

## *Cours de Microbiologie Générale*

### *Notions de mycologie*

#### *1 - Mycologie (Levure et moisissure)*

La mycologie est l'étude des mycètes ou champignons. On distingue trois groupes majeurs de champignons : **Les moisissures (champignons filamenteux), Les levures (unicellulaires) et Les champignons macroscopiques.**

Environ 100 000 espèces de Mycètes ont été décrites à ce jour, mais la majorité sont des microorganismes incultivés et les estimations des mycologues de leur nombre total vont de 0,8 à 5 millions.

Riches en enzymes, ils peuvent recycler les parties les plus dures des végétaux. Certains d'entre eux sont symbiotiques et développent des mycorhizes avec les racines des plantes. D'autres sont utiles à certains insectes pour dégrader la cellulose et la lignine qui leur servira de nourriture, aussi ils servent de nourriture aux insectes mycétophages et à leur larves. L'homme s'en sert pour la fabrication des médicaments (antibiotiques, vitamines), d'aliment (pain, fromages), d'enzymes...

Les champignons sont des **eucaryotes saprophytes**. Ils se nourrissent de matières organiques en décomposition qu'ils transforment en matière minérale, par absorption à travers une membrane.

**Une vie commensale pour la majorité.** Ils vivent en association symbiotique avec d'autres organismes. Mais certains sont **parasites** et hautement pathogènes pour l'homme, les animaux et les plantes causant des pertes économiques considérables aux agriculteurs.

Ils vivent en **aérobiose**, à l'exception de ceux du tube digestif des mammifères. Les levures sont **anaérobies facultatives**.

Les mycètes sont **mésophiles** : Température optimale de croissance entre 25 et 35°C. Le maximum observé est de 62°C.

Ils tolèrent **des milieux acides**  $5.5 < \text{pH} < 7.5$  et ils sont moins exigeant en humidité par rapport aux autres micro-organismes.

**Chimiohétérotrophes** : ils utilisent la matière organique comme source d'énergie d'électrons et de carbone. Ils oxydent la matière organique pour puiser l'énergie nécessaire à leur développement et croissance. Les molécules simples (acide aminé, monosaccharides) sont absorbées directement. Les molécules plus complexes sont hydrolysées à l'extérieur par un équipement enzymatique sécrété ou associé à la paroi.

Les champignons **ont une paroi**, principalement constituée de 10 à 20% de protéines, 80% de polysaccharides antigéniques : **la chitine** (polymère linéaire de  $\beta$ -D-1-4- N Acétyl-glucosamine), de la cellulose (polymère linéaire de  $\beta$ -D-1-4- glucose) des mannanes ou des glucanes. La majorité, sont **immobiles** à l'exception de quelques espèces aquatiques.

**L'appareil végétatif** des mycètes est appelé **un thalle**. Le thalle peut être constitué d'une seule cellule (levures). La plupart des champignons ont des thalles pluricellulaires constitués d'un mycélium et d'organes de fructification (les moisissures).

La croissance **est apicale**, elle se fait au niveau de l'apex des hyphes. L'ensemble des hyphes forment **un mycélium**. Les levures sont **unicellulaires** et se reproduisent **par bourgeonnement** mais également **par fission binaire** ou **scissiparité** comme *Schizosaccharomyces pombe*.

**Leur cycle vital** peut se faire **par reproduction sexuée ou asexuée**. Dans la reproduction sexuée, **les spores** présentent des différences notables en termes de forme, taille et autres caractéristiques, **spécifiques de l'espèce**.

## ***1.1 Taxinomie et reproduction***

Les moisissures et les levures sont classées sur **la base de la diversité des cycles de reproduction**, en tenant compte **de la formation de spores sexuées différentes**.

La reproduction la plus répandue se fait sans recombinaison génétique. Les spores asexuées sont produites par une mitose suivie d'une division cellulaire. Elle peut avoir lieu par fragmentation du mycélium (arthrospore), par bourgeonnement d'une cellule mère végétative (blastospores), si elles sont enveloppées, elles sont dites **chlamydospores**, ou à l'extrémité d'un hyphes : conidiospores. Elles peuvent être formées à l'intérieur d'un sporange : **sporangiospores**.

