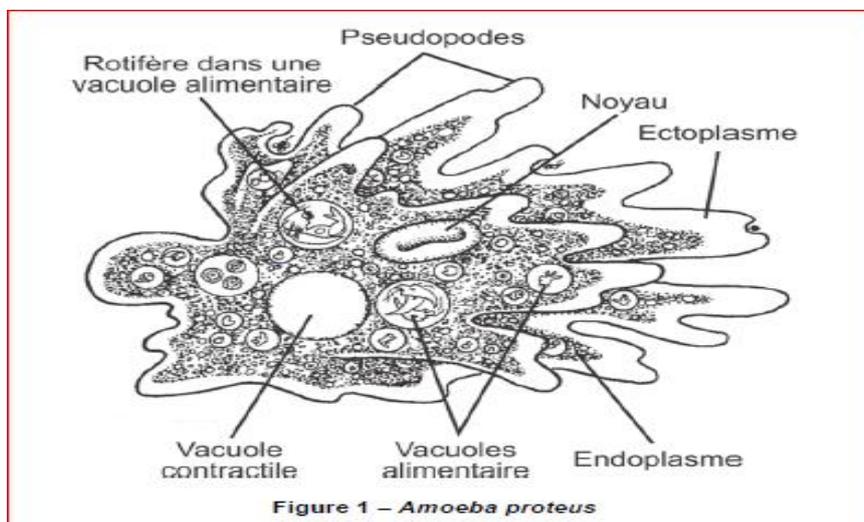
Malgré la simplicité de leur organisation, la structure protozoaire est réussie car la vie protozoaire est présentée sous tous les climats et dans tous les habitats. On peut les trouver :

- A l'état libre (en milieu aqueux ou humide).
- Comme parasite (maladie).
- Comme symbiote.

2-Les principaux types de protozoaires.

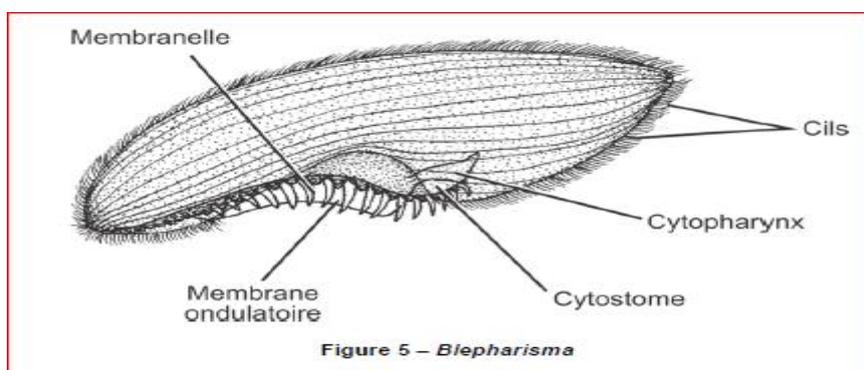
Il y a plus de 30000 espèces de protozoaires. Mais on peut en distinguer trois en particulier :

2.1. les protozoaires sans cil ni fouet. Ils sont capables d'émettre des pseudopodes qui sont des prolongements qui leur permettent de capturer certains organismes microscopiques et de se déplacer. Cette espèce est appelée **amibe**.

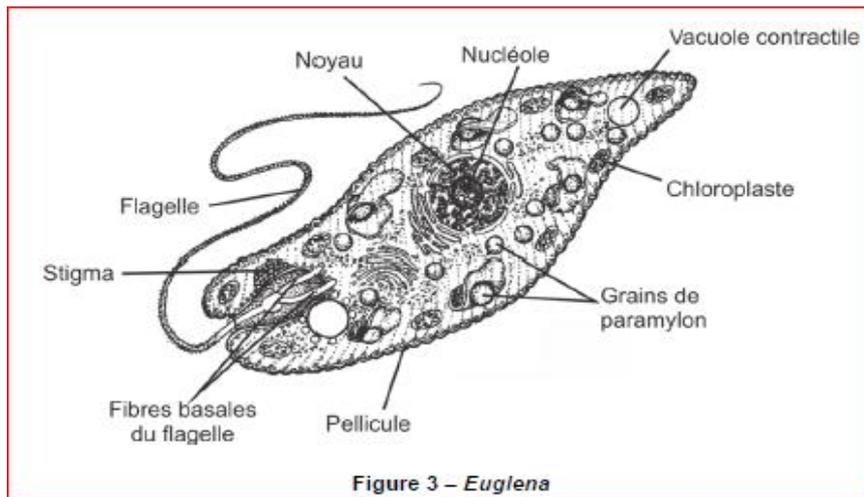


2.2. les ciliés qui sont recouverts de cils.

