

Morphologie et Physiologie des Mycètes

LBIO 1213

2016

Table des matières

1. La mycologie et les mycètes

1. Définition classique
2. Définition populaire
3. Champignons et hommes: amis-ennemis
 1. Biotransformations
 2. Métabolites d'intérêt
 3. Propriétés médicinales
 4. Activités enzymatiques
 5. Production de biomasse
 6. Contrôle biologique
 7. Les associations mycorhiziennes
 8. Agents des pourritures
 9. Allergènes
 10. Champignons toxiques et mycotoxines
 11. Mycoses
 12. Champignons phytopathogènes
4. Caractéristiques générales

2. Histoire de la mycologie

1. Antiquité
2. Moyen-âge
3. Pasteur et la génération spontanée
4. Classification des champignons
5. Polymorphisme, pléomorphisme et nomenclature des champignons

3. Taxinomie et systématique des champignons

1. Rangs taxinomiques des champignons

4. Le règne des fungi

1. Historique
2. Les six règnes du vivant
3. La diversification des champignons
4. Organismes anciennement classés parmi les champignons
5. Origine des champignons
6. Ancêtre : animal ou végétal ?

5. La cellule fongique

1. Composition de la paroi cellulaire
2. Structure et ultrastructure de l'hyphe chez les Ascomycètes
3. Structure et ultrastructure de l'hyphe chez les Basidiomycètes
4. Structure du septum
5. Croissance hyphale
 1. Croissance chez les Zygomycètes, Ascomycètes, Basidiomycètes et Gloméromycètes
 2. Mécanisme de la croissance de l'hyphe
 3. Les anastomoses
6. Comment distinguer les Ascomycètes, Basidiomycètes, Zygomycètes et Gloméromycètes sur base des hyphes

6. La sexualité chez les champignons

1. Rappel cycle de vie
2. Reproduction asexuée
3. Reproduction sexuée

7. Les principaux taxa

1. Les ascomycètes
2. Les basidiomycètes

1

La mycologie et les mycètes

1. Définition classique

- Mycologie
 - Science consacrée à l'étude des champignons
 - Du grec ancien μύκης « champignon »
 - Science proche de la botanique
 - Englobe traditionnellement l'étude des myxomycètes et des Oomycètes bien qu'ils ne font plus partie des champignons
 - Entre 70 000 et 90 000 espèces décrites
 - 1.5 millions estimées (Hawksworth, 1991; Hawksworth et al., 1995).
 - Hétérotrophes (végétaux autotrophes)
 - Absorbotrophes
- Mycètes
 - Désigne tout champignon macroscopique (bolets, morilles, pleurotes) ou microscopique (levures, moisissures).
 - Groupe très divers au niveau morphologique, taxonomique et écologique.
 - La plupart sont cryptiques et passent la plupart de leur vie sous forme d'hyphes végétatifs indifférenciés (mycélium).

2. Définition populaire

- le mot *champignon* (« qui vient dans les champs »), évoque pour la plupart des gens des fructifications, visibles à l'œil nu.
- plus ou moins charnus (bolets) – pieds et chapeau
- ligneuses et coriaces, envahissant lentement les troncs et branches des arbres.
- Souvent nuisibles car attaquent le bois.
- Parfois précieuses, comme le « briquet préhistorique » dit amadouvier et l'agaric officinal, puissant hémostatique utilisé en médecine chinoise traditionnelle.



Boletus edulis



Fomes fomentarius

- **Adoration, crainte**

- Ronds de sorcières



- **Expressions péjoratives**

- Trompettes de la mort



Craterellus cornucopioides

- Bolet de Satan



Boletus satanas

- Intérêt alimentaire
 - Amanite des césars



Amanita caesarea

- Tricholome des chevaliers
- Truffe

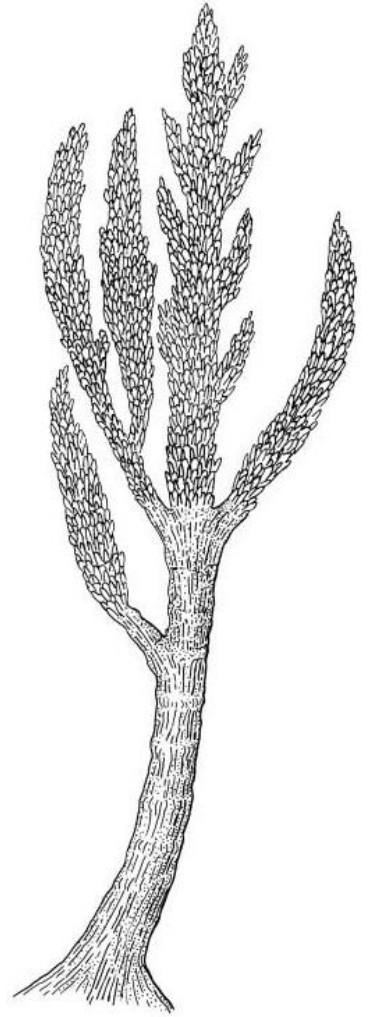


Tricholoma flavovirens



Tuber melanosporum

- Des champignons de l'extrême
 - Prototaxites
 - Des ancêtres du Dévonien et Silurien
 - *Armillaria ostoyae*
 - Un champignon de 9 km²
 - Les mycorhizes à arbuscules
 - À l'origine de la colonisation du milieu terrestre par les plantes



reconstruction de Dawson 1888

Les champignons dans la littérature

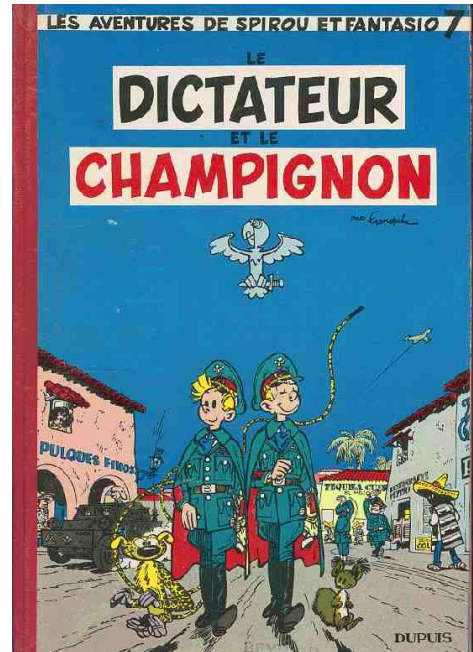
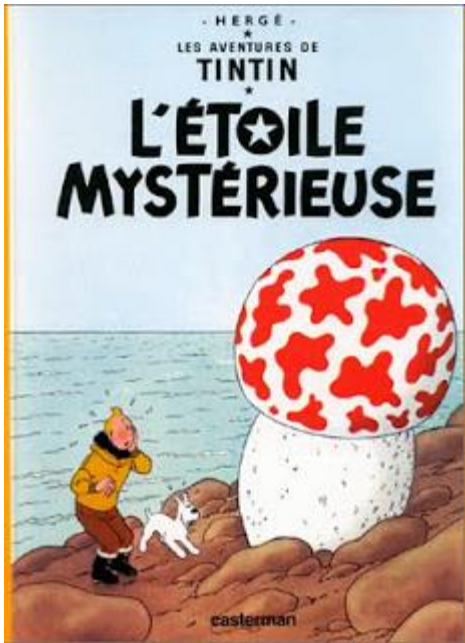


Voyage au centre de la terre



Alice au pays des merveilles

Les champignons dans la BD



3. Champignons et homme: amis-ennemis

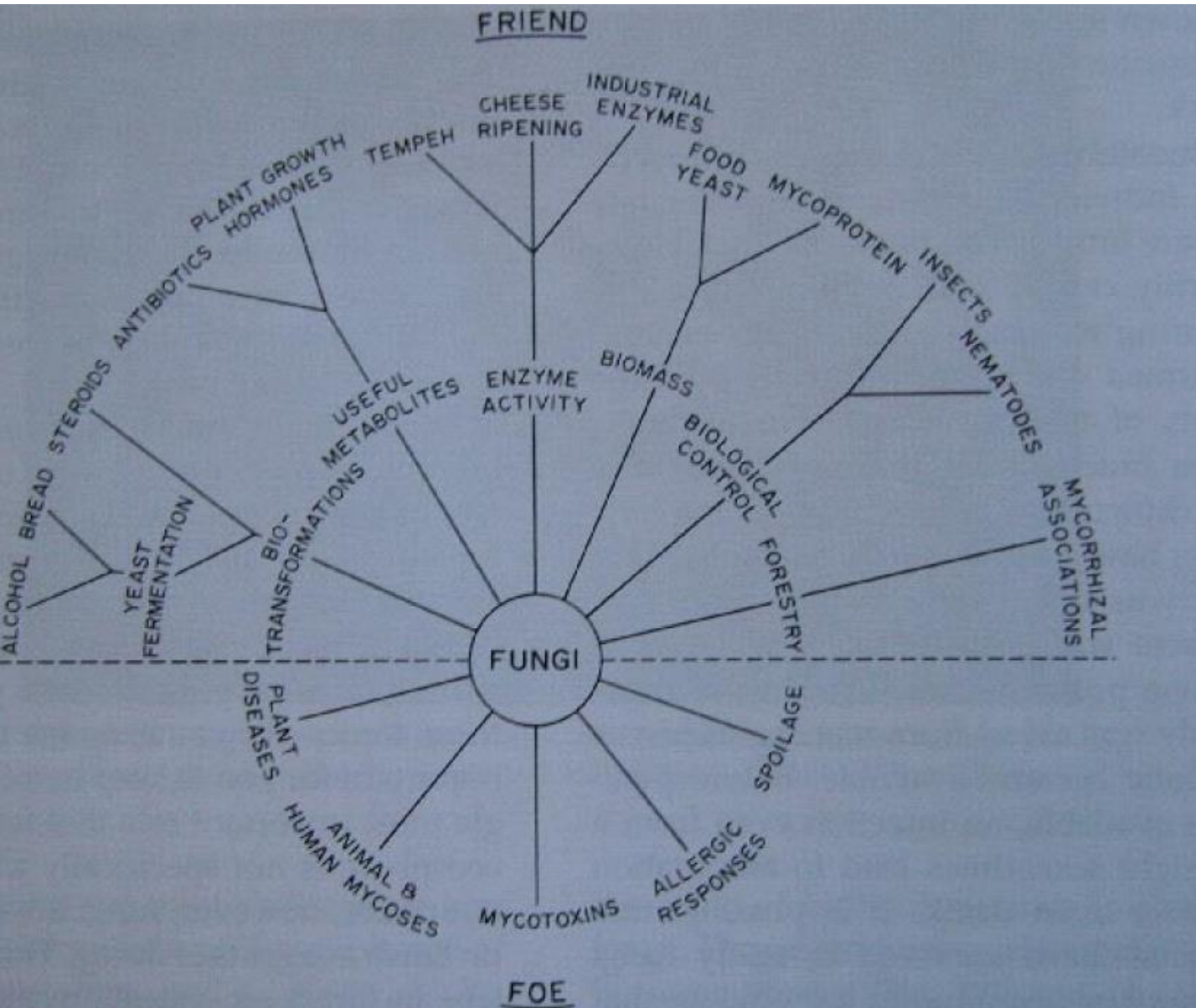


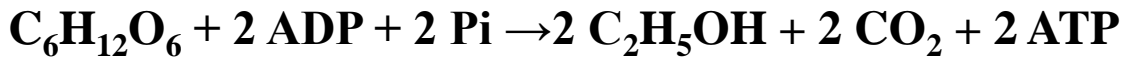
Figure 1-4 Summary of the activities of fungi as they relate to humans. [From Moss (1987) by

Alexaupoulos et al., 1996

1. Biotransformations

Fermentations levuriennes

Alcool (fermentation éthylique (alcoolique))



Source d'énergie = molécule organique

Source de carbone = glucose

Vin : levures indigènes sur la peau des grappes de raisin qui fermentent spontanément lorsque le raisin est pressé.

Bière: Ex. fermentation avec *Saccharomyces cerevisiae* & *S. carlsbergensis*.

Pain: levures sélectionnées pour leur production de CO₂ (pain aéré) et leurs qualités organoleptiques.

2. Métabolites d'intérêt

Antibiotiques

Pénicilline (antibiotique antibactérien)

- *Penicillium chrysogenum*: (commun dans les sols, matières organiques, denrées alimentaires)
- *Penicillium notatum*

Griséofulvine (antibiotique antifongique actif contre les dermatophytes)

- *Penicillium griseofulvum*
 - largement répandue dans le sol et les matières en décomposition.

Céphalosporines (antibiotique antibactérien)

- *Cephalosporium acremonium*
 - résistante à *Staphylococcus aureus*
 - agissant sur *Salmonella typhi*, l'agent responsable de la fièvre typhoïde.

Echinocandines (antibiotique antifongique)

- *Glarea lozoyensis*
 - moisissure du sol isolé d'une rivière (lozoya - Espagne).

3. Propriétés médicinales

- *Ophiocordyceps sinensis*: Cordycépine

- anticancéreux, aphrodisiaque, anti-inflammatoire...



- *Claviceps purpurea* : ergotamine

- vasoconstricteur, analgésique...



3. Propriétés médicinales

- *Ungulina fomentaria*: acide bétulinique
- Cautérisation des plaies, hémostatique, antibiotique



- *Ganoderma lucidum* : terpènes
- Antiallergènes, anticancéreux...



3. Propriétés médicinales

- *Wolfiporia extensa*: terpènes

- le champignon de l'immortalité...
- Tonifiant, calmant, problèmes urinaires, palpitations, vertiges, anxiété, insomnie



- *Boletus edulis*: ergothioneine

- antioxydant

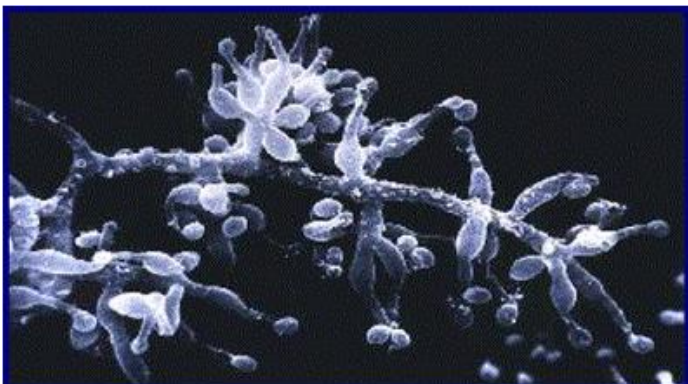


3. Propriétés médicinales

- Antibiotiques : pénicilline...
- *Tolypocladium inflatum* : ciclosporine



- *Taxomyces andreanae*: taxol
 - Bloque la division des cellules cancéreuses



4. Activités enzymatiques

Amylases

- conversion de l'amidon en glucose
- *Aspergillus niger* et *A. oryzae*

Invertases

- Hydrolyse du saccharose en glucose et fructose
- Très utilisé en confiserie
- *Saccharomyces*, *alternaria*, *penicillium*

Pectinases

- Clarification des jus de fruit
- *Rhizopus*, *aspergillus*, *penicillium*, *botrytis*

Cellulases

- *Trichoderma* sp. dégradent des polysaccharides complexes sont utilisés par DENIM pour donner le caractère blanchi des jeans DENIM lavé à la pierre
- Utilisé dans l'alimentation pour bétail pour augmenter la digestibilité de l'hémicellulose de l'orge et d'autres céréales.

Laccases

- Dégradation de la lignine
- Industrie du papier, des colorants

• Composés aromatiques

- *Penicillium camembertii*: fabrication de fromages à pâte molle et croûte fleurie
- *Penicillium roquefortii*: affinage des fromages à pâte persillée.
- *Rhizopus oligopus* (Tempeh dans les plats indonésiens)

Le Tempeh

Produit alimentaire à base de soja fermenté (Indonésie).

Fabriqué à partir de graines de soja immatures dépelliculées.

Les graines sont cuites, écrasées, puisensemencées avec un Zygomycete: *Rhizopus oligosporus*.

La fermentation se produit en 24h à 30°C. Des moisissures se forment qui transforment la préparation en un gâteau compact riche en protéines d'origine végétale et en vitamine B12 produite par le champignon, pauvre en lipides.



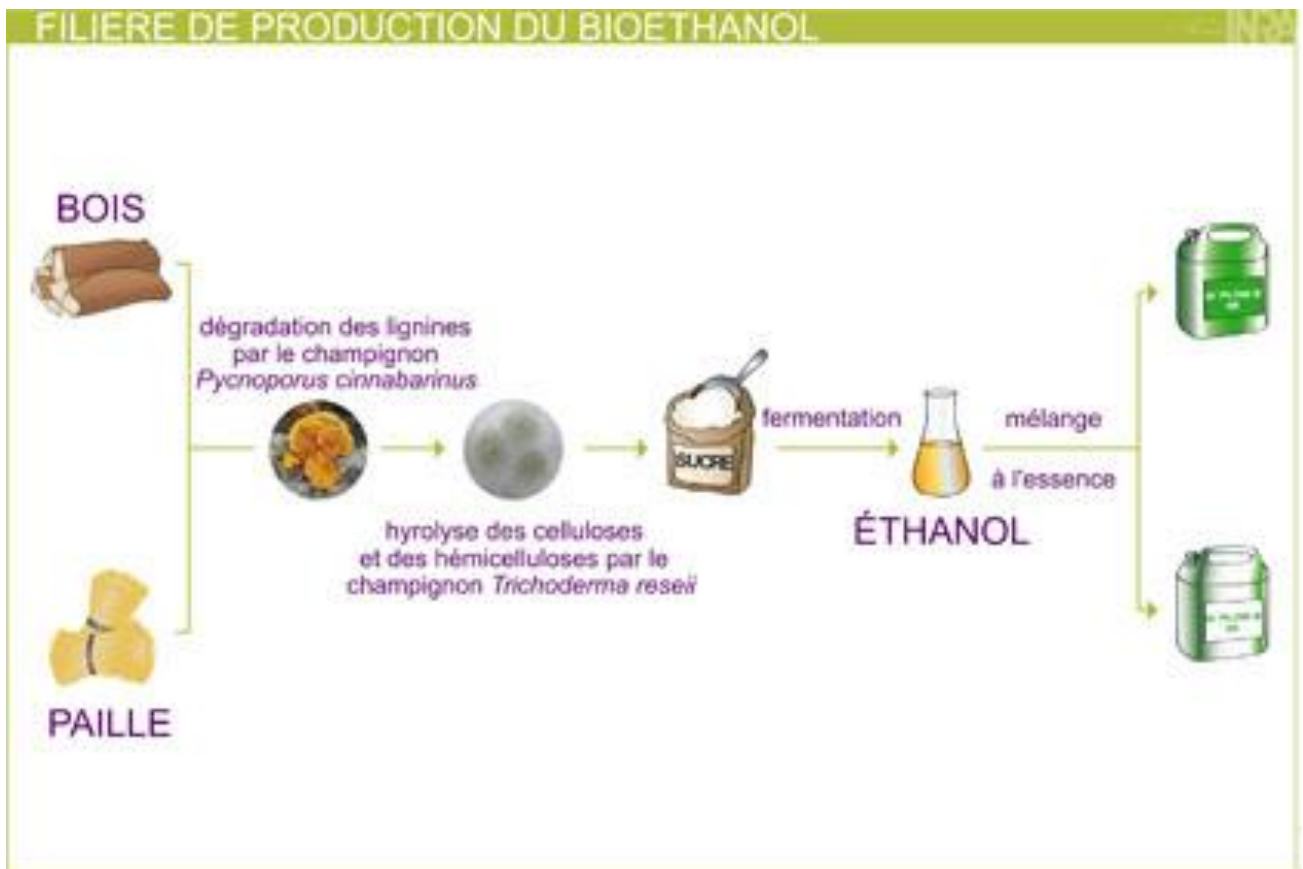
Les bio-carburants

Biocarburants de première génération

aliments (maïs, colza ...)

Biocarburants de seconde génération

ligno-cellulose (bois, déchets végétaux ...)



http://www.inra.fr/60ans/60_ans_de_resultats/les_champignons_filamenteux_pour_produire_les_bio_carburants

5. Production de biomasse

Mycoprotéines (ex: *Fusarium graminearum*)

Envie de quelque chose de différent?

Bienvenu dans le monde merveilleux du Quorn! Nous sommes fiers de notre gamme de produits car nous sommes convaincus que nous pouvons aider chacun de vous à manger de manière plus saine, tout en mangeant agréablement, ce qui, a priori, n'est pas une évidence.



Visualisez la gamme Quorn 



6. Contrôle biologique

Contrôle biologique: utilisation des ressources biologiques pour protéger les plantes des microorganismes pathogènes.

Bio-pesticides : molécules actives vis-à-vis des parasites de plantes et animaux

Objectif: réduire les intrants chimiques (pesticides) – accroître la durabilité des systèmes agricoles

A. Contrôle des insectes

Par *Beauvaria Bassiana* – moisissure attaquant les téguments respiratoires et dont le développement mycélien obstrue les canaux respiratoires.



Sauterelles tuées par B. Bassiana

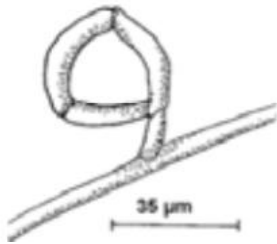


Mygale tuée par Cordyceps

B. Contrôle des nématodes:

1. Champignons prédateurs

1. mécanisme de piégeage : pièges en réseaux, en anneaux, boutons collants ou spires.
2. exemple: *Arthrobotrys irregularis*.

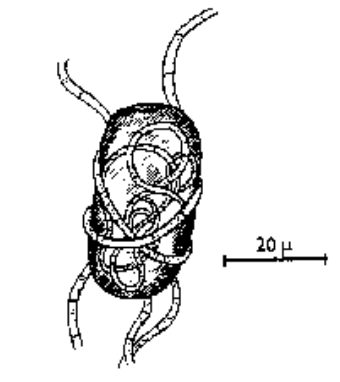
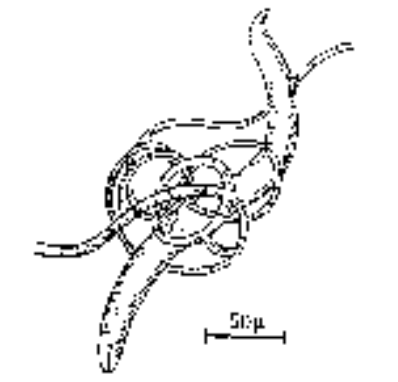


2. Les Champignons ovicides

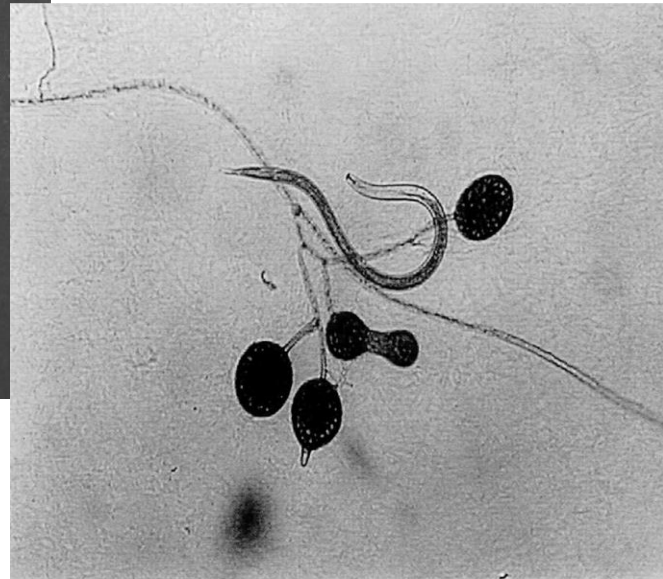
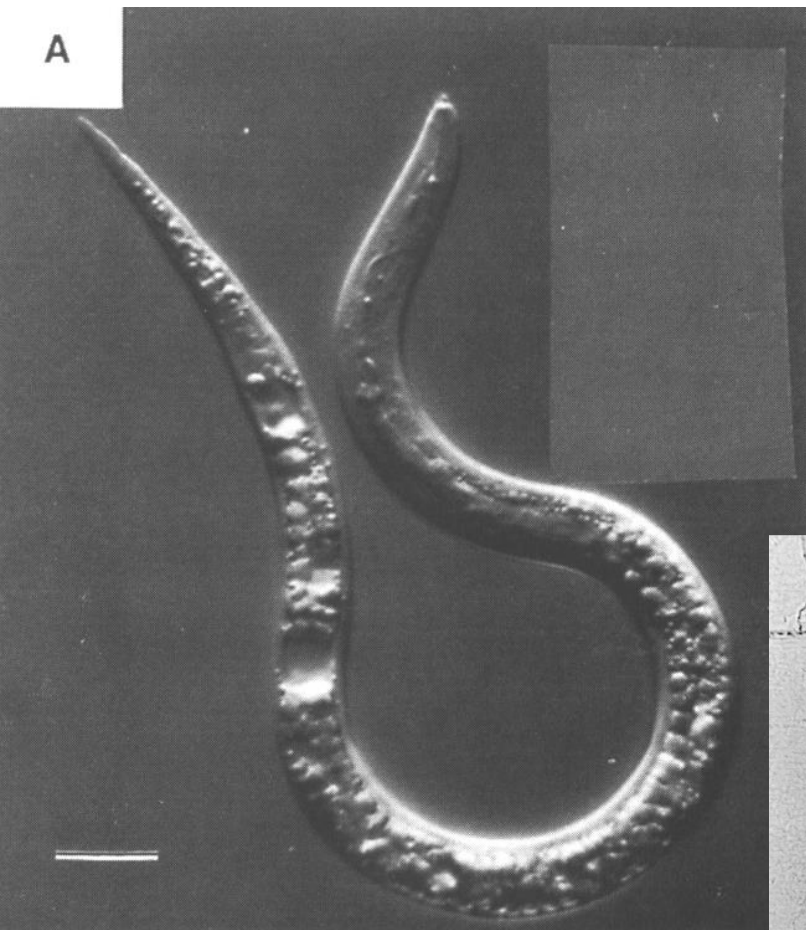
1. ces champignons ont la propriété de tuer les oeufs des Nématodes.
2. Exemples: *Paecilomyces lilacinus*, *Verticillium chlamydosporium*.

3. Les Champignons nématophages à spores adhésives

1. se fixent sur la cuticule des nématodes.
2. exemples: *Catenaria anguillulae*, *Myzocyttium lenticulare* et *M. anomalum*.



4. Les champignons mycorhiziens à arbuscules



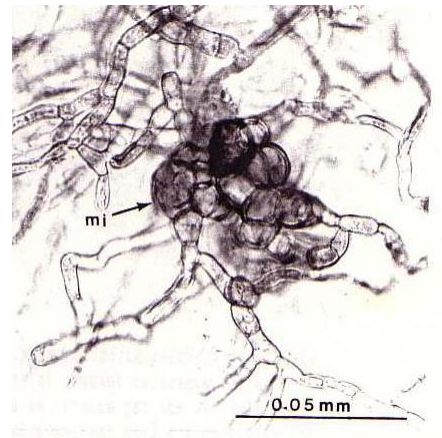
Nematodes

	Juveniles	Females	Males	Total in roots
+ AMF	181	415	113	709
- AMF	253	1477	280	2010
	n.s.	*	n.s.	*

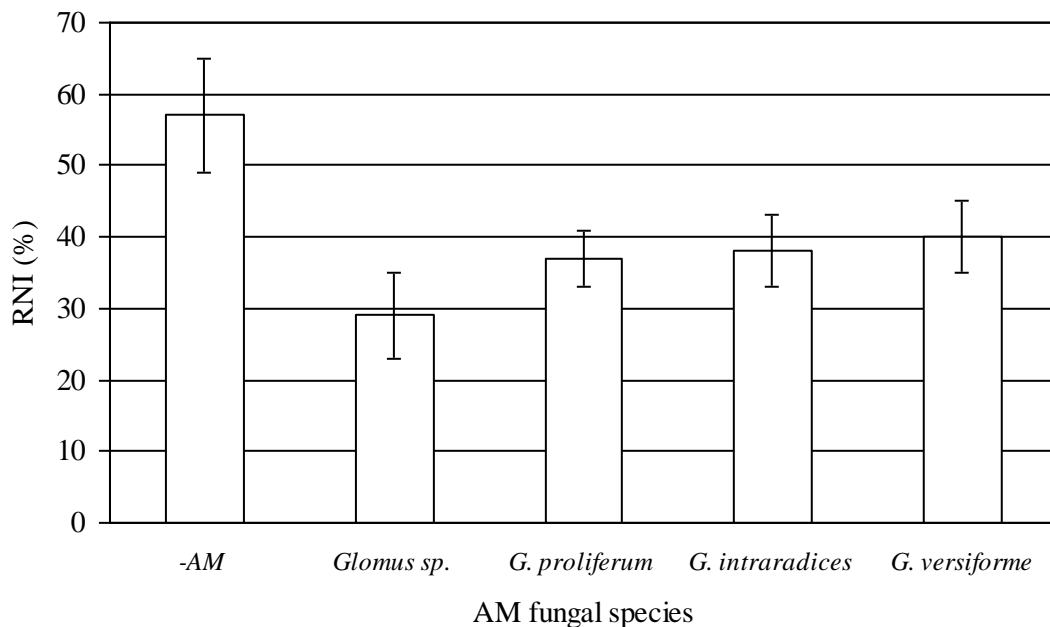
C. Contrôle des champignons phytopathogènes:

1. Les champignons mycorhiziens à arbuscules

Cylindrocladium spathiphylli



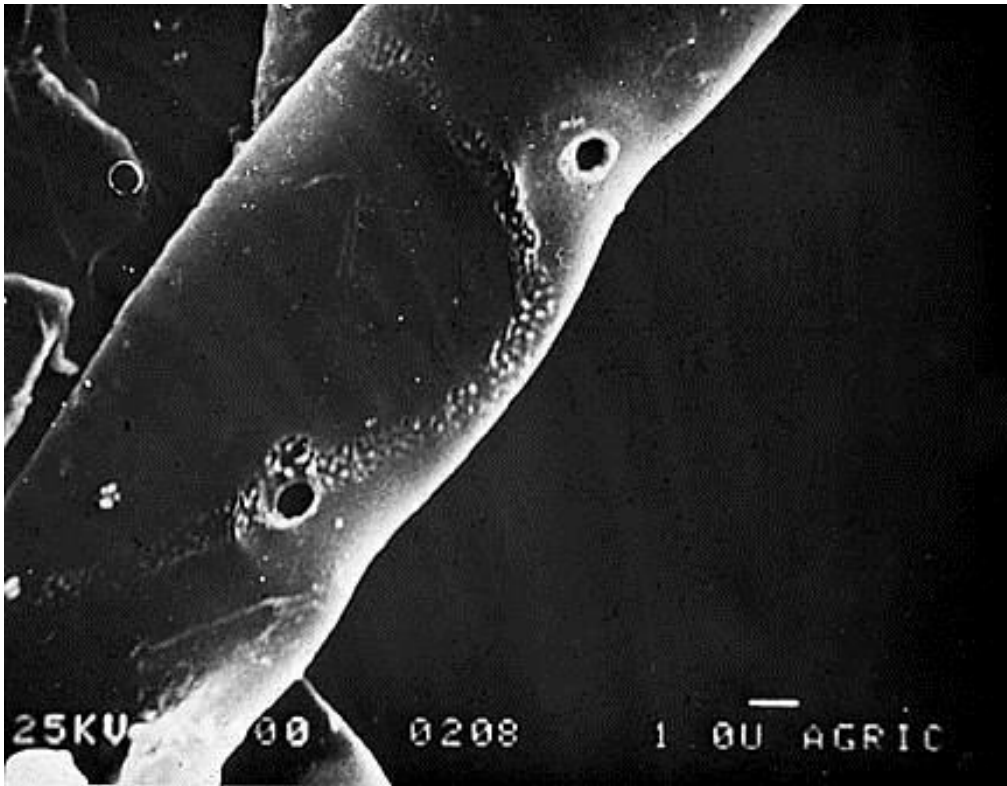
	With AMF	Without AMF
With <i>C. spat</i>		
Without <i>C. spat</i>		



Effect of four *Glomus* strains on the disease severity, measured by the root necrosis index (RNI %), of banana root rot caused by *Cylindrocladium spathiphylli*. Bars represent standard error (n = 8).

2. Les Trichoderma

Mycoparasitisme



Scanning electron micrograph of the surface of a hyphae of the plant pathogen *Rhizoctonia solani* after mycoparasitic *Trichoderma* hyphae were removed. Erosion of the cell wall due to the activity of cell wall degrading enzymes from the biocontrol fungus is evident, as are holes where the mycoparasitic *Trichoderma* hyphae penetrated the *R. solani* (photo courtesy of Ilan Chet, Hebrew University of Jerusalem).

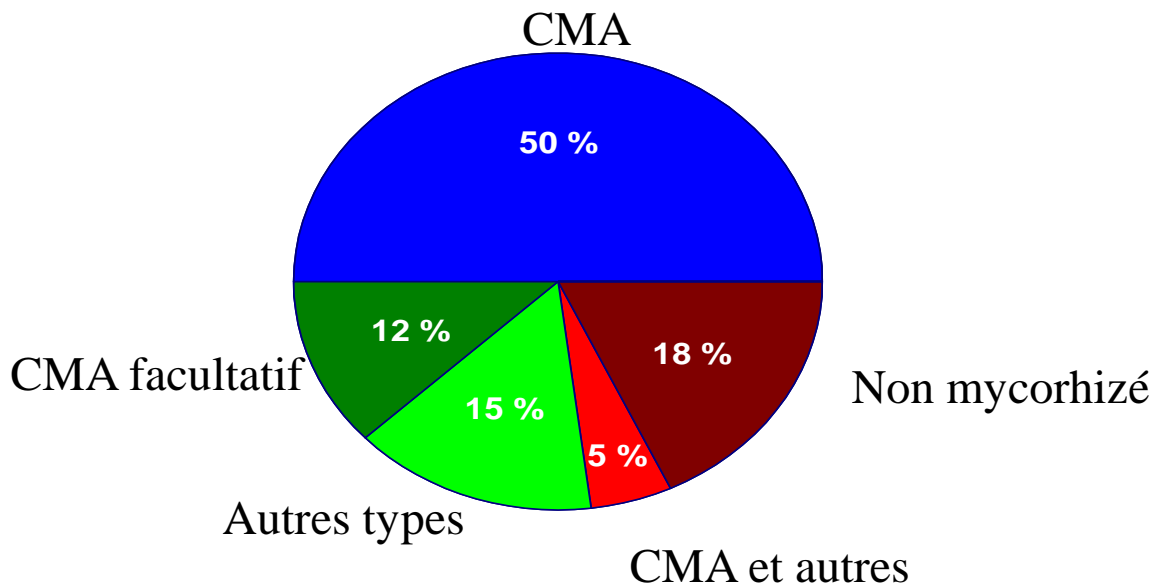
Mécanismes

1. Amélioration du statut nutritionnel de la plante – compensation des dommages
2. Modification des populations microbiennes dans la rhizosphère
3. Compétition pour les photosynthates
4. Compétition pour les sites de colonisation
5. Stimulation des mécanismes de résistance chez la plante hôte
6. Mycoparasitisme
7. Production d'antibiotiques

7. Les associations mycorhiziennes

- Les mycorhizes sont des symbioses entre les racines des végétaux et le mycélium des champignons.
- 7 types reconnus:
 1. Les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA)
 2. Les champignons ectomycorhiziens (ECM)
 3. Les champignons ectendomycorhiziens
 4. Les mycorhizes des éricacées
 5. Les mycorhizes arbutoides
 6. Les mycorhizes monotropoides
 7. Les mycorhizes des orchidées

Proportion des angiospermes mycorhizés



- Influencent la biodiversité et la productivité des plantes, et le fonctionnement des écosystèmes
- Améliorent la croissance des plantes: nutrition minérale
- Protègent les plantes contre les stress biotiques (pathogènes) et abiotiques (toxicité aluminique, métaux lourds...)

8. Agent des pourritures

Beaucoup de fruits peuvent être endommagés par des champignons (moisissures)

- *Penicillium expansum* est un agent de pourriture des fruits (pommes et poires) et peut de plus produire la patuline. Cette espèce peut contaminer les jus de fruits et compotes.
- *Penicillium digitatum* et *Penicillium italicum* sont des agents de pourriture "vertes" et "bleues" des agrumes.
- *Aspergillus ochraceus* largement répandu, dans le sol, sont des agents de pourriture des pommes et des poires.
- *Phytophthora infestans*: pourriture des tubercules de pomme de terre.

La viande et le poisson peuvent être endommagés

- *Mucor*, *Rhizopus*, *Thamnidium* – indicateurs de mauvaise conditions de conservation des aliments (et de la présence d'autres organismes (bactéries) qui peuvent être toxiques)

9. Allergènes

Substance capable de provoquer une réaction allergique.

Provoquées par les moisissures

Alternaria, Cladosporium (allergies respiratoires)

10. Champignons toxiques et mycotoxines

Champignons toxiques

- Champignons macroscopiques
- Estimation: 100 toxiques – 10/20 mortelles
- 1500 – 2000 cas/an en France – juillet/octobre
- Confusion lors de l'identification
- Identification à postériori difficile
- Petite histoire d'intoxications célèbres

- Empereur Claude
- Charles VI
- Ergotisme

- Classiquement



Claviceps purpurea

- < 6 heures: syndromes à latence court
- > 6 heures: syndrome à latence longue

G. esculenta



Produit la gyromitrin : une toxine mortelle.
Fausse morille. Peut être confondu avec les morilles (comestibles)

Gyromitra esculenta

Morille



Morchella esculenta

1. Syndromes à latence longue

- Syndrome phalloïdien
 - Amanitines
 - Phallotoxines
 - virotoxines
- Syndrome gyromitrien
 - gyromitrine
- Syndrome oréllanien (cortinarien)

2. Syndromes à latence courte

- Syndrome muscarinien
- Syndrome panthérinien
 - Acide iboténique, muscimol
- Syndrome coprinien
- Syndrome gastro-intestinal
- Syndrome narcotinién

Mycotoxines

= toxines élaborées par diverses espèces de champignons microscopiques tel que les moisissures

Molécules de faible poids moléculaire (< 1000 d). Difficilement dégradables, elles peuvent subsister dans les denrées même après l'élimination des moisissures.

Table 6.2 Some environmentally important mycotoxins. From Deacon

Toxin	Fungi characteristically involved	Principal food/feed	Effects
Aflatoxins	<i>Aspergillus flavus</i> <i>A. parasiticus</i>	Peanuts, oilseeds	Liver damage
Sterigmatocystin	<i>A. versicolor</i>	Grain, oilseeds	Liver damage
Ochratoxins	<i>A. ochraceus</i>	Grain, oilseeds	Liver damage
Citrinin	<i>Penicillium citrinum</i>	Peanut, cereals	Kidney damage
Penicillic acid	<i>P. cyclopium</i>	Cereals	Cardiac toxin
Rubratoxins	<i>P. rubrum</i>	Seeds	Haemorrhage
Trichothecenes	All <i>Fusarium</i> spp.	Cereals	Various (oestrogenic, abortive)
Patulin	<i>A. clavatus</i> <i>P. expansum</i>	Seeds Apples	Neurotoxin

Muscarin	<i>Amanita muscaria</i>	nausée, vomissement, hallucination
Phallotoxines	<i>A. virosa</i> , <i>A. phalloides</i>	lésions au foie et souvent la mort
Psilocybin	<i>Psilocybe</i> spp., <i>Inocybe</i> spp.	Hallucinations
Cyclosporine	<i>Trichoderma polysporum</i>	immunodépresseur pour prévenir le rejet d'organes
Fumonisine	<i>Fusarium moniliforme</i>	oedème pulmonaire chez le porc, avortement chez la vache, perte de poids, possible cancer de l'œsophage chez l'homme, athérosclérose

11. Mycoses

800 millions de personnes souffrent ou ont souffert de mycoses

Les principales mycoses sont :

les candidoses

- dues à des levures du genre *Candida*
- affectent la peau et les muqueuses

les dermatophytoses

- dues à des champignons du genre *Trichophyton*, *Microsporum* et *Epidermophyton*.
- kératinophiles: affectent la peau, les ongles et les cheveux.
Exemple: la teigne qui touche le cuir chevelu

Les aspergilloses

- Dues à des champignons du genre *Aspergillus* (*A. fumigatus*, *A. flavus*, *A. nidulans*, *A. versicolor*, *A. niger*, *A. terreus*).
- peuvent envahir les organes internes, (les poumons)

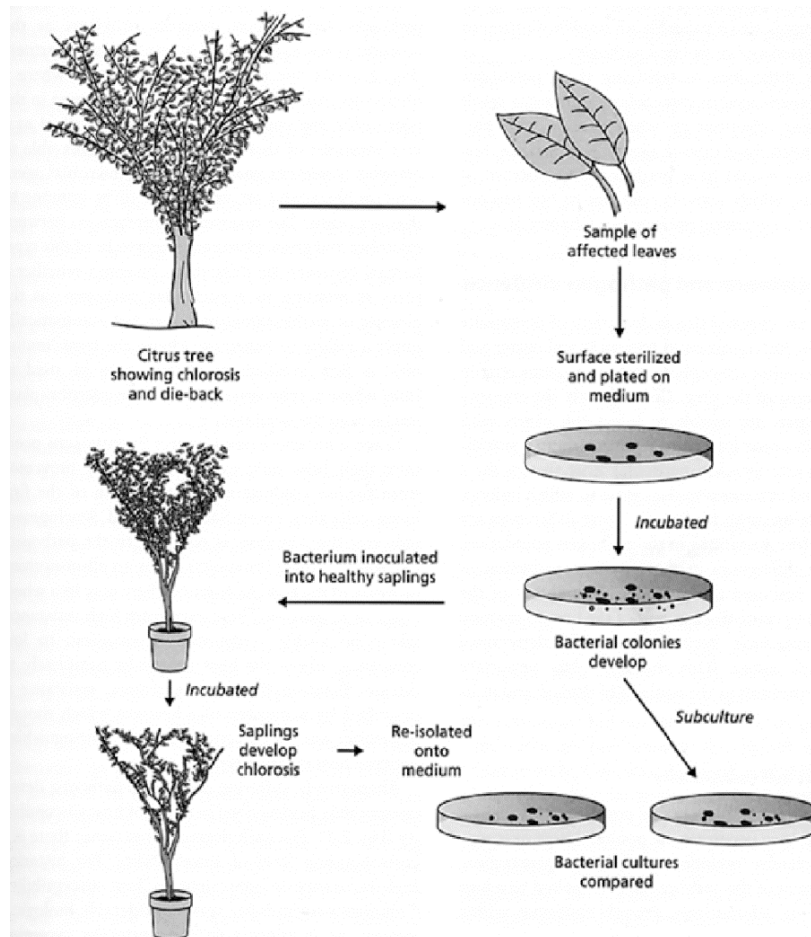
12. Champignons phytopathogènes

REMARQUE: comment relier une maladie à un agent pathogène ?

Postulat de **Koch** (1843-1910)

Premier à avoir identifié l'agent responsable de la maladie du charbon - *Bacillus anthracis*

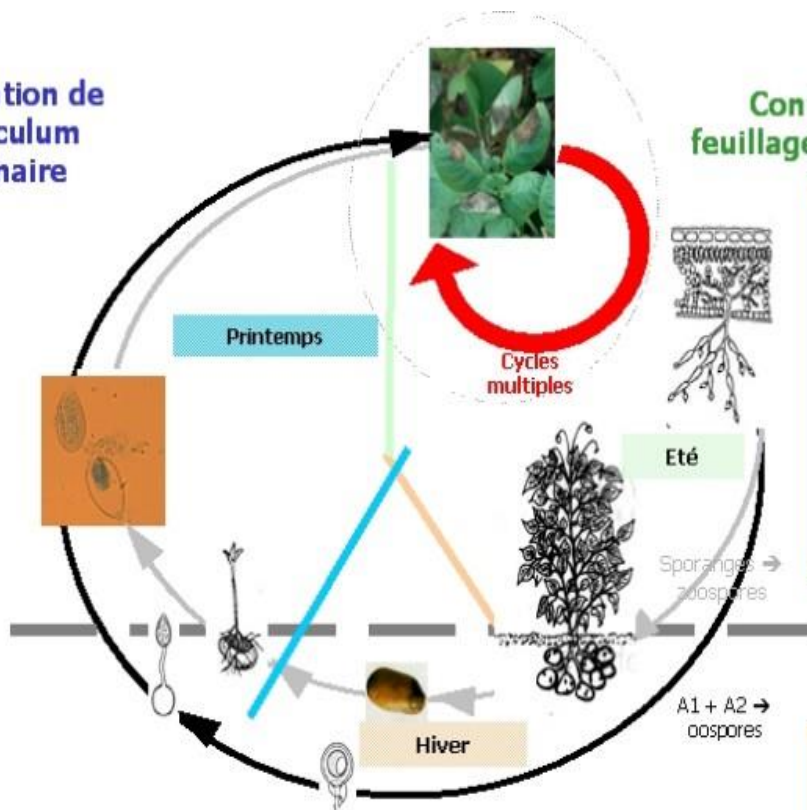
Prix Nobel en 1905 pour ses travaux sur la tuberculose.



Mildiou: nom générique d'une série de maladies cryptogamiques communes chez de nombreuses plantes.

Ex: Phytophthora infestans attaque la pomme de terre, et fut responsable entre 1845 et 1849 de la Grande Famine en Irlande.

Formation de l'inoculum primaire



Contamination du feuillage sain → épidémie

En été, les cycles reproductifs se succéderont à chaque nouvelle période favorable (humide et chaude). La succession rapide des cycles (1 par semaine ou plus) menant à la formation d'une quantité considérable de sporanges sera responsable du caractère épidémique de la maladie. Les sporanges peuvent être entraînés par la pluie dans le sol où ils contamineront les tubercules.

Conservation dans le sol et les tubercules

Au printemps, il se développe dans les jeunes plantules issues des tubercules contaminés et fructifie en formant des sporanges (spores) qui se détacheront sous l'effet du vent ou de la pluie et iront contaminer le feuillage sain.

En hiver, le mildiou (*Phytophthora infestans*), survit sous forme de mycelium dans les tubercules contaminés ou, plus rarement, sous forme d'oospores dans le sol.