La reproduction sexuée implique la formation de gamètes ou cellules sexuelles. Les gamètes de deux thalles fusionnent leur patrimoines génétiques et forme un nouvel individu.

Il existe 3 règnes de mycètes : **Eumycota, Straminipila et Fongiformes**, selon leur morphologie et leur mode de reproduction.

**A. Le règne des Eumycota** : Un eumycète est un champignon vrai, Fungi.

**Phylum Chytridiomycota**

**Phylum Zygomycota**

**Phylum Glomeromycota**

**Phylum Ascomycota**

**Phylum Basidiomycota**

**B. Le règne des Straminipila** comprend 3 phylums qui dérivent probablement d'un groupe de protistes comme les diatomées et certaines algues dorées. Le plus important est celui des Oomycota

**Phylum Oomycota**

**Phylum Hyphochytridiomycota**

**Phylum Labyrinthulomycota**

**C. Le règne des fongiformes ou moisissures glaireuses** avec 4 phylums

**Phylum Myxomycota**

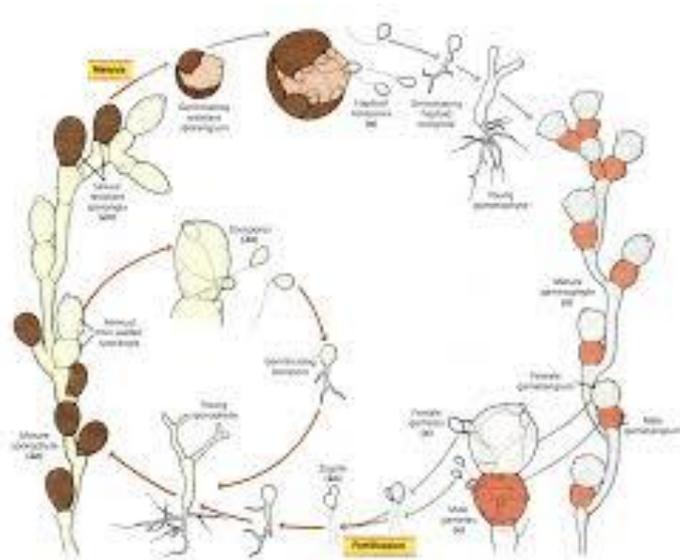
**Phylum Plasmodiophoromycota**

**Phylum Dicytosteliomycota**

**Phylum Acrasiomycota**

### **1.1.1 Phylum des chytridiomycètes**

Ce sont des champignons inférieurs, le mycélium n'est pas septé (sauf dans des structures en cours de reproduction). Les Chitrides produisent des zoospores dans des sporanges. **Les zoospores sont mobiles généralement par un flagelle**. La reproduction sexuée se fait par la formation d'une spore diploïde après la fusion de 2 cellules haploïdes ou la fusion d'un gamète haploïde avec un œuf immobile. La spore peut subir une méiose et produit un mycélium haploïde ou germer et produire un mycélium diploïde. Le mycélium diploïde peut donner naissance à des sporanges, qui après méiose forment des zoospores haploïdes qui germent en mycélium végétatif haploïde.