- **Les cils buccaux** : ils entraînent les aliments vers la bouche.
- **Les cils somatiques** : ils servent à la locomotion.



2.3. les flagellés comportant des fouets.



• Nutrition – Comportement de survie

Au sujet de la nutrition il existe deux grands types:

- nutrition holozoiq,ue,
- nutrition saprozoique.

Holozoiq,ue: la nutrition se fait par un phénomène de phagocytose donc le protozoaire avale des éléments particuliers comme des bactéries. Il existe chez certains ciliés, une vésicule de phagocytose particulier destinée à la digestion, c'est le « cytosome ».

Saprozoique: il y a ingestion de nutriments qui ont simplement traversés la membrane plasmique.

Nombreux protozoaires peuvent passer par une phase de « enkystement »; ils se différencient en un « kyste » qui ressemble beaucoup à la spore bactérienne. C à d qu'il s'agit d'une cellule « dormante », possédant une paroi (rare chez les protozoaire) et activité métabolique faible. Le kyste a trois fonctions principales:

- forme de protection lors de changement défavorables de l'environnement (carences alimentaires, faible oxygène, variation de pH, diminution de l'humidité, ...).
- kyste reproductif (réorganisation génétique)
- pour les espèces parasites, le kyste permet de passer d'un hôte a un autre.

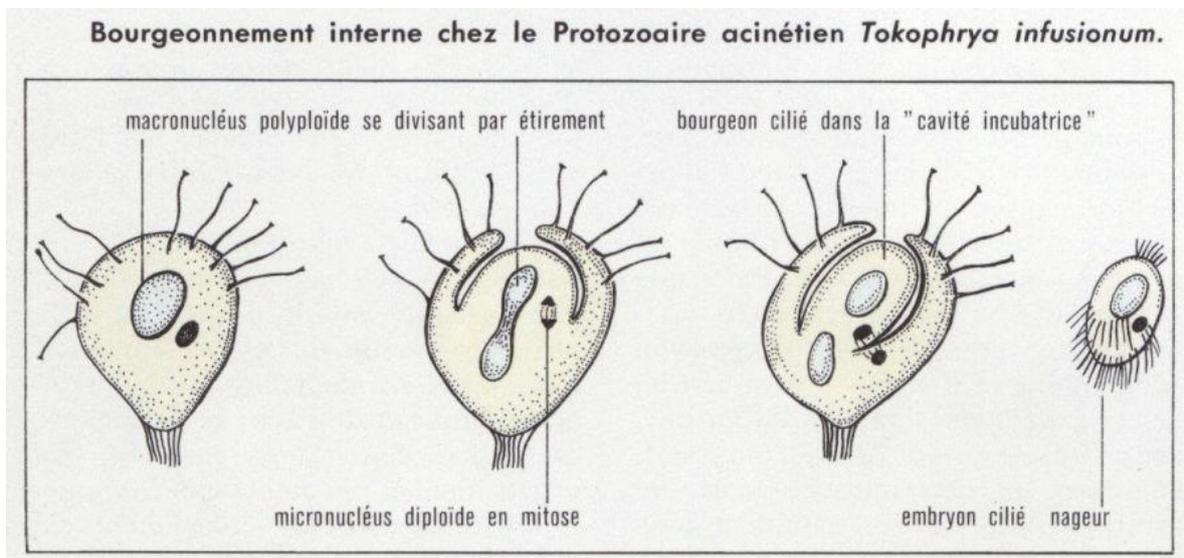
Le dekystement n'a besoin d'aucune manifestation particulière; cela apparait quand le milieu redeviens favorable. Chez les formes parasites, la forme du microorganisme que l'on obtient après le dekystement, s'appelle le « trophozoite ».

3. La reproduction chez les protozoaires

Il existe deux types de reproduction chez les protozoaires : la multiplication asexuée et la reproduction sexuée. Le mode principal de reproduction chez les Protozoaires est la reproduction asexuée, mais la reproduction sexuée est également commune. La reproduction asexuée est avantageuse car elle est énergétiquement plus économique.