4. Caractéristiques générales

- **Nutrition**

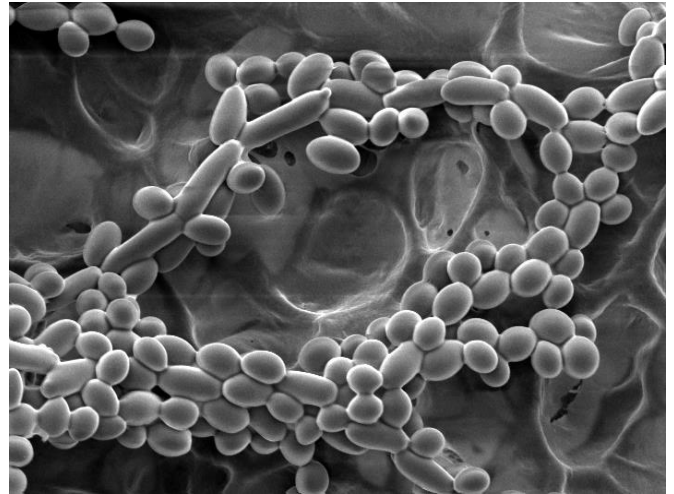
- hétérotrophes, non photosynthétiques, absorbotrophes

- Pas de synthèse de carbone organique
- Assimilation matières organiques par absorption (absorbotrophes)
 - morte : saprophytisme
 - vivante : symbiotisme ou parasitisme

- **Appareil végétatif = thalle**

- **Thalle levuriforme** (levures)

- . Unicellulaire
- . Rond, ovoïde (4-6 x 6-8 μm)
- . Division par bourgeonnement



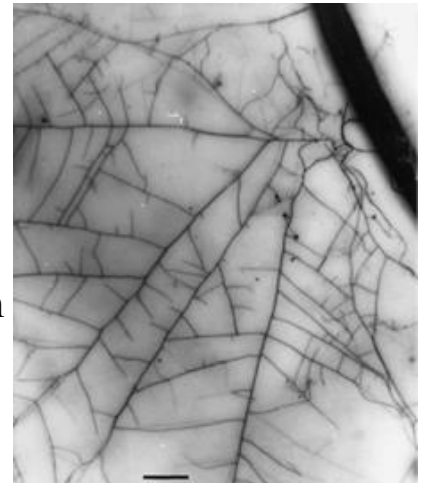
- **Thalle filamenteux**

Non-septé = siphonné



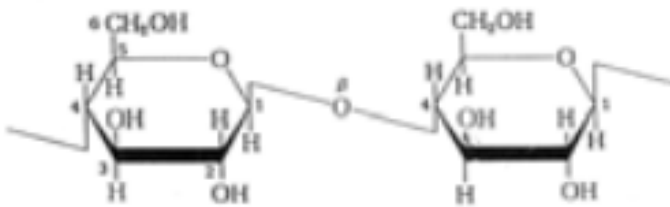
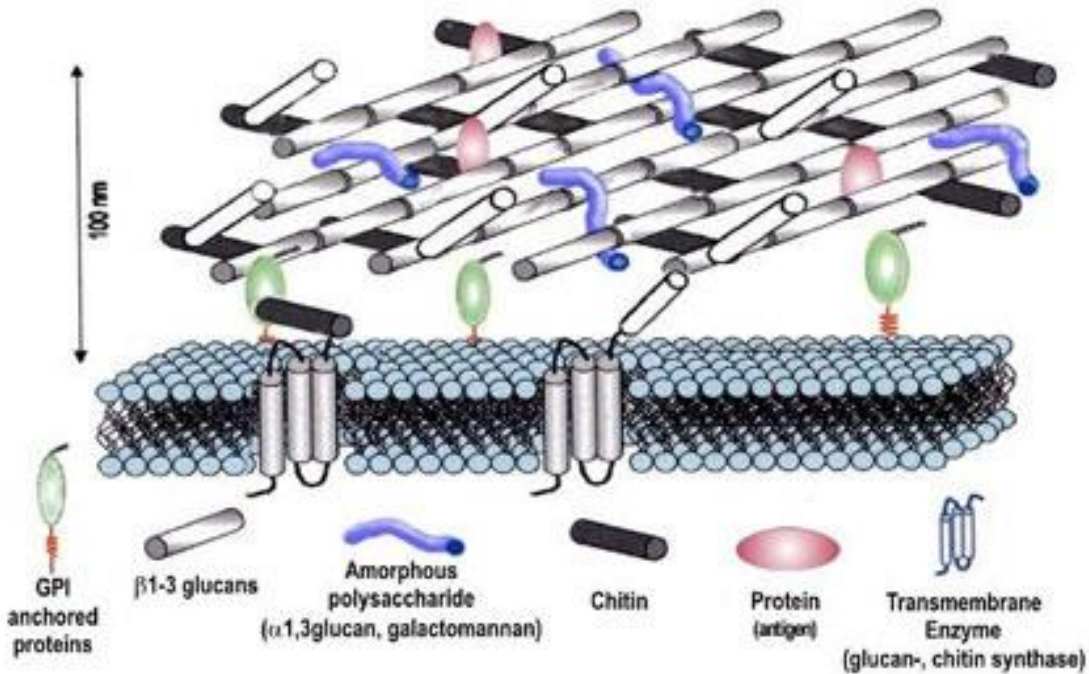
Septé = articulé

- Pluricellulaire
- De qq. mm à plusieurs m
- Élongation par l'apex

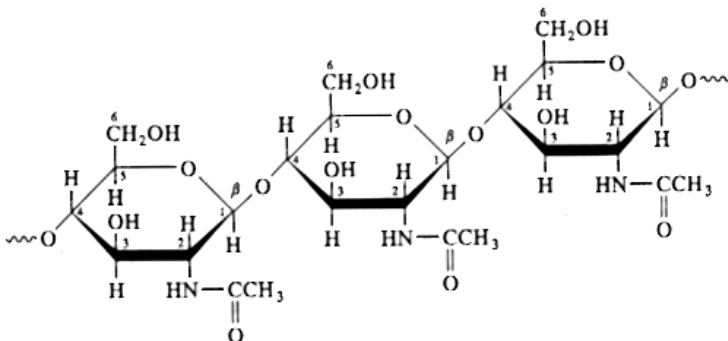


- **Paroi cellulaire**

- Contient de la chitine, (cellulose chez les Oomycètes), polysaccharides et protéines



Cellulose :
Liaisons β 1-4 de glucose
Spécifique des végétaux



Chitine :
Liaisons β 1-4 de glucosamine
Spécifique des champignons

- **Etat nucléaire**

- Eucaryotique

- Multinuclée (homo-hétérocaryotique) ou uninuclée

- **Homocaryotique** = cellule ayant des noyaux génétiquement identiques (exemple dans une lignée).

- **Heterocaryotique** = cellule ayant deux ou plusieurs noyaux légèrement différents génétiquement (peut être le résultat d'une anastomose)

- Haploïde, dicaryotique ou diploïde

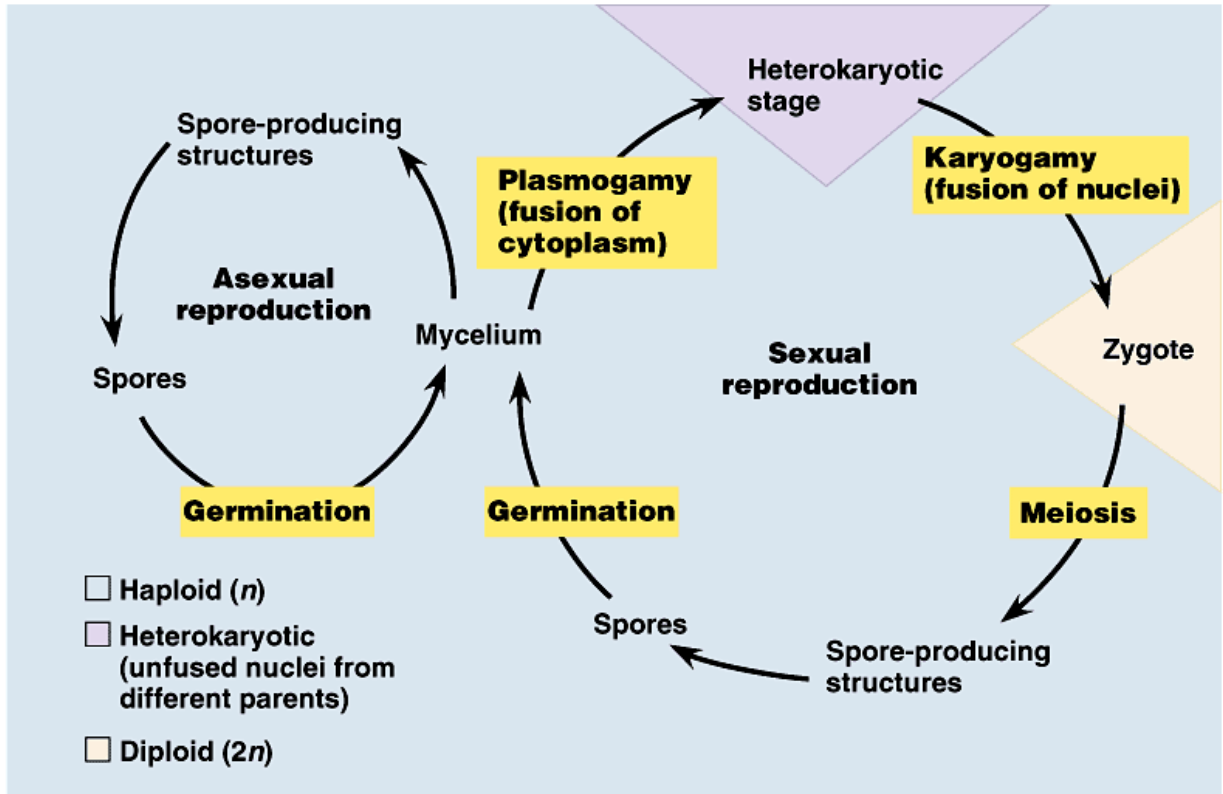
- **Haploïde** (du grec *aploos*, simple et *eidos*, en forme de) = une cellule qui contient des chromosomes chacun en un seul exemplaire (n chromosomes) – (1n)

- **Dicaryotique** = une cellule qui contient deux noyaux haploïdes génétiquement différents – (n + n).

- **Diploïde** (du grec *diploos*, double et *eidos*, en forme de) = une cellule qui contient des chromosomes par paires (2n chromosomes) – (2n).

- **Cycle de vie**

- Simple à complexe avec alternance de phase haploïde et diploïde si la méiose (sexualité) est connue.



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Anamorphe = forme asexuée de fructification – stade asexué

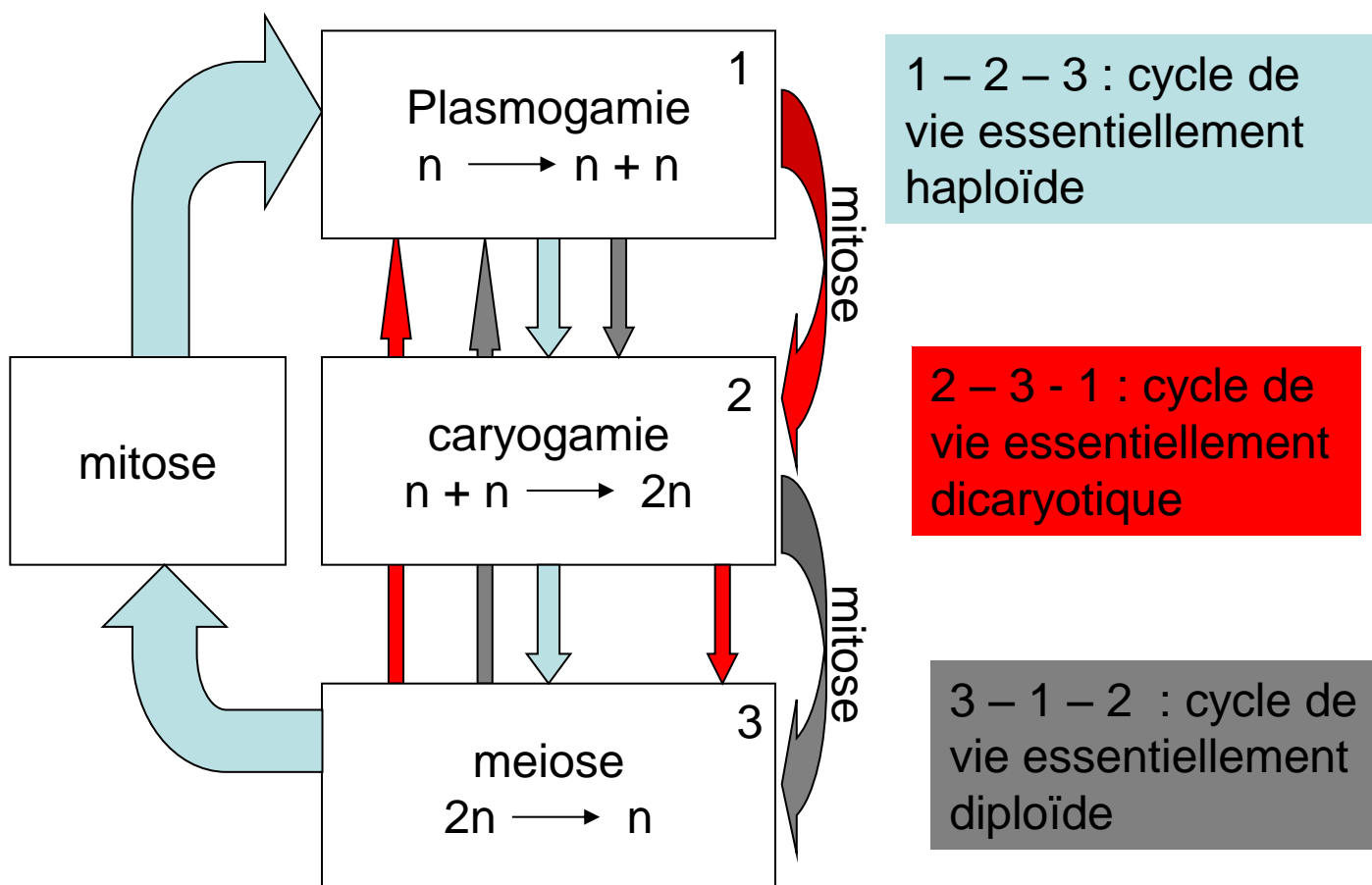
Mitospore = spore formée au cours de la reproduction asexuée (mitose) – conidie & sporangiospore

Téléomorphe : forme sexuée de fructification – stade sexué

Meiospore = spore formée au cours de la reproduction sexuée (meiose) – type de spore varie suivant le Phylum

Holomorphe = champignon entier

- Le thalle végétatif domine le cycle de vie des champignons
- Le thalle peut être haploïde, diploïde ou dicaryotique
- La ploïdie du thalle est déterminé par la succession des événements suivants
 - **Plasmogamie** = fusion de cellule
 - **Caryogamie** = fusion de noyaux
 - **Méiose** = division



- **Mode de vie**

Saprophyte

- se développent sur la matière organique qu'ils décomposent
- remettent à la disposition des autres organismes des éléments minéraux essentiels de nouveau assimilables (N, P, C...).

Parasites

- Se développent dans les cellules vivantes et peuvent aller jusqu'à tuer celles-ci.
- Souvent pathogènes, provoquent des maladies, entraînent la mort
 - Anthracoses, mildiou, oïdium chez les végétaux
 - Mycoses chez l'homme et les animaux
 - Candidoses, aspergilloses, teigne, pneumonie...

Symbiotiques

- Mycorhize
 - association entre le mycelium d'un champignon du sol et le système racinaire d'une plante.
- Lichen
 - associations de champignons (essentiellement des Ascomycetes et de cyanobactéries ou d'algues vertes.
- Symbiose avec des animaux
 - les champignons aident ainsi les termites à digérer la cellulose.

2

Histoire de la mycologie

1. Antiquité

- **Ovide** (43 AC – 17 PC) – poète latin
 - Origine terrestre des champignons: dérivé du sol qui les entoure
- **Pline l'ancien** (23-79 PC) – romain
 - *Historia Naturalis*
 - Certains champignons n'ont pas de racines (truffes) – donc différents des plantes
 - Certains champignons apparaissent en de nouveaux endroits – donc propagation par semences (eau , vent)
- **Dioscoride** (40 – 90 PC)
 - Usages thérapeutiques de quelques champignons

Pline et Dioscoride ont légué à la science des mots comme *Myco*, *Amanita*, *Boletus* ou *Tuber*

- **Plutarque** (46 – 125 PC) – biographe de la Grèce antique
 - Champignons produits par la foudre

2. Moyen-âge...

- **Hermolaus** (1454-1493) – humaniste italien
 - Reprends les notes des anciens - première classification

- **Jérôme Bock** (1498-1554) – botaniste allemand
 - Champignon = différent des plantes (ni racines, ni feuilles, ni fleurs, ni semences)
 - Produits de l'eau, du sol, des substances pourrissantes et de la foudre

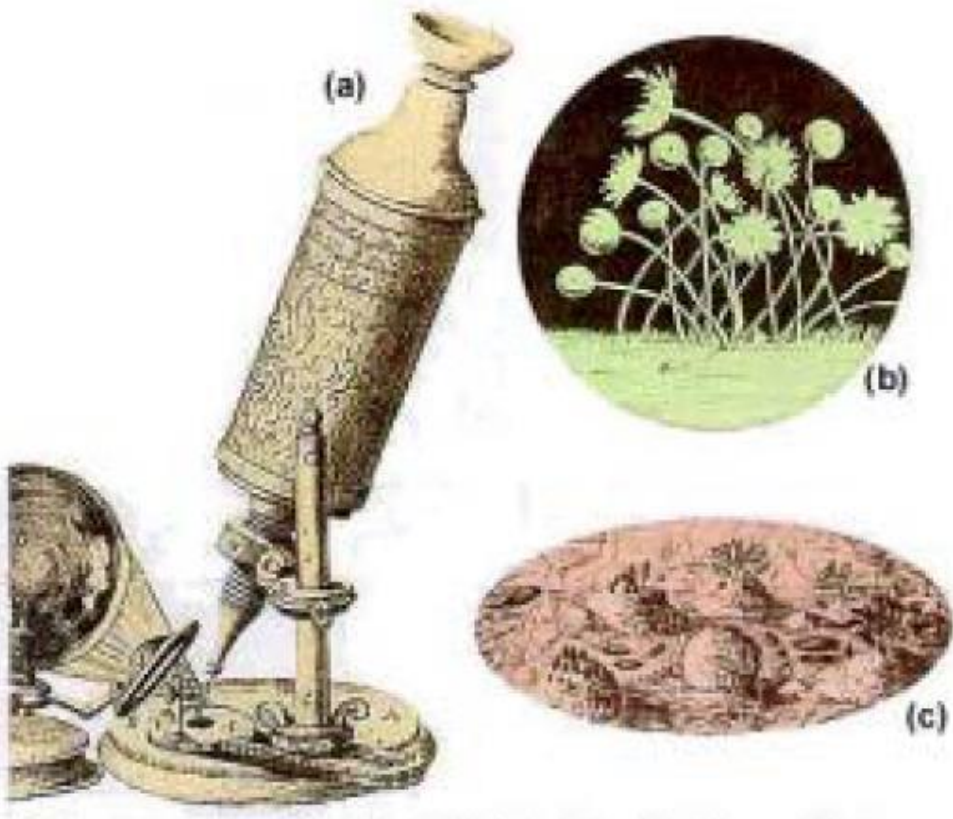
- **Junius** (1511-1575) – médecin, humaniste et poète hollandais
 - Décrit *Phallus impudicus*, récolté en Hollande

- **Andrea Césalpino** (1519 – 1575) – botaniste italien
 - Champignon = plantes sans semences naissant de substances pourrissantes

- **Porta** (1592) – italien
 - premier à affirmer que les champignons se reproduisent par des semences

– **Robert Hooke** (1635 - 1702) – naturaliste anglais

- A introduit le mot cellule en biologie (1665)
- Fungi comprennent les ‘mushrooms’ et les ‘molds’.
- Champignons n’ont pas de semences – génération spontanée de substrat pourrissant, de l’air et de la chaleur.



Robert Hooke's microscope (a), drawing of blue fungi found on leather showing round-shaped spore (b) and mildew found on an old rose leaf (c).

- **Marcello Malpighi** (1628-1694) – anatomiste italien
 - Décrit les spores des fungi et des Mucedini (moisissures), origine de leur croissance et moyen de propagation, reproduction végétative par fragments

- **Marchant** (1678) – français
 - Reproduit le champignon comestible *Agaricus* sur crottin de cheval par spores.

- **Carolus Clusius** (1526-1609) – botaniste hollandais
 - fait peindre 105 aquarelles représentant 42 espèces de champignons comestibles répartis en 22 genres, 58 espèces de champignons vénéneux en 25 genres et 5 espèces nouvelles. Au total 105 espèces dont 6 amanites, 9 russules, 7 lactaires, 12 tricholomes et 14 bolets.



– **J.P. de Tournefort** (1656-1708) – botaniste systématique français

- Répète l'expérience de Marchant devant l'académie des sciences de Paris et prouve la reproduction par spores.
- Classe les champignons à côté des plantes



3. Pasteur et la génération spontanée

- **J.B. van Helmont** (1644) – médecin et chimiste flamand
 - Créateur du thermomètre
 - Soutien la génération spontanée (mouches naissent de la viande)

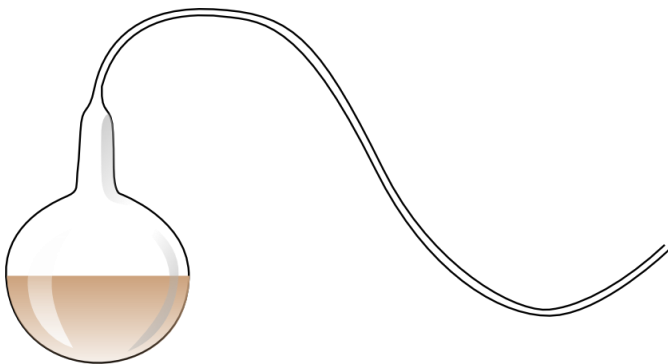
- **Francisco Redi** (1668) – italien
 - Démontre la naissance de mouches à partir d'oeufs

- **Antonie van Leeuwenhoek** (1676) – hollandais
 - Inventeur du microscope
 - Découvre les bactéries

- **Needham** (1749) anglais et **Buffon** - français
 - Les bactéries proviennent des infusions

- **Lazzaro Spallanzani** (1769-1776) – biologiste italien
 - La chaleur et l'absence d'air empêchent le développement des bactéries à partir des infusions.

- **Félix Pouchet** (1860) – français
 - Propose une théorie de la génération spontanée.
- **Louis Pasteur** (1822-1895) – chimiste français
 - 1861: bactéries et levures recueillies sur filtre de coton produisent la fermentation d'une infusion stérile – invention du ballon à col de cygne, ouvert et stérile.
 - 1862: preuve de l'existence de la vie sans air – fermentation.
 - 1866-76: fermentation alcoolique (levures) – fermentation lactique (bactéries).
 - 1872: invention de la pasteurisation, de la stérilisation (autoclave) – première culture pure prouvée.



Flacon avec col de cygne



4. Classification des champignons

- **De Tournefort** (1707) – botaniste français
 - Les fungi à côté des plantes

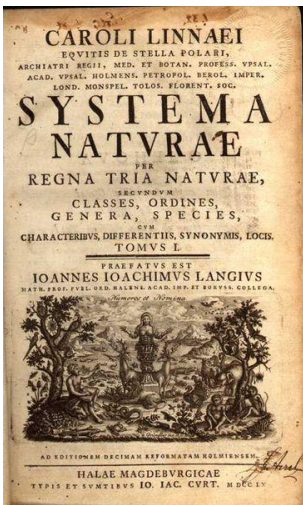
- **Antonie de Jussieu** (1721) – botaniste français
 - Fungi = nouvelle classe de plantes (champignons, agarics et lichens).

- **Pier Antonio Micheli** (1729) – botaniste et mycologue italien
 - Développe la classification des fungi
 - Agaricus
 - Suillus
 - Polyporus
 - Botrytis
 - Aspergillus
 - Mucor
 - Puccinia
 - Tuber
 - Boletus
 - ...

- **Paulet** (1740-1826) – botaniste français
 - premier a proposé (en 1795) le mot « **mycologie** » pour désigner la science étudiant les champignons (terme qui s'imposa devant *fungologie*).

– Charles de Linné (1707-1778) suédois (Carl Linnéus)

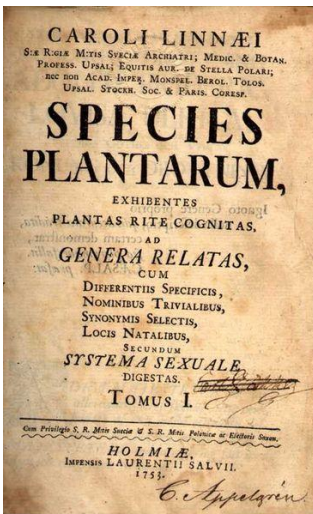
- fondateur de la systématique moderne



- L'ouvrage le plus important de Linné.

- 10 éditions

- Généralise le système de nomenclature binominale.

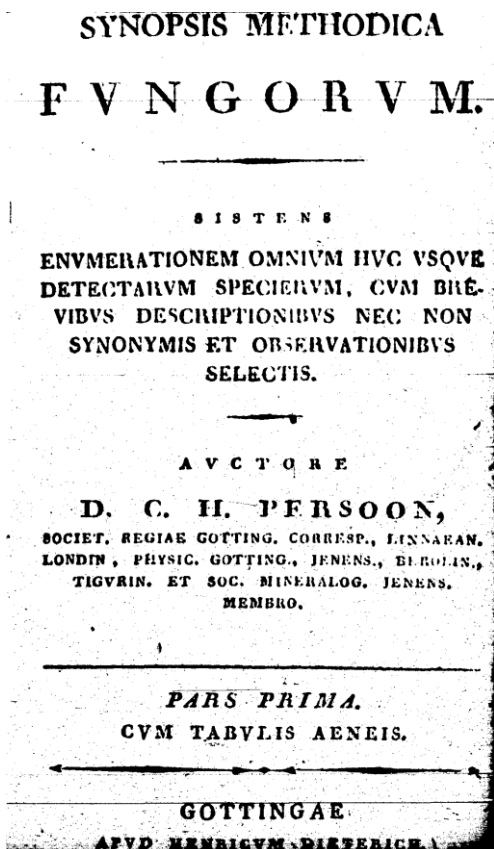


- 1753

- Description de 8000 végétaux différents pour lesquels il met en application de manière systématique la nomenclature binomiale dont il est le promoteur.

- Ouvrage de référence en nomenclature

- Christiaan Hendrik Persoon (1755-1837) – botaniste et mycologue sud-africain

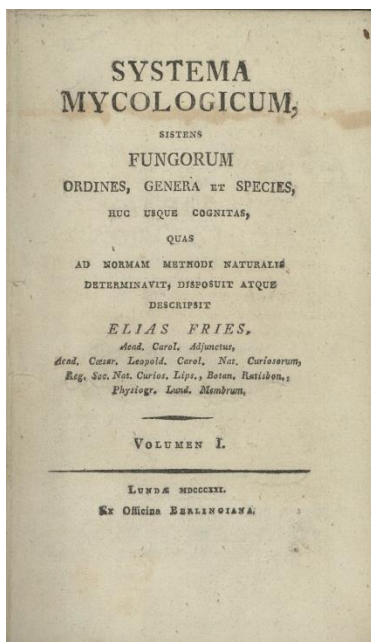


- 1801

- Référence en nomenclature

– Elias Magnus Fries (1794-1878) - mycologue suédois

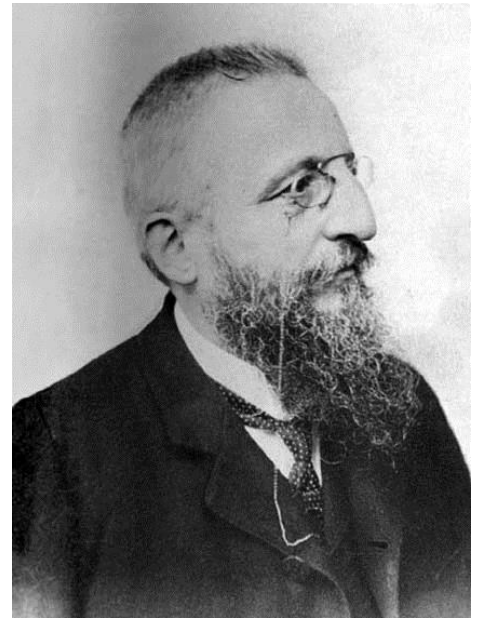
- Le père de la mycologie



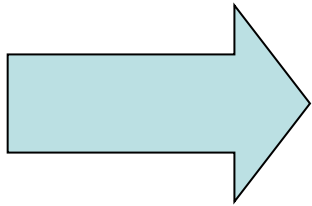
- publia les trois volumes de son *Systema Mycologicum* entre 1821 et 1832

- ouvrages de référence pour la nomenclature des champignons.

– Pier Andrea Saccardo (1845-1920) – mycologue italien



•publia un monumental ouvrage (27 volumes) de compilation de toutes les descriptions de champignons – *Sylloge fungorum hucusque cognitorum.*



Code International de Nomenclature Botanique

Vienne 1905 et qui fait toujours jurisprudence.

Plantes

Champignons car classés parmi les plantes jusqu'en 1969

- **Point de départ de la validité des noms de champignons**

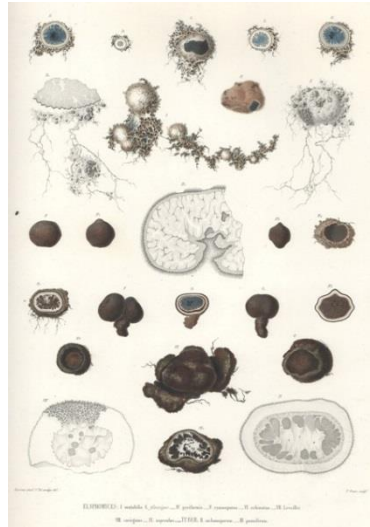
- Trois ouvrages sont déterminants
 - Pour les mastigomycètes, zygomycètes et champignons lichéniques
 - Linné, *Species Plantarum*, 1753 (1^{ère} édition)
 - Basidiomycètes: urédinales, ustilaginales et gastéromycètes
 - Persoon, *Synopsis Methodica Fungorum*, 1801
 - Ascomycètes et autres Basidiomycètes
 - Fries, *Systema Mycologicum*, 3 volumes entre 1821 et 1832

5. Polymorphisme, pléomorphisme et nomenclature des champignons

– **L.R. Tulasne** (1815 – 1885) – botaniste & mycologue français

– 1851

- Publie Avec Charles Tulasne, “*Fungi hypogaei*” Histoire et monographie des champignons hypogés



- Distingue les spores sexuées (ex. ascospores, basidiospores) des spores asexuées (ex. conidie).
- Rapproche les différentes phases d'un même organisme fongique apparemment dissocié dans la nature et reconstitue l'espèce dans sa pléomorphie.

- A. de Bary (1831 – 1888) – botaniste et mycologue allemand
 - Il est considéré comme le fondateur de l'étude des maladies des végétaux ou phytopathologie



- 1854
 - Utilise pour la première fois le terme pléomorphisme pour définir la multiplicité des formes d'un même champignon considéré auparavant comme des champignons différents
Ex: *Aspergillus glaucus* et *Eurotium herbariorum*
- 1876
 - Rends compte de très nombreux cas de pléomorphie
Ex: *Botrytis cinerea*, *Sclerotium durum*, *Sclerotinia fuckeliana*

- **Fuckel** (1870)
 - Dans '*Symbolae Mycologicae*' introduit pour la première fois le terme '*fungi imperfecti*'

- **Saccardo** (1876) – italien
 - Propose pour *Fungi imperfecti* la classe des Deuteromycetes (champignons de second rang)

- **Beauverie** (1899) – français
 - Utilise le mot polymorphisme à la place de pléomorphisme.

 - « ETUDES SUR LE POLYMORPHISME DES CHAMPIGNONS. INFLUENCE DU MILIEU » dans ANNALES DE L'UNIVERSITE DE LYON

– **Code International de Nomenclature Botanique**

- Réglemente la distinction entre les noms donnés aux formes parfaites (sexuées) et les noms donnés aux formes imparfaites (asexuées) dans les classes Ascomycetes et Basidiomycetes, à l'exception des autres classes (ex. Zygomycetes) où les noms couvrent indifféremment les formes parfaites et imparfaites.
- Une nomenclature double des Asco et Basidio est depuis lors maintenue et autorisée
 - L'une des fungi perfecti (vrai taxa): Asco et Basidio
 - L'autre des fungi imperfecti ou formes imparfaites des fungi perfecti: Deutemomycetes
- Les termes de stades parfaits (stades sexués) et stades imparfaits (stades asexués) ont été utilisés parce que les formes peuvent se succéder chez certains champignons dans le cycle vital.

– **G. Hennebert** (1971)

- Montre les problèmes inhérents à cette double nomenclature des champignons.
- L'ambiguïté des termes parfait et imparfait
 - Parfait = sexué ou complet (sexué et éventuellement asexué)
 - Imparfait = asexué ou incomplet (asexué)
- Trois concepts proposés pour concilier ces deux interprétations (Hennebert et Weresub, 1977)
 - Anamorphe = forme asexuée de fructification = imperfect state
 - Téléomorphe = forme sexuée de fructification = perfect state
 - Holomorphe = le champignon entier = the whole fungi

Jusqu'au 1^{er} Janvier 2013, l'article 59 du CINB permet de donner deux noms différents à un même champignon pour décrire

1. Son état de reproduction asexué (anamorphe)
2. Son état de reproduction sexué (téléomorphe)

Lorsque des noms existent déjà pour les deux états

Préséance pour le téléomorphe (considéré comme holomorphe)

Les champignons dont on ne connaît pas le téléomorphe sont classé dans les Deutéromycètes (*Fungi imperfecti*)

Il peut donc y avoir existence d'un double système de nomenclature

AUJOURD'HUI: **ONE FUNGUS = ONE NAME**

AUJOURD'HUI: **ONE FUNGUS = ONE NAME**

(Congrès de Melbourne (Juin 2011))

1. Latin ou anglais

- A partir du 1^{er} janvier 2012 : description de nouvelle espèce en **latin ou anglais**

2. **Un champignon, un nom**

- Pendant 1 siècle possibilité d'avoir deux noms pour un même organisme
- Aujourd'hui (**1^{er} janvier 2013**) : un seul nom

3

Taxinomie et systématique des champignons

- Taxinomie = science qui a pour objet de décrire et de définir les unes par rapport aux autres les espèces vivantes, et de les regrouper en entités appelées taxons, genres, ..., afin de pouvoir les nommer (nomenclature) et les classer (systématique).
- Systématique = science qui a pour objet de dénombrer et de classer les taxons dans un certain ordre, selon des principes divers.
- Difficulté pour les champignons
 - croissance capricieuse et éphémère, leur récolte reste soumise au hasard, nécessitant de nombreuses visites infructueuses.
 - Exigent l'observation *in vivo* car beaucoup de caractères essentiels disparaissent.
 - Peu d'espèces peuvent être cultivées pour observer leur croissance en culture pure, ou tenter des fécondations expérimentales instructives.

1. Rangs taxinomiques des champignons

- Hiérarchie similaire à celle des plantes
- Le sommet de la hiérarchie est le **domaine** (en l'occurrence, celui des Eucaryotes), suivi du **règne** (ici les champignons), le reste de la nomenclature se fait selon les terminaisons latines suivantes :
- Catégories morphologiques
 - Division (phylum) - *mycota* Eumycota
 - Subdivision - *mycotina* Basidiomycotina:
 - Classe - *mycetes* Hymenomycetes
 - sous-classe - *mycetideae* Holobasidiomycetideae
 - Ordre - *ales* Agaricales
 - sous-ordre - *ineae*
 - Famille - *aceae* Agaricaceae
 - sous-famille - *oideae*
 - Tribu - *eae* Agaricaceae
 - sous-tribu - *inae*
 - Genre *Agaricus* Linné
 - Sous-genre
 - Section
 - Espèce *Agaricus campestris* Linné:Fries
 - Sous-espèce (subsp.)
 - Variété (var.) *Agaricus campestris* var. *edulis*
 - Forme (f.)
- Catégories physiologiques
 - Forme spéciale (*forma specialis*, f. sp.)
 - Race physiologique (cultivar, cv)
 - Individu

- La nomenclature de toutes les catégories au-dessus de l'espèce est uninomiale (un seul nom)
- La nomenclature de l'espèce est binomiale, composé de la combinaison du nom du genre (avec majuscule) et de l'épithète de l'espèce (avec minuscule) – le tout en italique
- Le nom de chaque catégorie est suivi du nom de l'auteur qui a le premier publié la dénomination
 - Ex: *Peziza rependa* Persoon
- Dans le binome d'espèce, le nom d'auteur est définitivement attaché à l'épithète d'espèce et le reste lors de la recombinaison de l'épithète à un autre nom de genre suite au reclassement de l'espèce dans un autre genre
 - Ex: *Peziza aurantia* Fries reclassé dans le genre *Aleuria* devient *Aleuria aurantia* (Fries) Fuckel.

4

Le règne des fungi

1. Historique

Jusqu'au début du XIXème siècle les organismes étaient classés dans **deux règnes**

- Le règne animal: organismes mobiles – hétérotrophes
- Le règne végétal: organismes immobiles – autotrophes par photosynthèse

Problèmes:

parmi les êtres unicellulaires, comme les flagellés, certains possèdent de la chlorophylle et d'autres non.

Bactéries classées en tant que végétaux.

les champignons considérés comme des plantes car immobile mais pas de racines, tiges, feuilles, chlorophylle et se nourrissent à partir de matières organiques (comme les animaux). De plus, leurs parois cellulaires ne sont pas constituées de lignine et cellulose, mais de chitine, comme la cuticule des insectes.

1866: Haeckel, propose un **3ème règne** - les protistes (bactéries, protozoaires et fungi)

1937: Chatton propose une classification du monde du vivant en deux types cellulaires

Procaryotes (organismes à cellules sans noyau)

Eucaryotes (organismes à cellules avec noyau).

Deux Empires sont créés

1956: Copeland classe les organismes en quatre règnes:

Monère (algues bleu-vert et Bactéries)

Protistes (Algues eucaryotes, Champignons, Moisissures et Protozoaires)

Plantes (Embryophyte et Algues vertes)

Animaux (inclus les Éponges).

1969: Whittaker (botaniste américain) classe les organismes en cinq règnes:

Monères (Procaryotes)

Protistes (Eucaryotes unicellulaires)

Plantes (Eucaryotes pluricellulaires photosynthétiques),

Mycètes (Champignons) (Eucaryotes pluricellulaires non-photosynthétiques)

animaux (Eucaryotes pluricellulaires hétérotrophes).

classe les champignons dans un règne distinct des autres eucaryotes (végétaux et animaux) pour différentes raisons.

Parmi celles-ci, le mode d'ingestion des nutriments diffère foncièrement entre les trois règnes (animal, végétal et fungi)

Animaux: ingestion des aliments et digestion interne.

Plantes: ingestion de l'énergie lumineuse (du soleil) au niveau des chloroplastes.

champignons: digestion externe des composés nutritifs (par des enzymes) avant absorption.

1977: Woese et al. classe les organismes en 6 règnes

Eubacteria

Archaeobacteria

Protista

Fungi

Plantae

Animalia

1990: Woese et al. crée une nouvelle organisation du monde du vivant basé sur un niveau supérieur au règne, le domaine.

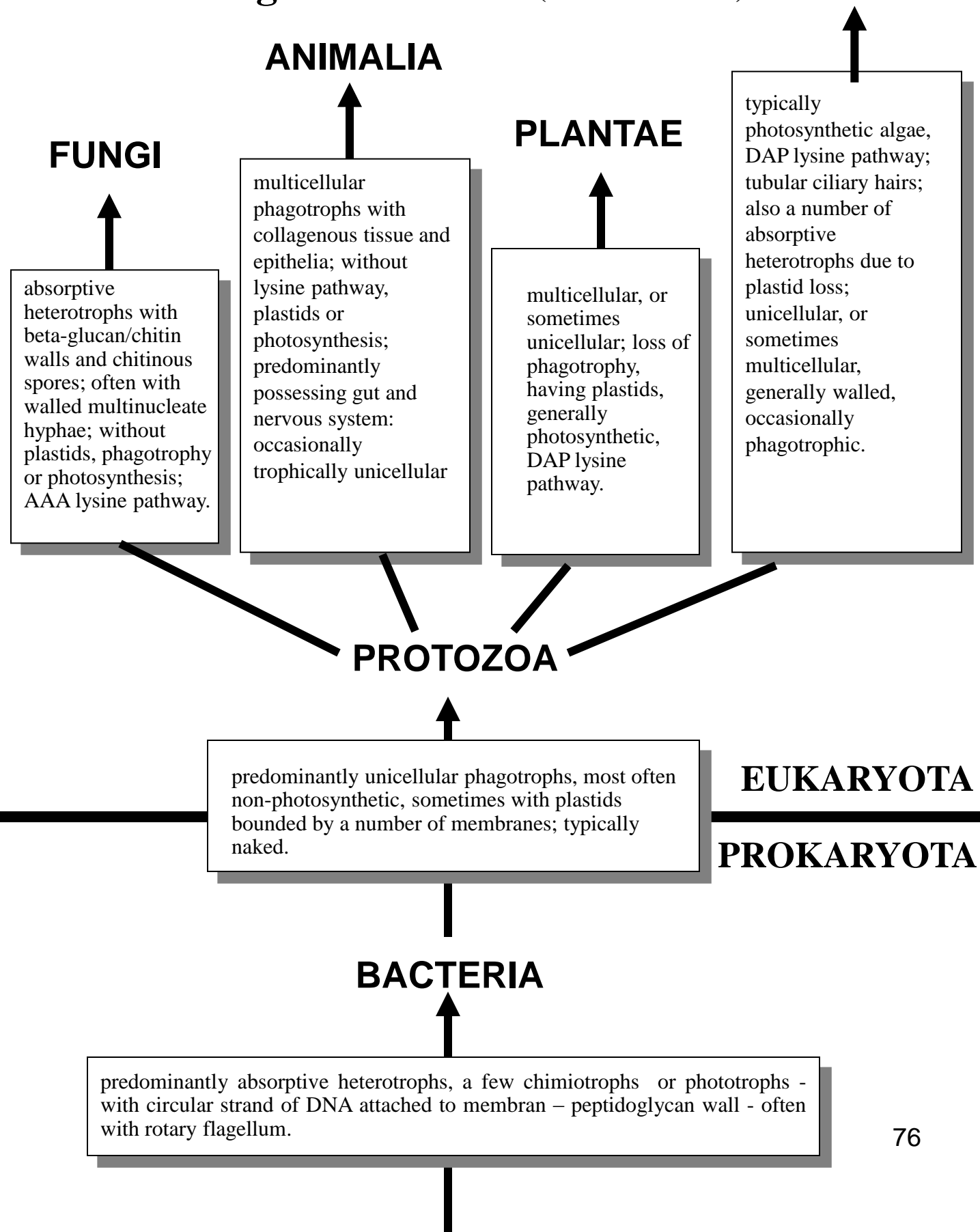
Bacteria

Archaea

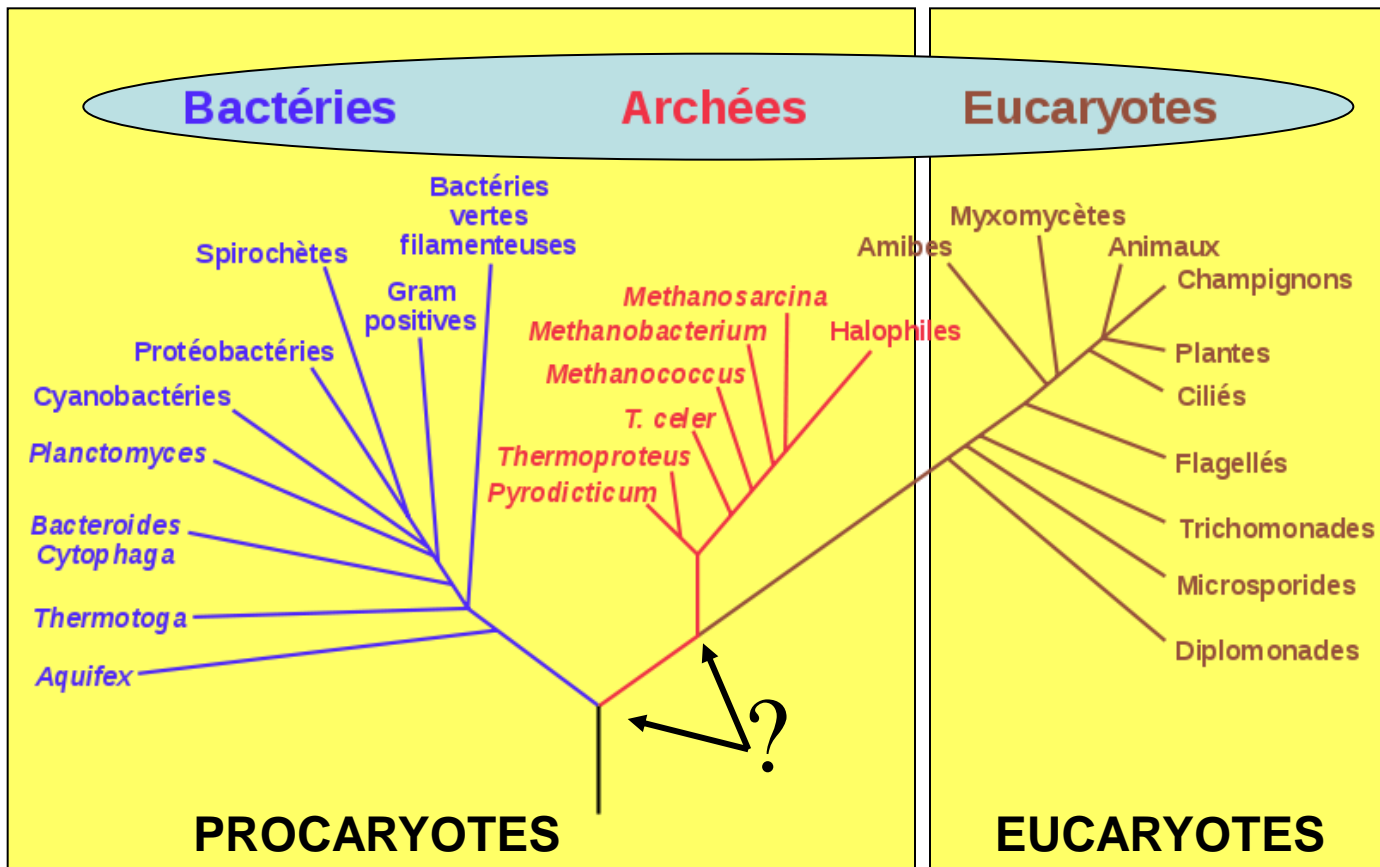
Eukarya

1998: Cavalier-Smith classe les organismes en deux empires (procaryotes et eucaryotes) et six règnes (animal, végétal, champignon, chromiste, protozoaire et bactérie).