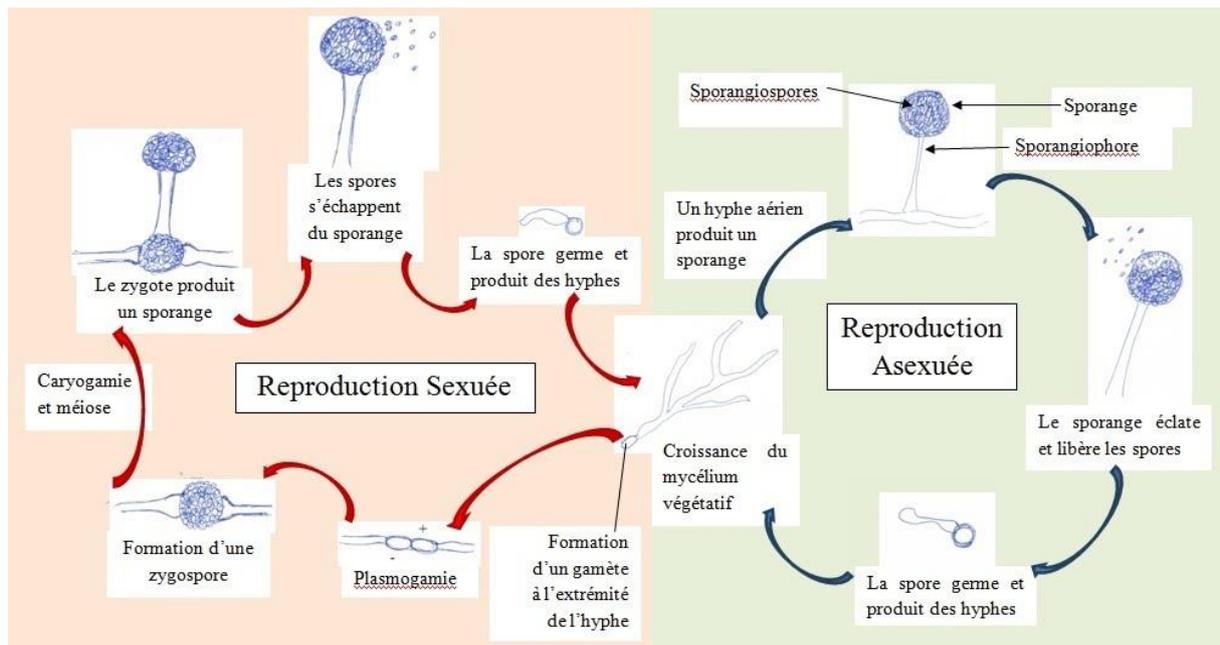


**Cycle biologique des chytridiomycètes**

### ***1.1.2 Phylum des zygomycètes***

Lors de la reproduction asexuée, il y'a formation d'un hyphe aérien, l'extrémité du hyphe est appelée **spongiospore**, elle est séparée de l'hyphe par un septum appelé columelle. Les éléments contenus dans le cytoplasme de l'extrémité d'un hyphe se transforment **en sporangie** contenant de nombreuses **spores asexuées**. Les spores contiennent des noyaux haploïdes issus de division mitotique d'un noyau du mycélium végétatif. La dissémination se fait par l'intermédiaire de l'eau et le vent.

Dans la reproduction sexuée, deux noyaux de signes contraires fusionnent dans une structure appelée **zygospore**. Si c'est le même mycélium (homothalisme) si deux mycéliums distincts (hétérothalisme). La fusion se fait au niveau des extrémités différentes des hyphes, appelées progamétanges et donne la **zygospore**. Après une méiose, 3 noyaux dégèrent et un seul reste pour donner le mycélium végétatif. Il y'a formation de nouvelles **spongiospores** à partir de la zygospore.



## Cycle biologique des zygomycètes

### 1.1.3 Phylum des Glomeromycètes

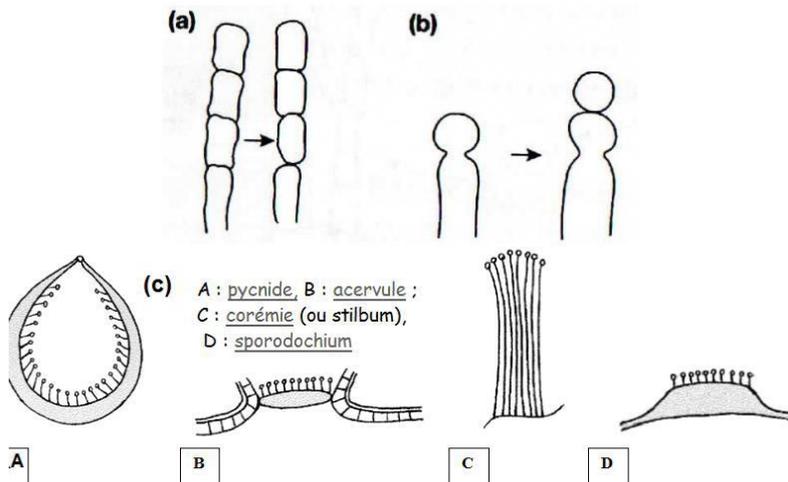
Ils ont été récemment définis par la comparaison des séquences de l'ADN ribosomal. Il inclut essentiellement des espèces qui vivent en association obligatoire avec des plantes ainsi qu'une espèce vivant en association avec des cyanobactéries, *Geosiphon pyriforme*. Ils jouent un grand rôle écologique en formant les mycorhizes avec 90% des arbres.