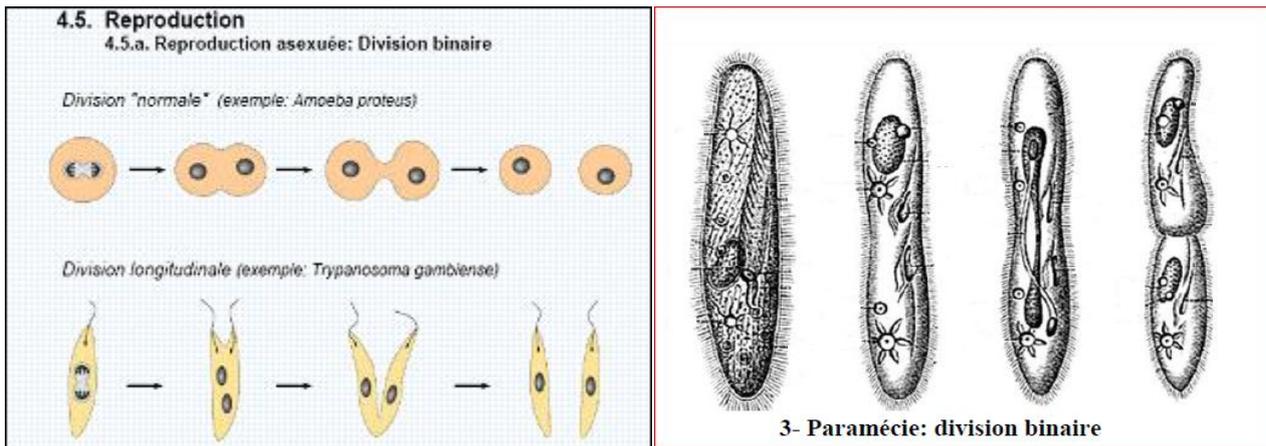
3.1. La reproduction asexuée peut être

1) **un bourgeonnement** au cours duquel une extension de l'organisme se sépare et produit un nouvel individu; Il y a apparition à la surface cellulaire d'un bourgeon exogène, suivie d'une division nucléaire, capable de constituer un individu complet qui se détache de l'individu souche. **C'est une fission binaire inégale.**



2) **une fission binaire**, au cours de laquelle l'individu se sépare littéralement en deux pour produire deux individus identiques et de même taille; La cellule se divise en deux.

C'est le type le plus courant (les protozoaires présentent deux à trois fissions binaires par jour). La fission peut être non orientée (comme chez les amibes [animaux sans forme précise]), longitudinale chez les flagellés (*Trypanosoma*) ou transversale chez les Paramécies (ciliés).



3) une fission multiple où le parent multinucléé se divise en plusieurs cellules de taille semblable. Il y a une division répétée du noyau puis des divisions du cytoplasme qui forment autant d'individus qu'il y a de noyaux.

3.2. La reproduction sexuée les protozoaires à reproduction sexuée sont peu nombreux. Cette reproduction implique généralement la formation de gamètes par méiose (gamétogénèse), mâles et femelles appelées gamétocytes qui peuvent se réunir à l'extérieur (syngamie) ou à l'intérieur (autogamie) de l'organisme parent.

Mais, chez les Ciliés, il existe un mécanisme spécial d'échange de matériel génétique qui ne fait pas intervenir des gamètes: c'est la **conjugaison**. Les Ciliés ont des noyaux dimorphes: un macronoyau polyploïde qui contrôle le fonctionnement cellulaire et un ou plusieurs micronoyaux qui sont impliqués dans la reproduction sexuée.

Deux cellules compatibles entrent en contact, fusionnent et s'échangent un noyau haploïde, le micronoyau, qui fusionne avec celui de la cellule réceptrice. Les deux cellules se séparent en étant toutes deux fécondées et leur division par méiose produit d'autres micronoyaux haploïdes, et ce sont ces micronoyaux haploïdes qui vont donner des cellules filles.



4. La classification des Protozoaires

La classification des protozoaires a subi de nombreux remaniements ces dernières années. La principale discrimination se fait en fonction de l'appareil locomoteur.

On trouve quatre embranchements.

A) Les Sarcomastigophores.

Sarkodes = charnu Mastigos = fouet : flagelle Phoros = qui porte Les représentants ont : un seul NOYAU, englobe deux sous embranchements

****Mastigophore**

et

**** Sarcodina**

1. Mastigophora (Les Flagellés) .

Ils réalisent leurs déplacements grâce à des flagelles. Au cours du cycle, il n'y a pas de spore. La reproduction sexuée est rare.