2. Les six règnes du vivant (Cavalier-Smith) **CHROMISTA**



Arbre phylogénétique de la vie



Woese (1990)

- La classification de Woese en trois domaines (Bactéries, Archées et Eucaryotes) est privilégiée par les microbiologistes.
- Les classifications en cinq règnes ou 6 (Whittaker, Cavalier-Smith) ont généralement les faveurs des botanistes et des zoologistes.

3. La diversification des champignons

- Nombre de champignons estimé: 1.5 million (Hawksworth).
- Nombre d'espèces répertoriées: +/- 80 000
- Reste à découvrir: 95% de la biodiversité (ou plus...).
- Classification de Fries (1821)



Quatre classes basées sur des critères morphologiques

- I. Conio**mycètes = champignons produisant des spores dans une masse nue.
- II. Hypho**mycètes = champignons pour lesquels aucun stade sexué n'est observé.
- III. Gastéro**mycètes = champignons avec un hyménium fermé.
- IV. Hyméno**mycètes = champignons avec un hyménium exposé.

Gastéromycètes

Pisolithus sp.



Hyménomycètes



Example of a fruiting body (basidiocarp) in the Hymenomyces.

- **Classification d'Ainsworth** (Dictionary of fungi – 1971)

Règne des fungi

Division des Myxomycota

Acrasiomycètes

Myxomycètes

Plasmodiophoromycètes

Division des Eumycota

Subdivision des Mastigomycotina

– Chytridiomycètes

– Hyphochytridiomycètes

– Oomycètes

Subdivision des Deutéromycotina

Subdivision des Zygomycotina

Subdivision des Ascomycotina

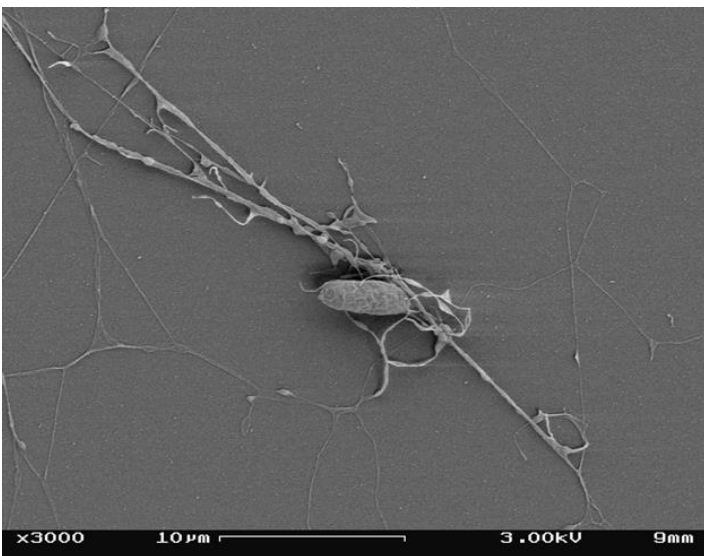
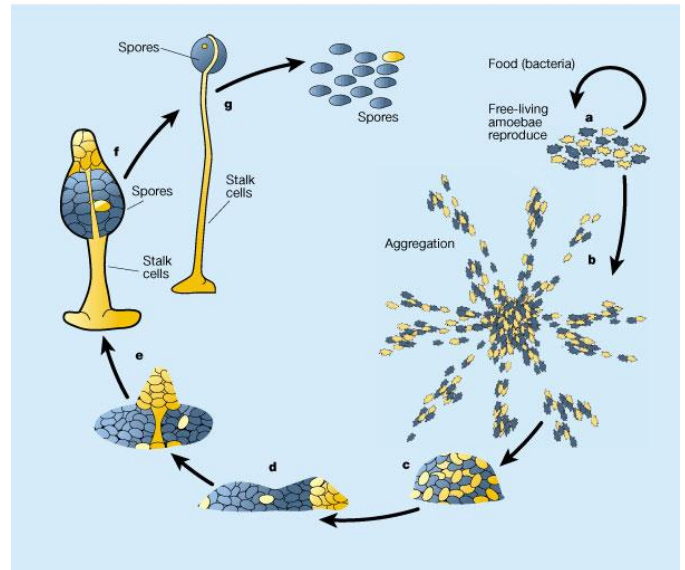
Subdivision des Basidiomycotina



Plasmodial slime mold

Physarum polycephalum

cellular slime mold



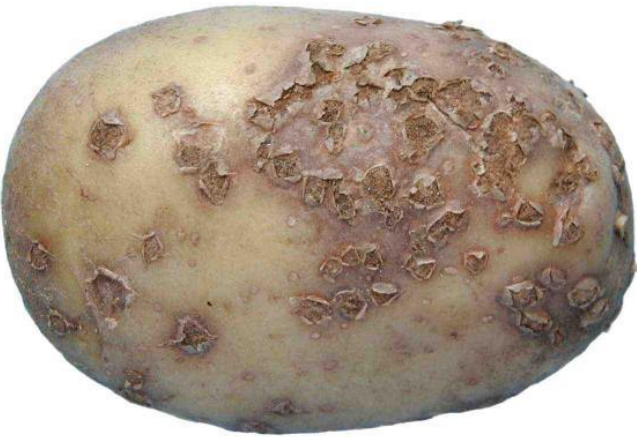
Slime net - Labyrinthulomycota

Aplanochytrium



Plasmodiophora brassicae

(hernie du chou)

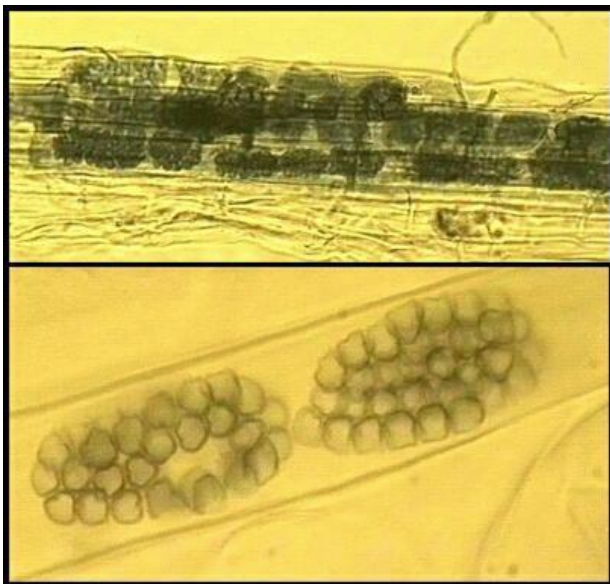


Spongospora subterranea

Gale poudreuse

Polymyxa bettae

Rhizomanie de la betterave



- **Classification actuelle**

- ***Chytridiomycota*** ou Chytridiomycètes

- Espèces aquatiques dont les spores portent un flagelle.
- Ancêtres de tous les autres champignons.

- ***Zygomycota*** ou Zygomycètes

- Espèces à spores non flagellées
- Hyphes non séparés par des cloisons.

- ***Ascomycota*** ou Ascomycètes

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

- ***Basidiomycota*** ou Basidiomycètes

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

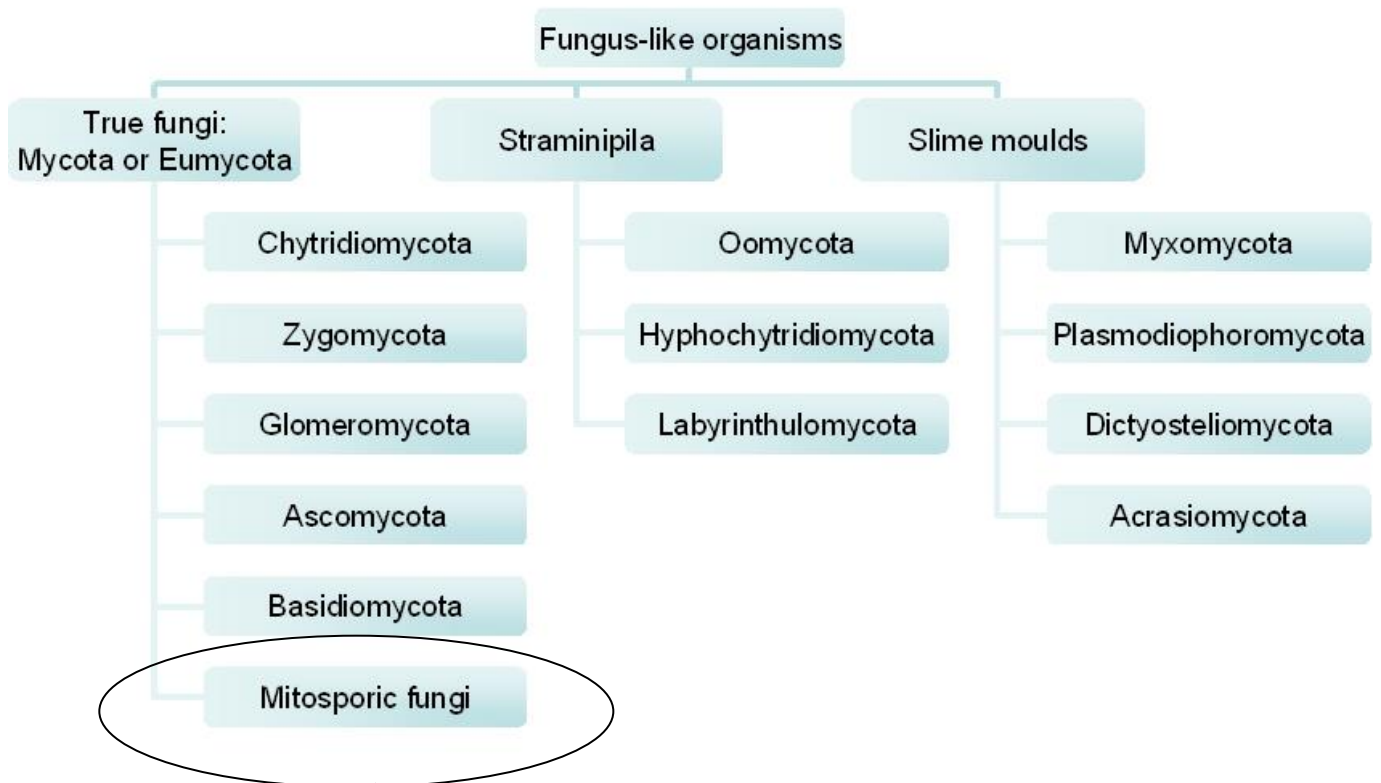
- ***Glomeromycota*** ou Gloméromycètes

- Autrefois classés dans les *Zygomycota*
- Réunissent les champignons MA

4. Organismes anciennement classés parmi les champignons

- Les Hyphochytridiomycètes, Labyrinthulomycètes, Oomycètes
 - Phylogénétiquement éloignés des fungi.
 - Reclassés dans les chromistes.
 - Ce règne comporte de nombreux organismes différents mais a en commun la nature ‘biflagellée’ pour les deux derniers et uni-flagellés pour les hyphochytridiomycètes
- Les Acrasiomycètes et les myxomycètes
 - Acrasiomycètes: organismes amiboïdes qui phagocytent les bactéries et autres particules.
 - Myxomycètes : moisissures visqueuses plasmodiales
 - Les deux groupes se distinguent des champignons par leur mode de nutrition (ingestion plutôt qu’absorption).
- Les Plasmodiophoromycètes
 - Parasites intracellulaires des champignons, algues et certaines plantes.
 - Peuvent former des spores à paroi épaisse (enkystement) et ont de ce fait été confondus avec les champignons.
- Les Dictyosteliomycètes
 - Type amibe, classé parmi les protistes.

Résumé

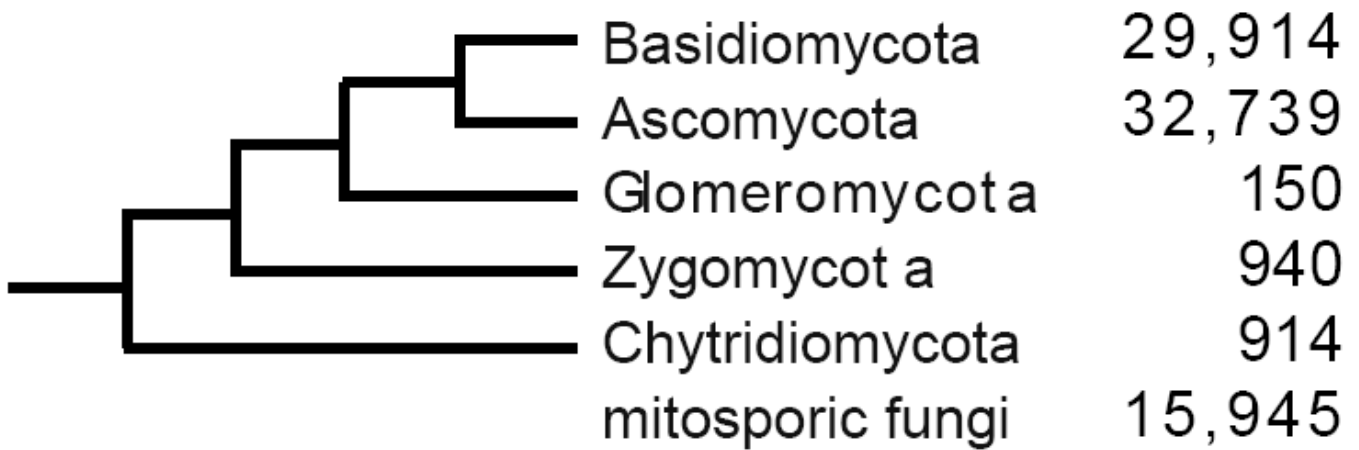


Jim Deacon, 2006

Deutéromycètes
Fungi imperfecti
anamorphes

Nombre d'espèces connues

- 80602 en 2001 – Dictionary of fungi, 9th Edition



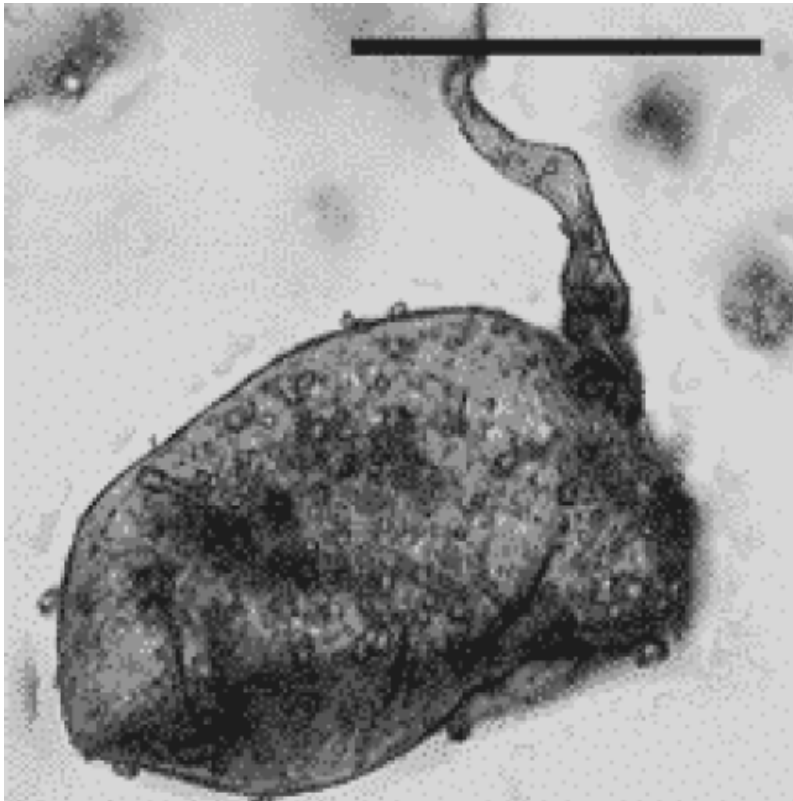
- Nombre estimé d'espèces: 1.5 millions (Hawksworth, 2001)
- 5% connus à l'heure actuelle.

Où sont les champignons manquants ?

- Régions inexplorées du monde – principalement les tropiques.
- Les champignons microscopiques dans les micro-habitats.
 - Rumen des animaux
 - Sols
 - Feuilles et racines (endophytes).
- Champignons énigmatiques pour lesquels pas de fructification détectée et absence de croissance sur milieu standard.

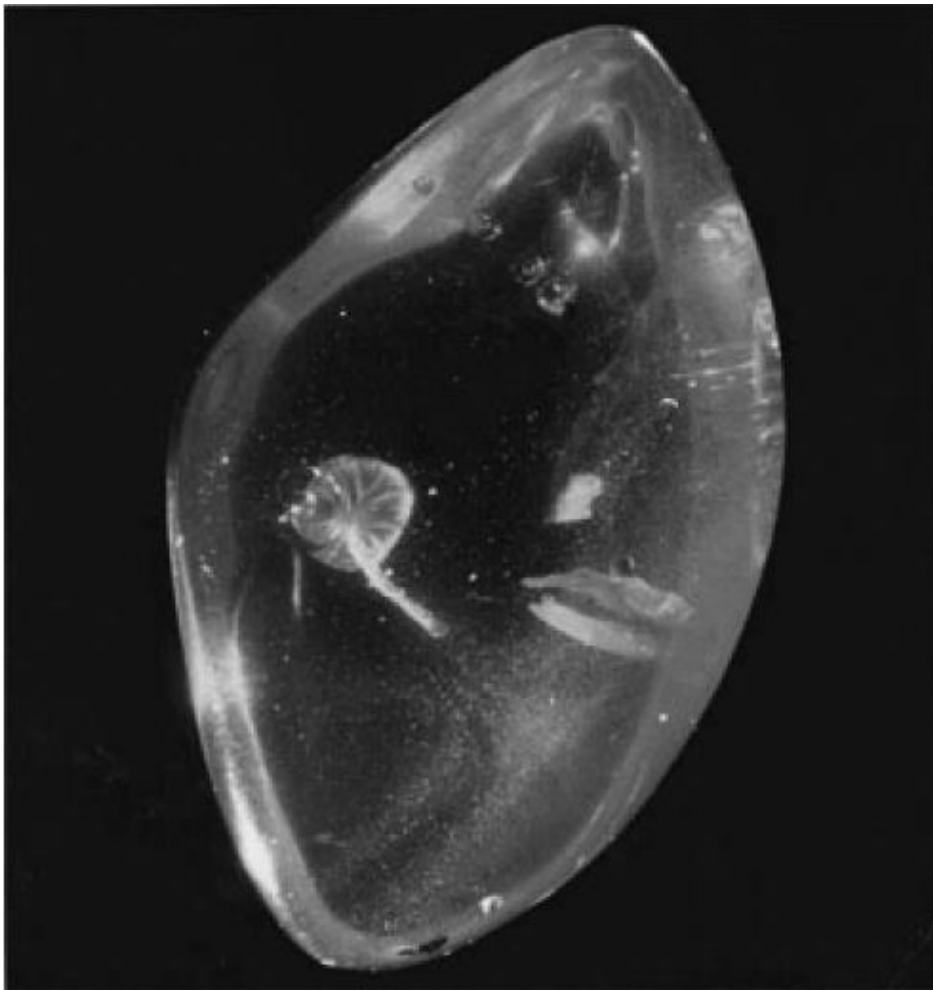
5. Origine des champignons

- Très peu de fossiles disponibles
- Identification à partir de fossiles difficile
- Fossile le plus ancien découvert: un Gloméromycète (460 millions d'année)
 - Coïncide avec la colonisation du milieu terrestre par les plantes.



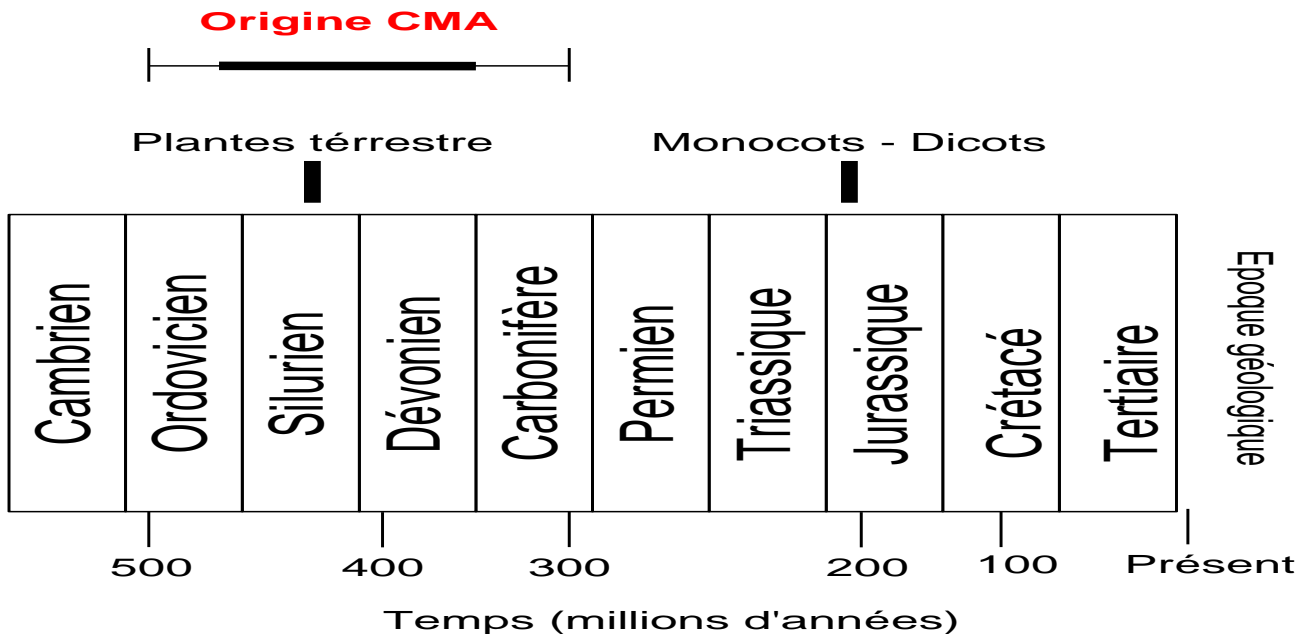
http://www.berkeley.edu/news/media/releases/2000/09/14_funghi.html

- Fossile de *Protomyцена electra* dans de l'ambre. 15-30 millions d'années
- Ressemble aux champignons du groupe des Mycènes et autres Tricholomataceae
- Un des quatre fossile connus



Hibbett, DS, D Grimaldi and MJ Donoghue. 1997. Fossil mushrooms from Miocene and Cretaceous ambers and the evolution of Homobasidiomycetes. *American Journal of Botany* 84, 981-985.

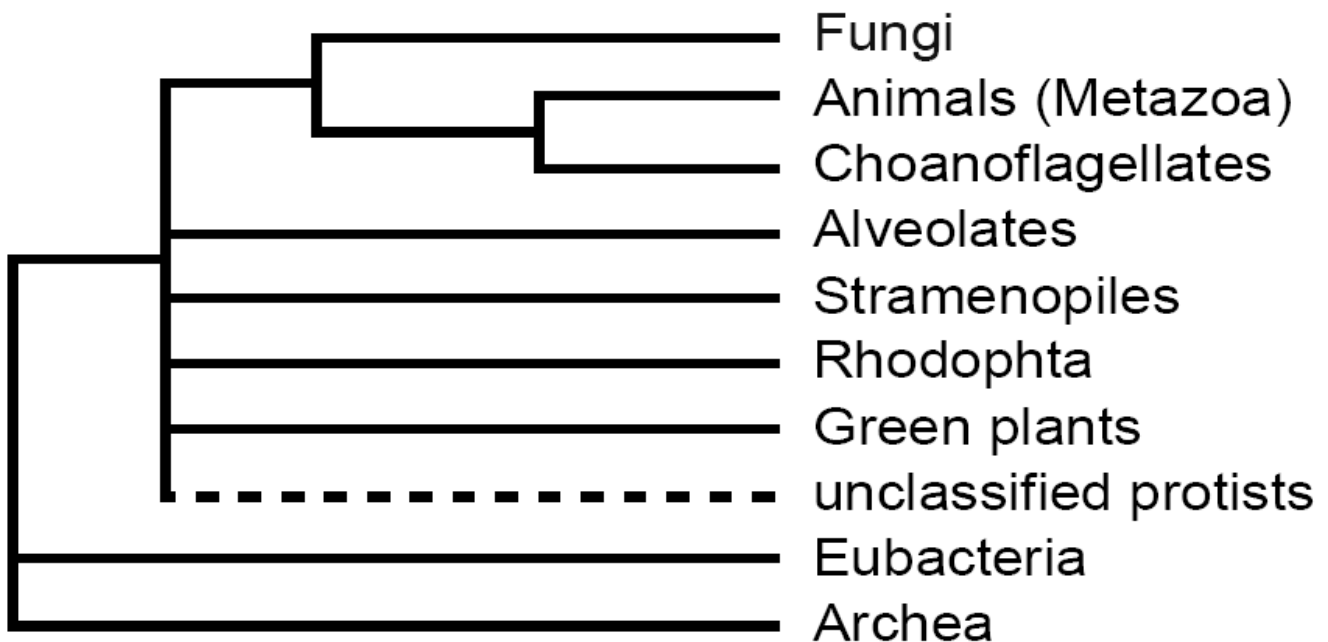
- Protéozoïque (1500 Myr) : divergence champignons autres formes de vie
- Cambrien (>570 Myr) : champignons colonisent le milieu terrestre avant les plantes
- 400 - 500 Myr : origine approximatives des CMA (Simon et al., 1993).
- 460 Myr : premiers fossiles de spores de « Glomales » (Redecker et al., 2000)
- Vers 400 Myr : grand nombre de découvertes de spores fossilisées de type Glomales (Pyrosynski et Dalpé, 1999)



Simon et al., 1993 (Nature)

6. Ancêtre : animal ou végétal ?

- Deux hypothèses
 - Evolution à partir des algues par perte de chloroplastes (de Bary, 1866, 1881, 1887; Bessy 1942)
 - Evolution à partir d'un protozoaire par perte de la phagotrophie (Dangeard 1886, 1903; Atkinson, 1909)
- Résolution grâce à la phylogénie moléculaire
 - Ancêtre protozoaire flagellé



Source: Tree of Life Web Project, Nov. 2002: <http://tolweb.org/tree/phylogeny.html>

- Berbee & Taylor, Mycota, 2000

- Heckman et al., Science, 2001

5

La cellule fongique

1. Composition de la paroi cellulaire

Phylum	microfibrilles	matrice
Oomycètes	Cellulose – Glucanes	Glucanes
Chytridiomycètes	Chitine - Glucanes	Glucanes
Zygomycètes	Chitine - chitosan	Acide polyglucuronique - Glucurmannoprotéines
Ascomycètes	Chitine - Glucanes	Glucanes – Galactomannoprotéines
Basidiomycètes	Chitine - Glucanes	Glucanes – Xylomannoprotéines

- 80-90% de polysaccharides: (le reste protéines et lipides)
chitine, certains glucanes

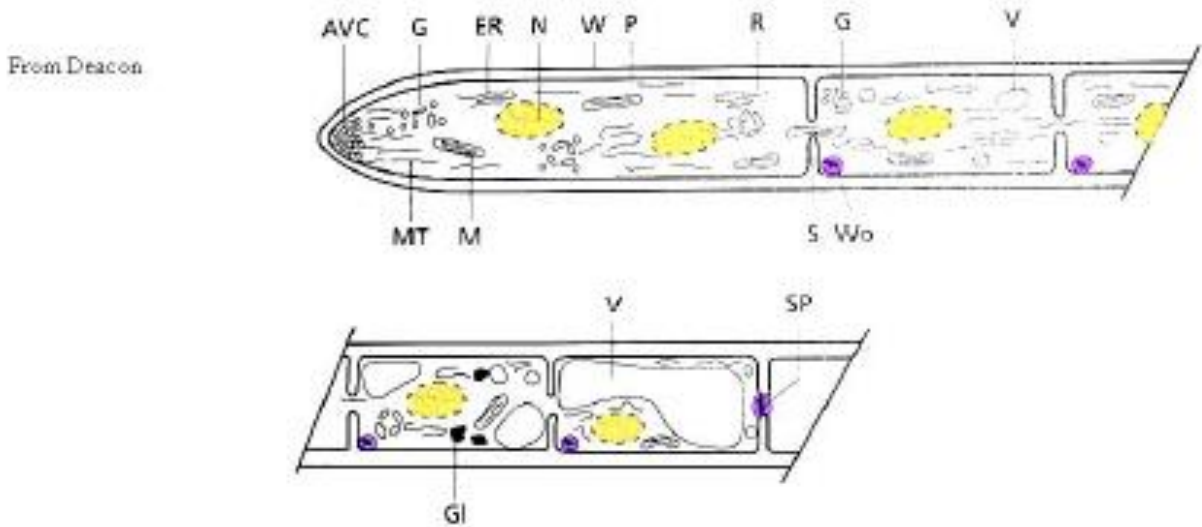
- Les **Oomycètes** ne sont plus classés parmi les champignons actuellement

- sur base phylogénique

- absence de chitine

- présence de cellulose !

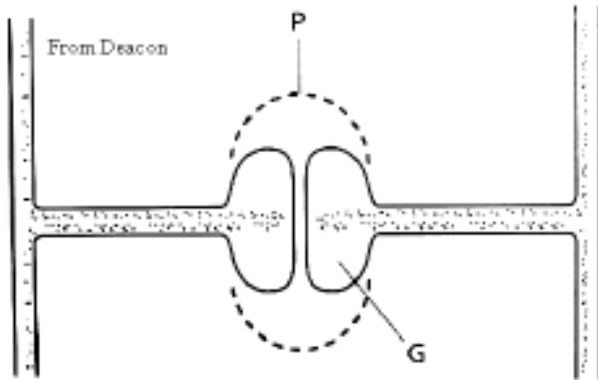
2. Structure et ultrastructure de l'hyphe chez les Ascomycètes



AVC = apical vesicle cluster; MT = microtubules; G = appareil de Golgi; M = mitochondrie; ER = reticulum endoplasmique; N = noyau; W = paroi; P = plasmalemma; R = ribosomes; S = septum; Wo = grain de woronin; V = vacuole; Gl = glycogène; Sp = septal plug.

- Croissance apicale
- Développement centrifuge – cellules terminales jeunes.
- Durée de vie: cellules âgées meurent par autolyse.
- Septum
 - permet la connection entre cellules et les mouvements cytoplasmiques.
 - perforé avec généralement un seul noyau haploïde par cellule. Peuvent aussi contenir deux noyaux
 - Si absence ou très peu de septa et de multiples noyaux (cellules coenocytique: Zygomycètes et Gloméromycètes).
- Présence de grains de Woronin.
 - Rôle: bloquer le pore pour empêcher la perte de matériel cytoplasmique.

3. Structure et ultrastructure de l'hyphe chez les Basidiomycètes

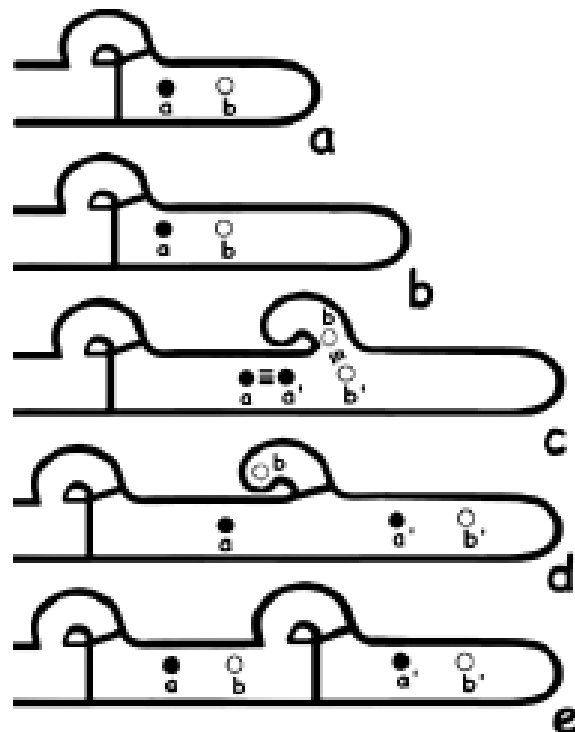


P = parenthesome
G = narrow central flanges of predominantly glucan

From Wong
http://www.botany.hawaii.edu/faculty/wong/Bot201/Basidiomycota/Clamp_connection_formation.htm

- Présence d'un dolipore au niveau du septum
- Les cellules hyphales contiennent typiquement deux noyaux haploïdes (dikaryon). Peuvent aussi ne contenir qu'un noyau.
- Une connection « clamp » peut se former entre deux cellules résultant de la division cellulaire et de la croissance.

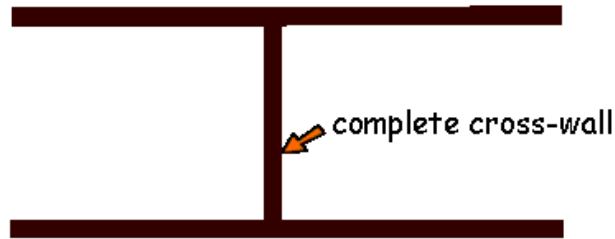
- a. Cellule terminale d'un hyphe avec croissance au niveau de l'apex
- b. Élongation de l'apex
- c. Division synchronisée des noyaux (mitose) et émission de l'hyphe qui formera le clamp. Un noyau migre dans cet hyphe
- d. Formation d'un septum à la base du clamp et isolement du noyau. Les noyaux a' et b' migrent vers l'apex tandis que a s'en éloigne
- e. Un septum se forme à la base du clamp et forme ainsi une nouvelle cellule au niveau de l'apex de l'hyphe. Fusion du clamp avec la cellule derrière l'apex et libération du noyau b dans cette cellule. Les deux cellules sont, dès lors, binucléées, chacune avec une paire de noyaux haploïdes (cellules dicaryotiques).



4. Structure du septum

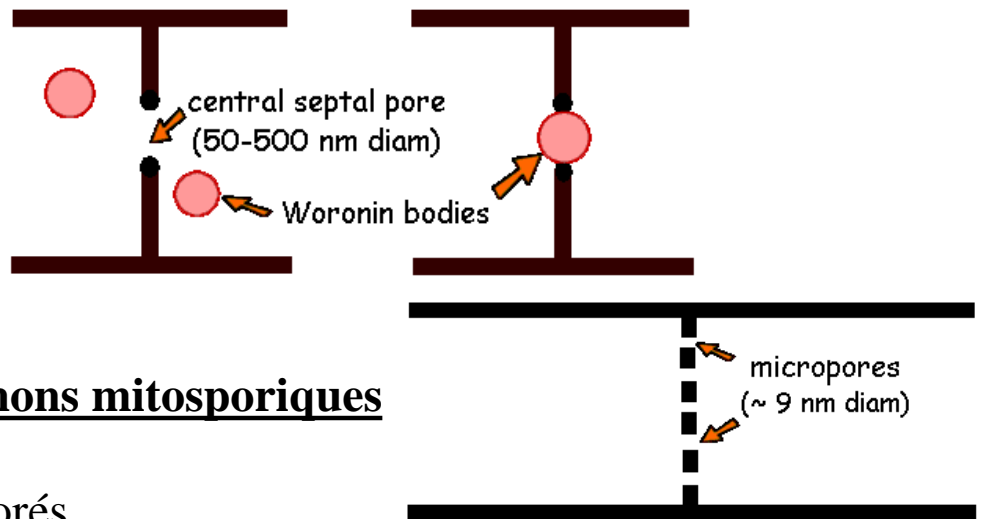
Zygomycètes, Gloméromycètes

- Pas de septum en temps normal (hyphes coenocytiques)
- Mais si hyphe endommagée ou sénéscent des septum complet sont formés pour isoler les parties endommagées ou vieilles.



Ascomycètes, certains champignons mitosporiques

- Présence d'hyphes perforés à intervalles réguliers.
- Septum = paroi avec un seul pore central (50-500 nm diam.).
- Permet le mouvement du cytoplasme.
- Grains de Woronin capables de bloquer le pore.

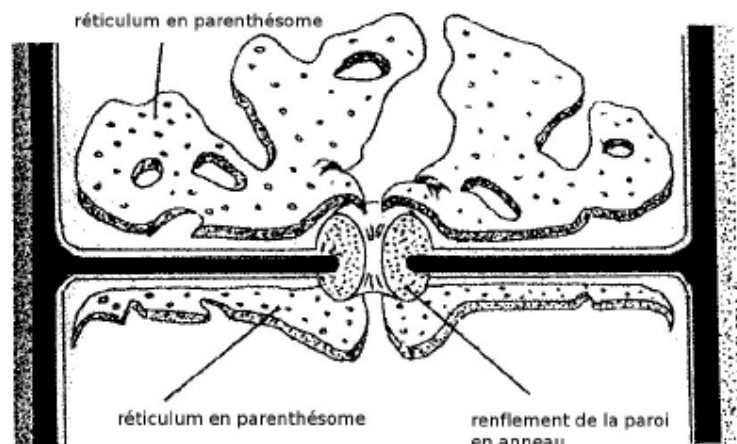
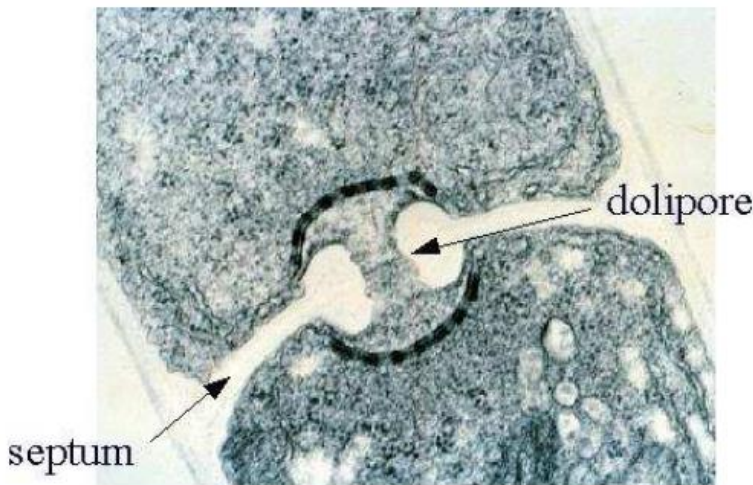
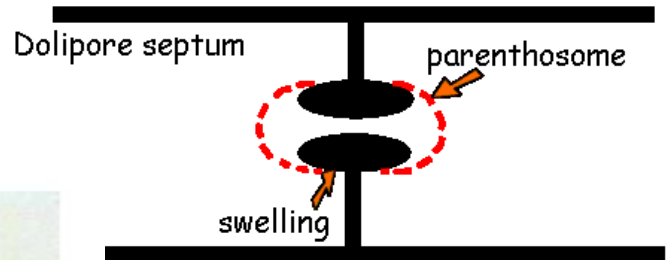


Autres champignons mitosporiques

- Septa multi-perforés.
- Le nombre de pores est variable
- Permet le mouvement cytoplasmique mais moins dense que ci-dessus.

Basidiomycètes

- Le plus complexe.
- Caractérisé par un renflement autour du pore central (le dolipore) et une membrane hémisphérique perforée (parenthosome) de chaque côté du pore.
- Le parenthosome permet la continuité cytoplasmique mais empêche le mouvement des grands organites.
- Occlusion possible par des micro-filaments

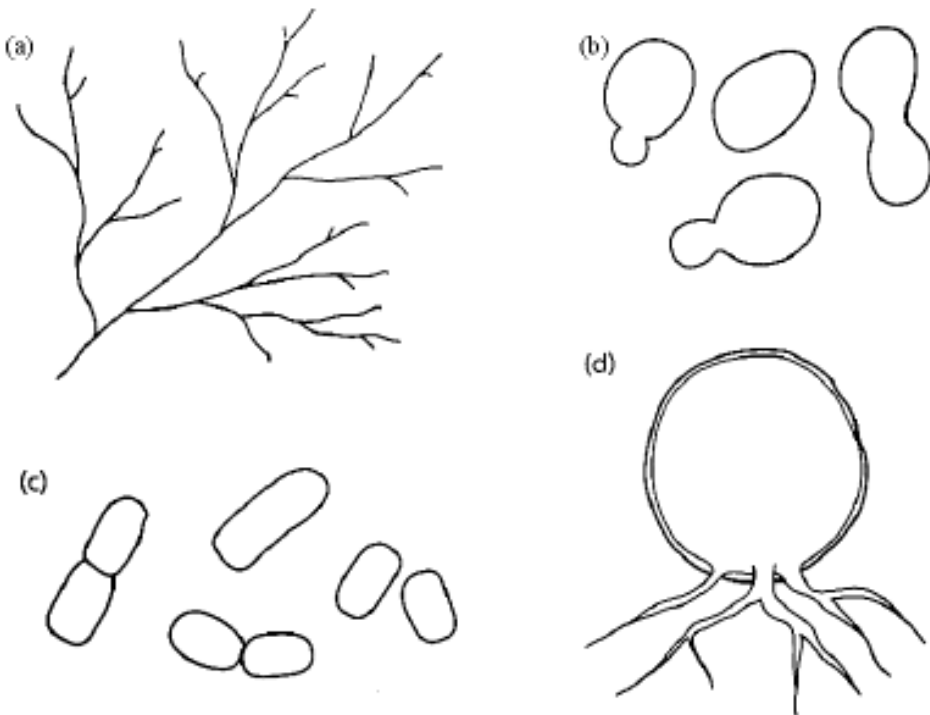


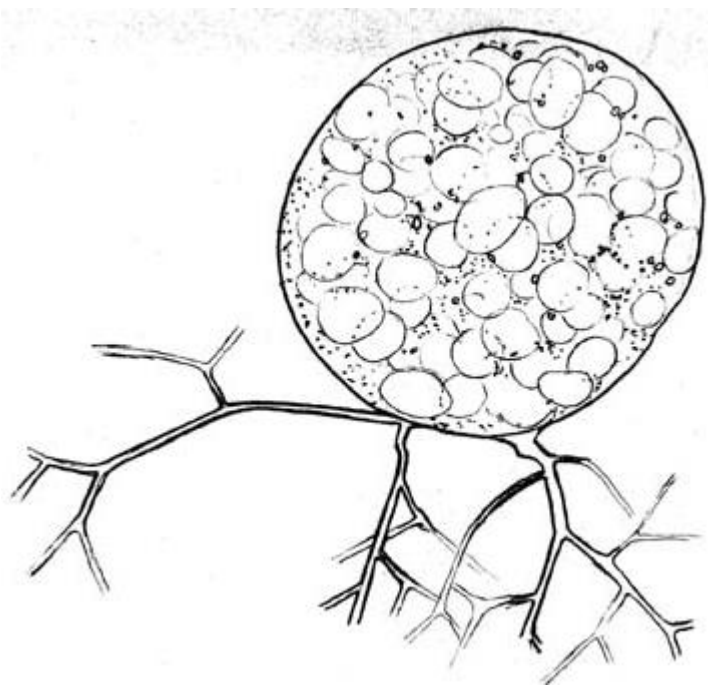
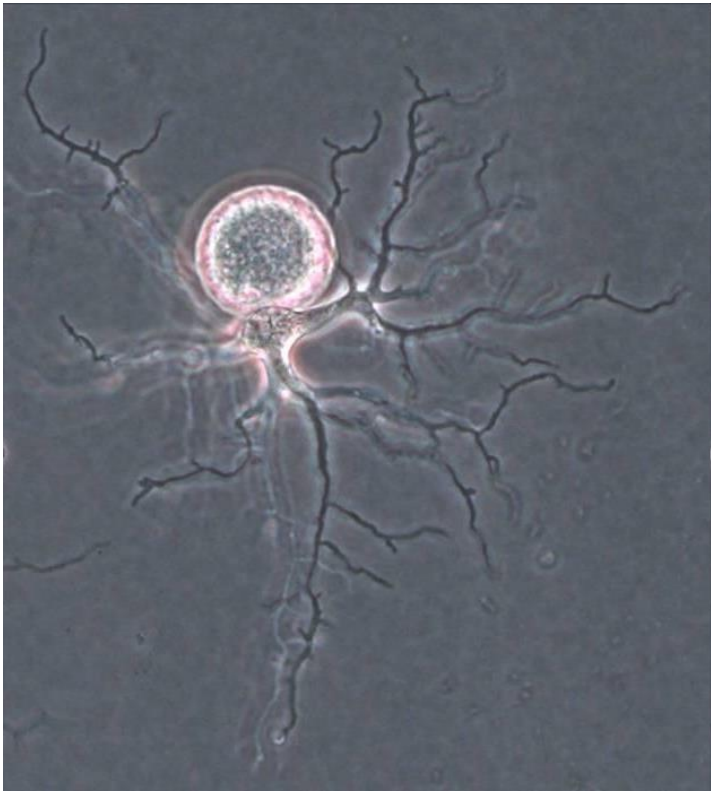
Fonctions du septum chez les champignons filamenteux

1. Support structurel. Permet de stabiliser l'hyphe par des parois verticales.
2. Défense. En conditions de stress (blessure par ex), le septum protège les compartiments hyphaux.
3. Facilite la différenciation. Les septa peuvent isoler des compartiments de manière à permettre des processus physiologiques et biochimiques (ex. structures impliquées dans la sporulation).