### 1.1.4 Phylum des ascomycètes

Ils produisent des mycéliums complexes avec des septums perforés. Ils produisent des conidiospores asexuées et des ascospores sexuées dans des structures sacciformes appelées **asque**.

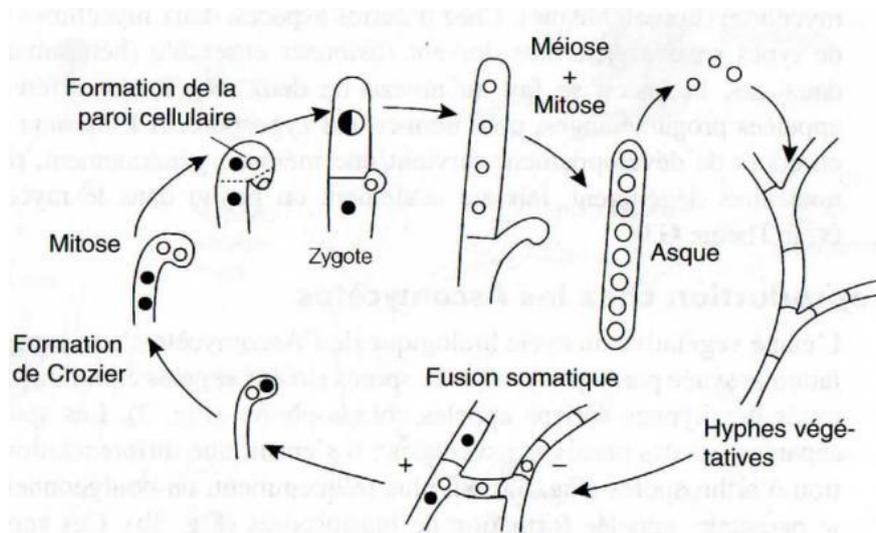
La reproduction végétative ou asexuée s'accompagne par la production de spores appelées conidiospores à l'extrémité des hyphes aériens appelés **conidiophores**.

Si les spores sont séparées par des parois transversales, on obtient des **arthrospores**, si c'est un bourgeonnement de la cellule mère, on obtient la formation de **blastospores**.



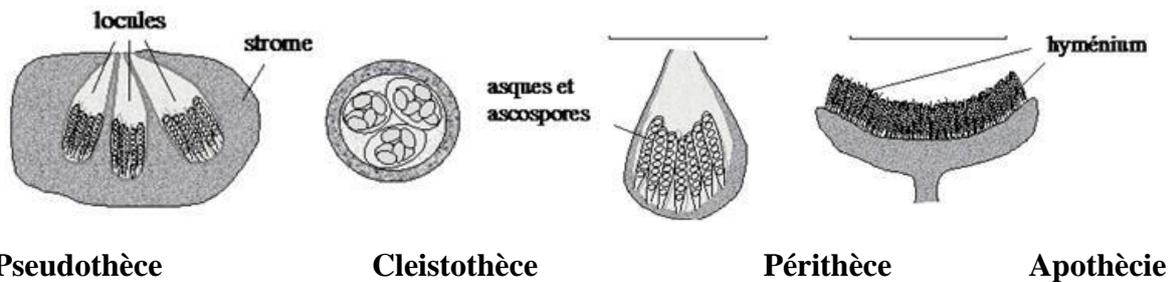
(a)Arthospores ou spores thaliques (b)Blastospore, ou spores Blastiques.  
 (c)Aggrégation de conidiophores ou hyphes aériens.

La reproduction sexuée a lieu par une union somatique de deux mycéliums de sexe différent. Une courte phase diploïde est suivie par la formation d'ascospores à l'intérieur d'asques sacciformes. Les hyphes se courbent pour donner des structures appelées « croziers » ou bâton de bergers qui possèdent des septums distincts à leur base, permettant la présence des 2 noyaux de sexe différent dans une cellule terminale. La formation du septum est coordonnée avec la division nucléaire, qui aboutit à la formation d'un asque.