2. Sarcodina (les Amibes)

**** Les Rhizopodes.**

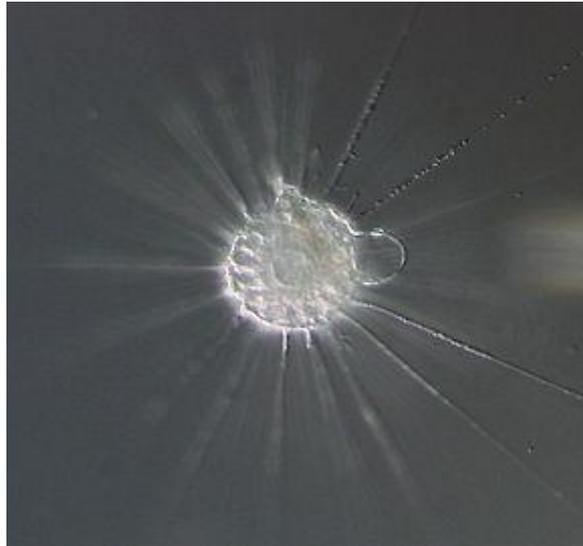
Ils sont dépourvus de cil ou de flagelle. Ils se déplacent grâce à des pseudopodes qui servent aussi à la capture des proies. La reproduction sexuée, dans ce groupe, n'est pas connue.



Chaos carolinense

**** Les Actinopodes.**

Ils ont des pseudopodes à disposition rayonnante, soutenus par des filaments rigides (axopode). Leur forme est généralement sphérique.

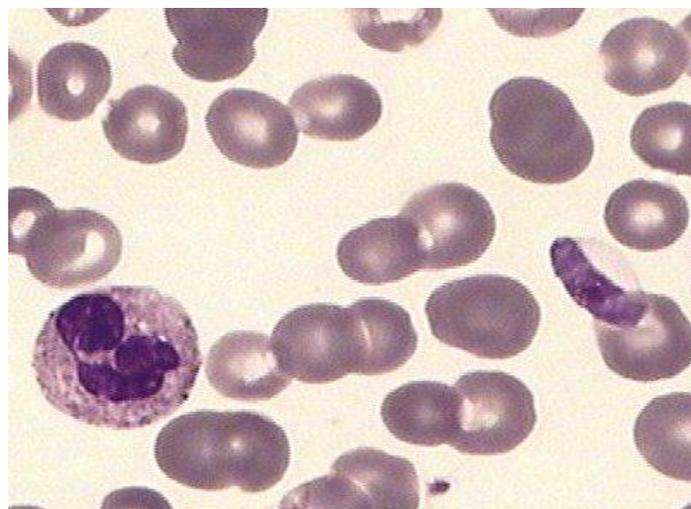


Actinophrys

B) Les Apicomplexes / Sporozoaires.

- Absence de flagelles, de pseudopodes et de cils
- Cycle de développement complexe
- Multiplication asexuée de type multiple (= schizogonie multiple)

Ils émettent des spores flagellées pendant leur cycle reproducteur. Ils sont généralement des parasites transmis par un vecteur (moustique). Exemple : *Plasmodium falciparum* (paludisme).

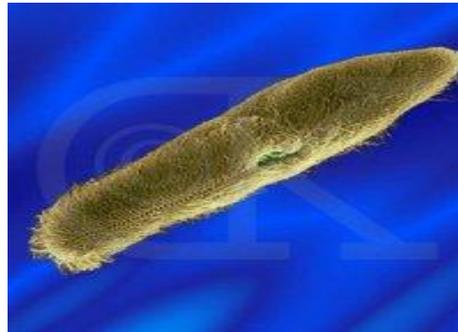


Plasmodium falciparum

C) Les Ciliés (ou Ciliophores, ou Infusoires).

- **Définition : Cilio = Cil Phoros = qui porte ; Cils vibratiles ou organelles cilliaires**

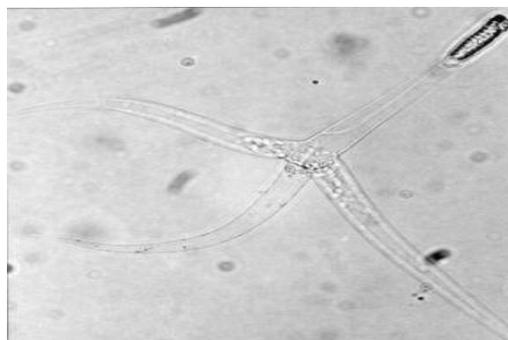
Ils présentent des cils à la surface de la cellule. Ils ont deux noyaux. Ils présentent divers modes de vie : libre (paramécie) ; fixé par un pédoncule ; symbiote ; parasites (peu nombreux). ils vivent dans les eaux douces, saumâtres ou salées.



Paramecium caudatum

D) Les myxozoaires.

Ce sont des parasites de vertébrés, dont les poissons. En début de cycle, ils présentent une forme amiboïde qui évolue vers un plasmode plurinucléé : ils donneront une tumeur chez l'hôte.



Myxobolus cerebralis