5. Croissance hyphale

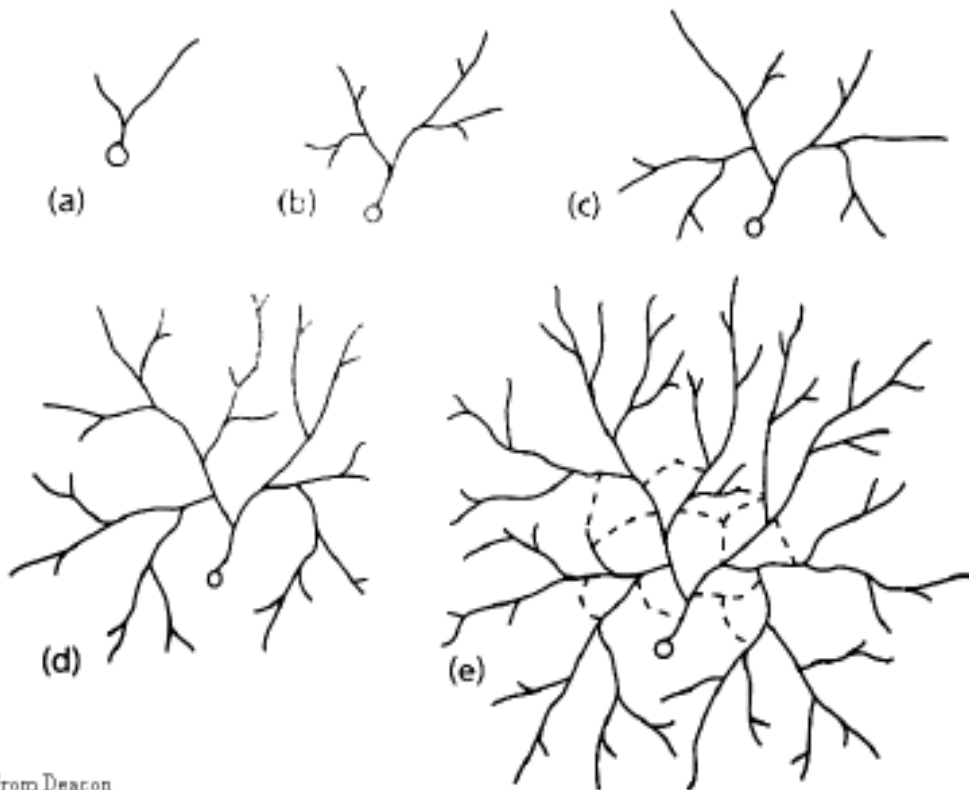
- Les champignons présentent plusieurs formes de croissance
 - Chez la plupart des Zygomycètes, chez les Ascomycètes, Basidiomycètes et Gloméromycètes, il y a formation d'un mycélium (a).
 - Chez les levures (Zygo, Asco et Basidio) la croissance est réalisée soit via bourgeonnement (b) soit via fission (c).
 - Chez les Chytridiomycètes la croissance s'effectue par rhizoïdes (d).





1. Croissance chez les Zygomycètes, Ascomycètes, Basidiomycètes et Glomérormycètes

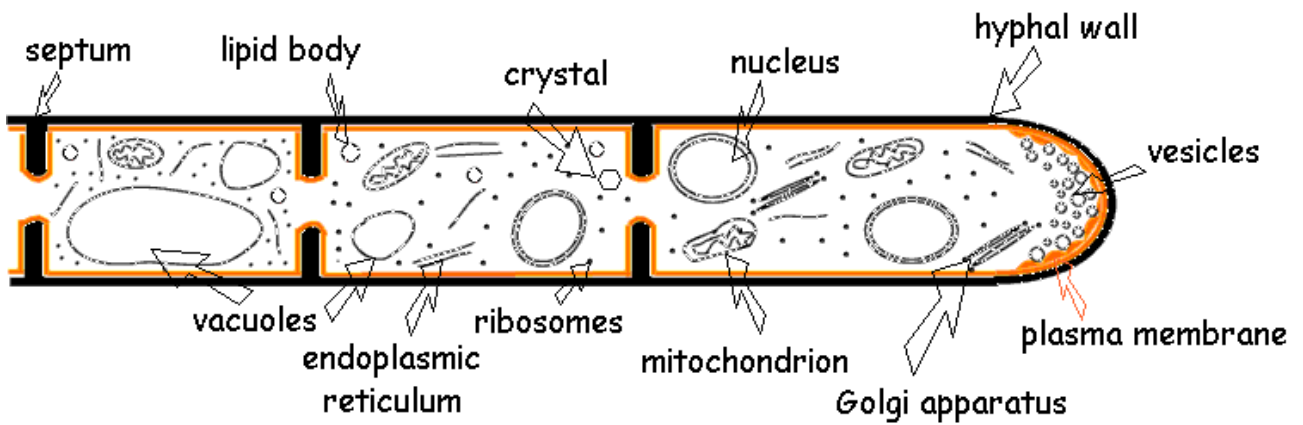
- (a) Germination d'une spore.
- (b), (c), (d) croissance apicale et ramification.
- (e) formation d'anastomoses et création d'un large réseau interconnecté d'hyphes.



From Deacon

2. Mécanisme de croissance de l'hyphe

Croissance généralement apicale



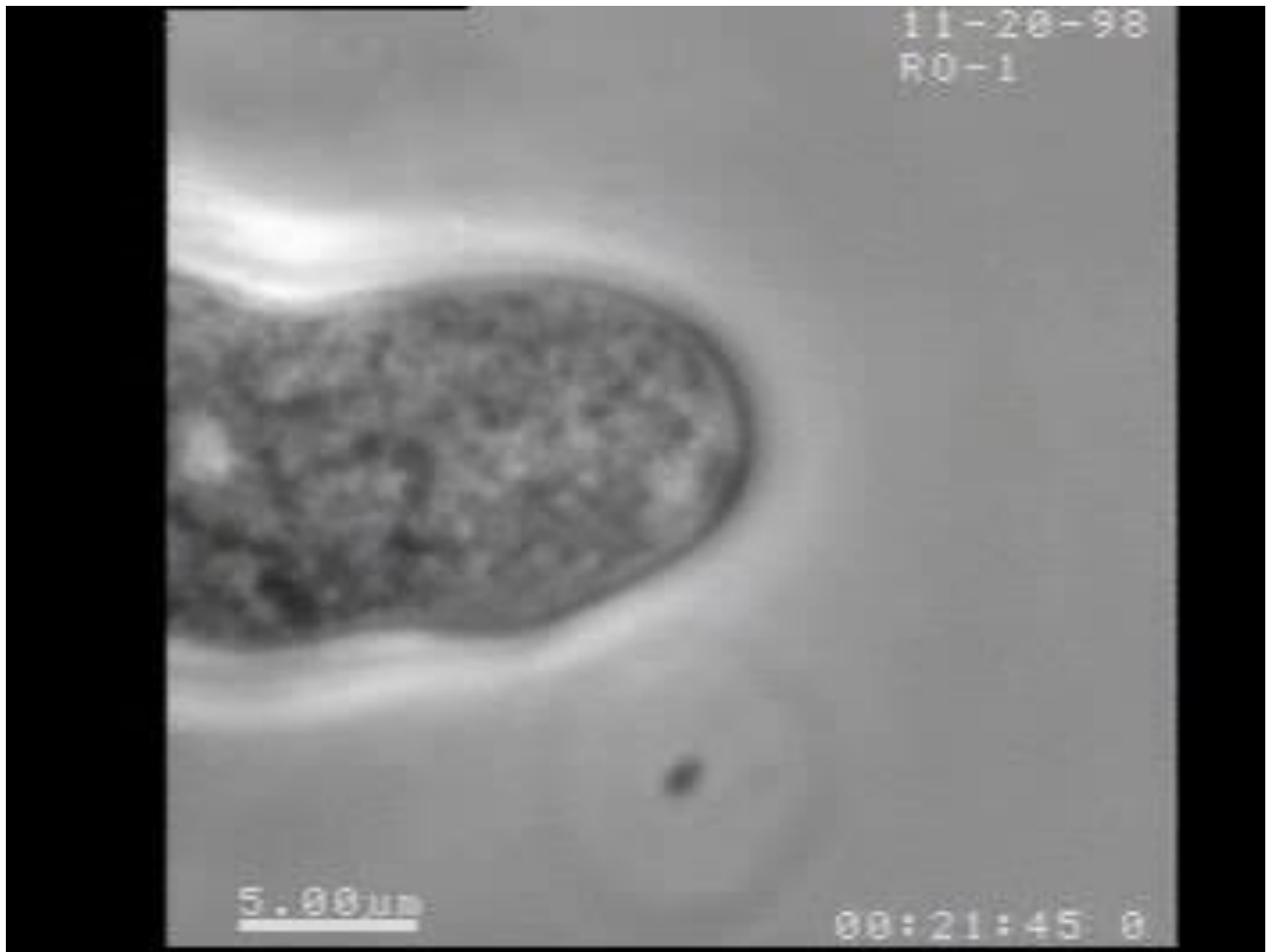
L'apex est structurellement et fonctionnellement très différent du reste de l'hyphe

- Cytoplasme plus dense
- L'épaisseur de la paroi de l'apex est moins importante
- Accumulation de «APICAL VESICULAR CLUSTERS (AVC)» = 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 liée 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.

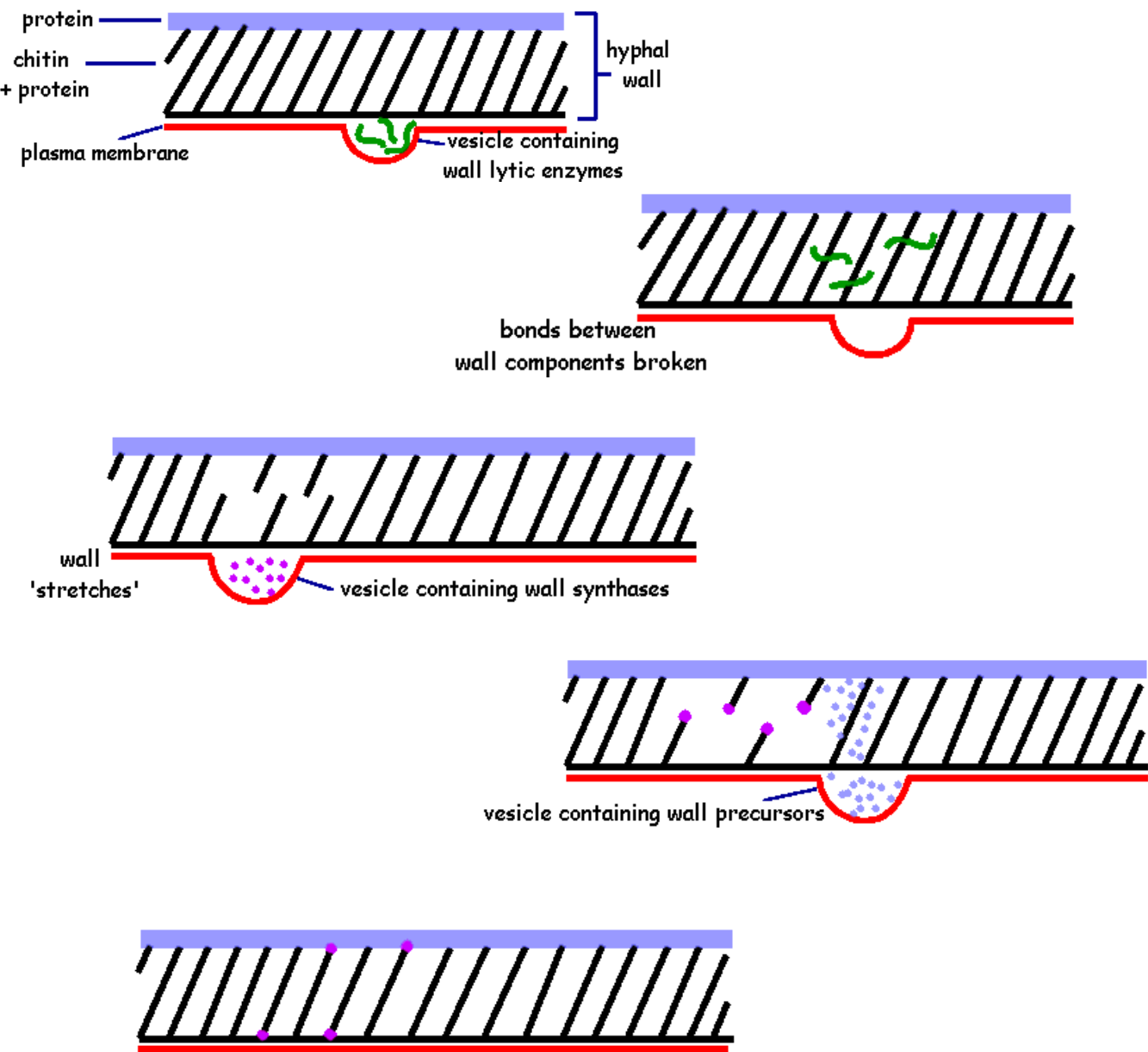
Spitzenkörper chez *Neurospora crassa*



Modèles de croissance proposés

Modèle 1: implication d'enzymes lytiques de la paroi

- Cela nécessite
 - Une lyse de la paroi existante
 - La synthèse et l'incorporation de nouveau matériel de paroi.



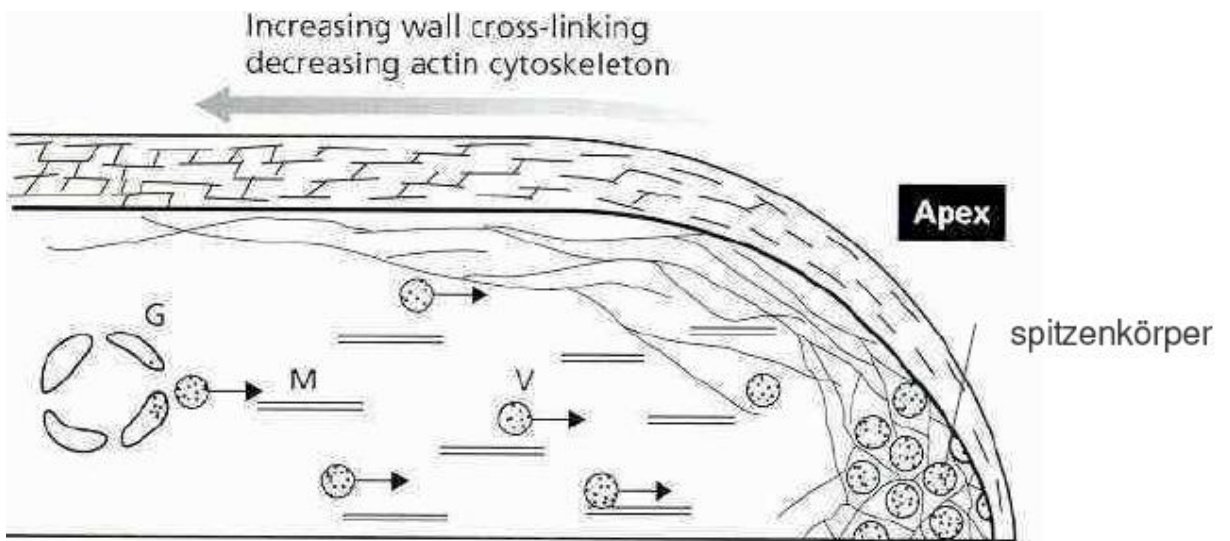
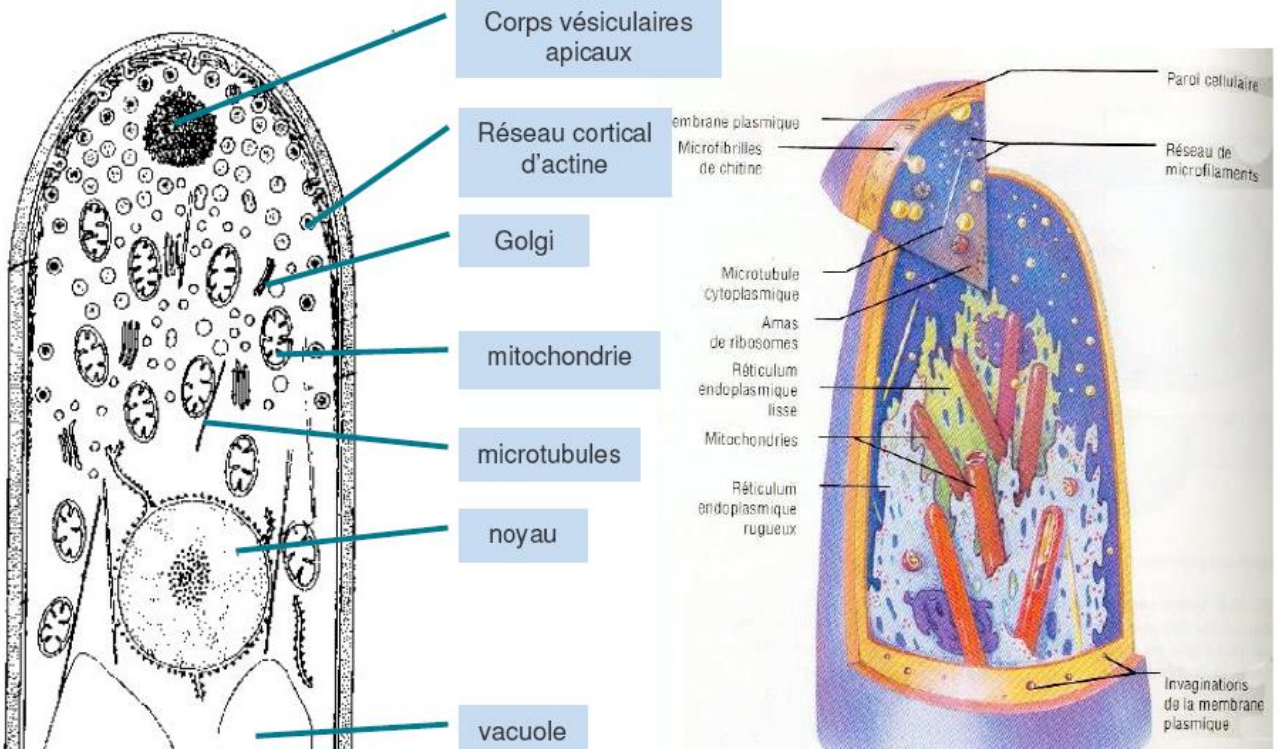
Modèle 2: Steady state

- Enzymes lytiques non nécessaires
- La nouvelle paroi à l'apex est visco-élastique (fluide)
- Les nouveaux composants apportés à la pointe de l'apex poussent les composants formés vers l'arrière.
- La paroi se rigidifie progressivement vers l'arrière par de nouveaux liens chimiques.



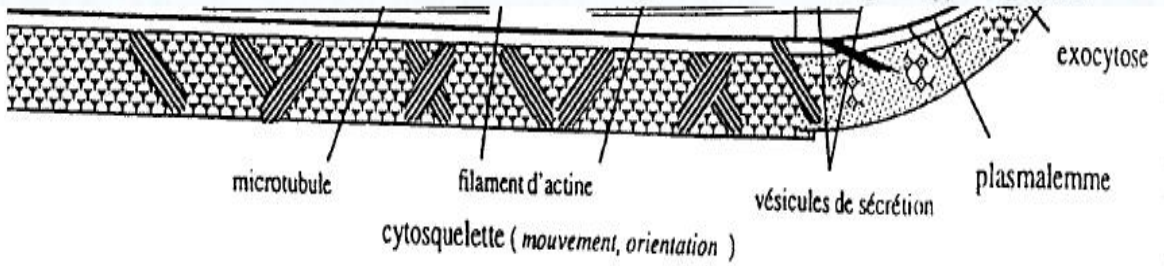
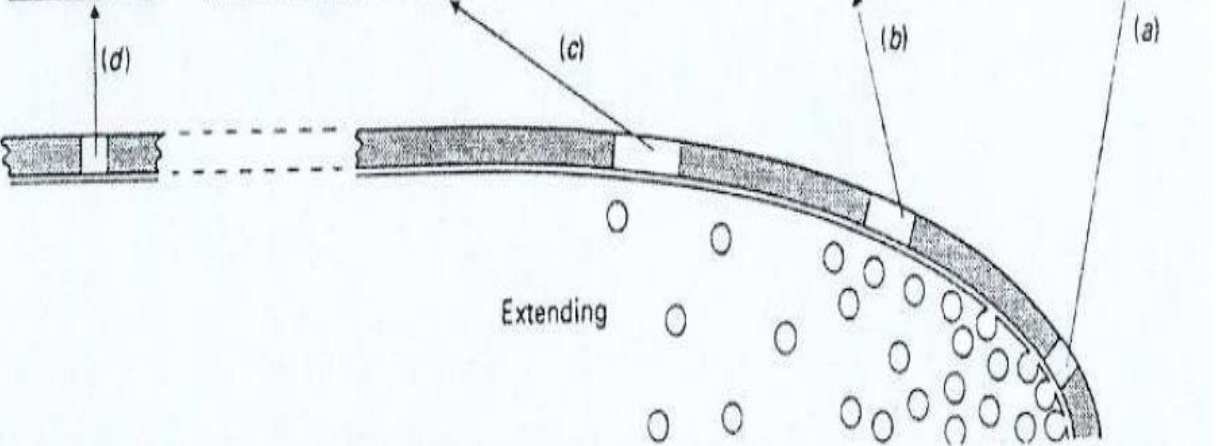
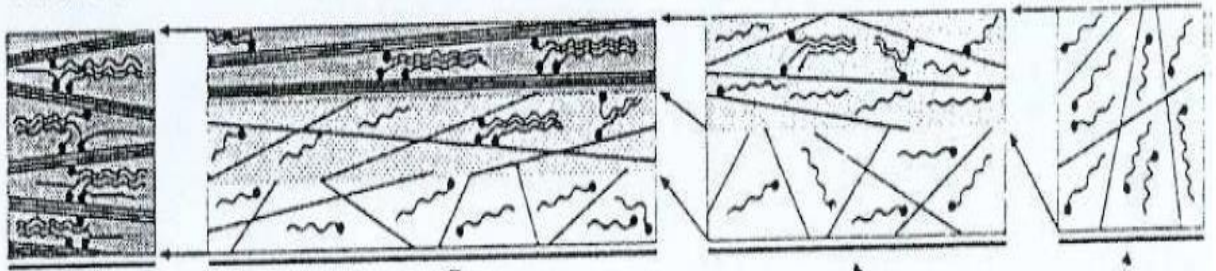
- Vesicles fusing with plasma membrane to release contents

Schéma d'un hyphe en croissance



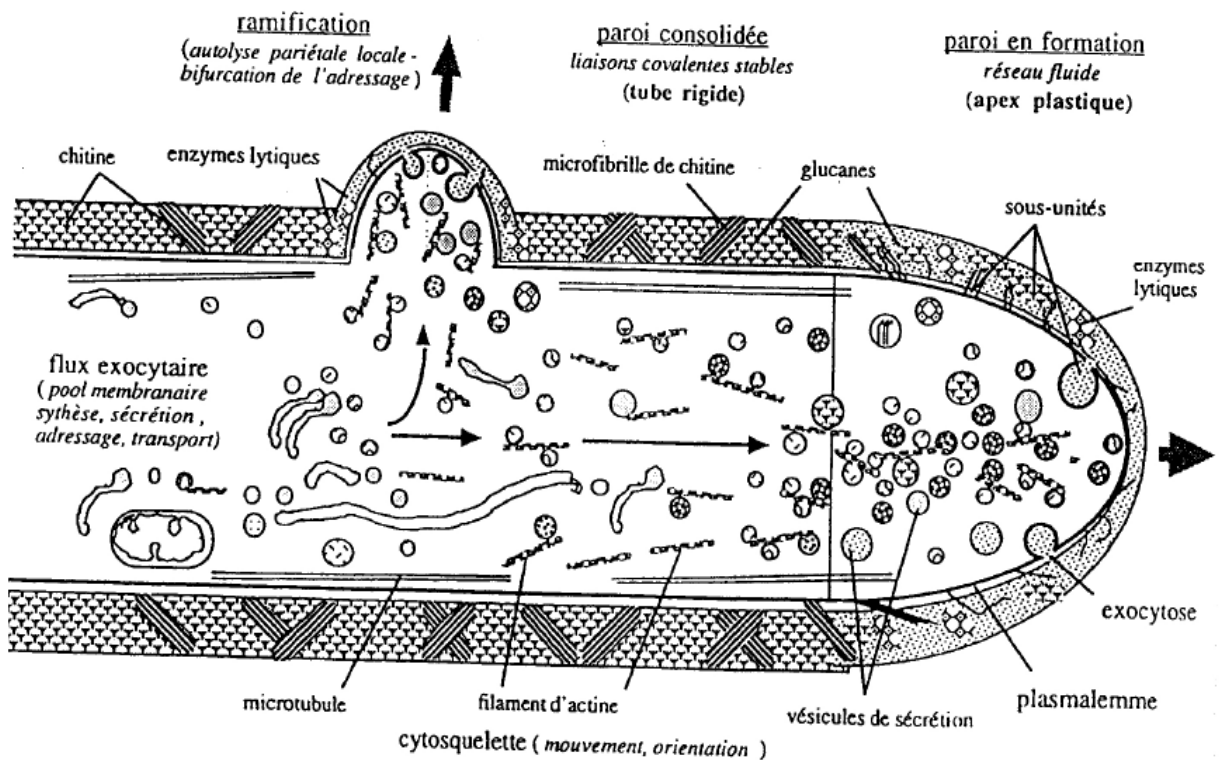
Mature wall

Extension zone



Ramification des filaments

- Nécessaire pour colonisation et 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 (modèle 1) puisque la ramification apparaît au travers d'une paroi rigide et mature.



Exemple de ramification chez *Neurospora crassa* et *Sclerotinia sclerotium*

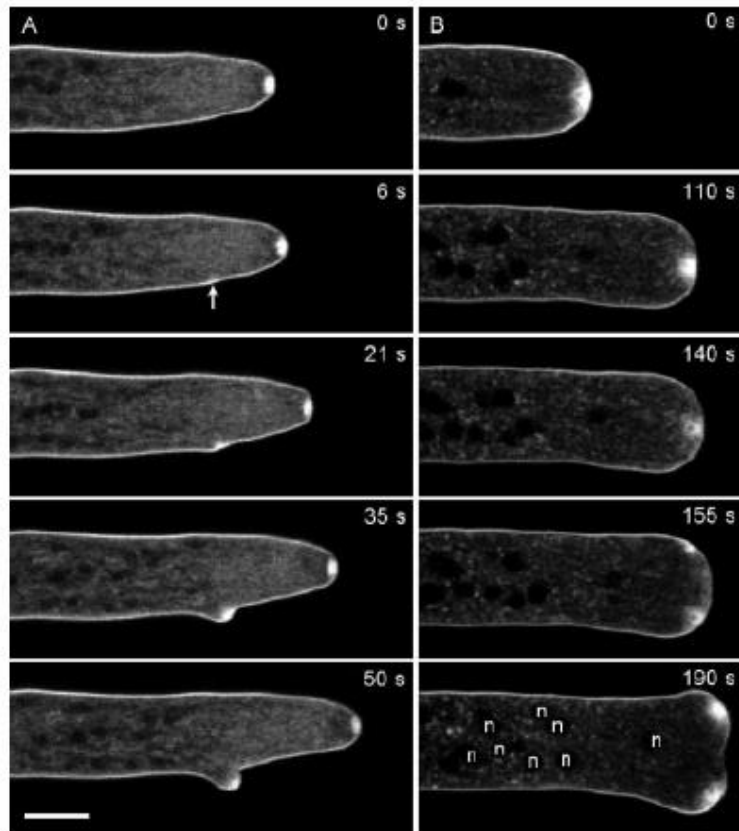
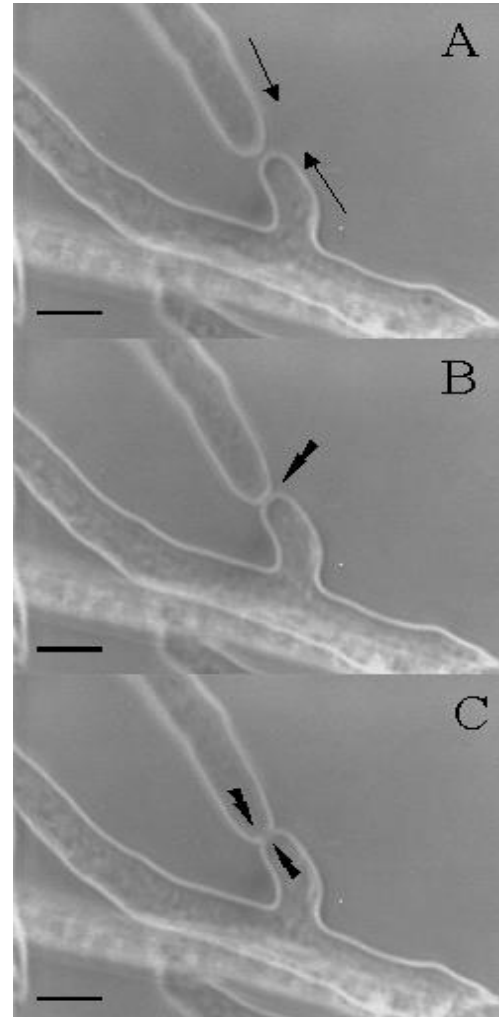
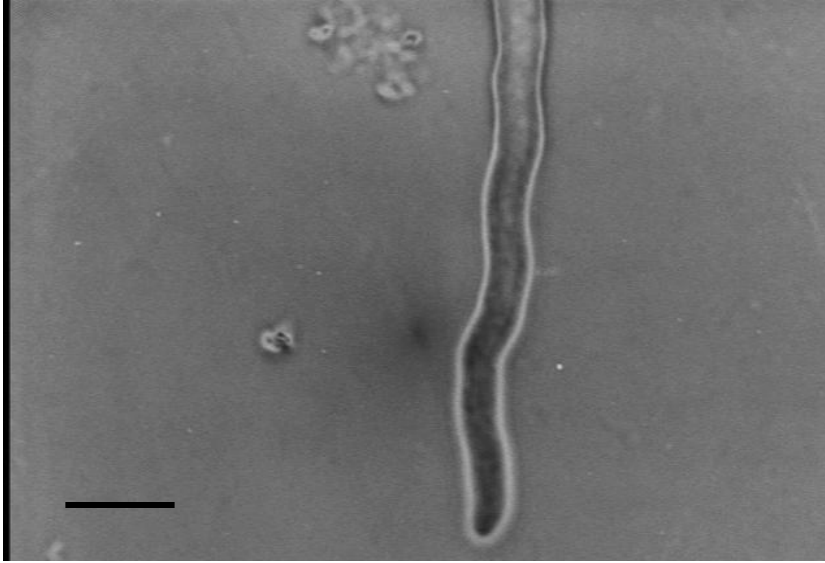


Figure 3.4. (A) *Neurospora crassa* hypha stained with FM4-64 showing sub-apical branch formation. Note the initiation of the Spitzenkörper beneath the plasma membrane (arrow) that has appeared just before the branch emerged. (B) *Sclerotinia sclerotium* hyphae stained with FM4-64 showing apical branching. Note the negatively stained nuclei (n) and less stained core region within the Spitzenkörper. Bars = 10 μ m.

3. Les anastomoses

Anastomose = fusion entre branches du même ou de différents hyphes abouti au développement de réseaux mycéliens denses.

Fréquent chez Asco, Basidio, Gloméro mais plus rare/absent chez les Zygo.



Rôles

- **Re-allocation d'éléments nutritifs dans le réseau**

Transport bi-directionnel nutriments – C

vacuoles tubulaires interconnectées

Coenocytique chez AM et septé chez ECM

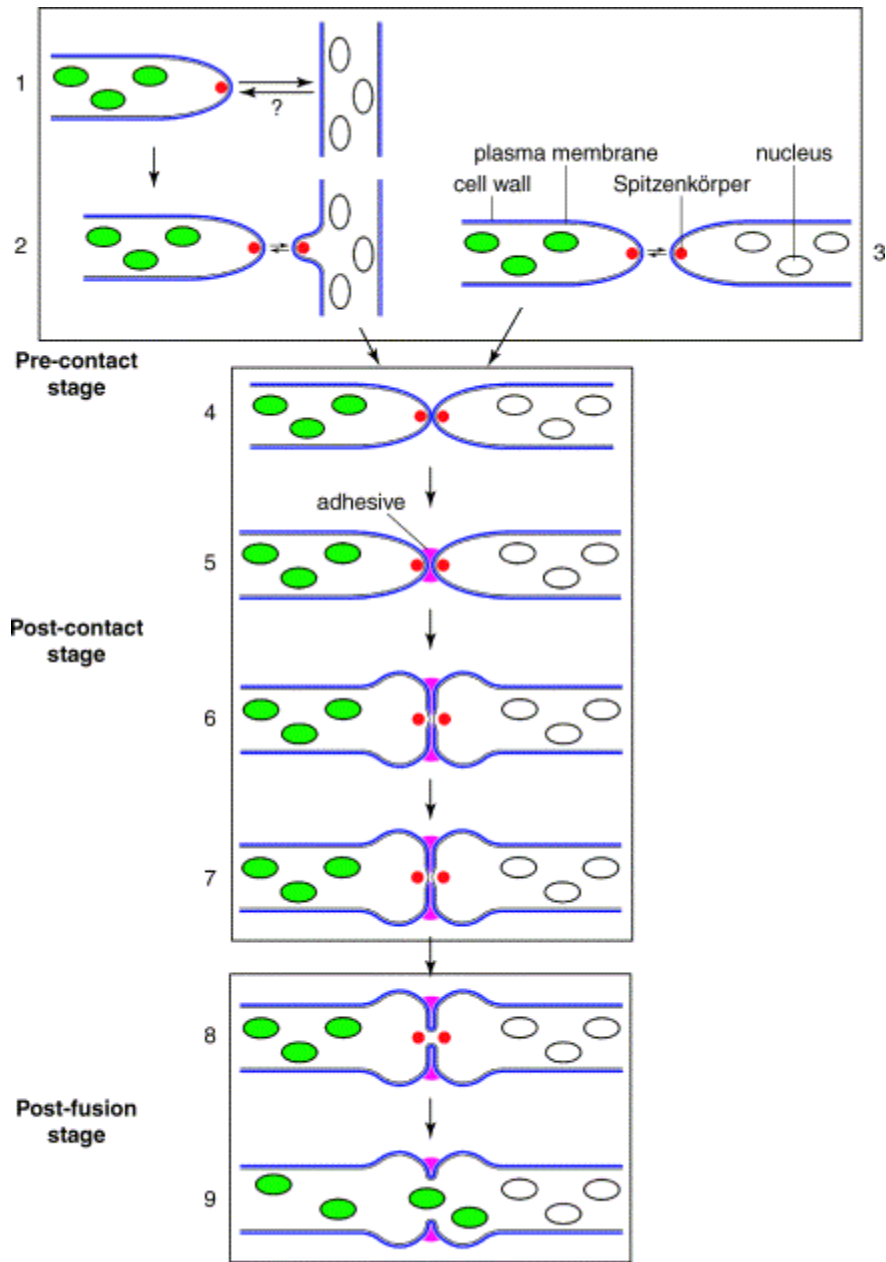
1. **Echange de matériel génétique**

Structure des populations et adaptabilité ?

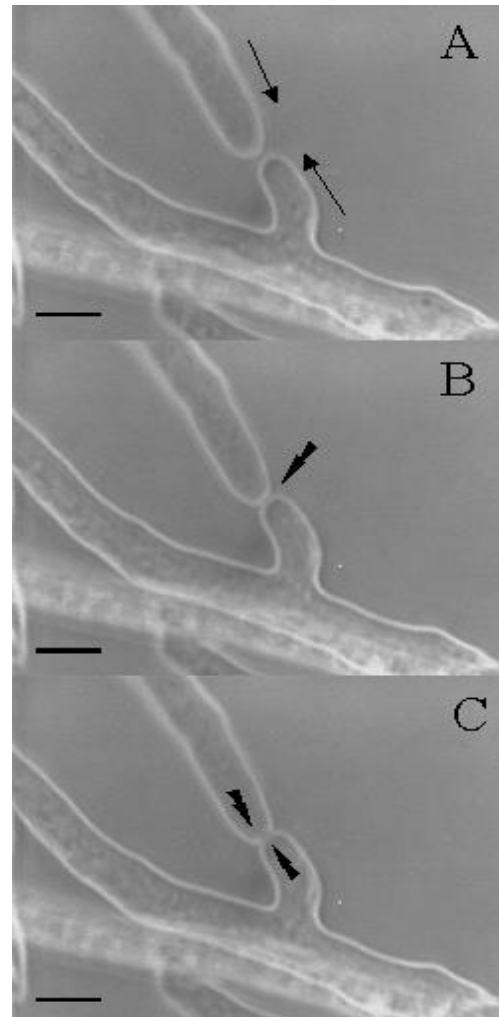
2. **Survie**

Rétraction du protoplasme et redirection du flux

Mécanisme



TRENDS in Microbiology



Somatogamie

- Fusion de cellules par anastomose (plasmogamie sans caryogamie)
 - Redistribution des ressources, translocation rapide des nutriments ...
- Self-fusion: anastomose entre hyphes qui proviennent de la même spore
- Non self fusion: anastomose entre hyphes qui proviennent de spores différentes
 - Mélange et migration des noyaux: mycélium génétiquement hétérogène.
 - Possibilité d'une invasion/remplacement d'un système génétique par un autre.
 - Permet au mycélium de s'adapter rapidement à de nouveaux environnements.
 - Peut représenter une coopération entre deux mycélia mais peut aussi résulter en l'extinction d'un génotype.

Mécanismes qui empêchent l'anastomose

- Pré-fusion rejection: incompatibilité mycélienne

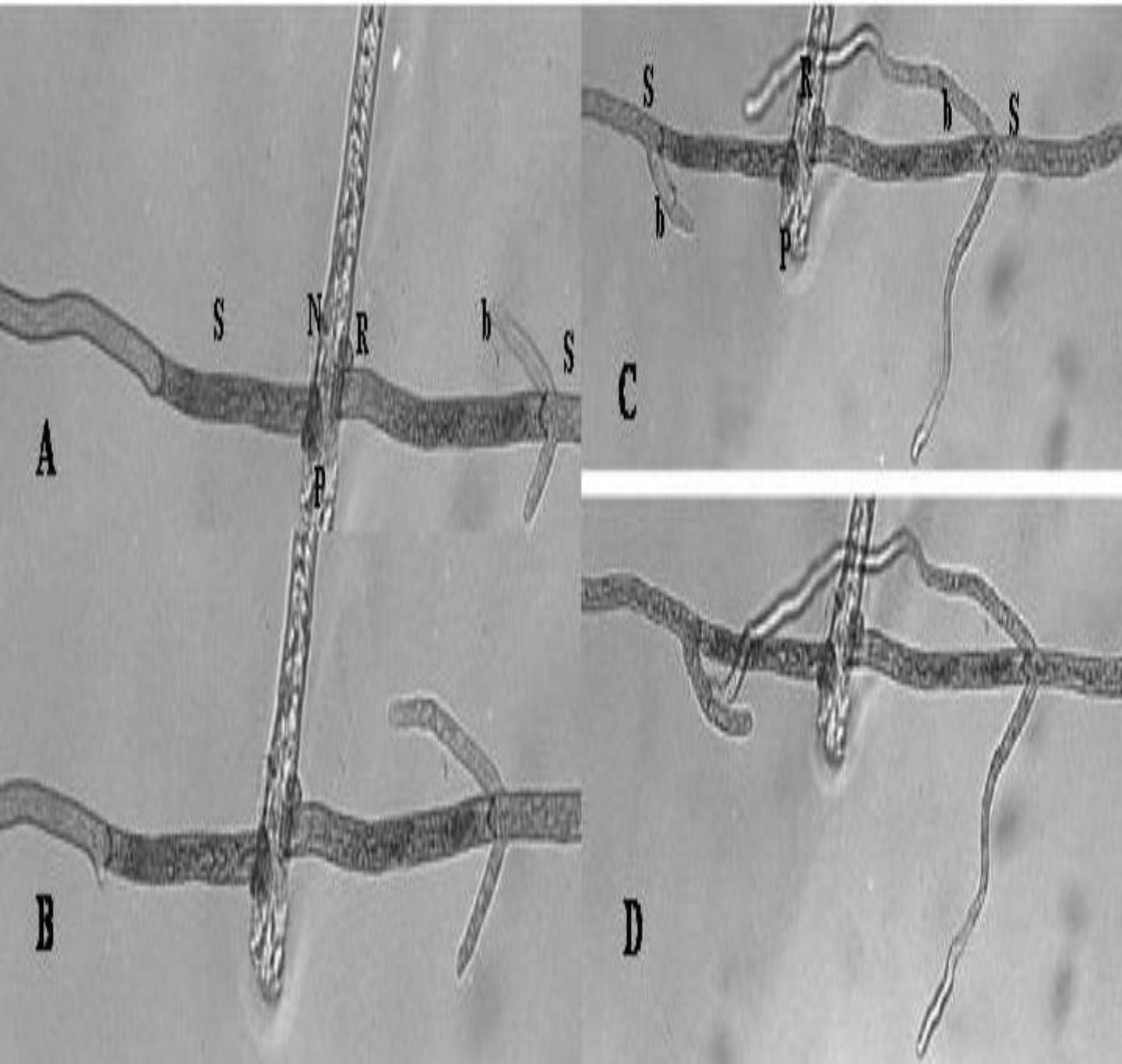


Zone de
démarcation entre
colonies d'une
même espèce

Post-fusion réjection: incompatibilité du cytoplasmes. Il en résulte la mort des cellules anastomosés et des hyphes adjacents.