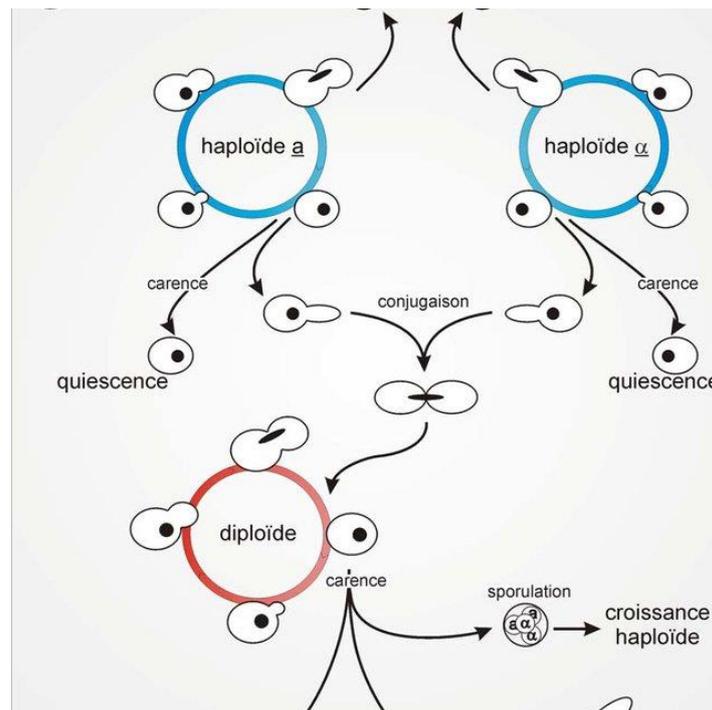
### La reproduction sexuée chez les ascomycètes

Chez les ascomycètes plus complexes, plusieurs asques se forment en même temps, ce qui forme un tissu fertile appelé hyphénium. Ces hyphéniums peuvent être entourés d'une grande quantité de mycélium végétatif au point qu'ils sont visibles à l'œil nu. Ces appareils sexuels protègent les asques et contribuent dans leurs dispersions.



### Différents appareils sexuels des ascomycètes.

La levure, mycète unicellulaire, est également un ascomycète. *Saccharomyces cerevisiae* est l'exemple type. Elle possède deux modes de reproduction, asexuée et sexuée. Les cellules diploïdes bourgeonnent et donnent des individus identiques. Si le milieu devient pauvre en azote et en carbone, un diploïde  $\alpha$ , subie une méiose et donne un asque qui va libérer des spores  $\alpha$  et des spores  $a$  (haploïdes). Ces spores peuvent se reproduire par bourgeonnement individuellement et dès que les conditions redeviennent favorables, une cellule ( $a$ ) peut fusionner avec une cellule ( $\alpha$ ) (et reformer une cellule diploïde).



Cycle vital d'une levure comme *Saccharomyces cerevisiae*

Parmi les ascomycètes nous considérons un large groupe de champignons vrais qui ne possède pas de reproduction sexuée (inconnue ou rare) et qui produisent des conidies. On les regroupe sous le nom de champignon imparfait ou deutéromycètes. La mitospore est un autre nom à la conidie parce qu'elle est produite de manière asexuée par le seul processus de mitose. Un champignon **anamorphe** (ne se reproduisant que par conidies) peut donc être également dit **mitosporique**. Par opposition, les champignons qui possèdent une reproduction sexuée sont dits **téléomorphes** et ceux qui ont les deux types de reproduction au sein d'une même colonie

fongique, sont dits holomorphes. Parmi ces mitosporiques on a comme exemple un champignon très dangereux *Aspergillus niger*, un producteur d'antibiotique, *Penicillium*, *Fusarium*.