Les mécanismes de réparation

- Exemple des Gloméromycètes

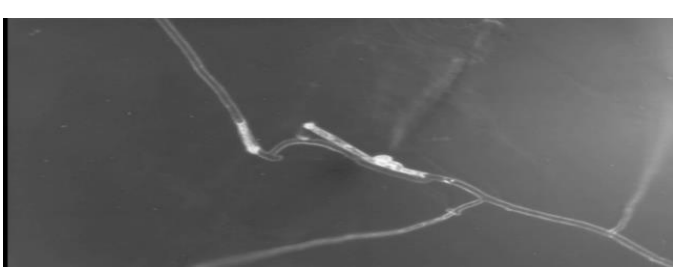
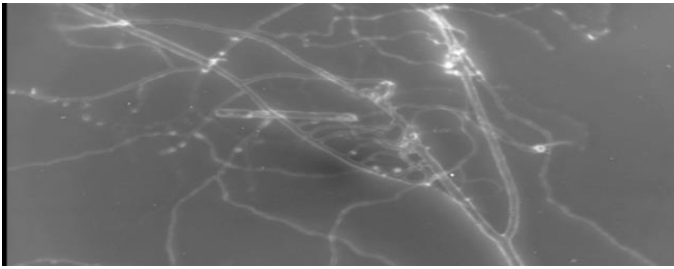
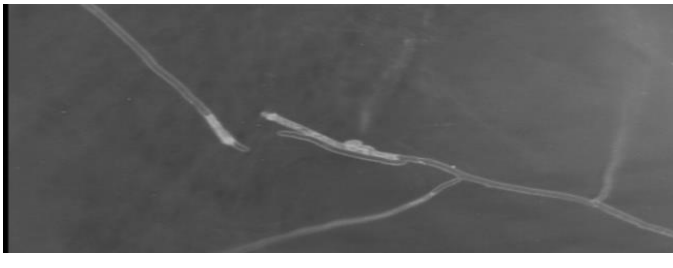
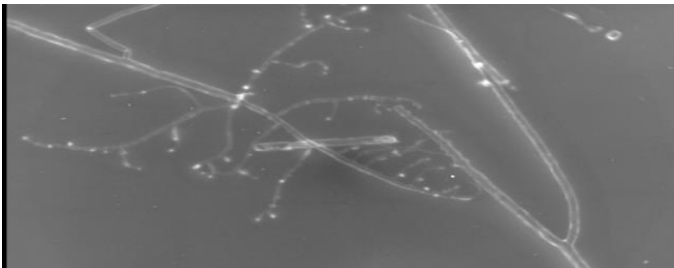
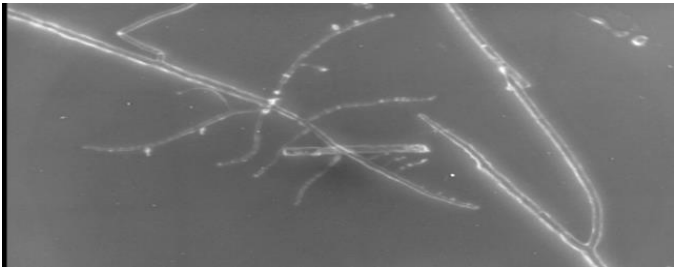
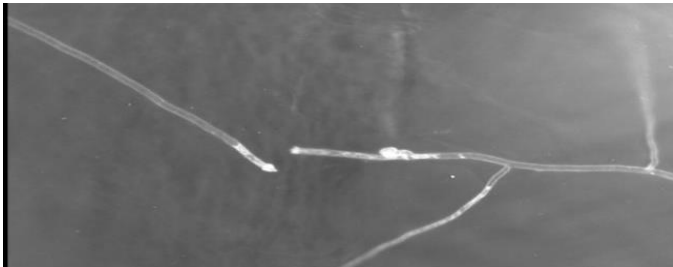
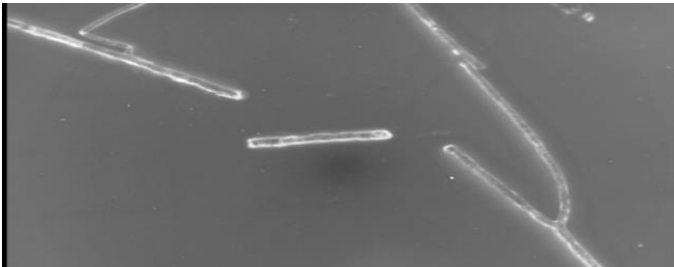


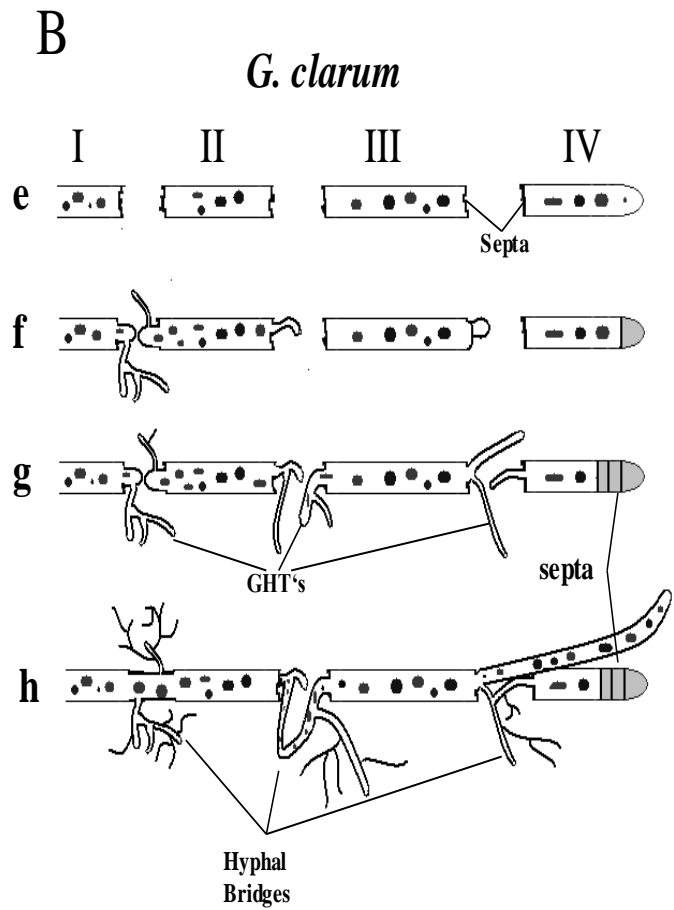
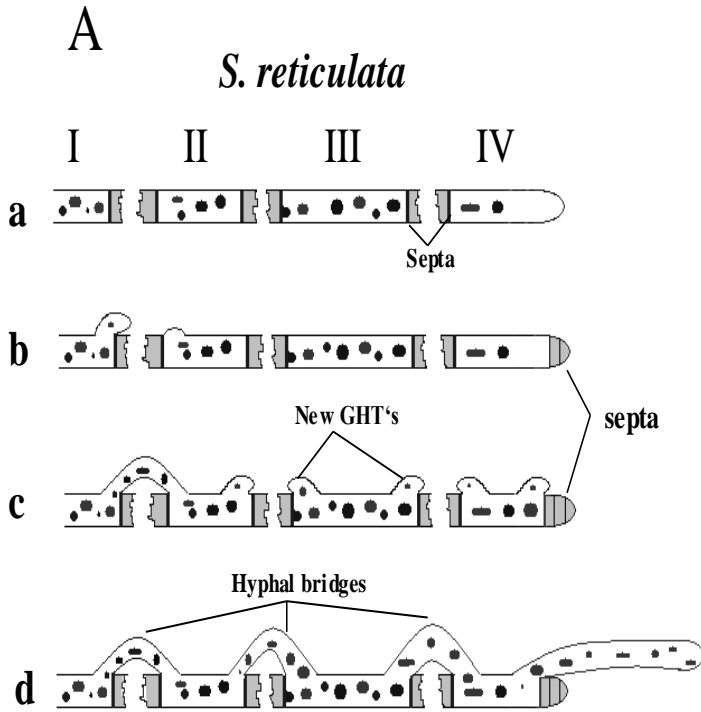
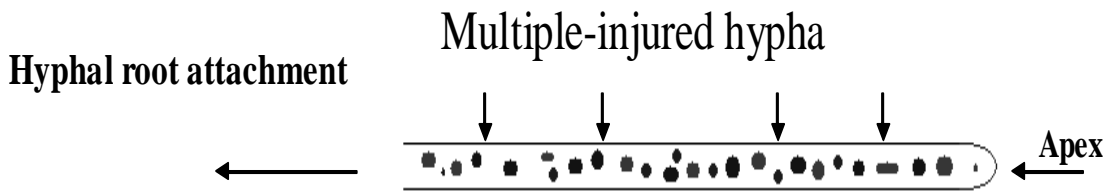


Comparaison *Glomus* - *Gigaspora* et *Scutellospora*

Glomus

Gigaspora – *Scutellospora*







6. Comment distinguer les Ascomycètes, Basidiomycètes, Zygomycètes et Gloméromycètes sur base des hyphes

Basidiomycetes:

Si clamp connections

Si septum entre cellules avec présence de dolipores

Ascomycetes:

Si grains de Woronin

Zygomycetes, Gloméromycetes:

Si présence de multiples noyaux: (>2)

Si longs hyphes avec peu/pas de septa, peu de ramifications, absence d'anastomoses, multiples noyaux: Probablement Zygomycètes

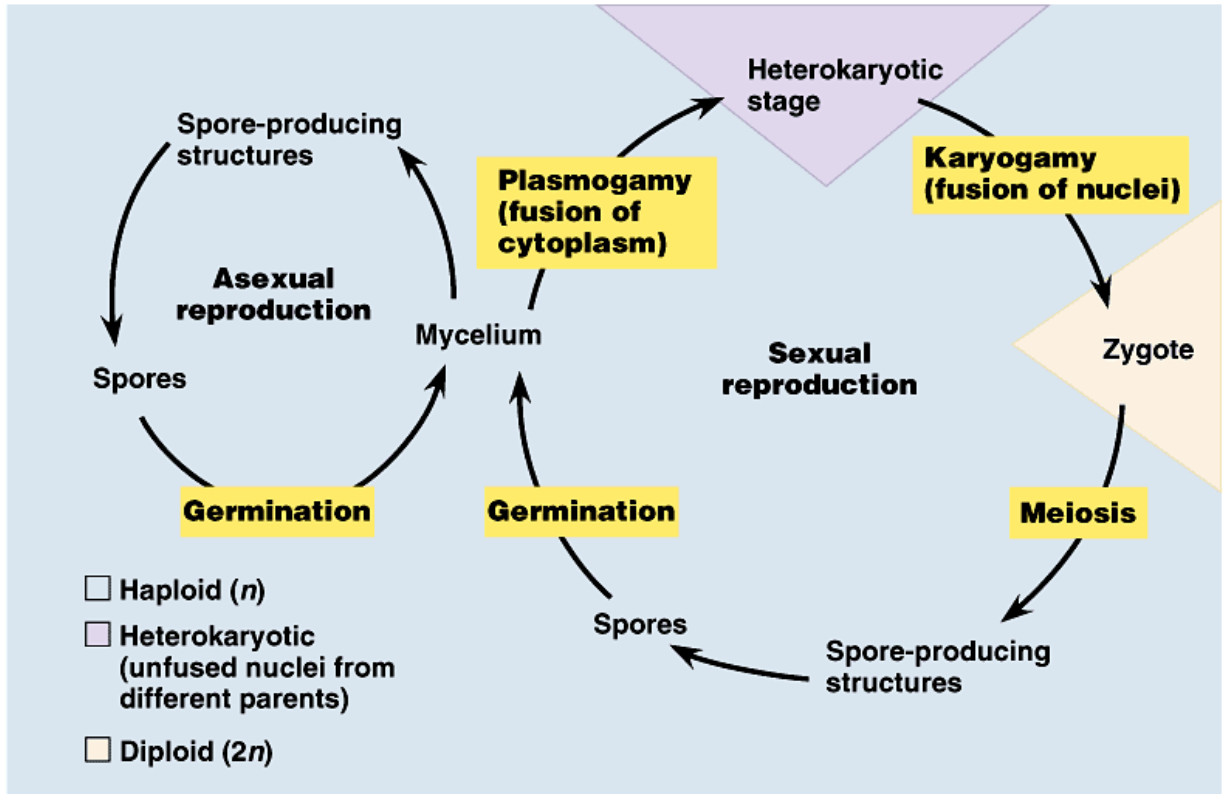
Si longs hyphes avec absence de septa, peu de ramifications, présence d'anastomoses et de BAS, multiples noyaux: Probablement Gloméromycètes

6

La sexualité chez les champignons

1. Rappel cycle de vie

- Simple à complexe avec alternance de phase haploïde et diploïde si la méiose (sexualité) est connue.



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Anamorphe = forme asexuée de fructification – stade asexué

Mitospore = spore formée au cours de la reproduction asexuée (mitose)

Téléomorphe : forme sexuée de fructification – stade sexué

Meiospore = spore formée au cours de la reproduction sexuée (meiose)

Holomorphe = champignon entier

2. Reproduction asexuée

Les champignons produisent deux types de spores asexuées:

1. Les sporangiospores

- Endogène: formées et contenues à l'intérieur d'une enveloppe portée par un filament mycélien
- Caractéristique des Chytridiomycètes, Oomycètes, Hyphochytridiomycètes, Zygomycètes.
- Deux types principaux:
 - Zoospore (mobile)
 - Aplanospore (immobile)

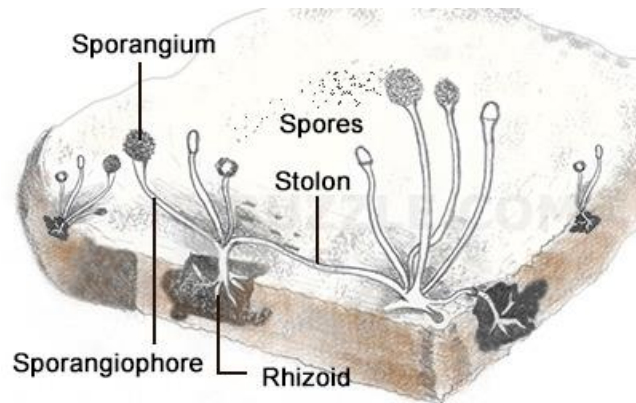
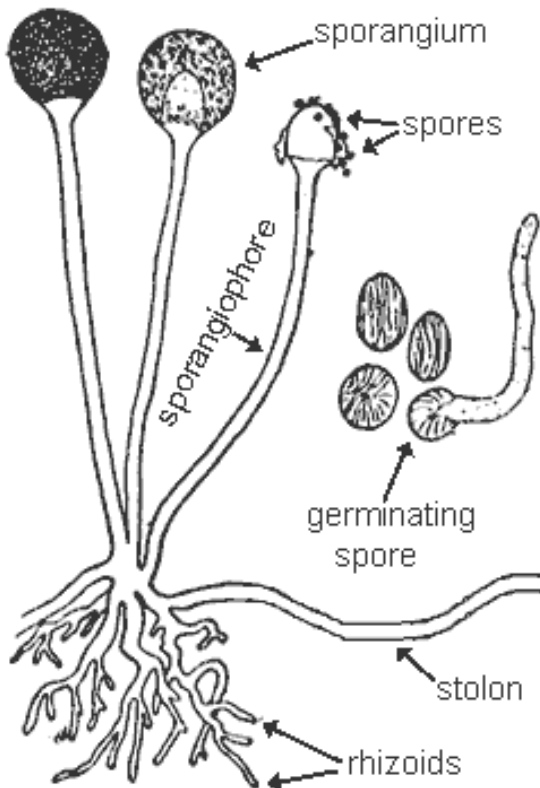


Illustration by Snehal Motkar

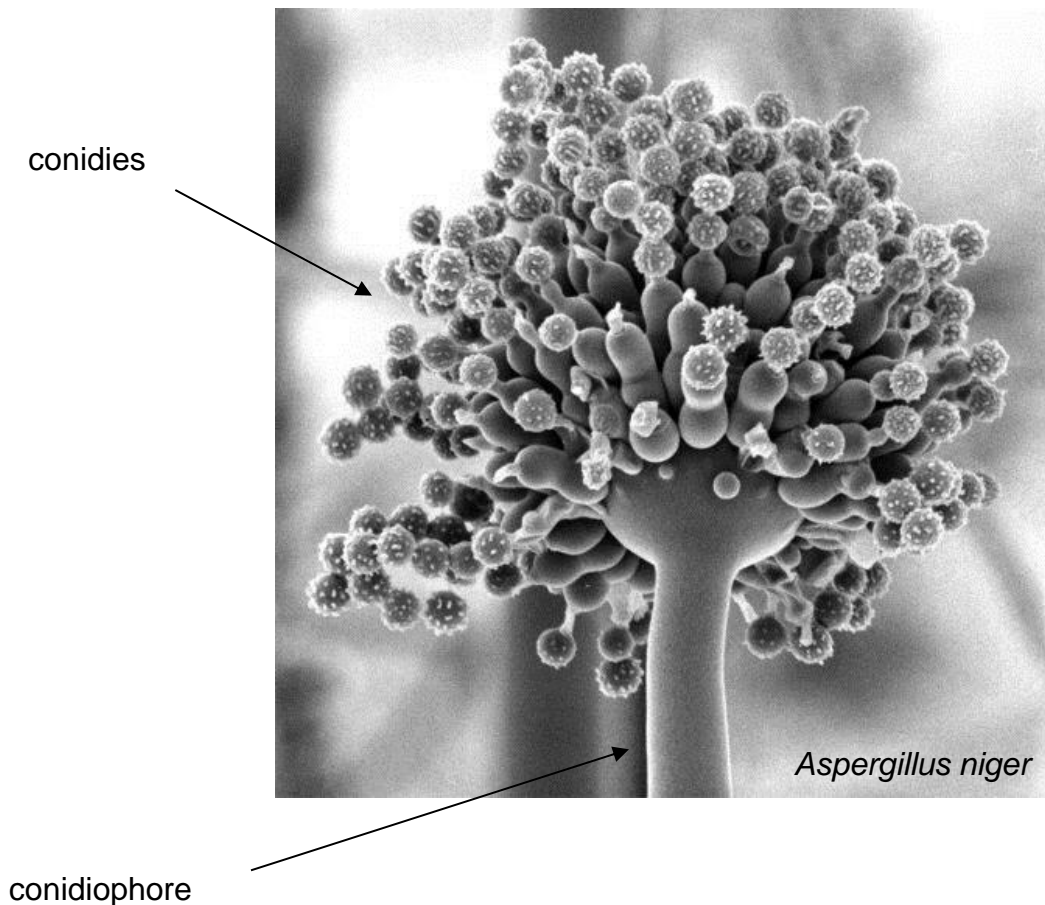


Rhizopus



2. Les conidies

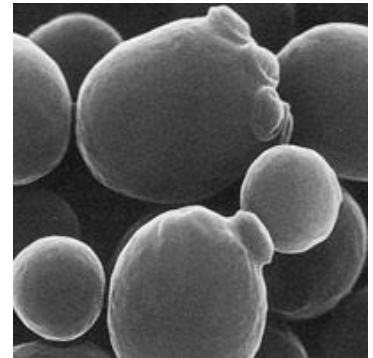
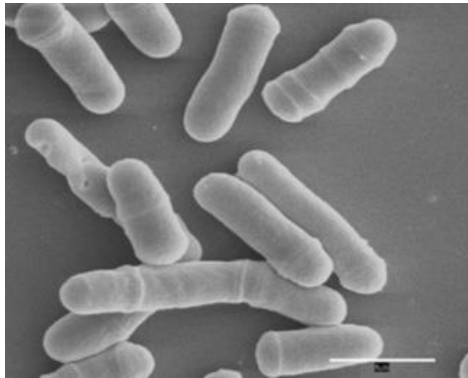
- Exogène: formées et émises successivement à l'extérieur du mycélium qui leur a donné naissance - fréquemment à l'apex d'un hyphes appelé conidiophore.
- Caractéristique des champignons mitosporiques et appartenant aux Ascomycètes et Basidiomycètes
- Deux types principaux:
 - Thallique
 - Blastique



Le cas des levures

- Unicellulaire possédant un seul noyau par cellule, existant dans de nombreux groupes de champignons.
- Se distinguent par leur mode de division cellulaire
- **Bourgeonnement**
 - Le plus fréquent
 - La cellule mère produit un bourgeon (blastoconidie), qui va se séparer après formation d'une cloison (septum) et donner naissance à une cellule fille.

Schizosaccharomyces pombe



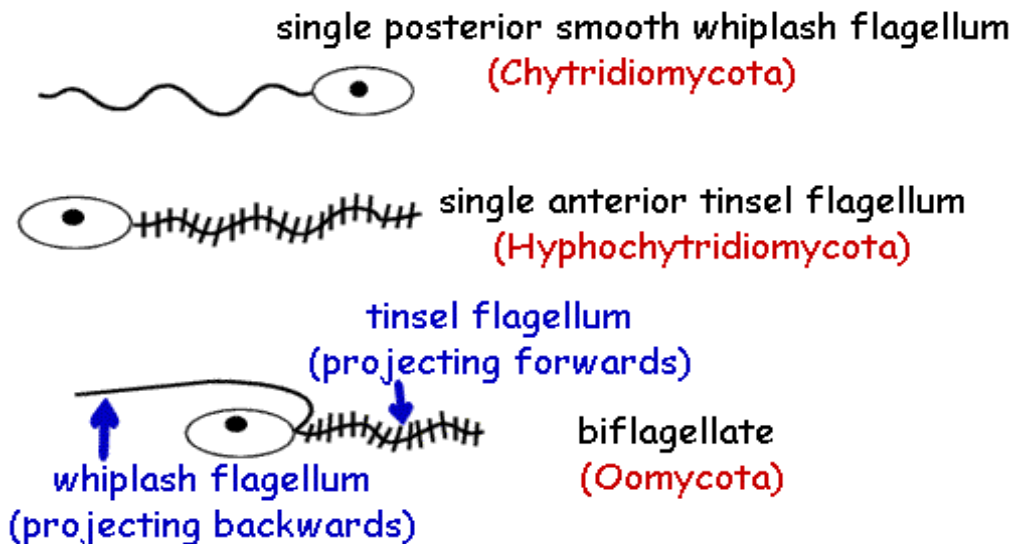
- **Fission**
 - Beaucoup plus rare
 - La cellule s'allonge, et se divise par le milieu après formation d'un septum qui donnera naissance à deux cellules filles.
- Certaines levures peuvent présenter une **étape filamenteuse** au cours de leur cycle de multiplication ou selon leur condition de vie (*Candida albicans*).

Oomycètes, Chytridiomycètes, Hyphochytridiomycètes

- Produisent des sporangiospores = spores produites dans un sporange (organe qui enferme des **spores endogènes** – les parois des spores ne dérivent pas de l'organe).
- Deux types principaux:
 - Zoospore (mobile)
 - Aplanospore (immobile)

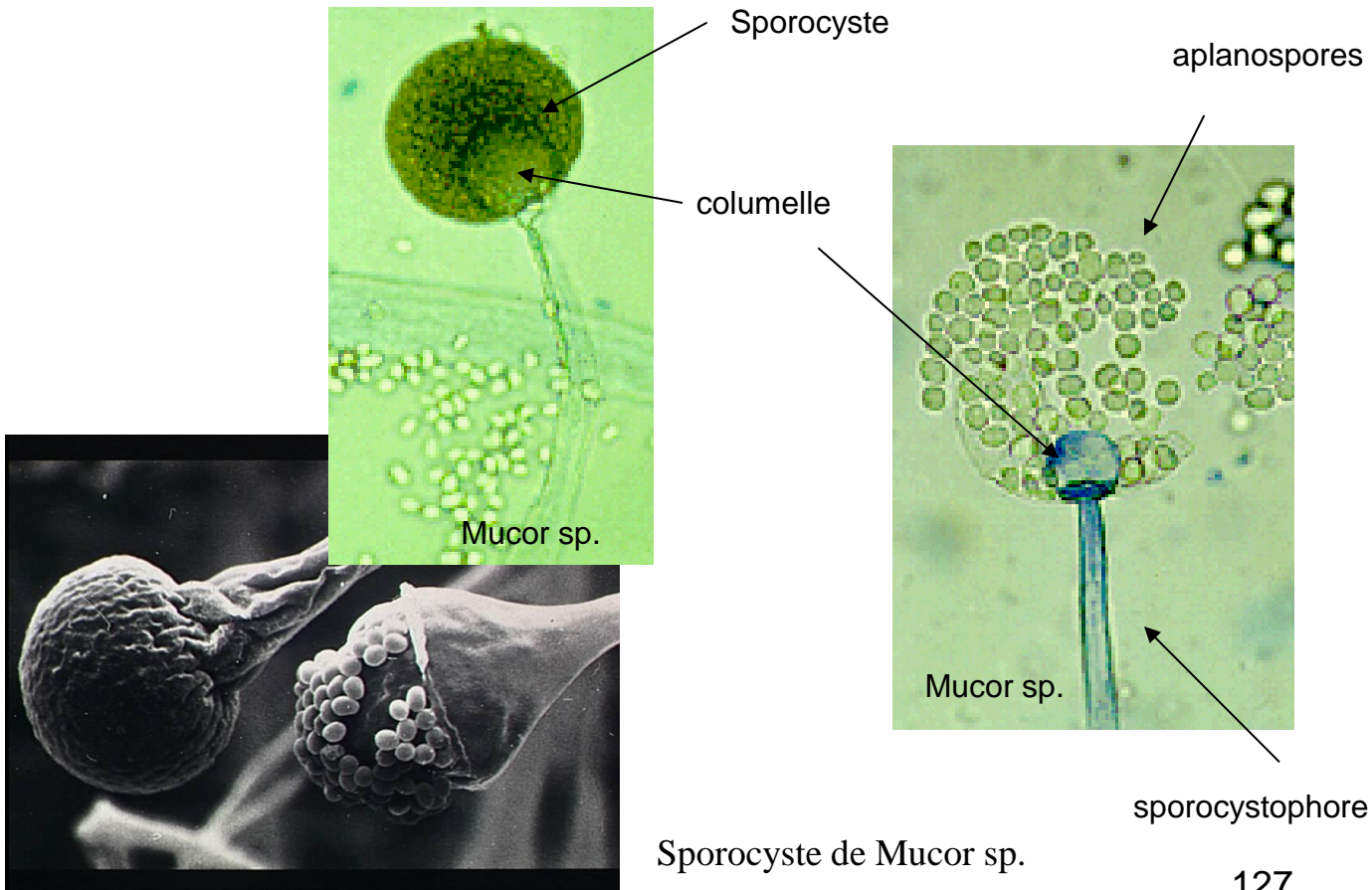
Zoospores:

- sporangiospore mobile. Formées dans un zoosporange
- Besoin d'un environnement aqueux durant certains stades de leur cycle de vie
- Trois types de zoospores



Zygomycètes

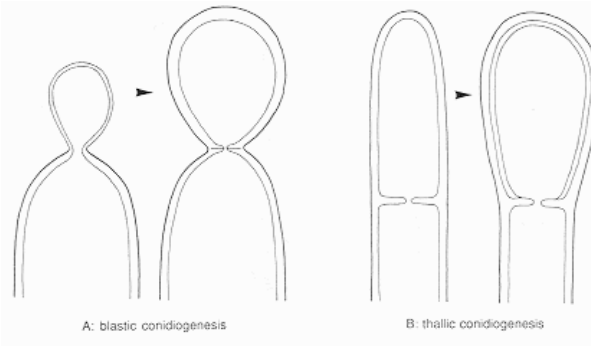
- Thalle non cloisonné
- Jamais de zoospores mobiles.
- Endospores.
- Un filament mycélien (**sporocystosphore**) se dresse à partir du mycélium végétatif et son extrémité se renfle pour former le **sporocyste** (ou sporange).
- Une spore unique (Entomophthorales) ou un grand nombre de spores (Mucorales) sont produites au sein du sporocyste et est/sont libérée(s) après rupture de la paroi du sporocyste. Ces endospores germent en donnant directement naissance à un mycélium.



Sporocyste de Mucor sp.

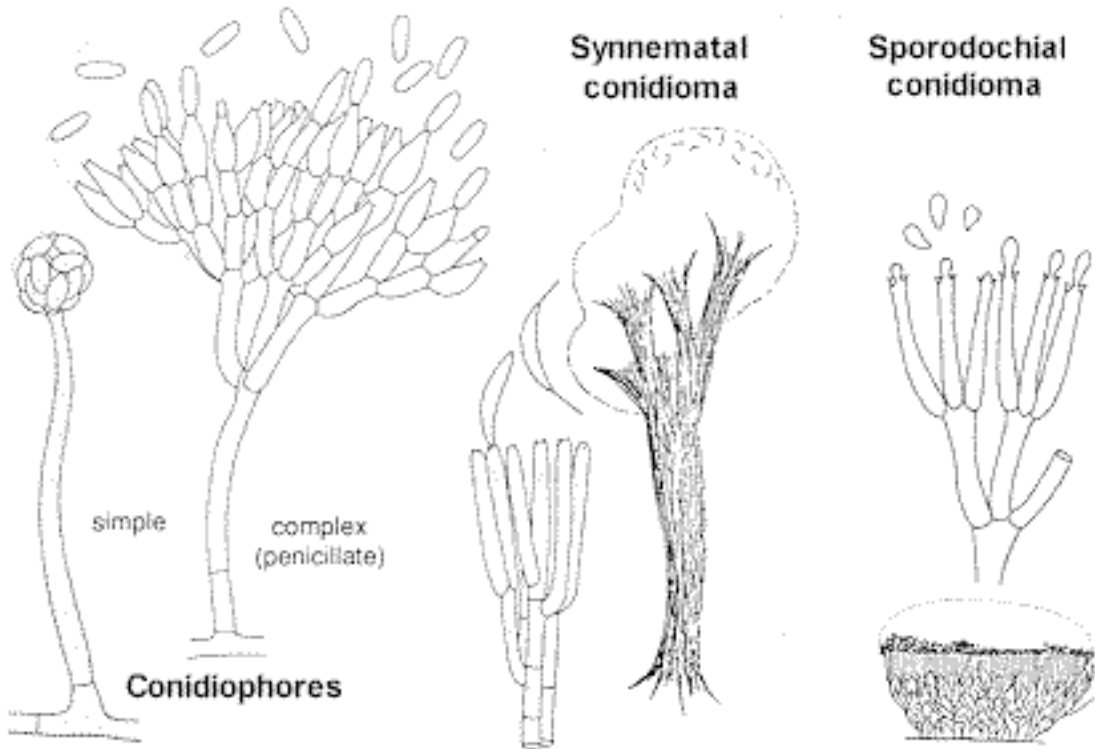
Ascomycètes et Basidiomycètes

- S'effectue par l'intermédiaire de spores exogènes (ou **conidies**).
- Les critères de classification reposent essentiellement sur le mode de fonctionnement des cellules conidiogènes. Celles-ci sont portées par le **conidiophore**
- Deux modes de conidiogénèse sont reconnus
 - le **mode blastique**: la conidie prend naissance (bourgeoisement) à partir d'une cellule conidiogène et s'en individualise (**blastoconidie**) par formation d'une cloison
 - Reconnaissable avant la séparation par une paroi
 - le **mode thallique**: un filament, qui cesse de s'accroître, se cloisonne de façon répétée pour individualiser les conidies (**thalloconidie**).
 - Paroi présente avant différenciation de la conidie



Hyphomycetes

- Conidies portées par un conidiophore **simple** (isolé) ou **complexe**
- agrégé sur un conidiomata exposé (non enfermé) **conidiomata exposé**



Periconia



Gangliostilbe

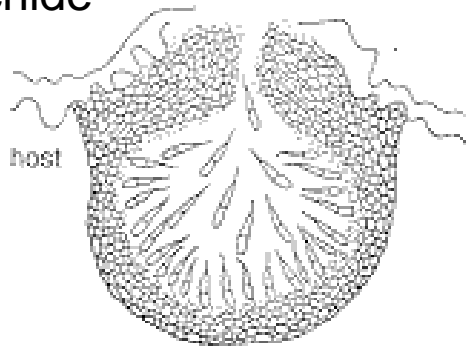


Trimmatostroma salicis

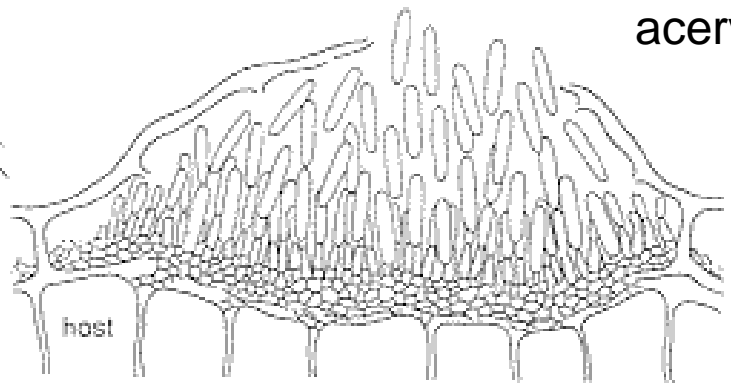
- **Coelomycetes**

- Conidies formées dans un **conidiomata enfermé**
 - en dessous de la surface du végétal
 - Dans les profondeurs du cortex

pycnide

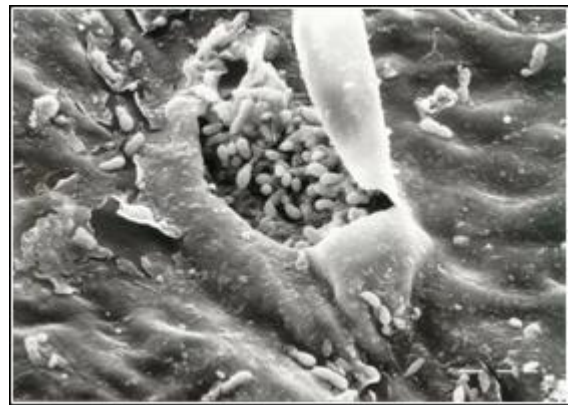


acervule

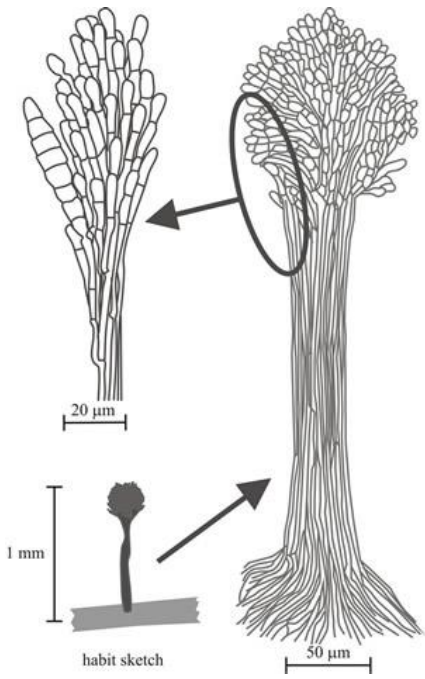


Exemple acervule: soit subcuticulaire (uniquement recouvert de la cuticule de l'hôte).

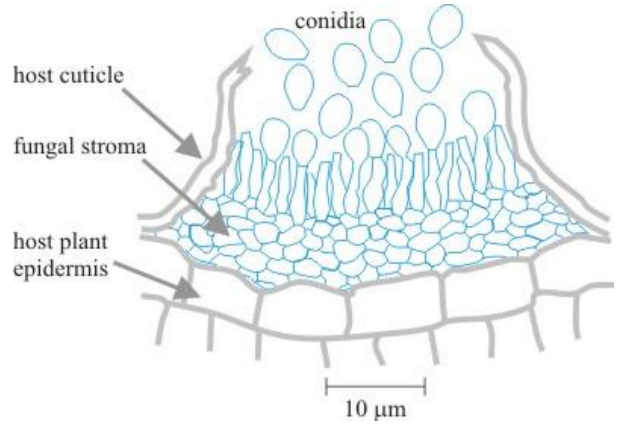
Peut aussi être intra-épidermal (dans les cellules de l'épiderme) ou se développer dans les profondeurs des tissus.



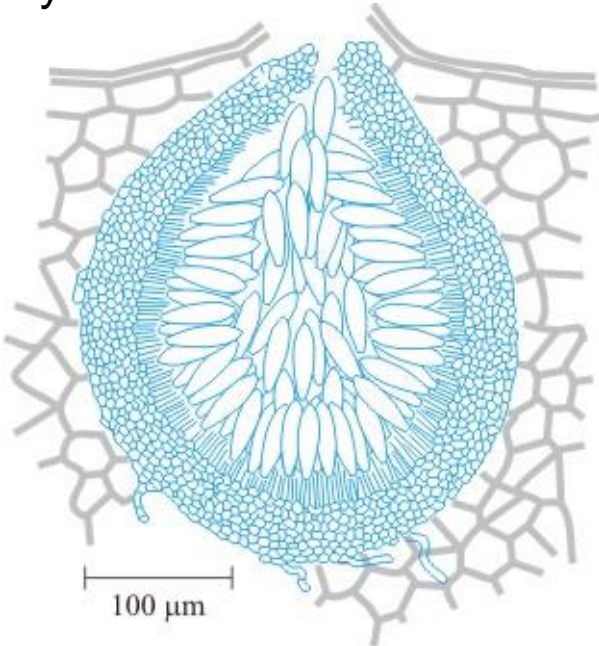
synnemata



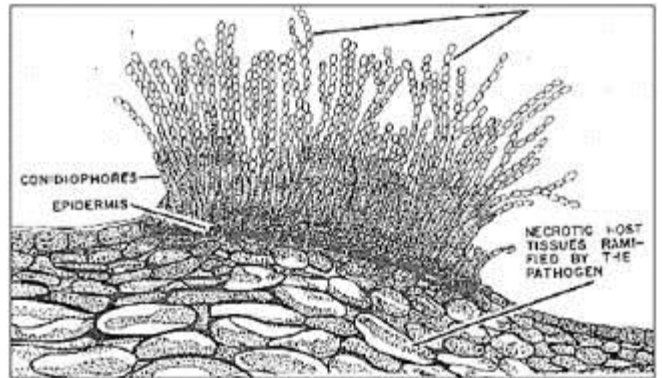
Acervule



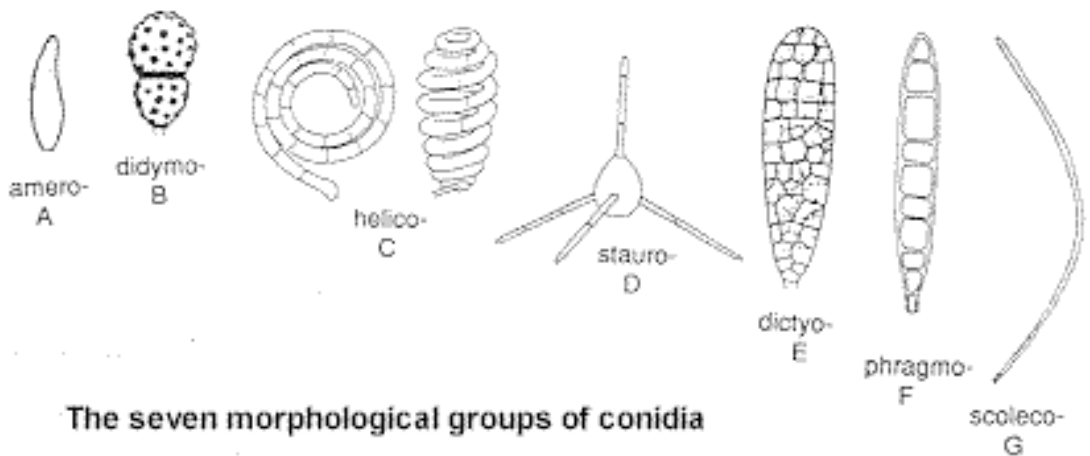
Pycnide



Sporodochium



- Types de spores (7 catégories)
 - Amérospores : simple cellule
 - Didymospore : si présence d'un septum unique
 - Hélicospore : conidie incurvée (plus qu'un demi—cercle) ou enroulé en 2-3 dimension
 - Staurospore : conidie avec plusieurs branches
 - Dictyospore : septa dans plusieurs directions pour former un réseau
 - Phragmospore : deux ou plusieurs septa transversaux (comme les barreaux d'une échelle)
 - Scolecospore : conidies longues et fines (15 fois plus longues que large) (forme de vers)

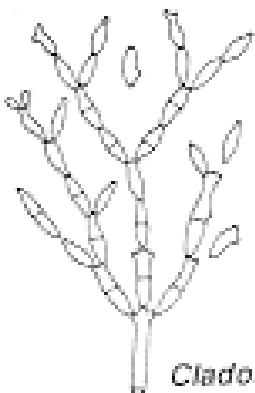


Types de conidie blastique

Type I blastique-acropétal ou blastique-synchronisé

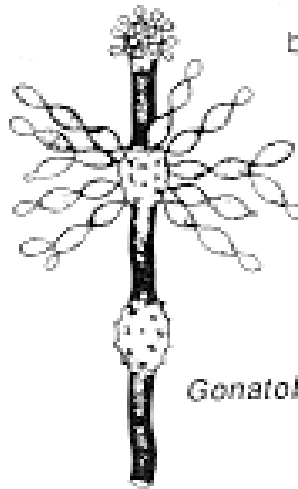
- La plus jeune conidie se situe à l'apex de la chaîne.
- La chaîne se ramifie lorsque deux bourgeons plutôt qu'un se développent sur une conidie terminale (on appelle cette dernière conidie ramoconidium).

blastic-acropetal

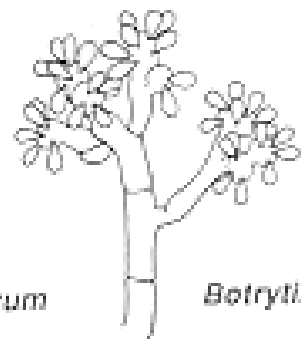


Cladosporium

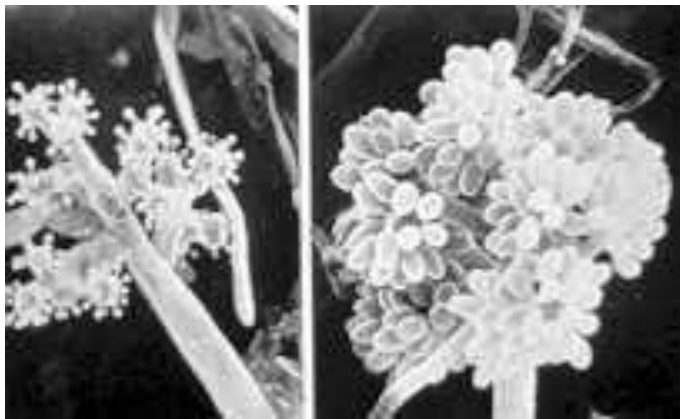
blastic-synchronous



Gonatobotryum



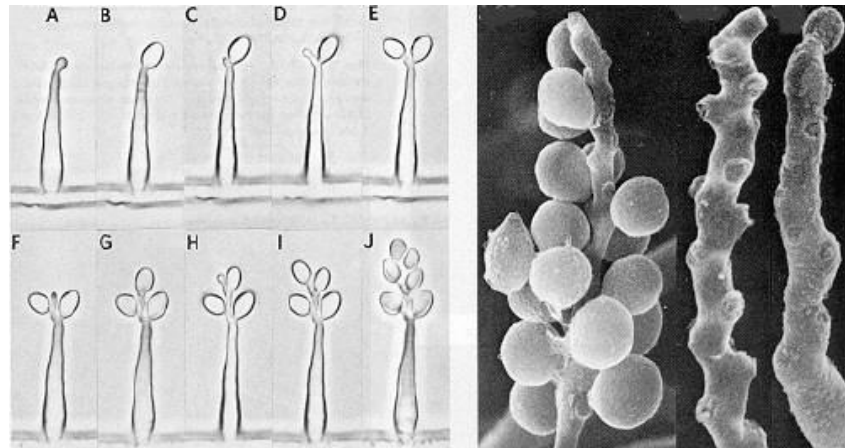
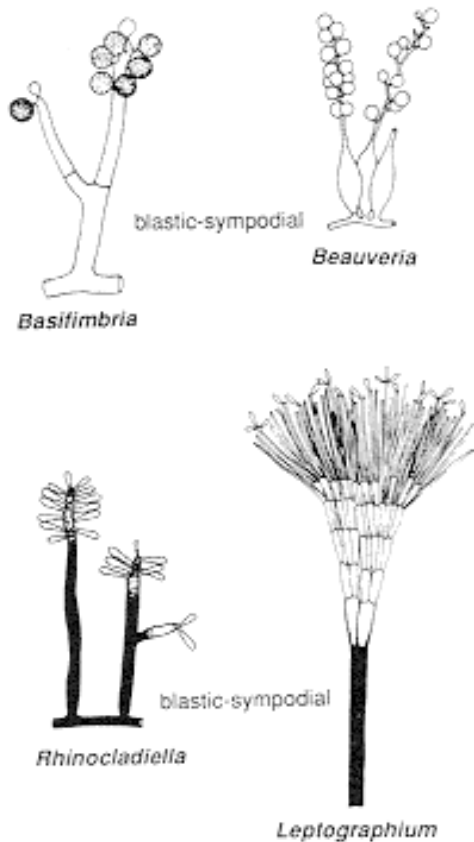
Botrytis



Botrytis

Type II blastique-sympodial

- L'apex de la cellule conidiogène s'étend de manière sympodiale
- Chaque nouvel apex se transforme en nouvelle conidie blastique. Le nouvel apex se développe en arrière et sur le côté
- Au plus de conidies sont produites, au plus la cellule conidiogène s'allonge



Séquence d'élongation sympodiale de cellules conidiogènes, avec formation continue de conidies (Photo Cole and Samson 1979)

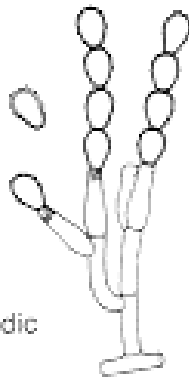
Type III blastique-annéllidique, blastique-percurrent

- Chaque nouvelle conidie laisse une cicatrice (anneau) au niveau de la cellule conidiogène qui pousse au travers (percurrently) pour former une nouvelle conidie
- Les cellules conidiogènes qui ont produit x conidies ont y cicatrices annulaires



Spilocaea

blastic-annellidic

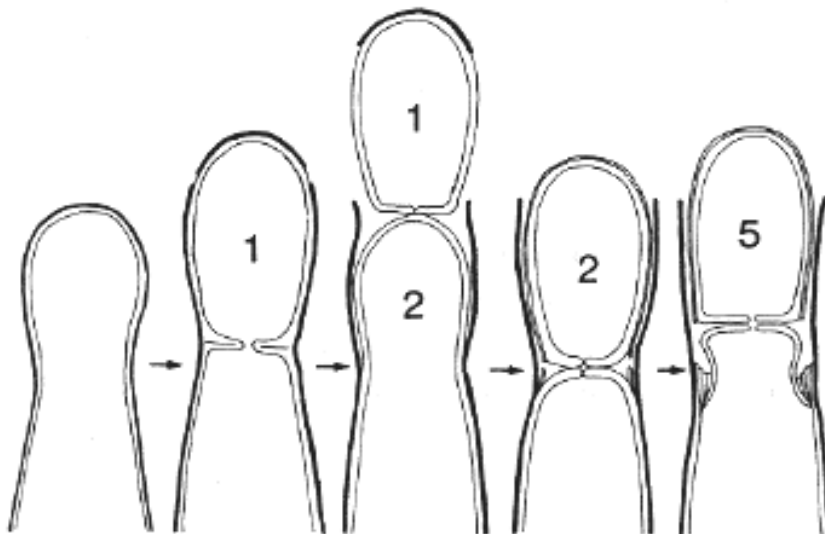
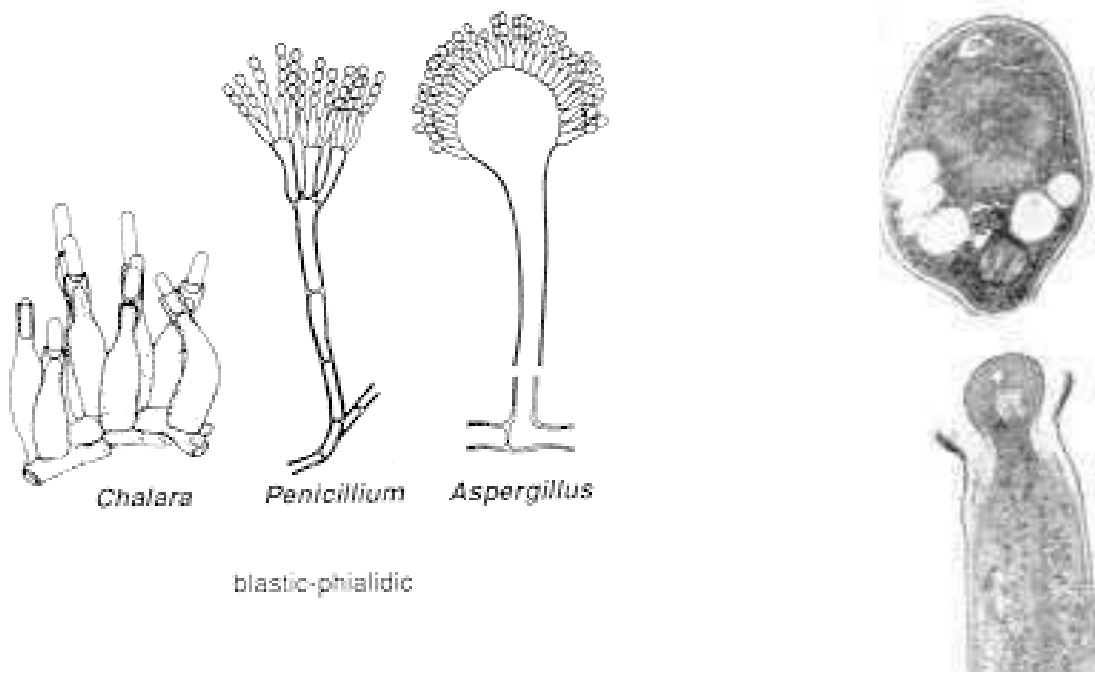


Scopulariopsis



Type IV blastique-phialidique

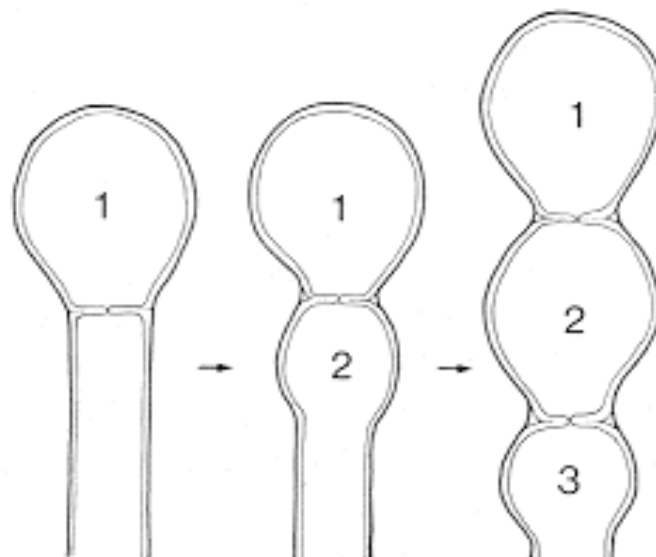
- Conidies produites de manière basipétale sur des cellules conidiogènes appelées phialides



blastic-phialidic development

Type V blastique-rétrogressif

- Une conidie se forme à l'apex de l'hyphe conidiogène et est délimitée par un septum.
- Une zone de l'hyphe juste en-dessous de la conidie se développe en une nouvelle conidie, la seconde conidie.
- formation d'un nouveau septum et d'une nouvelle conidie etc.
- Au fur et à mesure que la chaîne de conidie s'allonge, la taille de l'hyphe conidiogène diminue.



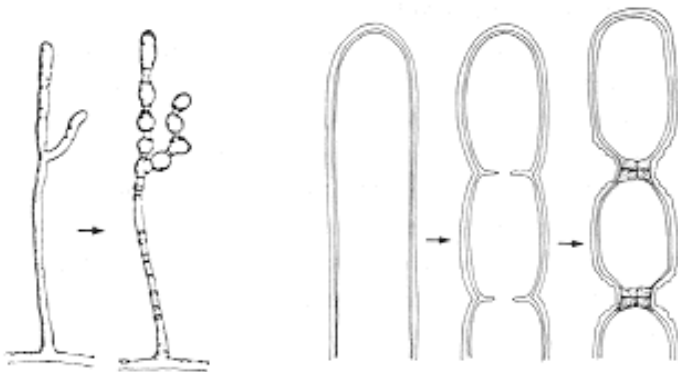
blastic-retrogressive development

Types de conidie thallique

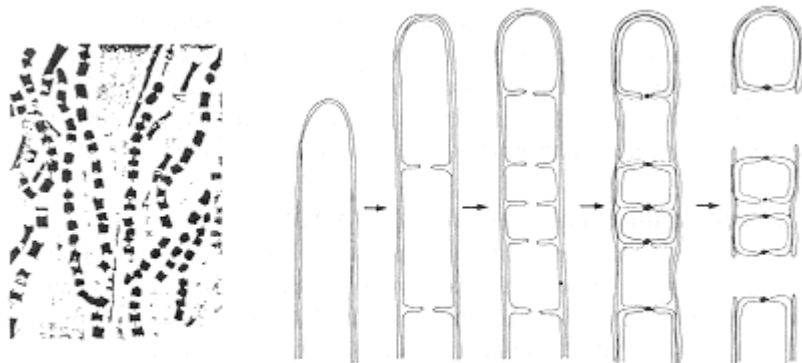
- un filament, cesse de s'accroître, se cloisonne de façon répétée pour individualiser les conidies (thalloconidie).
- Se développe par septation et fragmentation d'un hyphe
- Peut se développer à l'apex d'un hyphe ou en position intercalaire
- Dans les deux cas, toutes les couches de la paroi sont impliquées dans la formation de la spore

Type I thallic arthrique (Arthrospore)

- fragmentation progressive du filament en conidies alignées
- Formé par septation et fragmentation d'un hyphe existant
- Tous les éléments de l'hyphe deviennent la conidie
- Chaque fragment est achevé et libéré successivement
- La libération est lié à la cassure de la région centrale de chaque septum



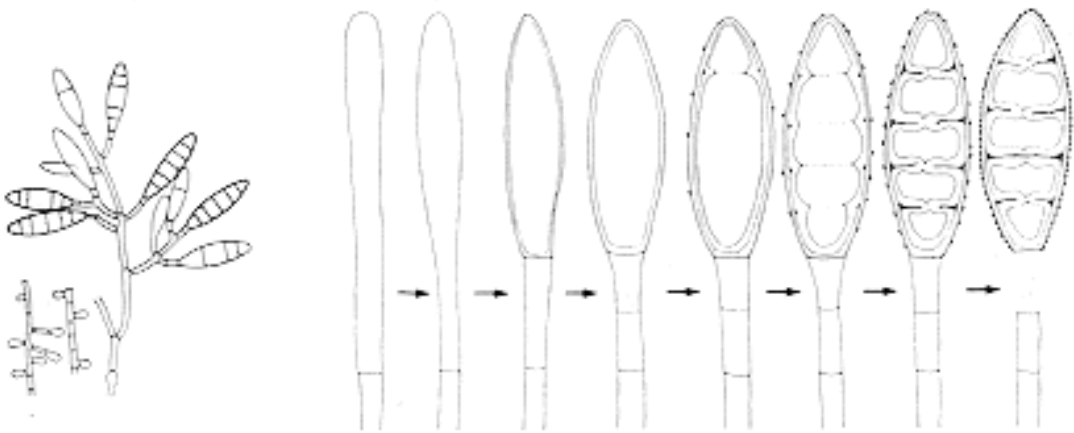
Oidiodendron — thallic-arthric



Coremiella — alternate-arthric

Type II thallic solitaire (aleuriospore)

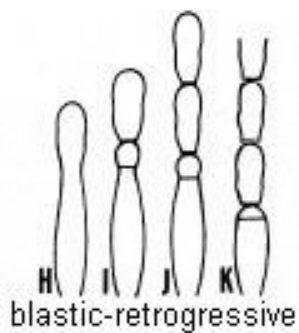
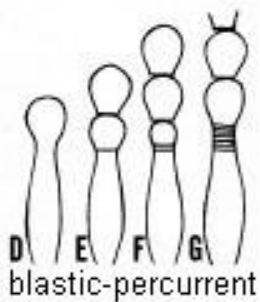
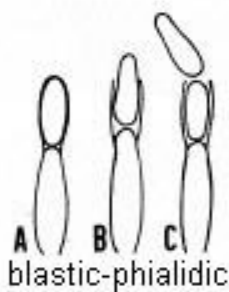
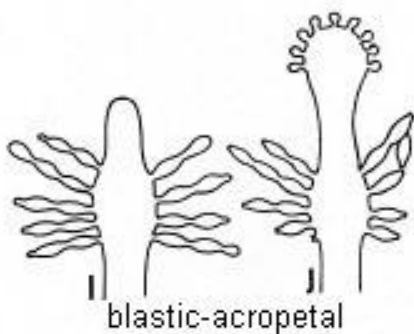
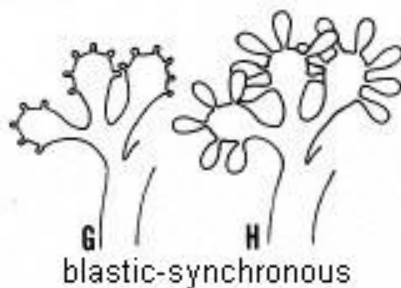
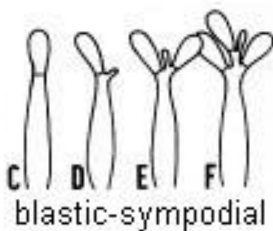
- Développement de thalles phragmospores de grande taille à l'extrémité de l'hyphe



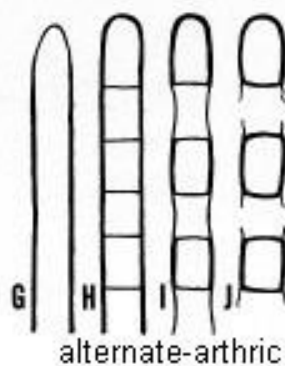
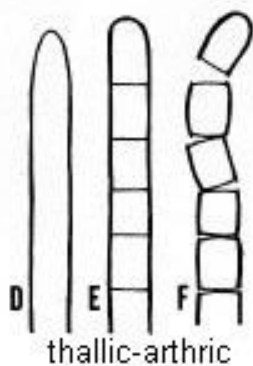
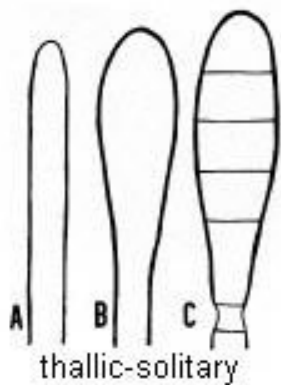
Microsporium — thallic-solitary

Résumé

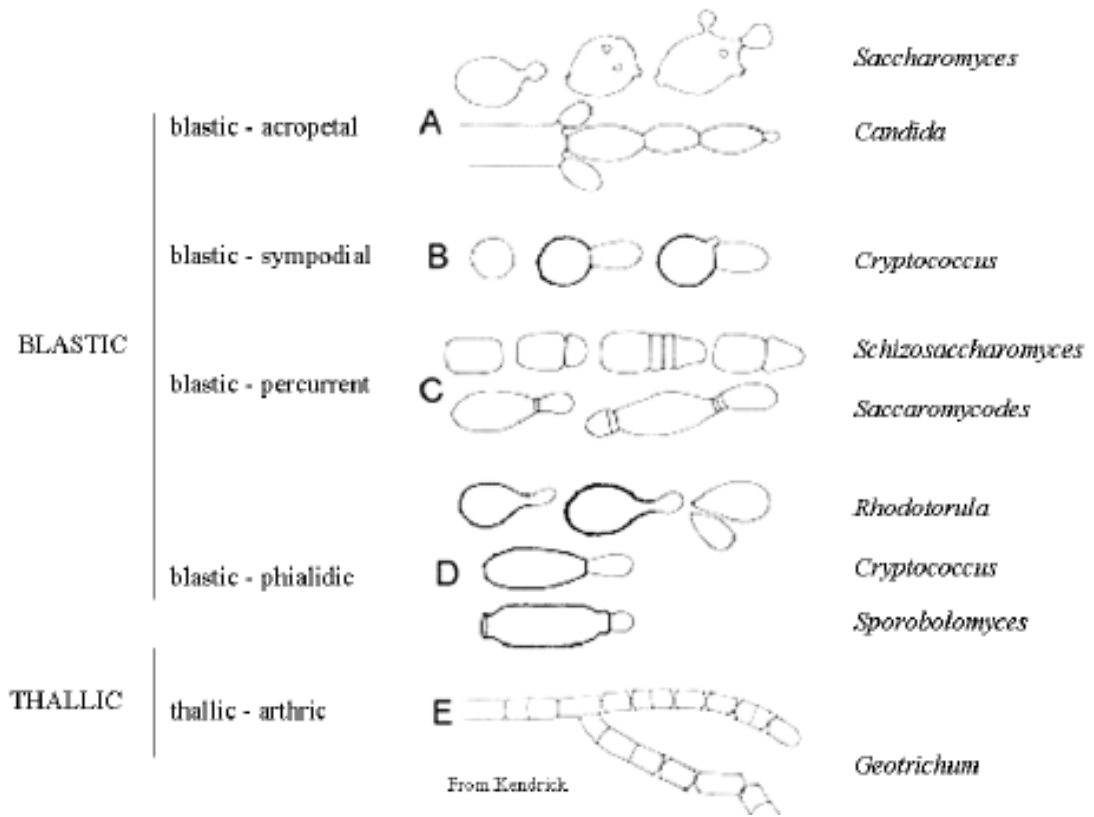
BLASTIC



THALLIC

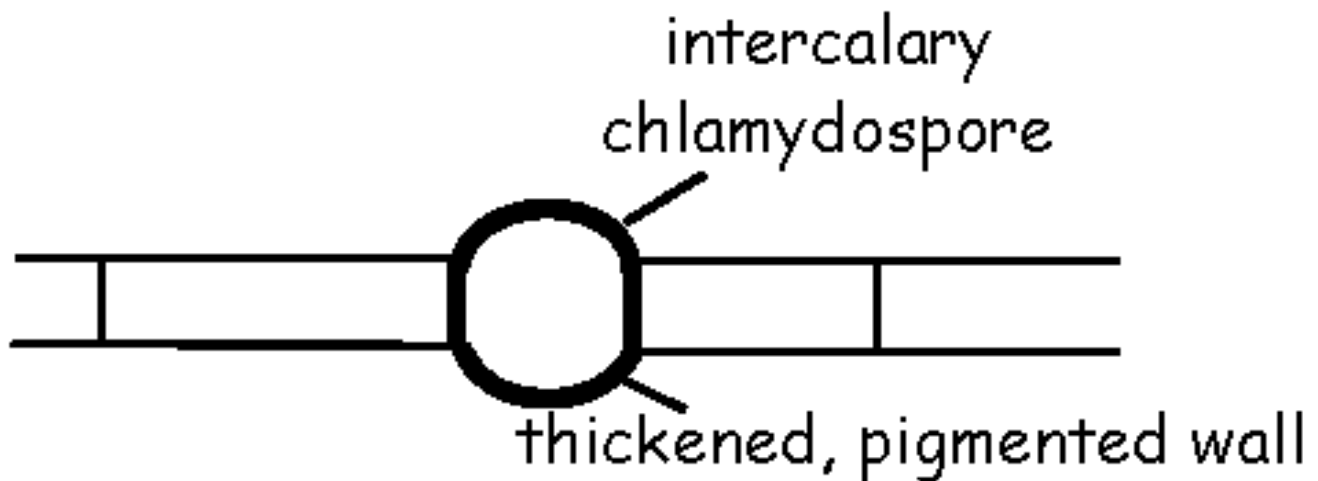


Le cas des levure



Chlamydospore

- Sorte de spore de survie
- chez les Zygomycetes et champignons mitosporiques
- renflement d'une cellule intercalaire ou apicale, qui s'entoure d'une paroi épaissie souvent pigmentée
- Contient des composés de stockage
- Toutes les parois sont impliquées dans la formation
- S'isole des autres compartiments hyphaux par fermeture du pore (si présent)
- Se forme généralement en conditions de stress (conditions non-favorables au développement normal)

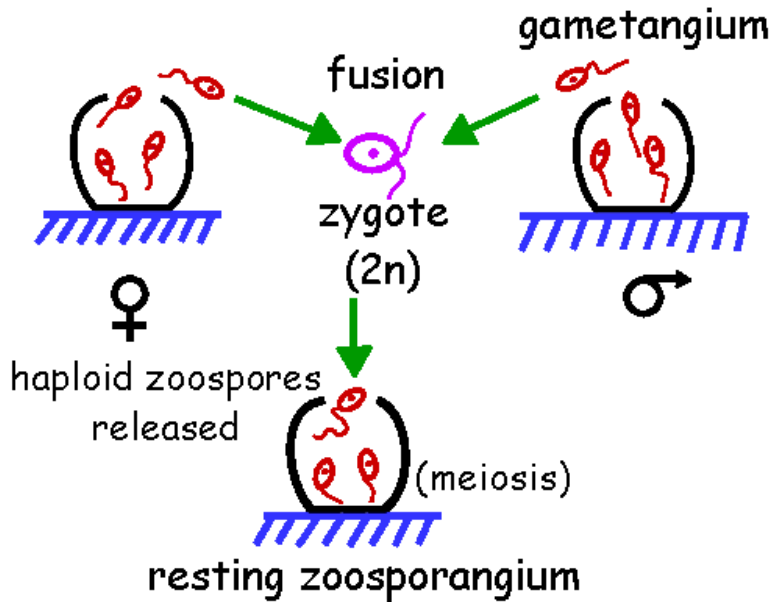


3. Reproduction sexuée

- Dans les spores asexuées, les noyaux se forment par mitose
- Dans les spores sexuées, les noyaux se forment suivant des processus plus complexes.
 1. **PLASMOGAMIE** (2 thalles fusionnent – 2 noyaux compatibles co-existent) = dicaryophase et noyaux = dicaryon
 2. **CARYOGAMIE** (2 noyaux haploïdes fusionnent pour donner un noyau diploïde)
 3. **MEIOSE** (conduit à des noyaux à nouveau haploïdes).

Chytridiomycètes

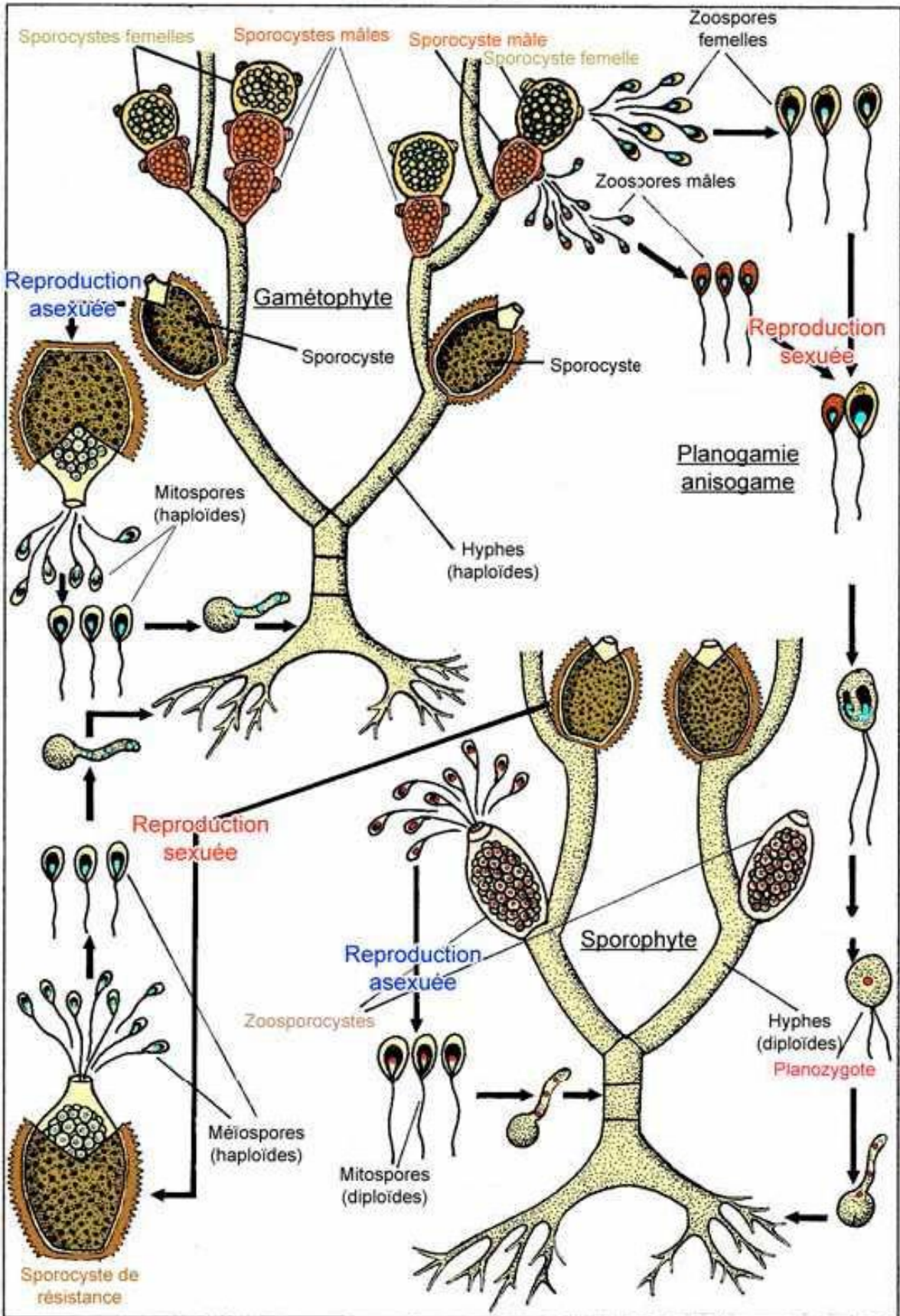
- Les **ZOOSPORES** sont formées et libérées des **ZOOSPORANGES** (idem reproduction asexuée).
- Les zoospores compatibles issues de différentes zoosporanges sont attirées les unes vers les autres.
- Elles fusionnent pour former un zygote(2n) mobile bi-flagellé.
- Les zoospores se comportent comme des gamètes mobiles. Pour cette raison, le zoosporange duquel elles proviennent est appelé **GAMETANGE**.
- Les zoospores (gamètes) sont de ‘sexe opposé’ et peuvent soit être morphologiquement similaires (**ISOGAMIE**) ou différent (**ANISOGAMIE**).
- Parfois, le zygote bi-flagellé s’immobilise, perd ses flagelles, s’entoure d’une paroi épaisse et s’enkyste pour devenir un zoosporange capable de survivre durant des conditions difficiles.
- Lorsque les conditions redeviennent favorables, la méiose se produit dans le zoosporange et des zoospores haploïdes sont libérées.
- Ces zoospores se développent dans la forme haploïde de l’espèce.

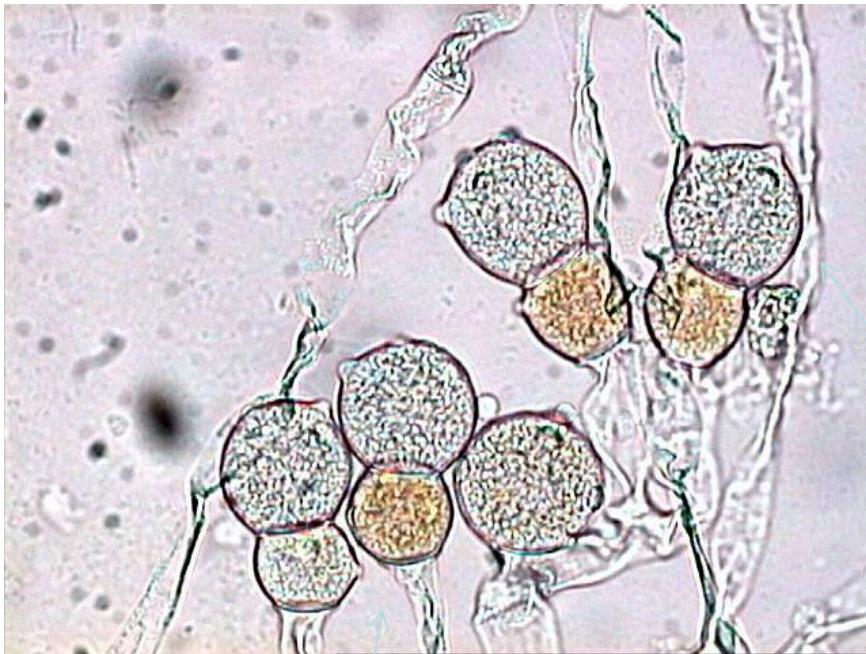


Exemple Allomyces

- La reproduction asexuée est dominante, assurée par des cellules flagellées ne supportant pas la dessiccation ou des agents chimiques. Elles sont produites par les sporocystes.
- La reproduction sexuée a lieu pour produire des spores plus résistantes, jusqu'à ce que les conditions soient plus favorables.
- Le croisement a lieu entre une zoospore mâle et femelle par **planogamie anisogame**.
- Le nouveau thalle formé pourra se reproduire de manière asexuée, mais aussi produire des sporocystes de résistance contenant des méiospores haploïdes.

Cycle de reproduction de *Allomyces*





Gametanges males

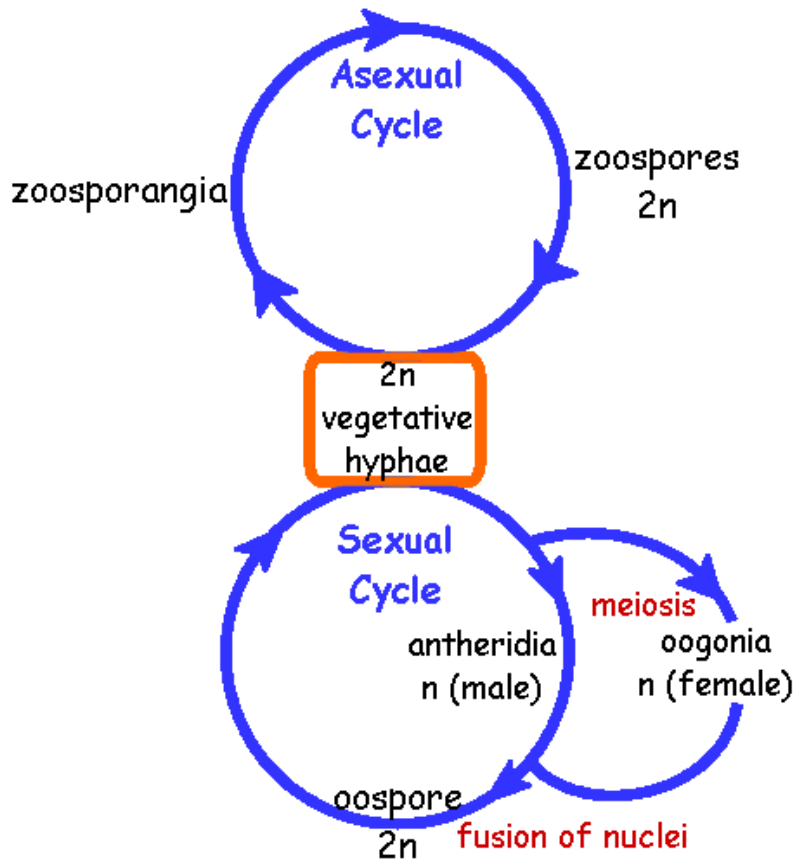
gametanges femelles

Zoosporange (sporocyste) de résistance (meiospores) – paroi interne fine. Paroi externe épaisse et ornementée.

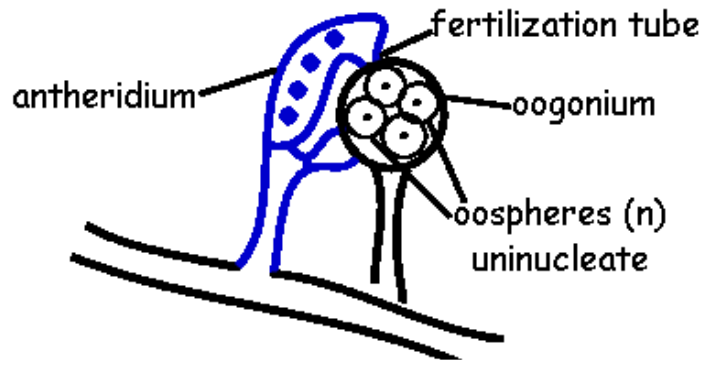


Oomycètes

- La reproduction sexuée implique la formation de structures de reproduction spécifiques (**ANTHERIDIUMS** et **OOGONES**) dans lesquelles la méiose produit des noyaux haploïdes (gamètes).
- La fusion de gamètes compatibles est préliminaire à la formation d'oospores diploïdes qui après germination retournent vers une phase somatique diploïde.



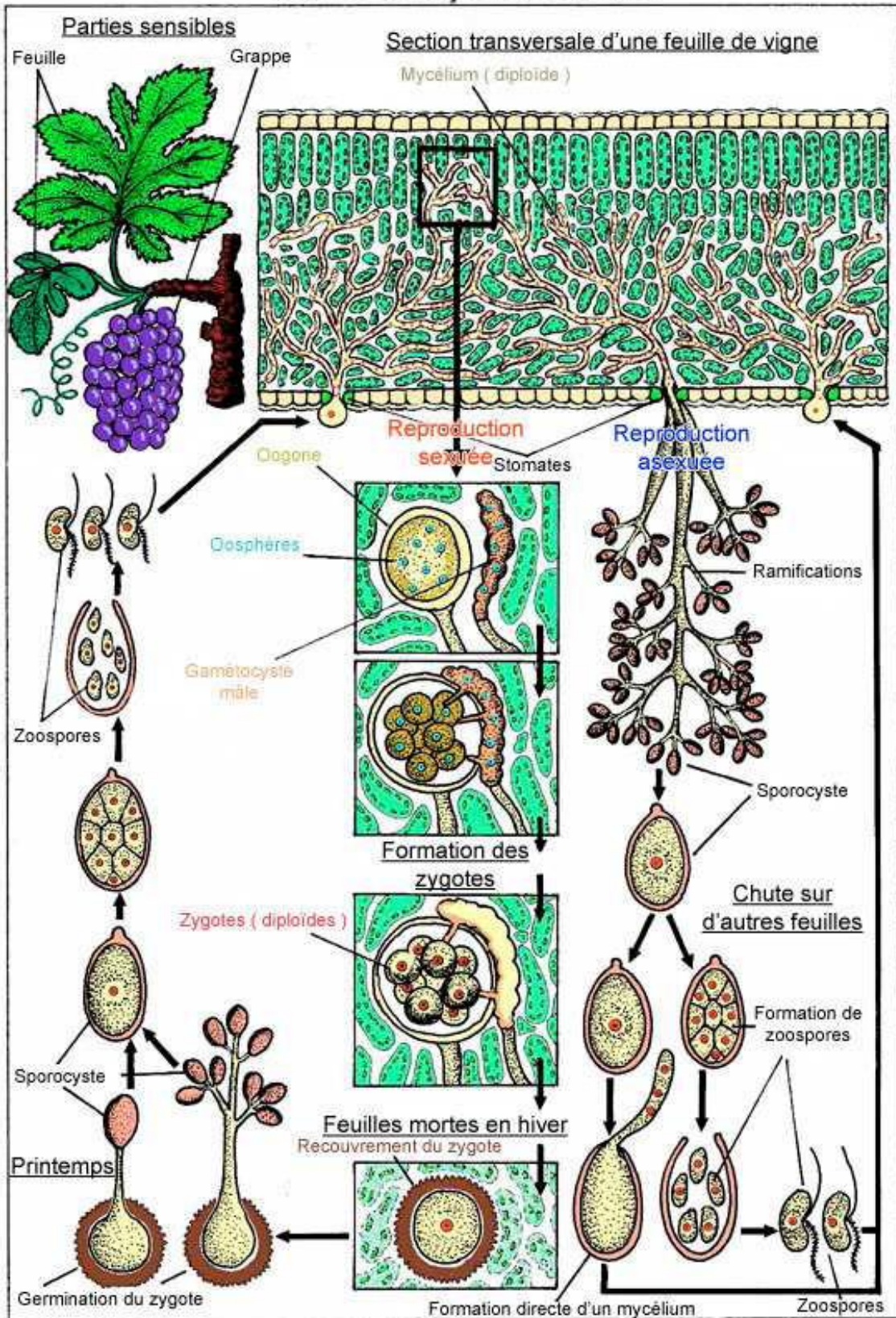
- Les Oogones sont sphériques et leur contenu se différencie en Oosphères uninucléées haploïdes.
- Les anthéridies sont des structures allongées et multinucléées qui prennent naissance soit
 - sur le même hyphe que l'oogone (espèce homothallique)
 - sur des hyphes différents dans la même colonie (espèce homothallique).
 - sur des hyphes appartenant à différentes colonies (espèces hétérothalliques).
- Dans les espèces hétérothalliques, chaque colonie produit des oogones et anthéridies mais l'oogone ne peut être fertilisé que par une anthéridie appartenant à une autre colonie (auto-fertilisation impossible).
- Un ou plusieurs anthéridie peut s'attacher à une même oogone.
- L'anthéridie forme un tube de fertilisation et s'attache à l'oogone.
- Un noyau de l'anthéridie passe du tube dans une zone appelée oosphère où il fusionne avec un noyau issu de l'oogone pour former un zygote diploïde.
- Chaque oosphère développe une paroi épaisse et se transforme en oospore.
- Après une période de dormance, l'oospore germe et le tube de germination peut donner un mycélium diploïde.



Exemple : Plasmopara Viticola (mildiou de la vigne)

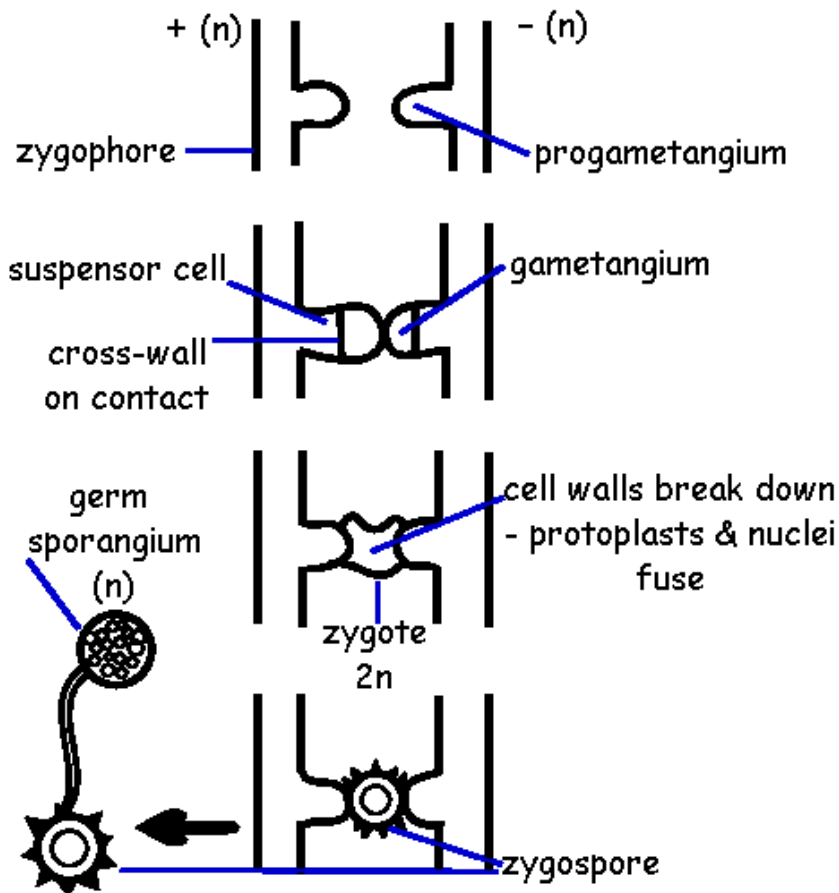
- Parasite strict (= ne se nourrit que de son hôte) des feuilles et des grappes de vigne.
- Il passe par une phase active sur la plante-hôte, et une phase de repos en hiver, sous forme d'oospores dans les feuilles mortes.
- Cet organisme a la particularité de former des mycéliums et des spores diploïdes.
- Sa reproduction sexuée est une oogamie siphonogame.

Cycle de reproduction de *Plasmopara Viticola*



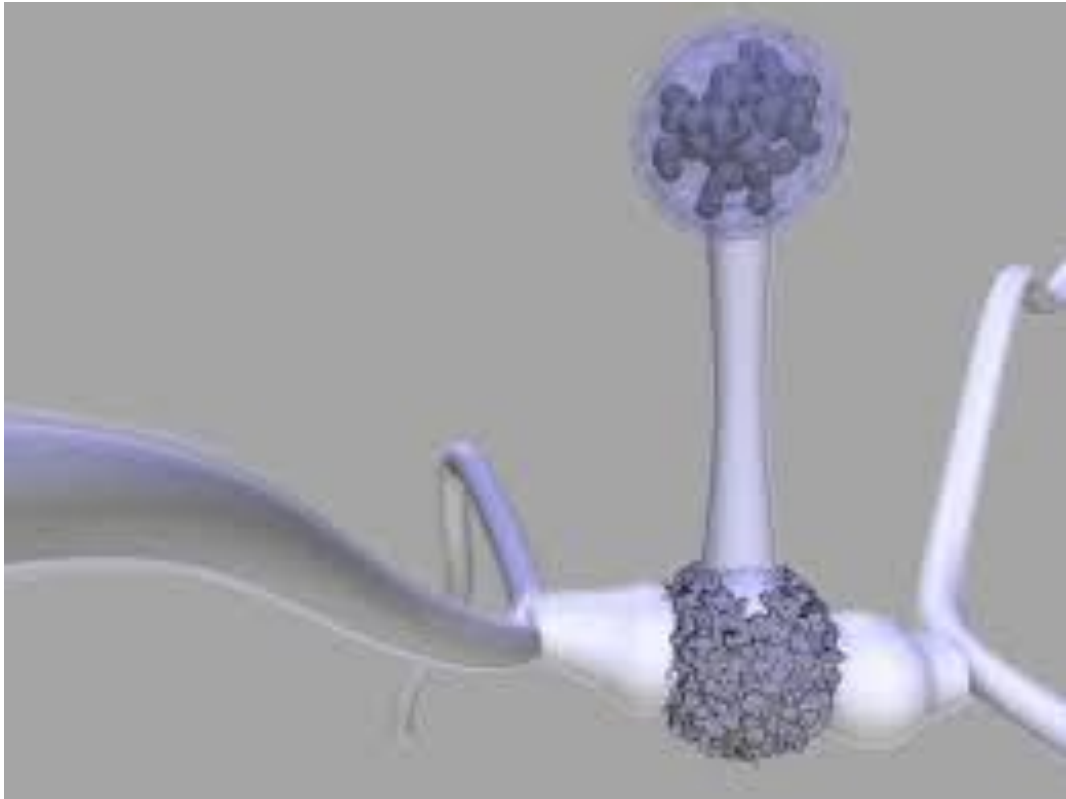
Zygomycètes

- Certaines espèces sont homothalpiques (auto-fertile) et d'autres hétérothalpiques (auto-stérile).
- Chez les espèces hétérothalpiques, la reproduction sexuée nécessite deux colonies physiologiquement compatibles (désignées + et -). Les mycéliums appartenant aux zygomycètes sont haploïdes.
- Des hyphes aériens spécialisés (zygophores) forment de petites ramifications (progamétanges) qui sont attirés l'un vers l'autre.
- Après contact, les apex des deux progamétanges s'élargissent.
- Un septum se développe à l'arrière des apex des deux progamétanges, qui divise chacun en un gamétange et une cellule suspenseur.
- Les parois des deux gamétanges se rompent au point de contact et les protoplastes fusionnent. De même, les noyaux fusionnent (karyogamie) pour former un zygote.
- Le zygote s'élargit, les parois s'épaississent et se pigmentent. Cette structure est le zygospore.
- Après une période de dormance, la zygospore germe et produit un sporangiophore et un sporange (germ sporangium).
- La méiose se produit pendant la formation du germ sporangium – il contient donc des sporangiospores haploïdes qui après germination donneront un mycélium (colonie) haploïde.

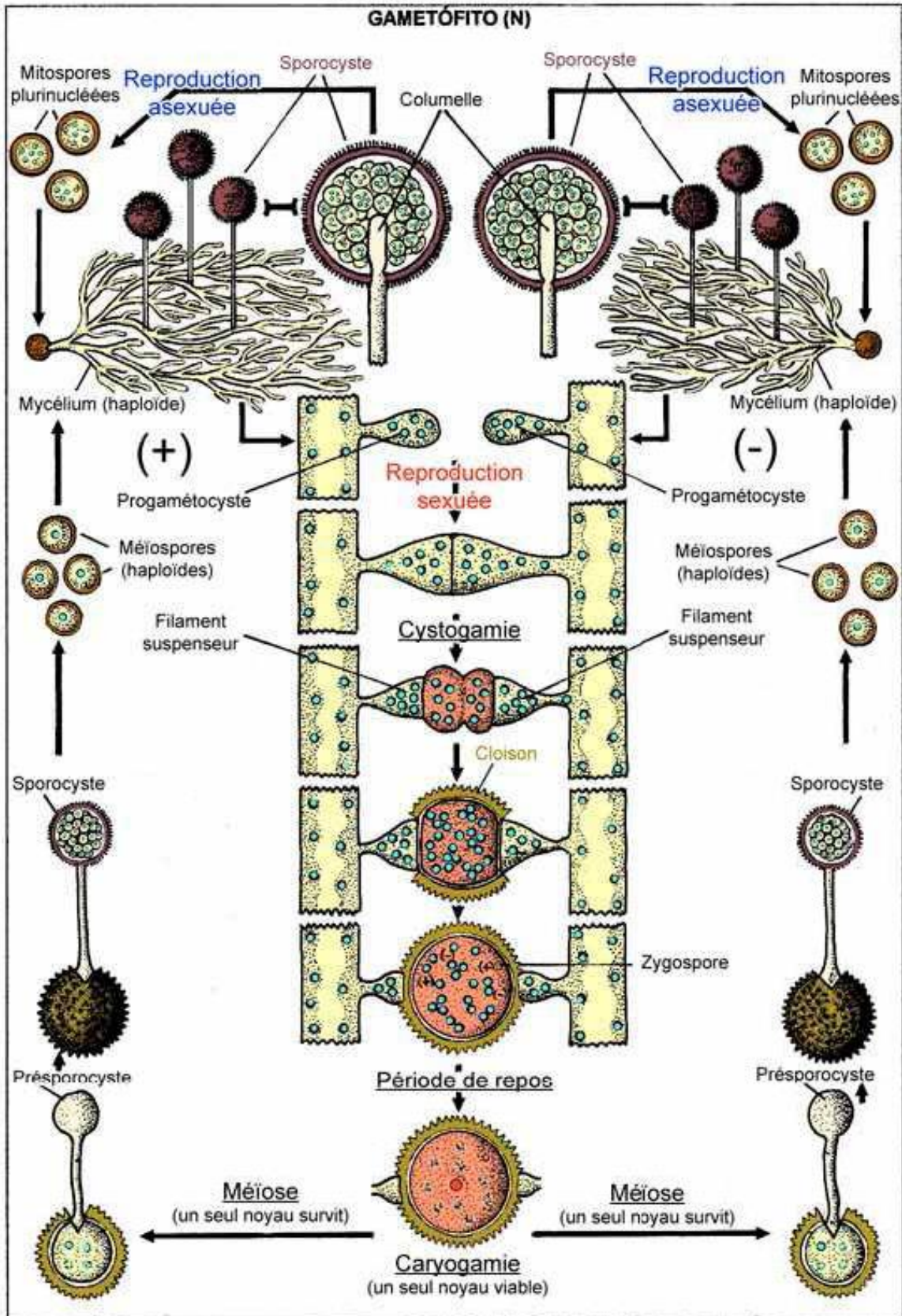


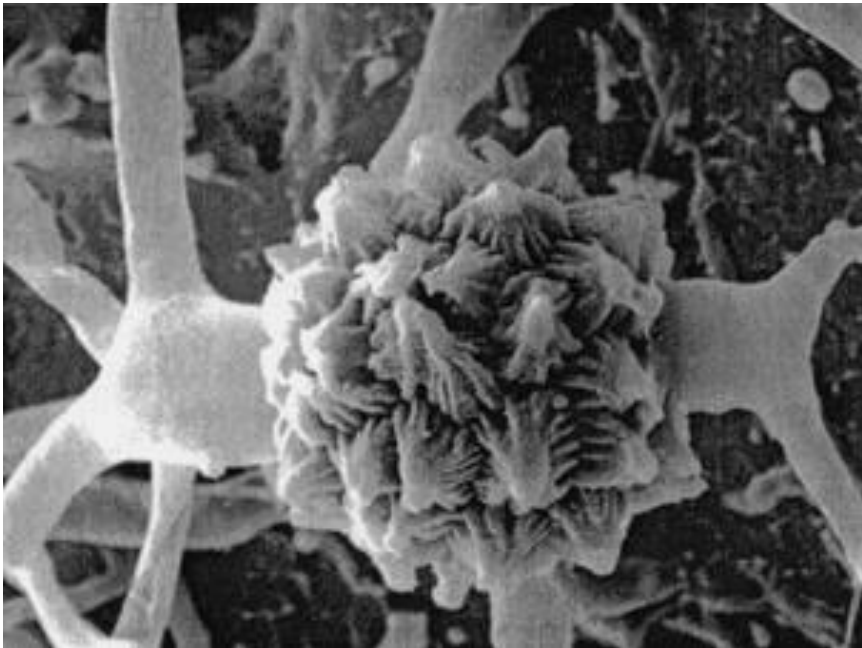
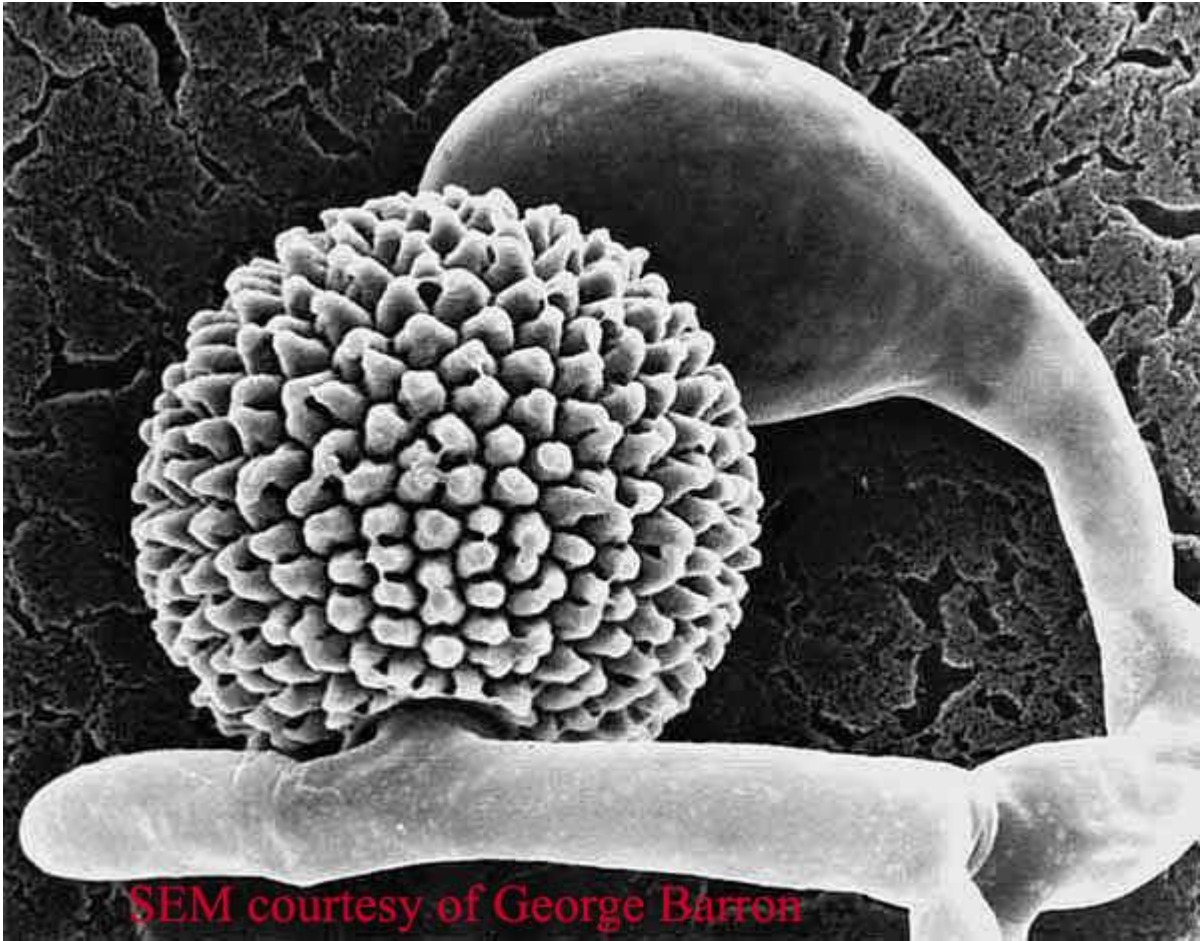
Exemple: Mucor Mucedo

- À la fin de la cystogamie, lorsque la **zygospore** plurinucléée est formée avec ses filaments suspenseurs et sa cloison, le mycète entre en phase de repos pendant 1 à 3 mois.
- Lors du réveil, les noyaux (+) et (-) fusionnent et un seul est conservé.
- Enfin une méiose se produit et on ne garde encore qu'un noyau. Le sporocyste acquiert alors un type sexuel et les spores formeront des thalles de ce type sexuel.