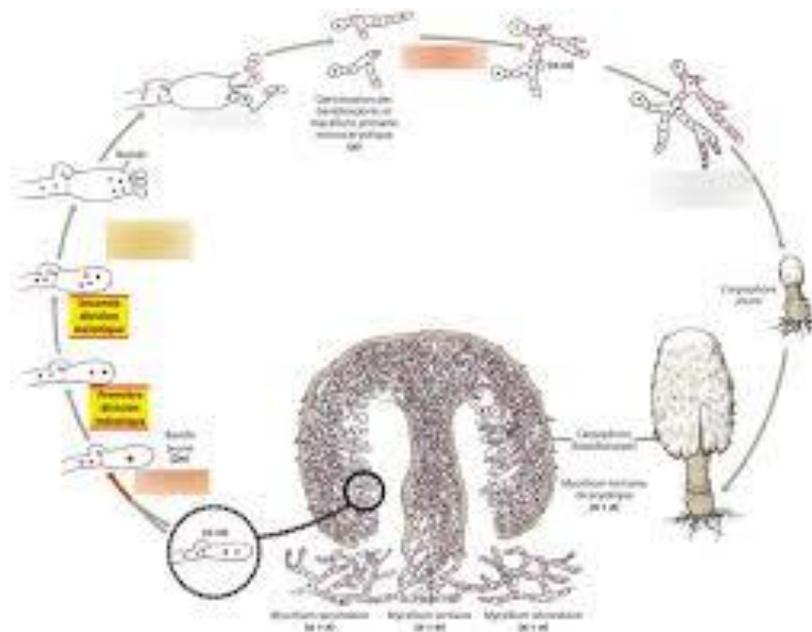
### 1.1.5 Phylum des basidiomycètes

Dites **mycètes à massue**. Leur hyphe est complètement cloisonné par des septums. La forme en massue est appelée **baside**, à l'extrémité de l'hyphe, d'où sont émises **les basidiospores**. La majorité, sont phytopathogènes (la rouille du blé, le charbon des céréales). Mais, les champignons à chapeau font partie de ce groupe.

Les basidiomycètes produisent rarement des spores sexuelles. Ils sont souvent sous la forme de mycélium végétatif. La reproduction asexuée a lieu lorsqu'un fragment de l'hyphe se détache et forme un nouveau mycélium.

La reproduction sexuée passe par la formation d'un stade dicaryote issue de la formation de deux noyaux de sexes différents suite à la fusion de deux mycéliums compatibles. C'est les conditions environnementales qui conditionnent l'initiation des spores sexuelles. Les mycéliums se disséminent et donnent des basidioms.

Quatre spores bourgeonnent au niveau du basidium. Les basidioms se regroupent pour former des hyphéniums, très sensibles à la présence de l'eau.

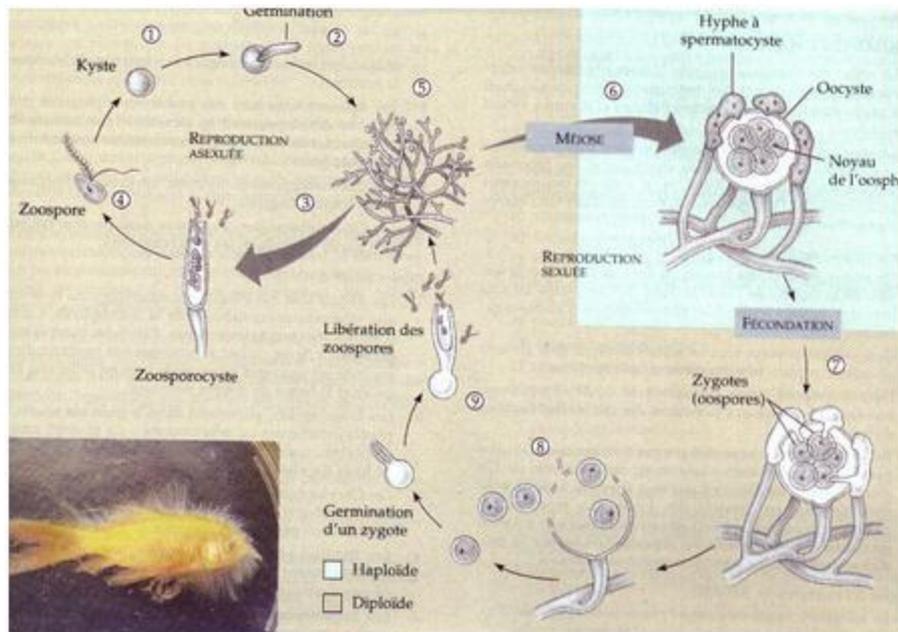


Cycle vital d'un basidiomycète

### 1.1.6 Phylum des oomycètes

Ce sont des moisissures aquatiques formant **des hyphes coenocytiques**. Phytopathogènes importants, avec comme maladies de références, **le mildiou de la pomme terre, la rouille de la pomme de terre et des maladies de poissons**. Ils se comportent comme des champignons vrais, mais ils possèdent des caractéristiques des plantes en étant non photosynthétiques. Un noyau diploïde, une paroi cellulosique, des stérols de plante au niveau de la membrane au lieu

d'ergostérol des mycètes, des citernes de golgi plates et celles des mitochondries tubulaires (inversées pour les mycètes).