Cycle de reproduction de *Mucor Mucedo*

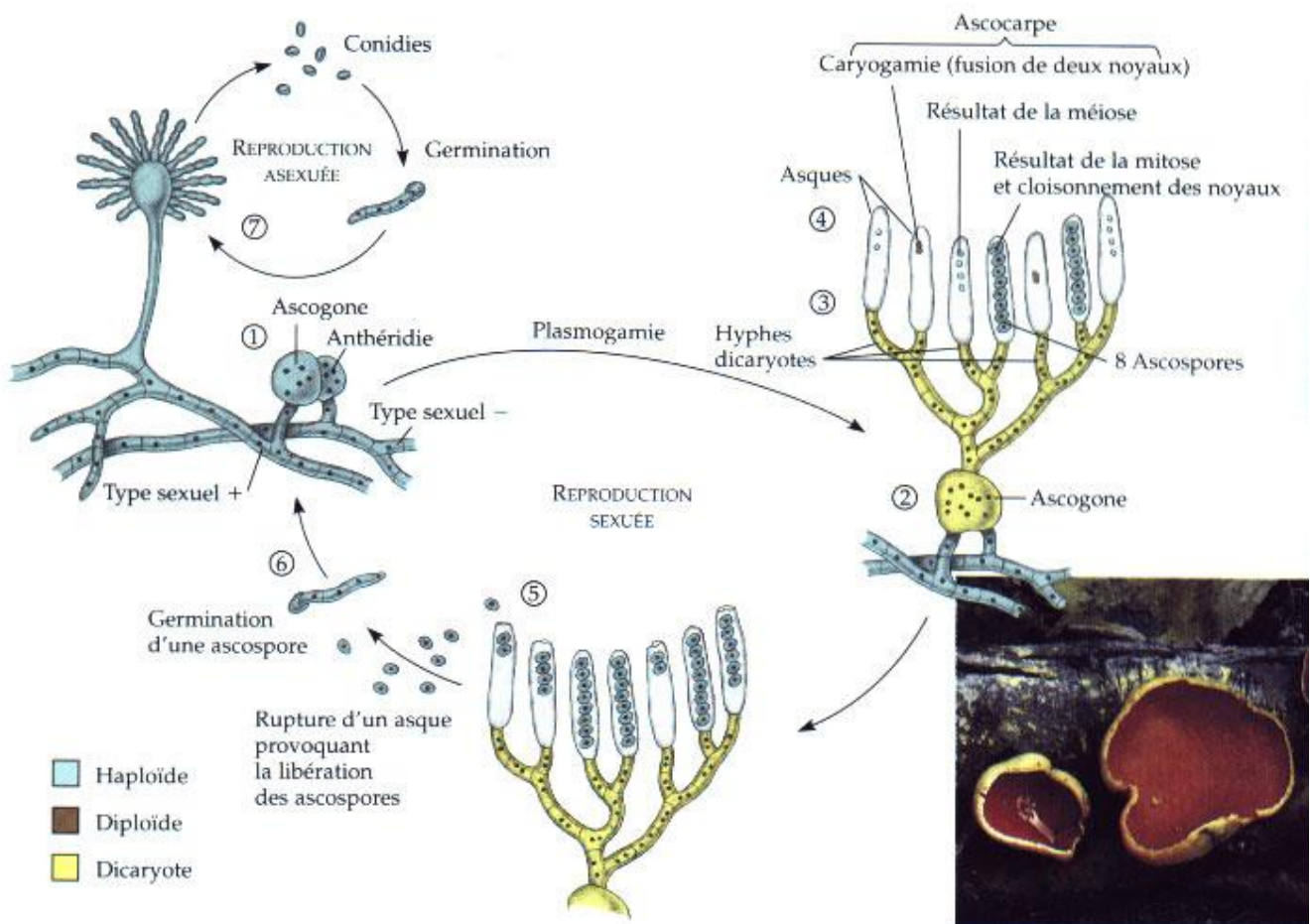




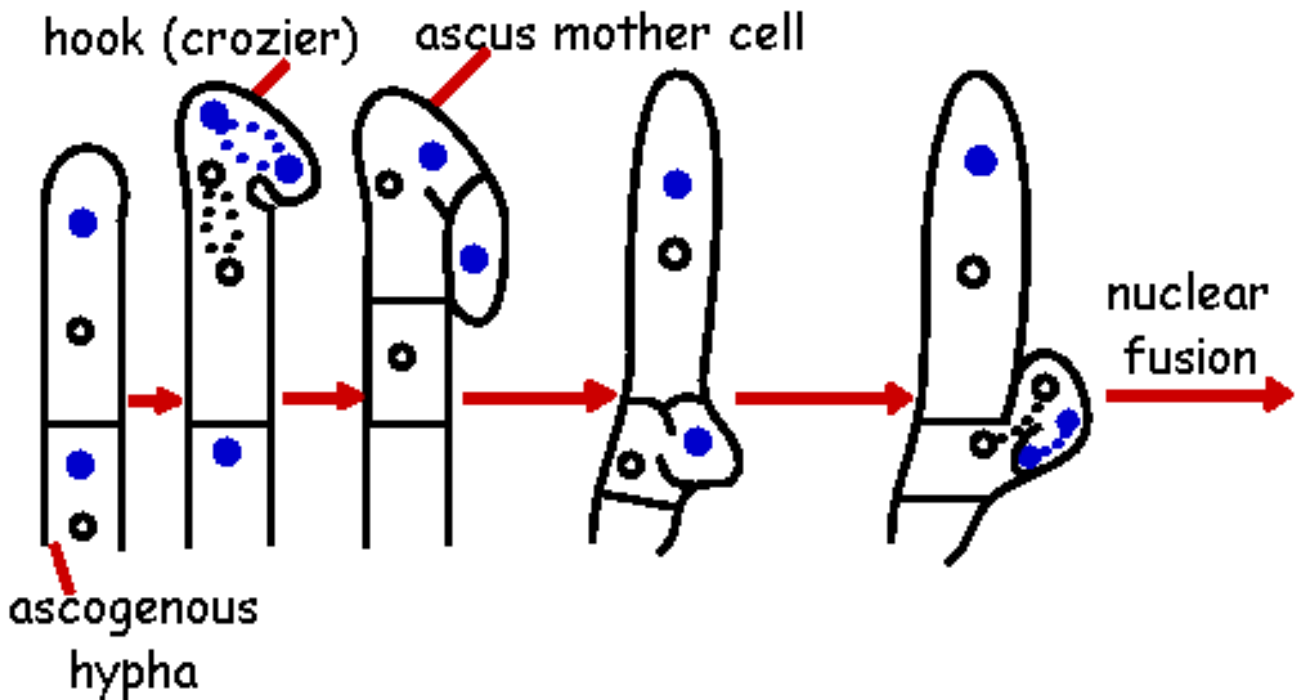
Ascomycètes

• Une particularité partagée avec les basidiomycètes est la formation d'un dicaryon

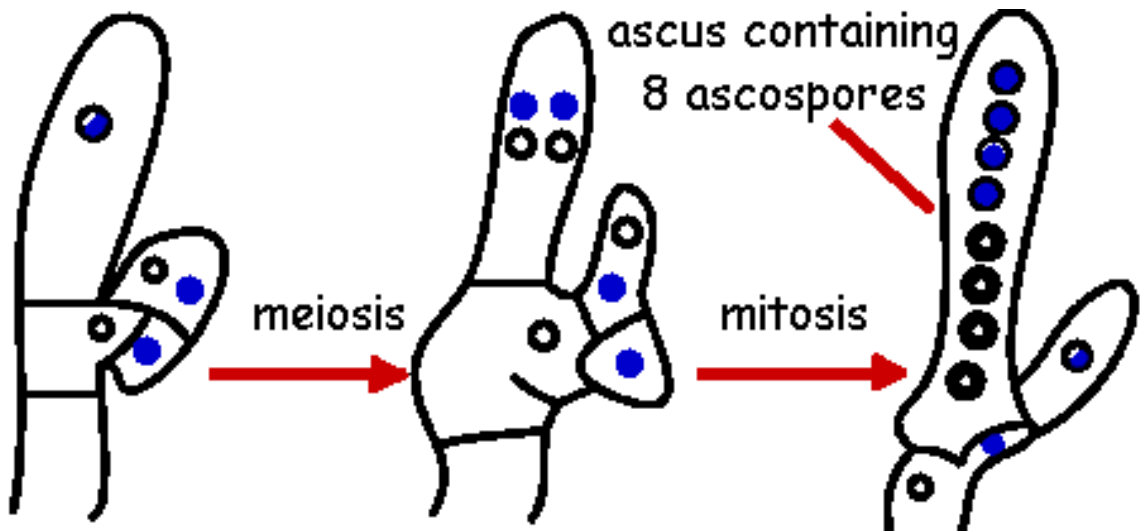
- Suite à la plasmogamie, des noyaux différents se retrouvent dans une même cellule.
- Ils se divisent (souvent longtemps) pour former des hyphes dicaryotiques (chaque compartiment à deux noyaux haploïdes compatibles).
- Ces noyaux entrent en fusion parfois après de longues périodes pour former un zygote.



- Le compartiment apical d'un hyphe ascogène dicaryotique s'allonge et se recourbe pour former une crosse.
- Les deux noyaux compatibles dans le compartiment apical entrent en mitose simultanément.
- Deux septa se développent. La crosse se retrouve ainsi divisée en trois compartiments.
- Les compartiments en pointe et basal sont uninucléés. Le compartiment central est binucléé et est appelé la cellule mère de l'asque puisqu'il est destiné à devenir un asque.



- Les noyaux dans l'asque-mère fusionnent pour former un noyau diploïde. Ce noyau entre ensuite en méiose pour former quatre noyaux haploïdes.
- Chaque noyau haploïde entre en mitose. Il en résulte huit noyaux haploïdes.
- Une fraction du protoplasme entoure chaque noyau (qui devient une paroi). Le noyau mature en ascospore.
- En parallèle, une autre asque-mère se développe.
- Dans la plupart des champignons appartenant aux ascomycètes, les asques n'apparaissent pas seuls. Ils se forment en groupe et sont entourés d'hyphes. Ils sont enfermés dans des fructifications appelées ascocarpes.

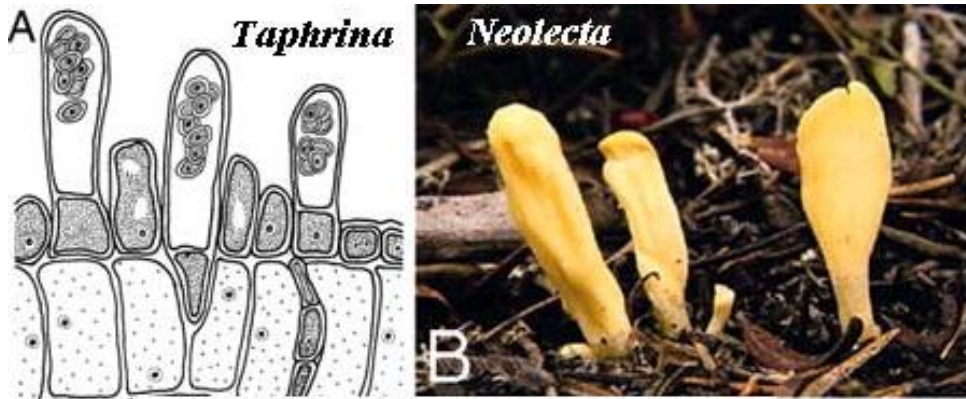
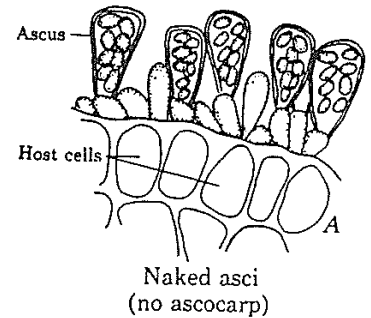


Utilisation des ascocarpes dans la classification des ascomycètes.

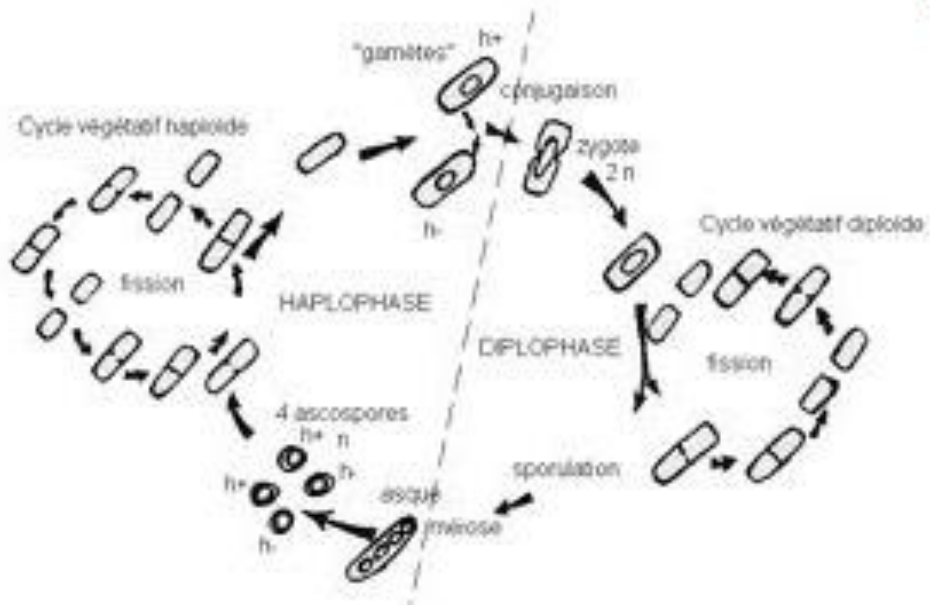
1. Hemiascomycetes (incluent les levures)

• Les asques ne sont pas enfermés dans un ascocarpe

• Chez les levures, la cellule diploïde (zygote) est transformée directement en asque contenant 4-8 ascospores.



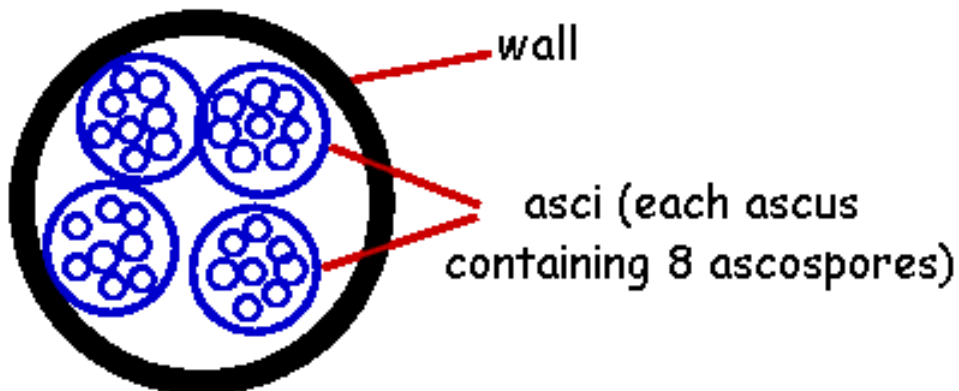
(A) Direct development of asci in *Taphrina*. (B) Simple ascomata in *Neolecta*. Both from Liu & Hall (2004)

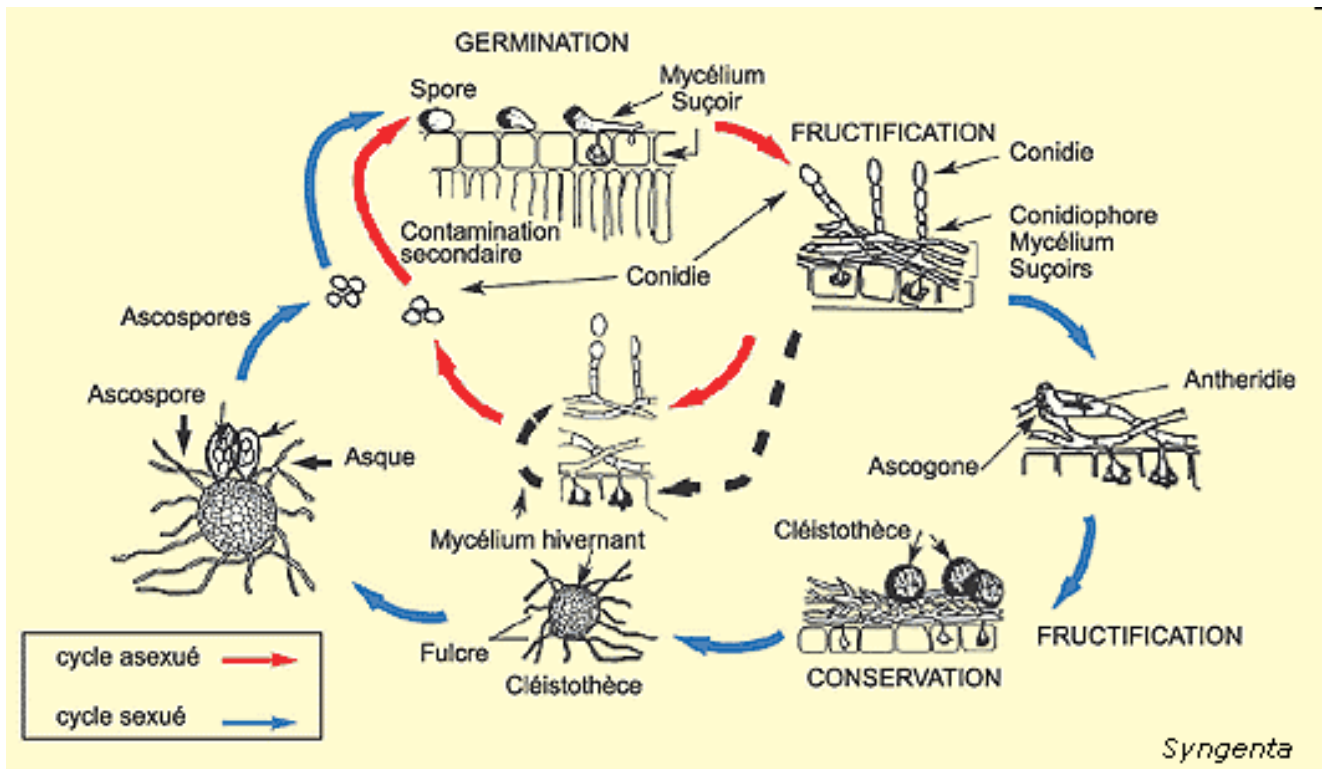


Utilisation des ascocarpes dans la classification des ascomycètes.

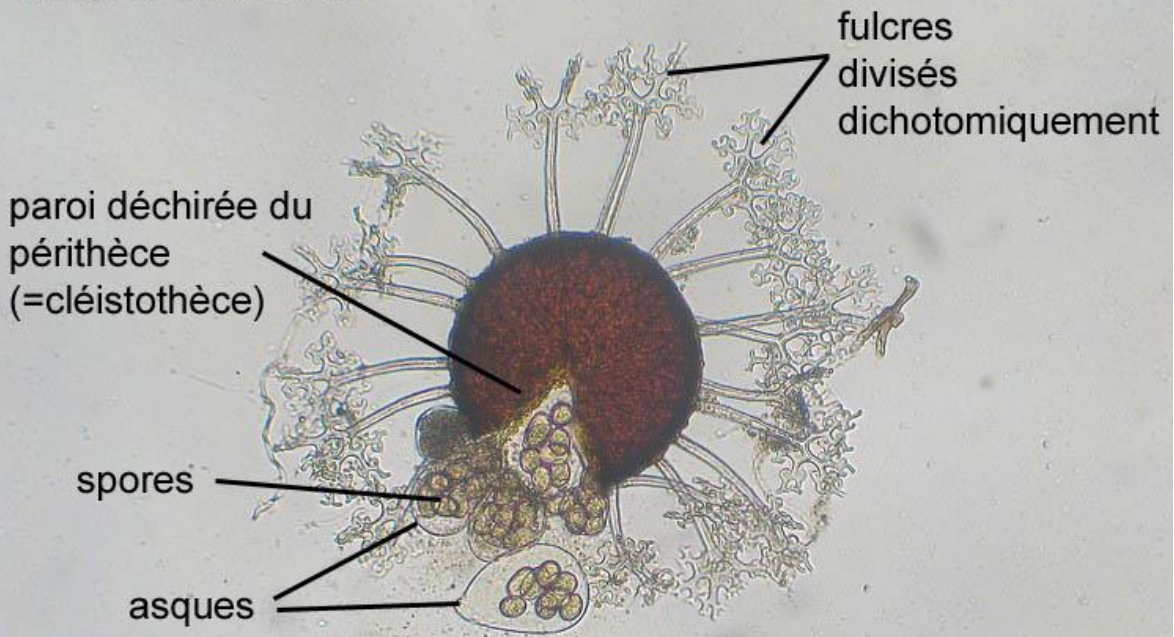
2. Plectomycètes

- Les champignons de ce groupe forment des **CLEISTOTHECES**.
- Leur forme est ronde et entièrement fermée (pas d'ouverture naturelle).
- Les asques sont arrangés de manière irrégulière.
- A maturité, les **CLEISTOTHECES** s'ouvrent libérant les asques et ascospores.





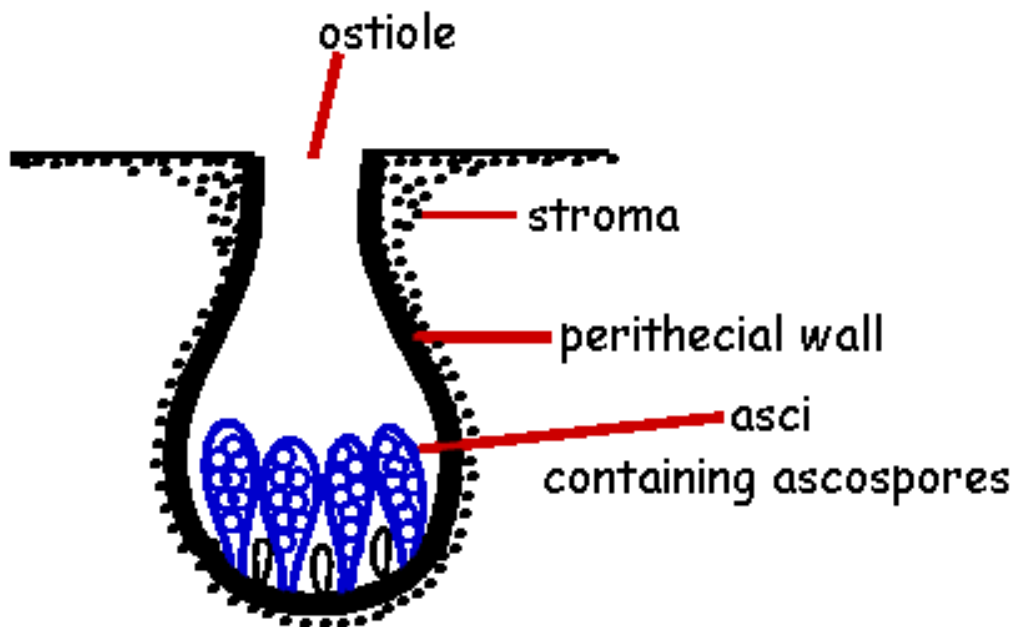
Cliché Michel Verolet



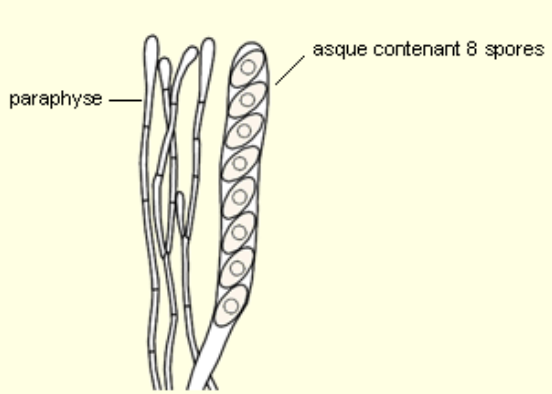
Microsphaera alphitoïdes
= Oidium du chêne

3. Pyrénomycètes

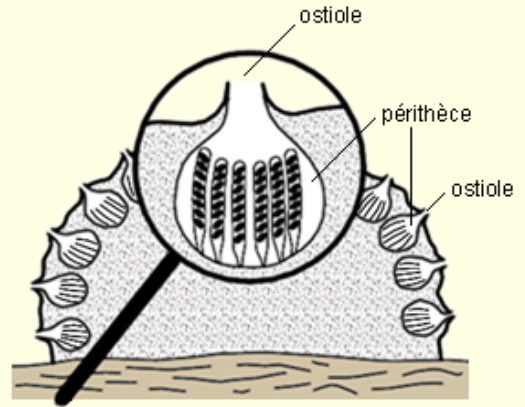
- Les champignons appartenant à ce groupe forment des **PERITHECES**.
- Les **PERITHECES** sont des ascocarpes sphériques ou en forme de bouteille.
- Ils s'ouvrent via un ostiole avec un pore terminal à travers duquel les ascospores sont libérées.
- Les asques sont arrangées en couches ordonnées à la base de la cavité.



Organes d'un hyménium d'Ascomycètes



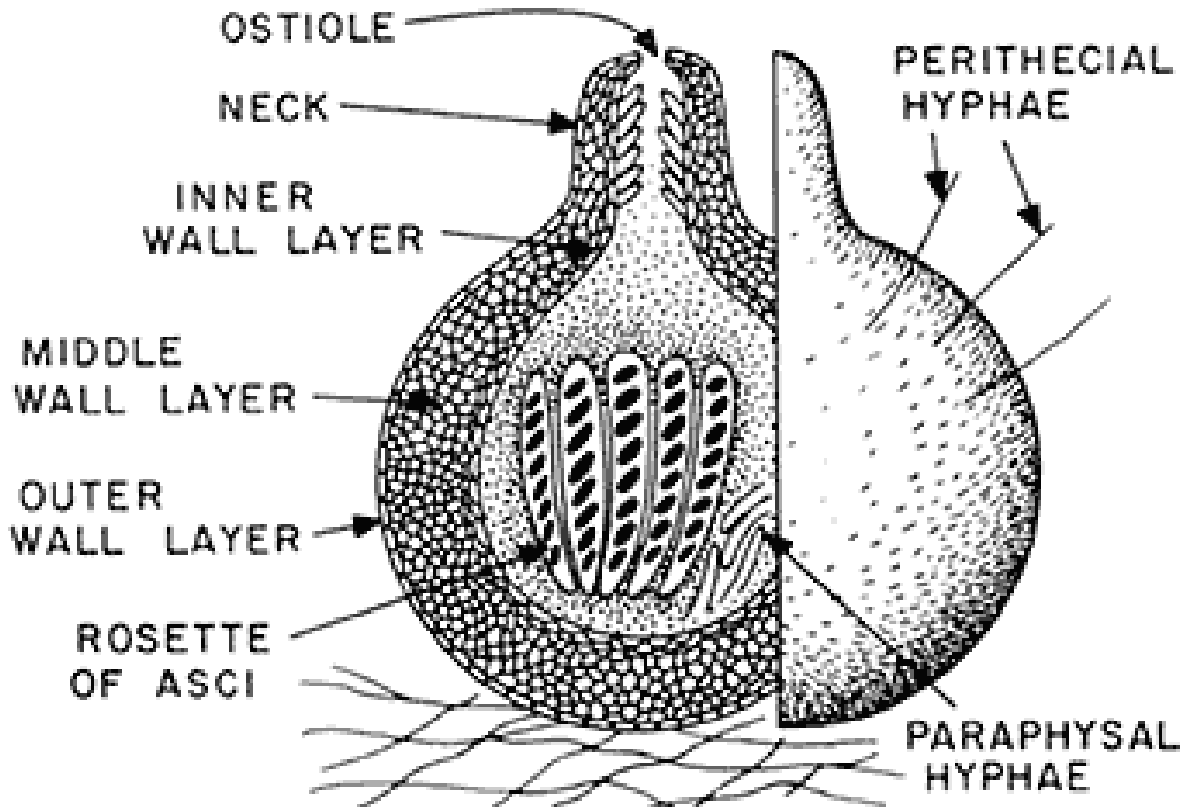
a) paraphyse et asque



b) périthèce avec asques à l'intérieur

(B)

400 MICRONS





Creopus gelatinosus (Uoguelpg, Ca)

Les Périthèces (ponctuations noires) sont enfermés dans une matrice fongique (blanc)

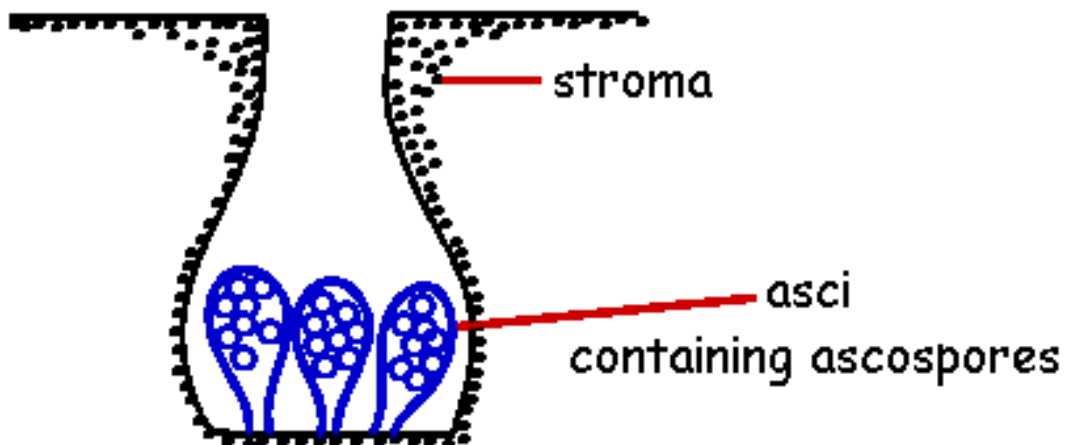
Cordyceps subsessilis

Gi-Ho Sung



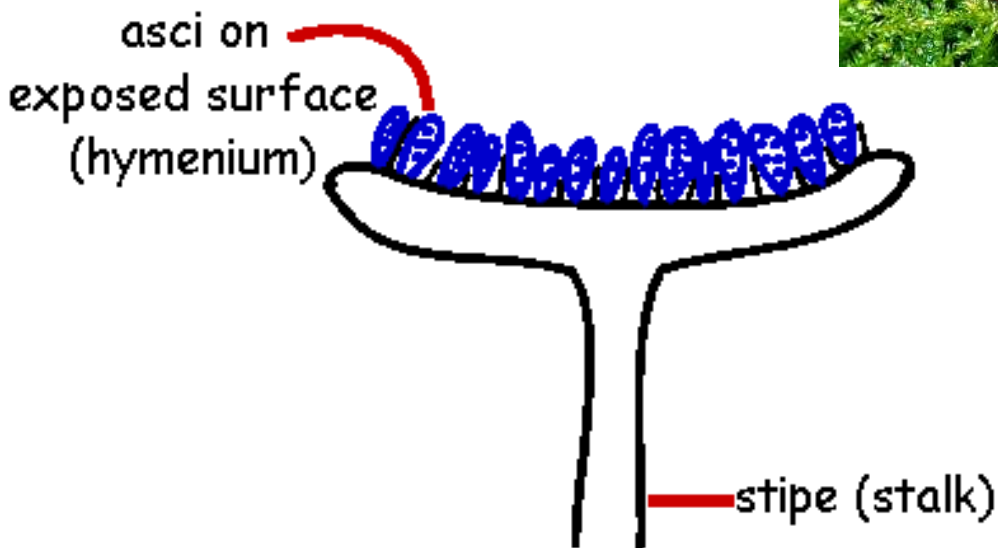
4. Loculoascomycètes

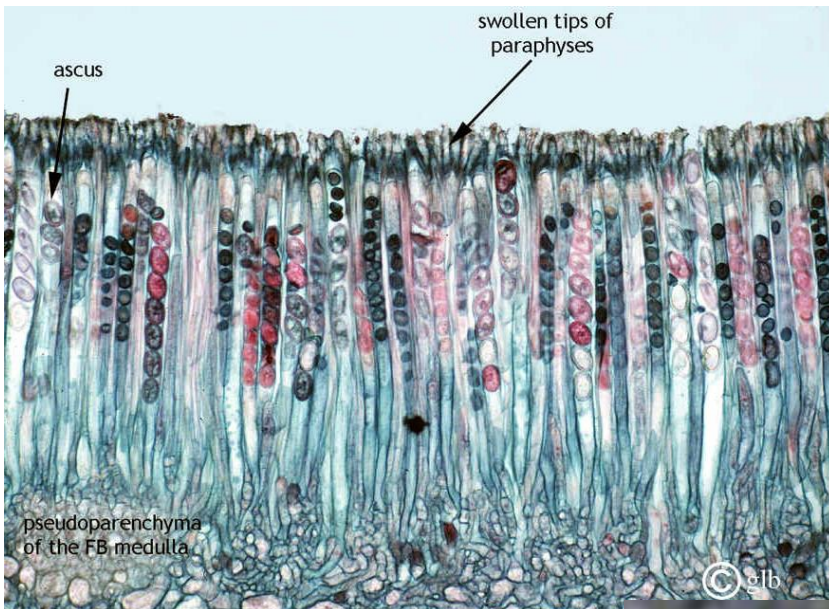
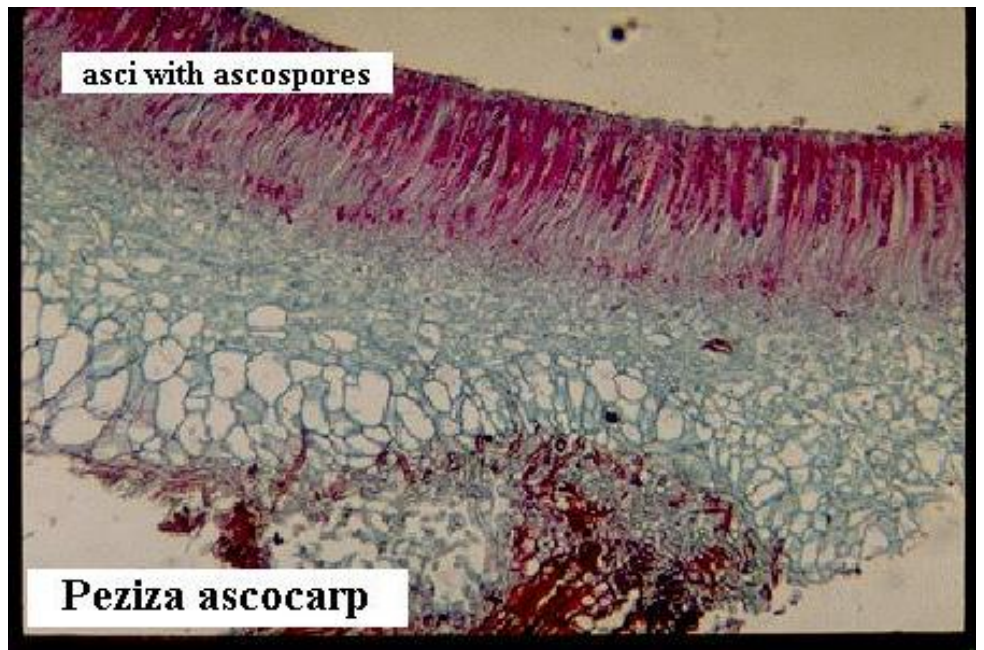
- Les champignons appartenant à ce groupe forment des **ASCOSTROMATES** (ou **PSEUDOTHEQUES**).
- Les **ASCOSTROMATES** ressemblent à des perithèces; Ils S'en distinguent par l'absence de paroi entourant la région centrale de l'ascocarpe. Il s'agit donc seulement d'une cavité dans la masse des hyphes (stroma) dans laquelle les asques sont localisés.



5. Discomycètes

- Les champignons appartenant à ce groupe forment des **APOTHECIES**.
- Une **APOTHECIE** est un ascocapre ouvert de forme évasée (forme de coupe).
- Les asques sont arrangés à la surface exposée (**HYMENIUM**).





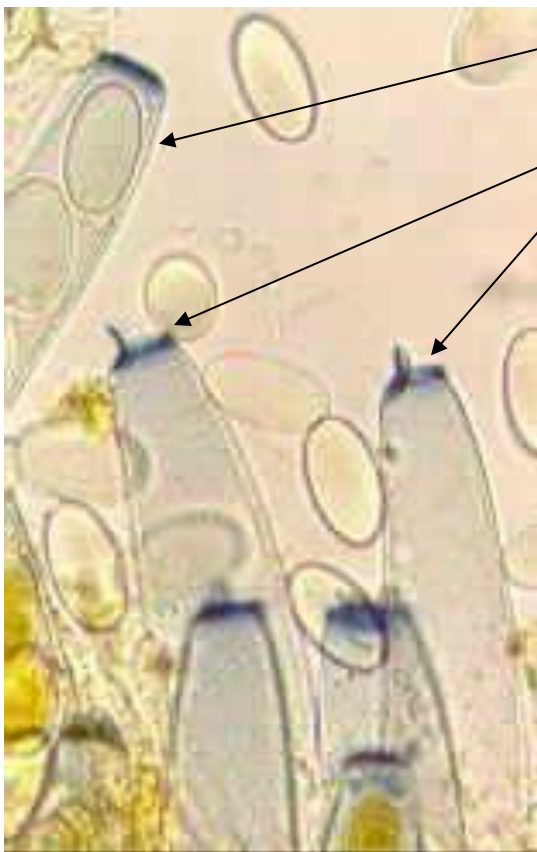
Peziza aurentia



Classification des asques

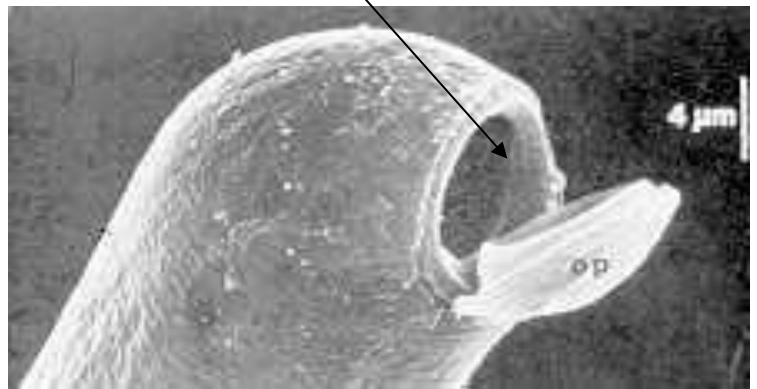
1. UNITUNICATE OPERCULATE

- Ne se rencontrent que dans les Apothécies
- Simple paroi
- Présence d'un opercule qui s'ouvre à maturité (cavité circulaire de faiblesse)
- Les ascospores sont éjectées à maturité



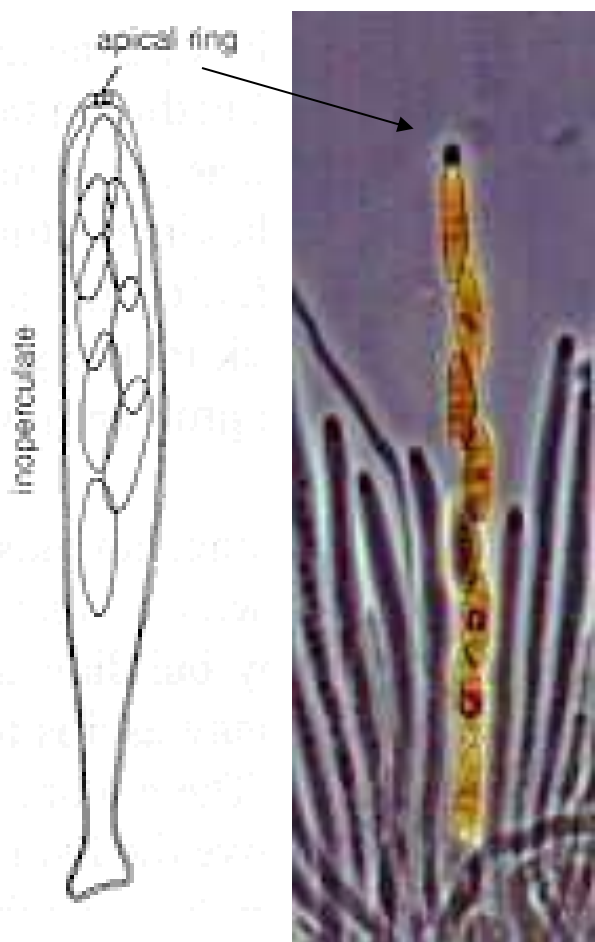
Asques non éjectées

opercule



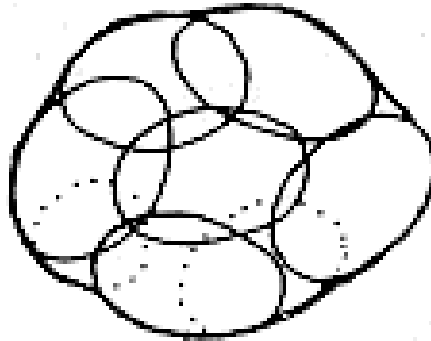
2. UNITUNICATE – INOPERCULATE

- Se rencontrent dans les Périthèces et Apothécies, parfois cleistothèces.
- Simple paroi.
- Absence d'opercule.
- Présence d'un anneau élastique qui s'ouvre sous la pression pour éjecter les ascospore à maturité.



3. PROTOTUNICATE

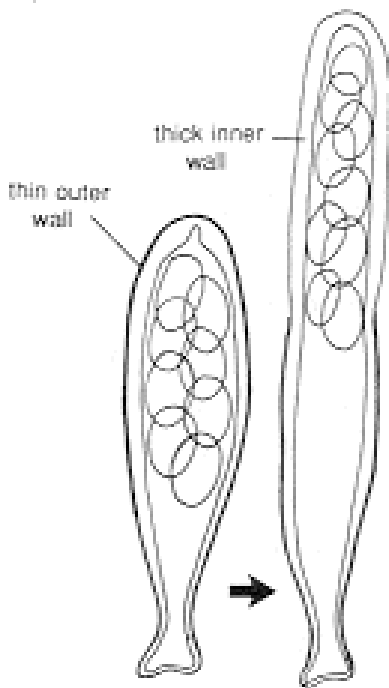
- Se rencontrent dans les cléistothèces, parfois les périthèces et apothecies.
- Pas de mécanisme actif d'éjection des ascospores. A maturité les parois de l'asque disparaissent souvent pour libérer les ascospores.



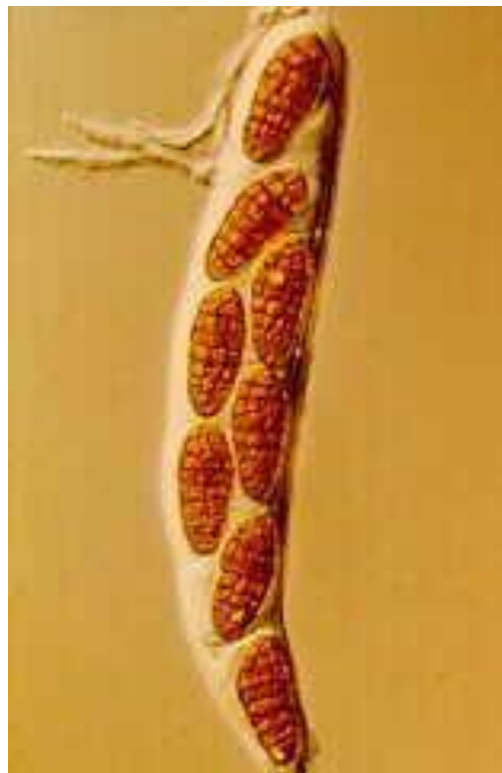
'prototunicate' ascus

6. BITUNICATE

- Se rencontrent dans les Pseudothèques
- Double paroi. Externe fine et interne épaisse et élastique
- A maturité, la paroi externe s'ouvre. De l'eau entre et pousse la paroi à s'allonger. Les ascospores remontent.
- L'asque s'allonge vers l'extérieur de l'ascocarpe pour libérer les ascospores.