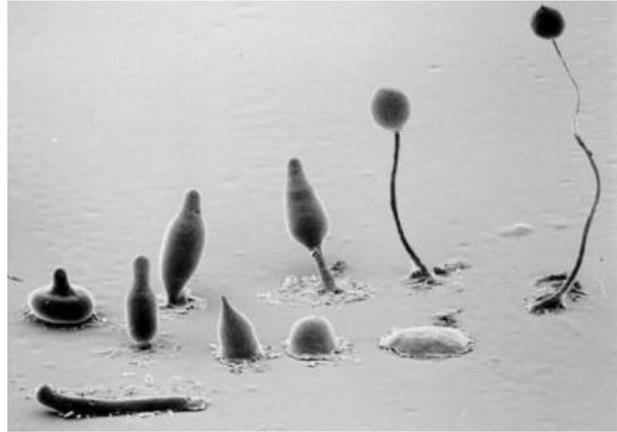


La reproduction sexuée des oomycètes, commence par les spores enkystées qui se posent sur un substrat favorable et germent. Puis se forme un réseau d'hyphes cénocytique. À l'extrémité des hyphes se forment des zoosporocystes tubulaires qui relâchent des **zoospores à deux flagelles** et qui vont s'enkyster.

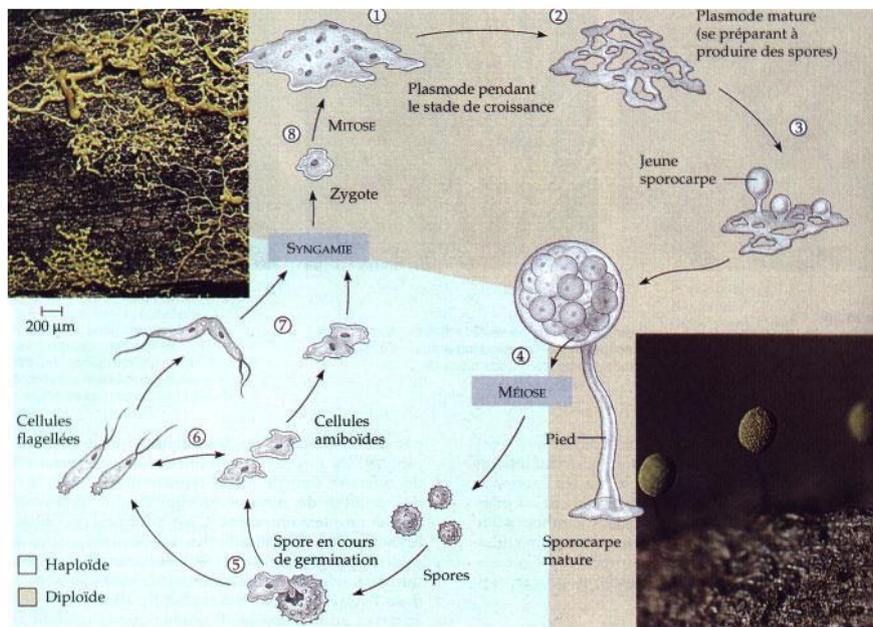
Les hyphes peuvent entamer une reproduction sexuée en formant des structures sexuées. La méiose produit des oosphères à l'intérieur des oocystes et des hyphes à spermatocystes (**antheridium ou anthéridie**) sur le pourtour de l'oosphère. Les hyphes vont déposer leurs noyaux dans les oosphères. Cette dernière se désintègrera et libèrera les oospores. Les oospores vont germer pour libérer les zoospores qui vont générer un nouvel hyphe.

### 1.1.7 Les organismes fongiformes

Ce sont des moisissures visqueuses, aquatiques dites glaireuses. Elles ne ressemblent aux champignons que par leur aspect et leur mode de vie, **mais ils se rapprochent plus des amibes** par leur reproduction et leur cycle biologique. Les moisissures glaireuses peuvent produire des spores et entamer un cycle vital. Par contre, comme les protozoaires, elles sont mobiles et se déplacent rapidement sur les substrats qu'elles colonisent. On distingue, les **moisissures glaireuses cellulaires** avec une forme végétative amiboïde et les moisissures glaireuses acellulaires dont la forme végétative est **une masse protoplasmique appelée plasmode**. Les myxomycètes se nourrissent des bactéries et on vient de montrer récemment qu'elles sont capables de cultiver des bactéries pour des raisons encore inconnues.



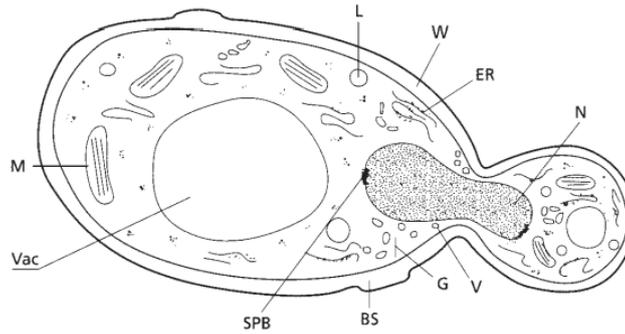
Moisissure glaireuse cellulaire (*Dictyostellium discoïdum*)



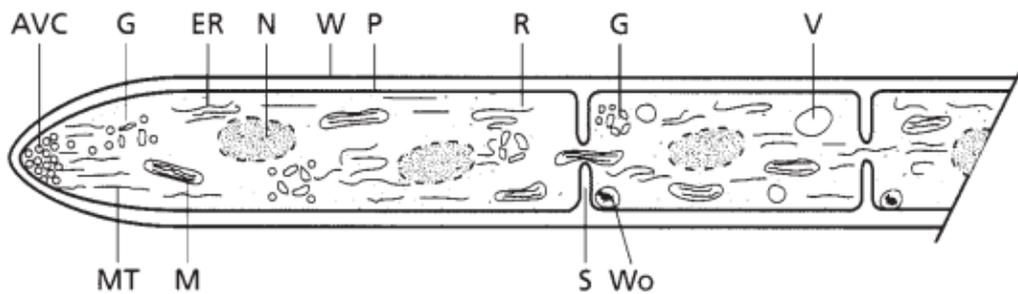
Cycle vital d'une moisissure glaireuse acellulaire (myxomycètes)

### 1.2. Morphologie

Les levures sont des champignons unicellulaires, de forme arrondies, ovale ou même triangulaire. Alors que les moisissures sont pluricellulaires et parfois coénocytiques. Les levures ne forment pas de mycélium et sont souvent associées en agrégats. Les moisissures sont des champignons filamenteux de forme mycélienne.



**M : mitochondrie, Vac : vacuole, L : corps lipidiques, BS : cicatrice de bourgeonnement, ER : reticulum endoplasmique, N : noyau, W : paroi, G : Golgi, V : visicule.**



#### **Schéma d'un hyphe de champignons**

**AVC : vésicule apicale, G : golgi, N : noyau, W : paroi, ER : réticulum endoplasmique, P : membrane plasmique, R : polysomes, V : vacuole, S : septum, Wo : corps de Woronin (de nature protéique).**

Certains champignons sont dimorphiques et qui selon les conditions du milieu peuvent être sous forme de levure ou de moisissure (mycélium). Ce sont souvent des champignons très pathogènes, comme *Histoplasma capsulatum*. *In vitro* il est sous forme mycélienne, alors qu'*in vivo* il est sous forme de levure.

Les moisissures se présentent sous la forme de filaments enchevêtrés et ramifiés tel que les branches d'un arbre. Ces filaments sont appelés **hyphes**.

L'ensemble des hyphes d'un mycélium constitue **un thalle. D'où le nom de thallophytes.**

L'hyphe constitue la base du mycélium et se présente sous la forme d'une paroi cellulaire entourant le cytoplasme et ses inclusions.

On distingue **les thalles siphonnés**, donc pas de cloisons (Champignons inférieurs coénocytiques) et **les thalles cloisonnés** par une septation transversale de la paroi (champignons supérieurs).