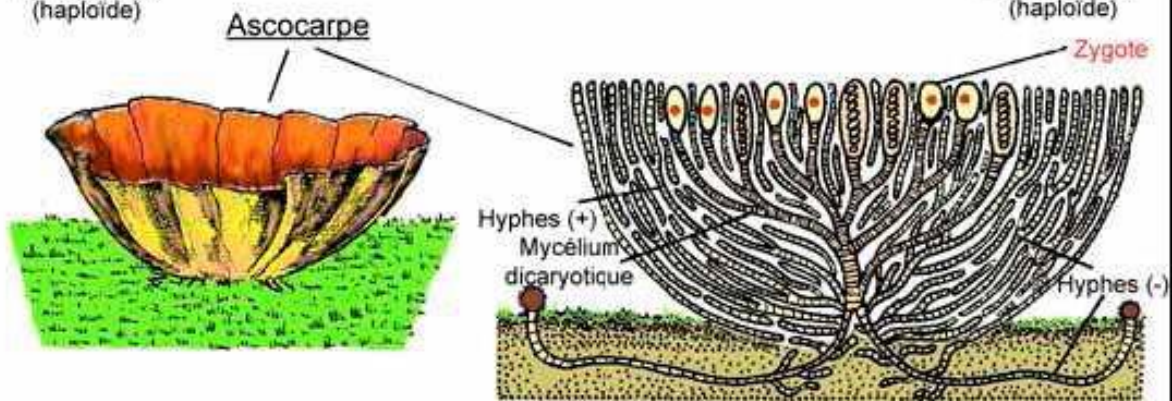
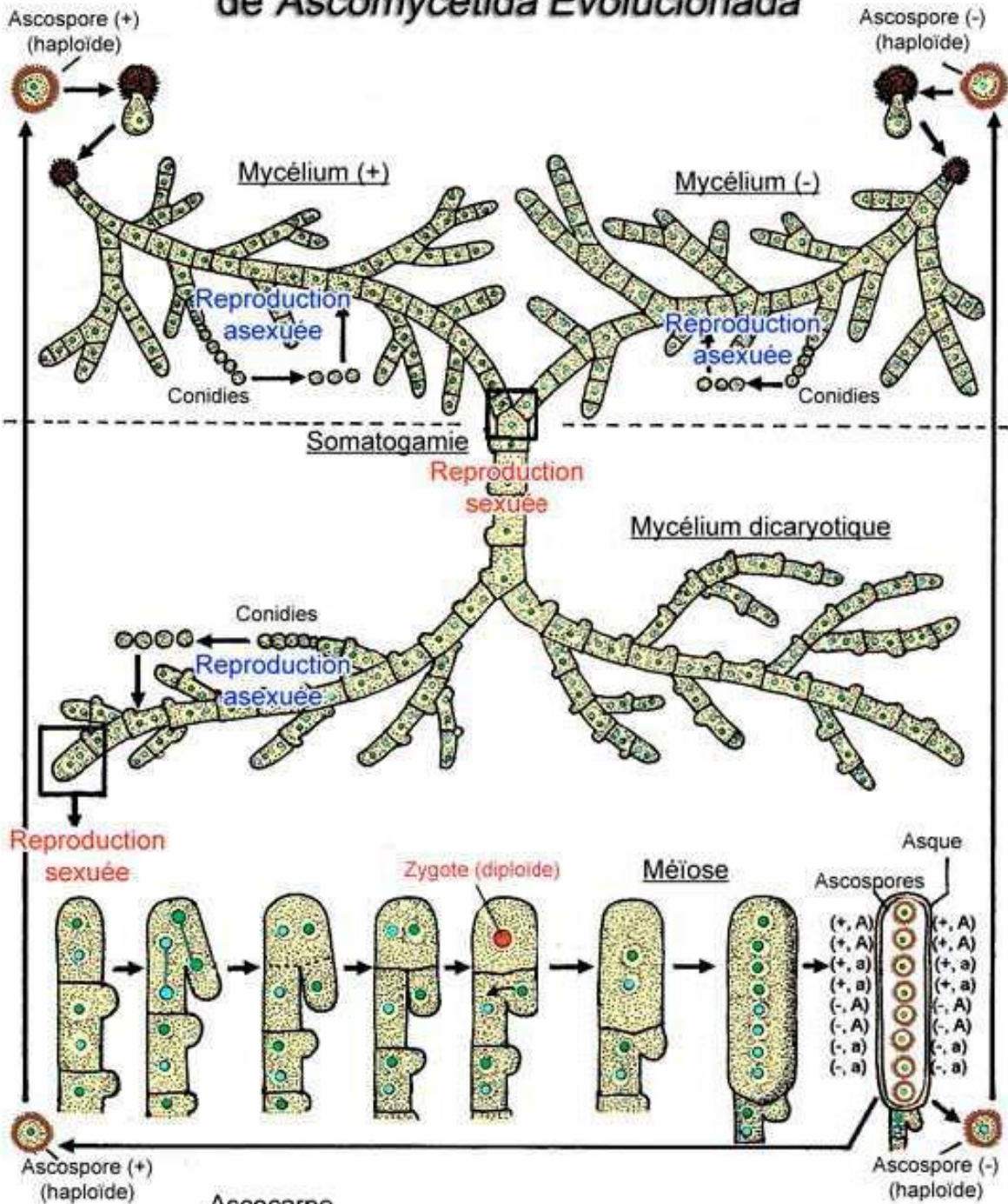
bitunicate ascus
'jack-in-the-box'



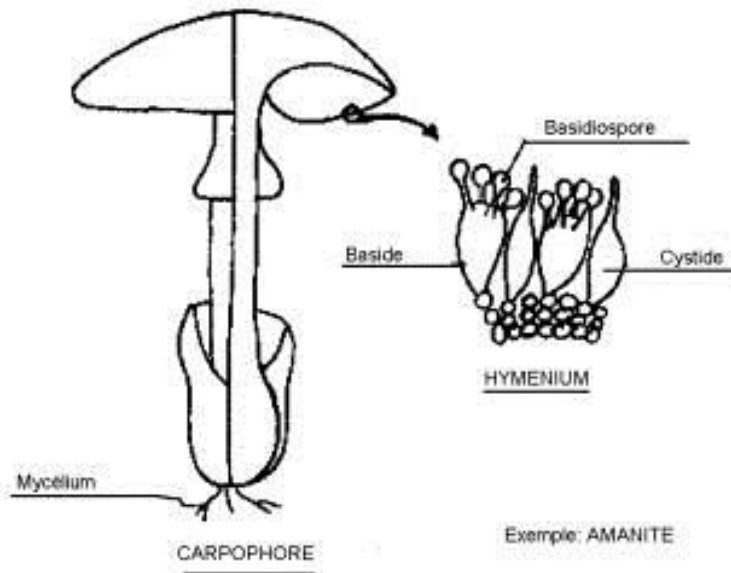
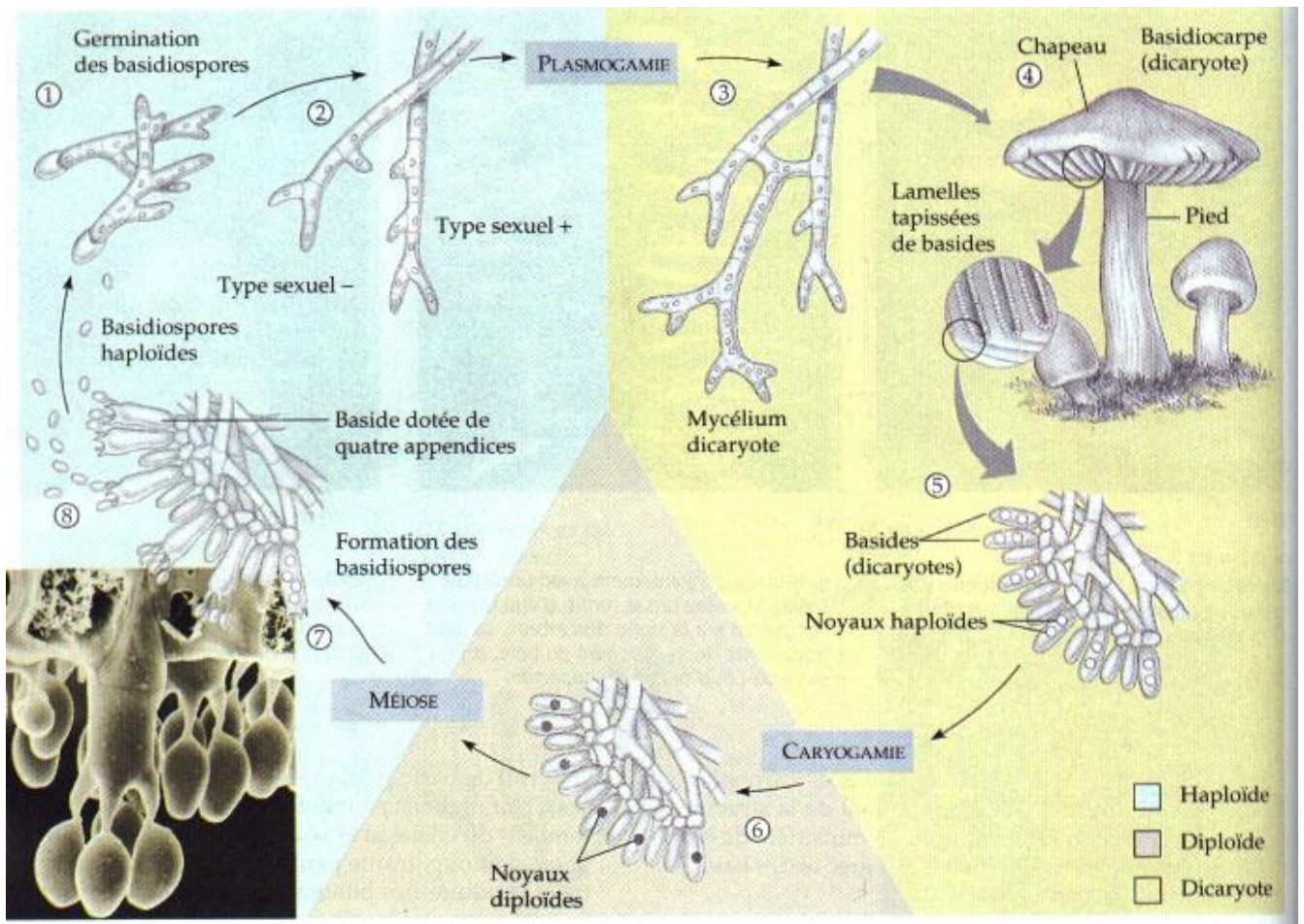
Exemple Ascomycetida Evolucionada

- Deux hyphes compatibles (+) et (-) s'associent par somatogamie pour former un thalle dicaryotique.
- Les extrémités peuvent former un zygote qui produira un asque par méiose et qui portera huit spores, quatre (+) et quatre (-).
- Ces asques se trouvent sur l'hyménium de l'ascocarpe.
- Les spores ainsi formées peuvent donner de nouveaux mycéliums haploïdes monocaryotiques.

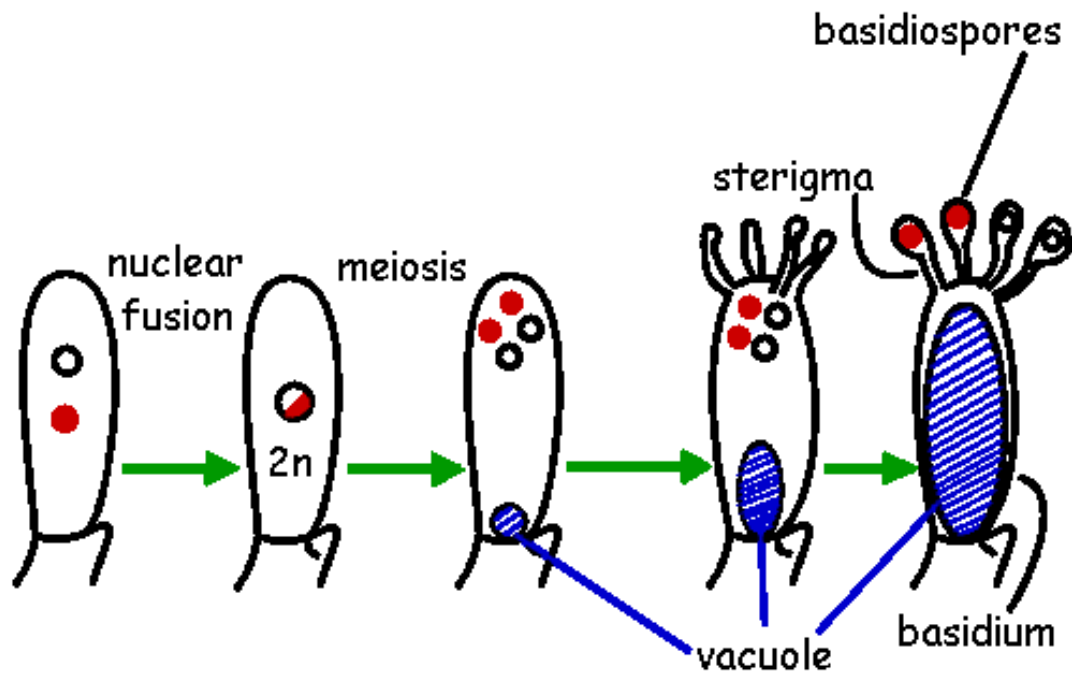
Cycle de reproduction de *Ascomycetida Evolucionada*



Basidiomycètes



- Deux noyaux haploïdes dans un compartiment apical dicaryotique (la plupart du temps dans un basidiocarpe) fusionnent pour donner un noyau diploïde.
- Le noyau diploïde entre en méiose pour former quatre noyaux haploïdes.
- Quatre excroissances (**STERIGMATES**) se forment au sommet du compartiment hyphal et la pointe de chaque stérigmate commence à enfler.
- Une vacuole se développe à la base du compartiment hyphal et s'élargit graduellement. Cet élargissement va pousser le protoplasme dans les **STERIGMATES**.
- Lorsque les **STERIGMATES** ont atteint leur taille définitive un noyau entre dans chacun d'entre-eux.
- L'excroissance uninucléée à la pointe de chaque **STERIGMATE** devient mature et se transforme en basidiospore.
- Le compartiment qui soutient les **STERIGMATES** et basidiospores est appelé baside.



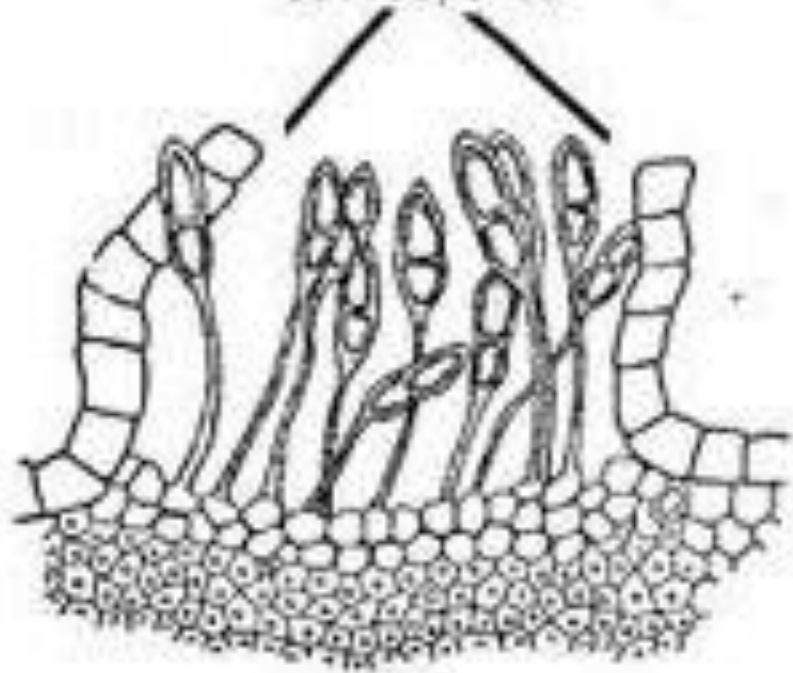
La Classification des Basidiomycètes est basée sur la présence ou absence de fructifications (basidiocarpe) et le type de basidiocarpe formé.

Utilisation des basidiocarpes dans la classification des Basidiomycètes

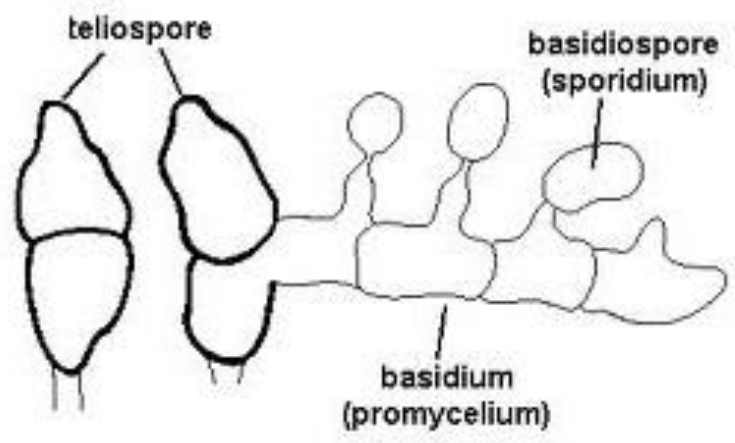
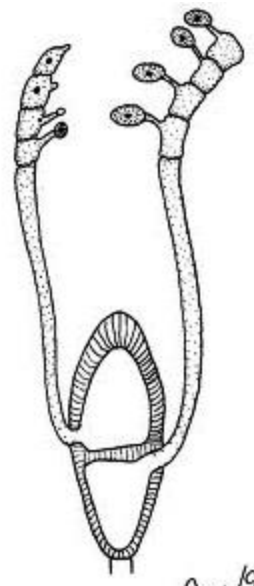
1. Teliomycètes

- Pas de basidiocarpe. Formation de téliospores (spores de survie) côte à côte qui donnent naissance à des basides cloisonnés transversalement
- Les Urédinales et Ustilaginales sont deux ordres importants de champignons pathogène des plantes qui appartiennent aux Teliomycètes.

teliospores



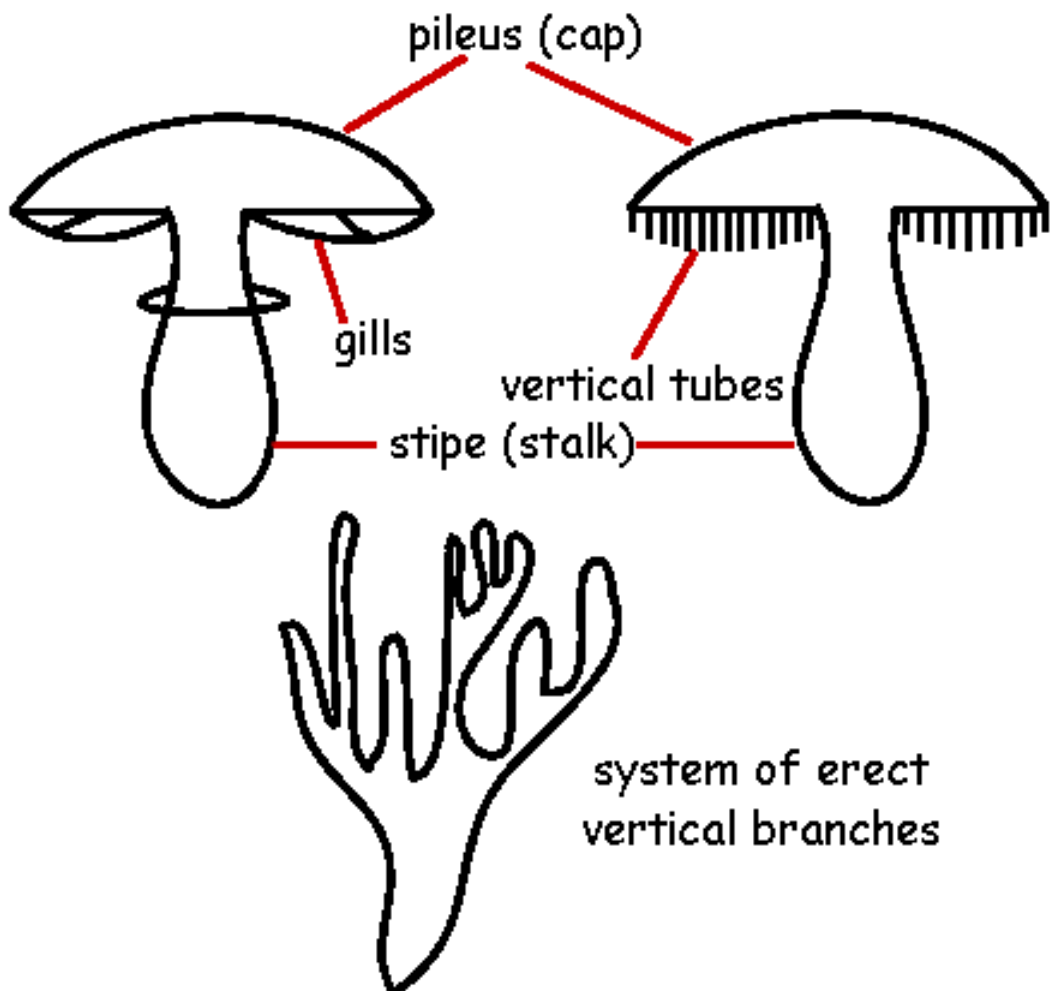
Telium
Stage III.

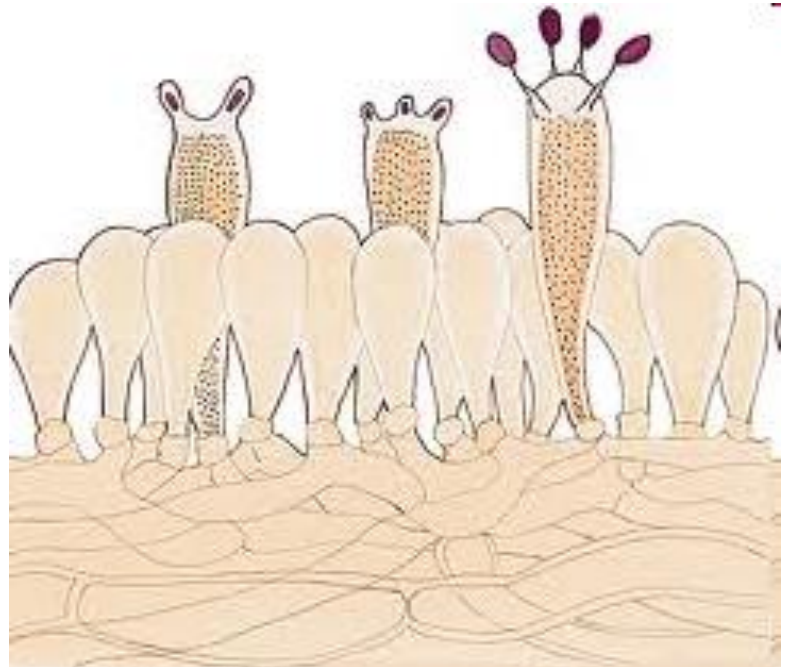


9/1/97

2. Hymenomycètes

- Le groupe le plus important.
- Les basides sont arrangées en une couche appelée hyménium entièrement exposé à maturité.
- L'hyménium peut recouvrir la surface de lamelles, s'étendre verticalement vers le bas en face de pores, ou couvrir une structure érigée, des branches verticales.





3. Gastéromycètes

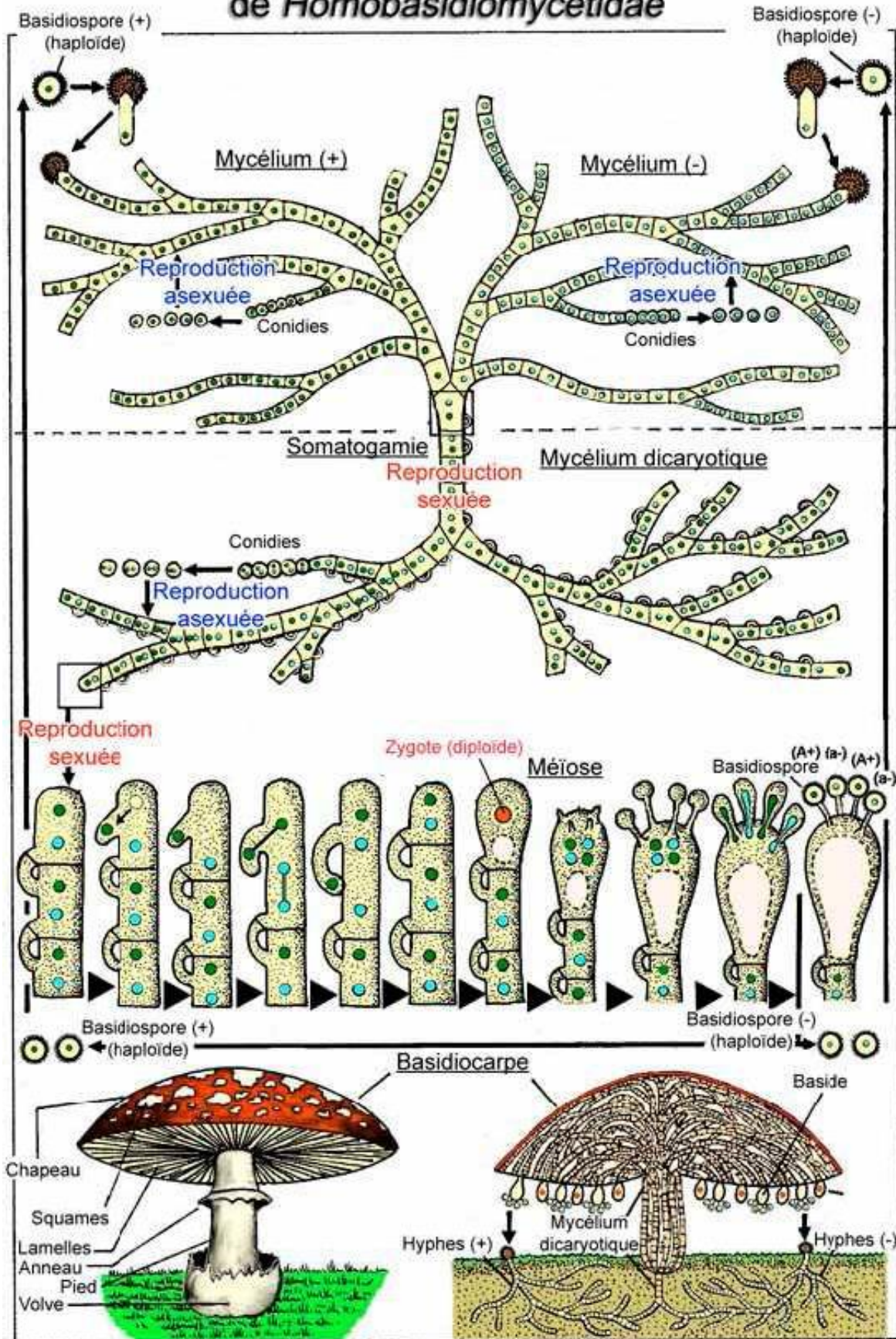
- Incluent des champignons tels les vesses de loup, earth-star, bird's nest fungi.
- L'hyménium n'est pas exposé à maturité.
- Ces champignons ont développé différents mécanismes pour libérer les spores.



Exemple Homobasidiomycetidae

- La reproduction sexuée débute par la somatogamie de deux thalles haploïdes compatibles.
- Ils se forme alors un mycélium dicaryotique, qui contribue à former le **basidiocarpe**.
- À ses extrémités, formant des lamelles, les cellules se différencient en **basides** qui exposent chacun 4 basidiospores.

Cycle de reproduction de *Homobasidiomycetidae*



7. Les principaux taxa

1. Les ascomycètes
2. Les basidiomycètes

1. Les Ascomycètes

1. Classification d'Ainsworth et al. (1973)

Ancienne classification basée sur ascocarpes et asques

Selon cette classification les Ascomycotina se répartissent en six classes :

	Asque	ascocarpe
Hémiascomycètes	unitunicate	-
Loculoascomycètes	bitunicate	ascostromata
Plectomycètes	prototunicate	cleistothèce
Pyrénomycètes	inoperculate	perithèce
Discomycètes	in/operculate	apothécie
Laboulbenyomycetes	unitunicate	perithèce

2. Classification phylogénétiques

Trois grands groupes d'Ascomycètes (analyses phylogénétiques)

- **Taphrinomycotina**

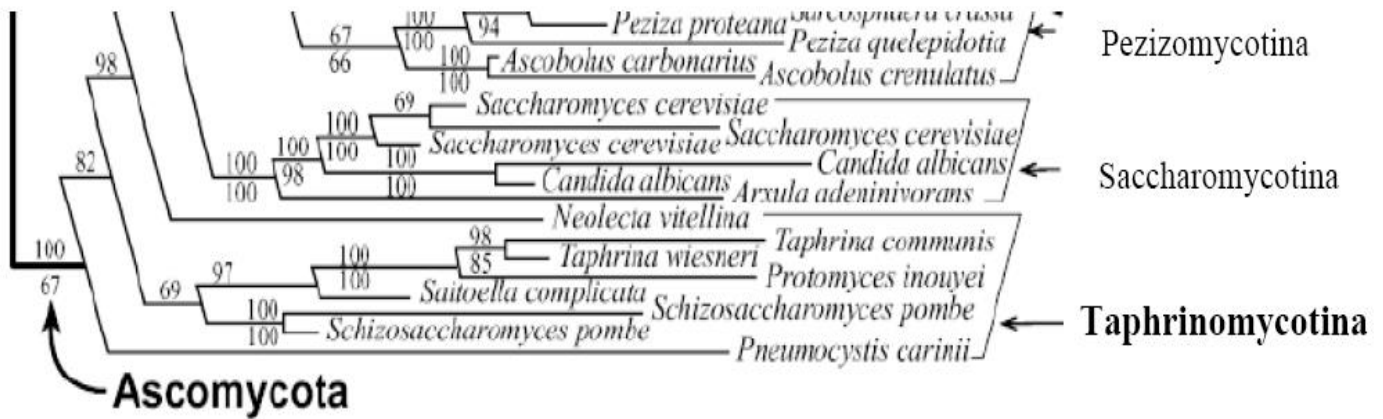
1. Pas d'ascocarpe
2. Asque unitunicate

- **Saccharomycotina**

- Pas d'ascocarpe
- Asques unitunicate
- Les vraies levures (saccharomycetes – inclus aussi des formes filamenteuses (Hemiascomycètes)

- **Pezizomycotina**

- Présence d'ascocarpe quand la forme sexuée est connue
- Ascomycètes supérieurs car morphologie plus complexe
- Inclus 90% des Ascomycètes connus



18S + 25S rDNA tree

Lutzoni et al., 2004

Taphrinomycotina

Principaux taxa:

Schizosaccharomyces: levure 'fission'

Pneumocystis : agent de la pneumonie

Taphrina : pathogène végétal (lésions sur feuilles – Rosaceae et certains arbres (chêne, peuplier))

Taphrina deformans (maladie de la cloque chez le Pêcher)

http://www.caf.wvu.edu/kearneysville/disease_descriptions/omplfcr1.html



Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

Sac fungi

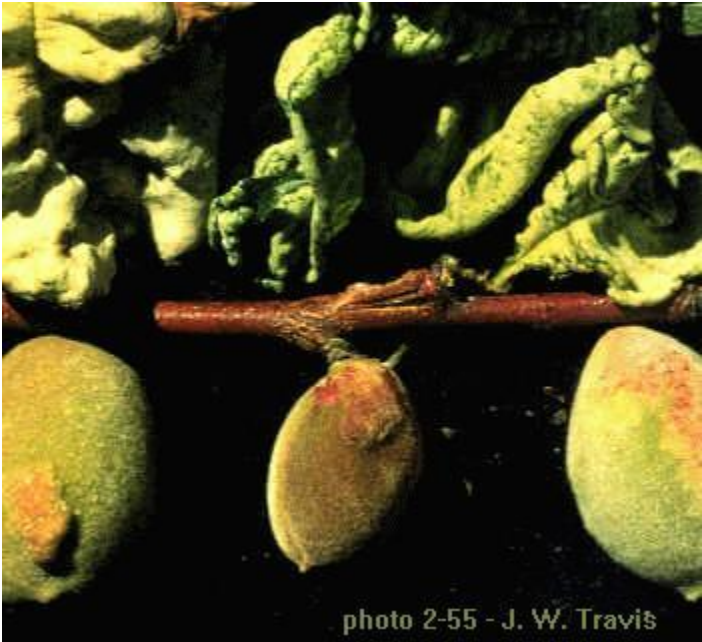
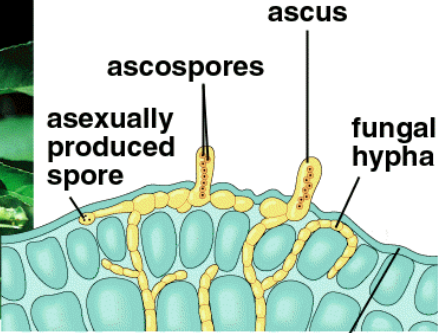


photo 2-55 - J. W. Travis



© Kingsley Stern



upper surface of leaf

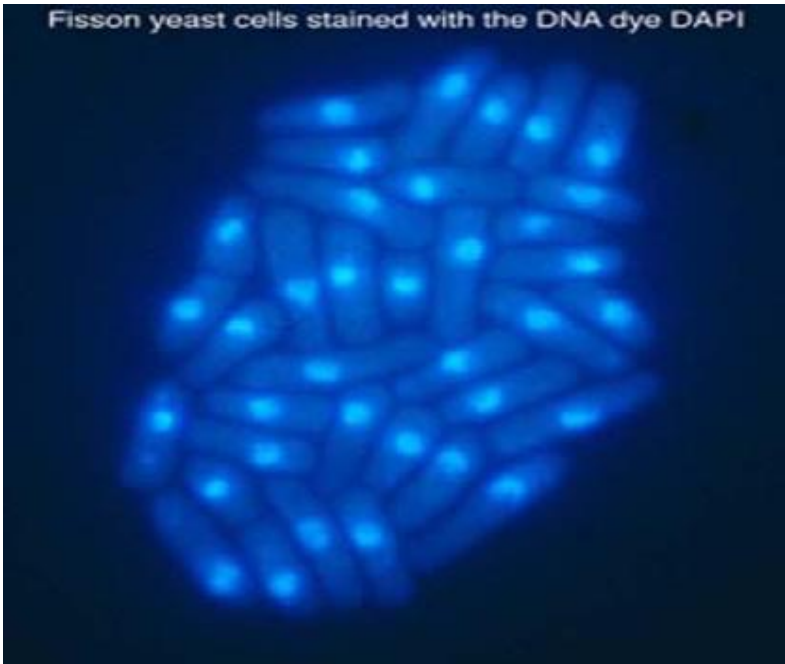
c. Peach leaf curl, *Taphrina*

Neolecta irregularis

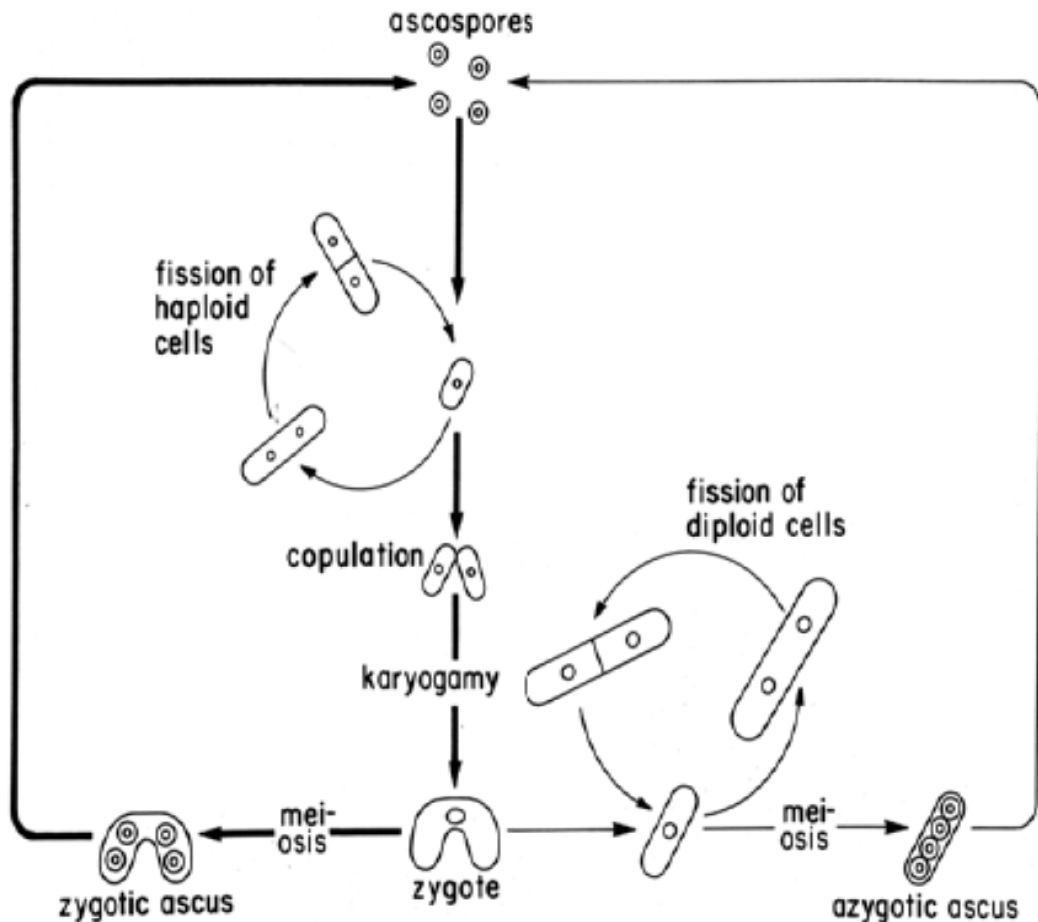


Schizosaccharomyces pombe

<http://www.biomed2.man.ac.uk/stewart/pictures/S.%20pombe%20cells.JPG>



<http://imb.usal.es/images/pombe.jpg>



Saccharomycotina

- Les 'vraies' levures (bourgeoisement) (--- Saccharomyces)
- Pas d'ascocarpe
- Essentiellement reproduction clonale
- > 800 espèces décrites

Principaux taxa:

Saccharomyces: bière, pain

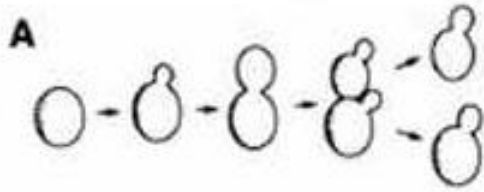
Candida, *Yarrowia*

Candida albicans (pathogène humain)

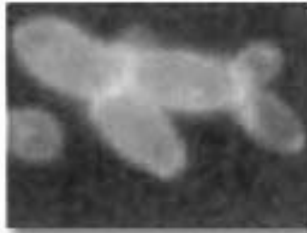
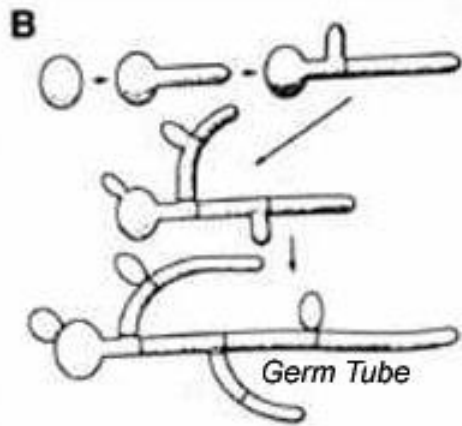
répandu dans les hôpitaux

opportuniste après opération chirurgicale et si système
immunitaire déficient

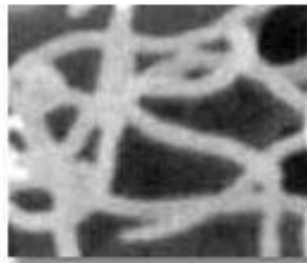
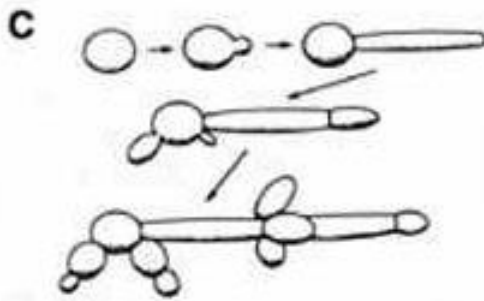
se propage dans le sang et les tissus lymphatiques.



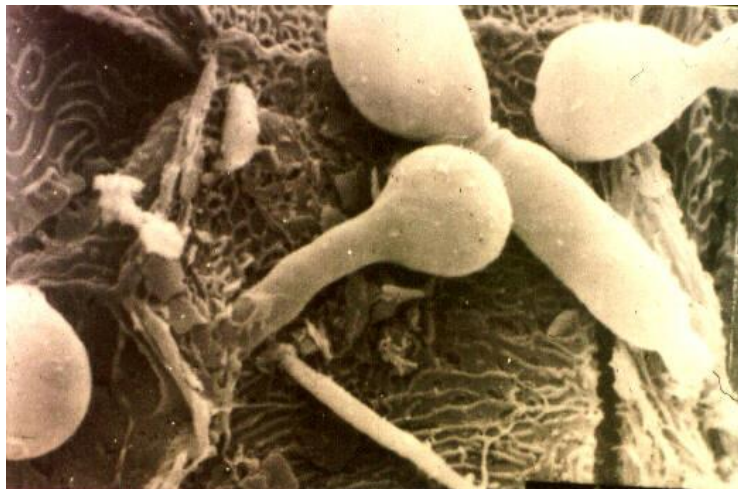
Budding yeast



Pseudohypha



Hypha



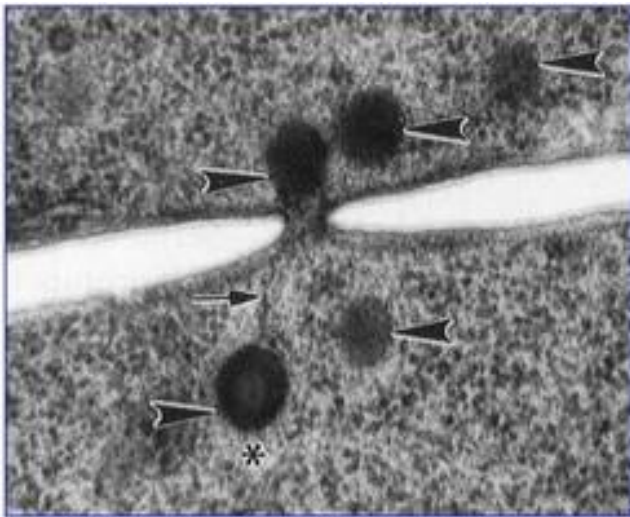
Candida formant des points de pénétration dans des tissus vivants 192

Pezizomycotina

- Ce groupe contient environ 90% des Ascomycètes connus, la grande majorité sont filamenteux (formés d'hyphes).
- 32000 espèces décrites
- Écologiquement divers (symbiose, pathogènes, décomposition du bois, endophytes, lichens ...)
- Milieux terrestres et aquatiques
- Pathogènes humains : *Coccidioides immitis* – fièvre de la vallée
- Bénéfiques humains : *Penicillium chrisogenum*
- 40% forment des lichens (e.g., Lecanoromycetes) - 8% de la surface terrestre – source de fixation du carbone
- Applications industrielles : production d'acides organiques (ex. *Aspergillus niger* – acide citrique)

Caractéristiques

- La plupart se développent sous forme d'hyphes
- Les hyphes sont septés (septum simple + simple pore)
- Présence de grains de Woronin



- Formation d'ascospores dans des asques

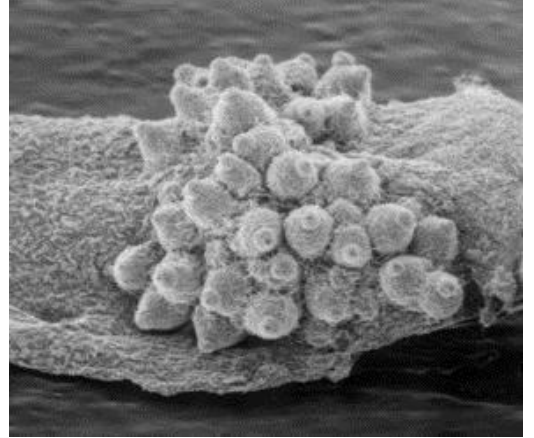


- **Quatre types d'ascocarpes**

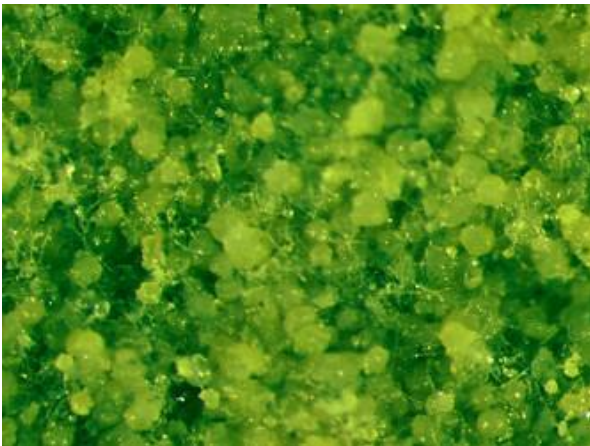
Apothécie, Périthèce, Cleistothèce et Ascostromata



Apothécie d'*Aleuria*



Périthèce de *Neurospora*



Cleistothecia de *Eupenicillium*



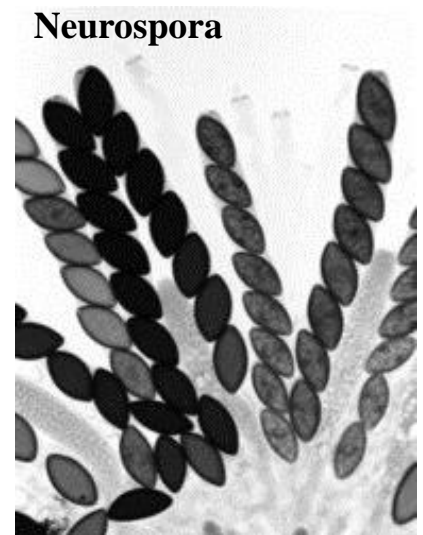
Ascostroma de *Tubeufia*

- **Types d'asques:**

unitunicate operculate et inoperculate, prototunicate, et bitunicate

- **Asque operculate:**

- Limité aux Apothécies des Pezizomycètes
- Ascospore libérés à travers un opercule (terminal ou subterminal) à l'apex de l'asque



- **Asques inoperculate:**

- Dans les Apothécies: Lecanoromycètes, Leotiomycètes, Orbiliomycètes
- Dans les Cleistothèces: Sordariomycètes, Leotiomycètes
- Dans les Périthèces: Sordariomycètes
- Libèrent les spores au travers d'un pore ou canal, par rupture de l'apex de l'asque ou par désintégration de la paroi de l'asque.

Asque prototunicate:

- Dans Apothécies: Lecanoromycètes
- Dans Cleistothèces: Eurotiomycetes
- Dans Périthèces: Sordariomycètes
- Paroi mince, globulaire et libèrent les ascques par désintégration de la paroi de l'asque



Asque bituniqué

- Dans Pseudothèques: Dothideomycetes, Eurotiomycetes, Arthoniomycetes
- Paroi épaisses (deux – exotunica et endotunica) séparables
- A maturité, la paroi externe s'ouvre. De l'eau entre et pousse la paroi à s'allonger. Les ascospores remontent.
- L'asque s'allonge vers l'extérieur de l'ascoma pour libérer les ascospores.

Classification

• **Avant phylogénie moléculaire**

- Classification basée sur sporocarpe et asque
 - Discomycètes – Apothécie, asque operculate et inoperculate
 - Pyrenomycètes – Perithèce, asque inoperculate
 - Plectomycètes – Cleistothèce, asque prototunicate
 - Loculoascomycètes – Ascostromata, asque bitunicate
 - ...

• **Phylogénie moléculaire**

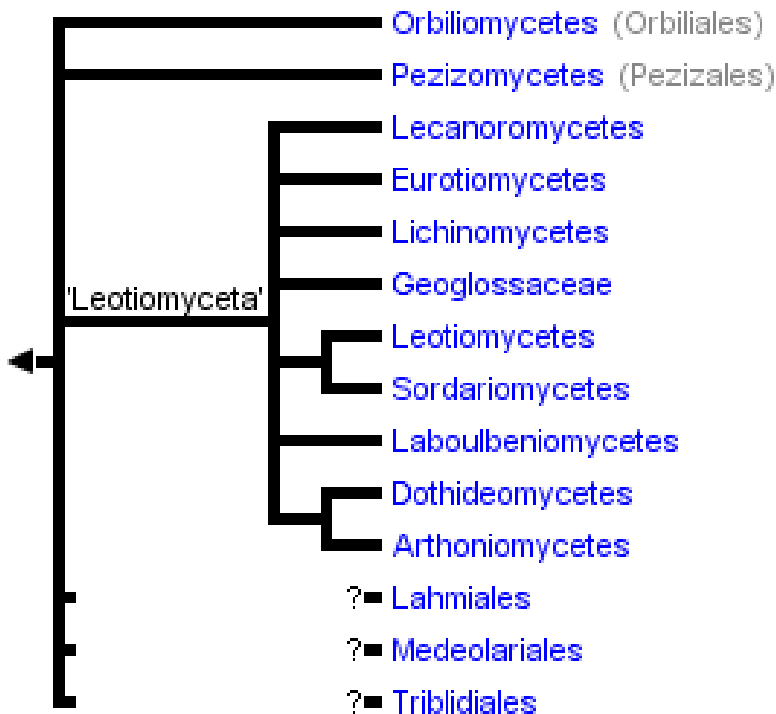
- Rejet de cette classification
- Existence d'au moins 10 clades majeurs
- Les caractères de l'ascospore et de l'asque ont été perdus et retrouvés au cours des générations plusieurs fois.

- Les deux lignées qui ont divergé le plus tôt sont Orbiliomycètes et Pezizomycètes. Les deux taxa produisent des Apothécies mais se distinguent par la production d'asques operculates uniquement chez les Pezizomycètes et d'asques inoperculées chez les Orbiliomycètes.

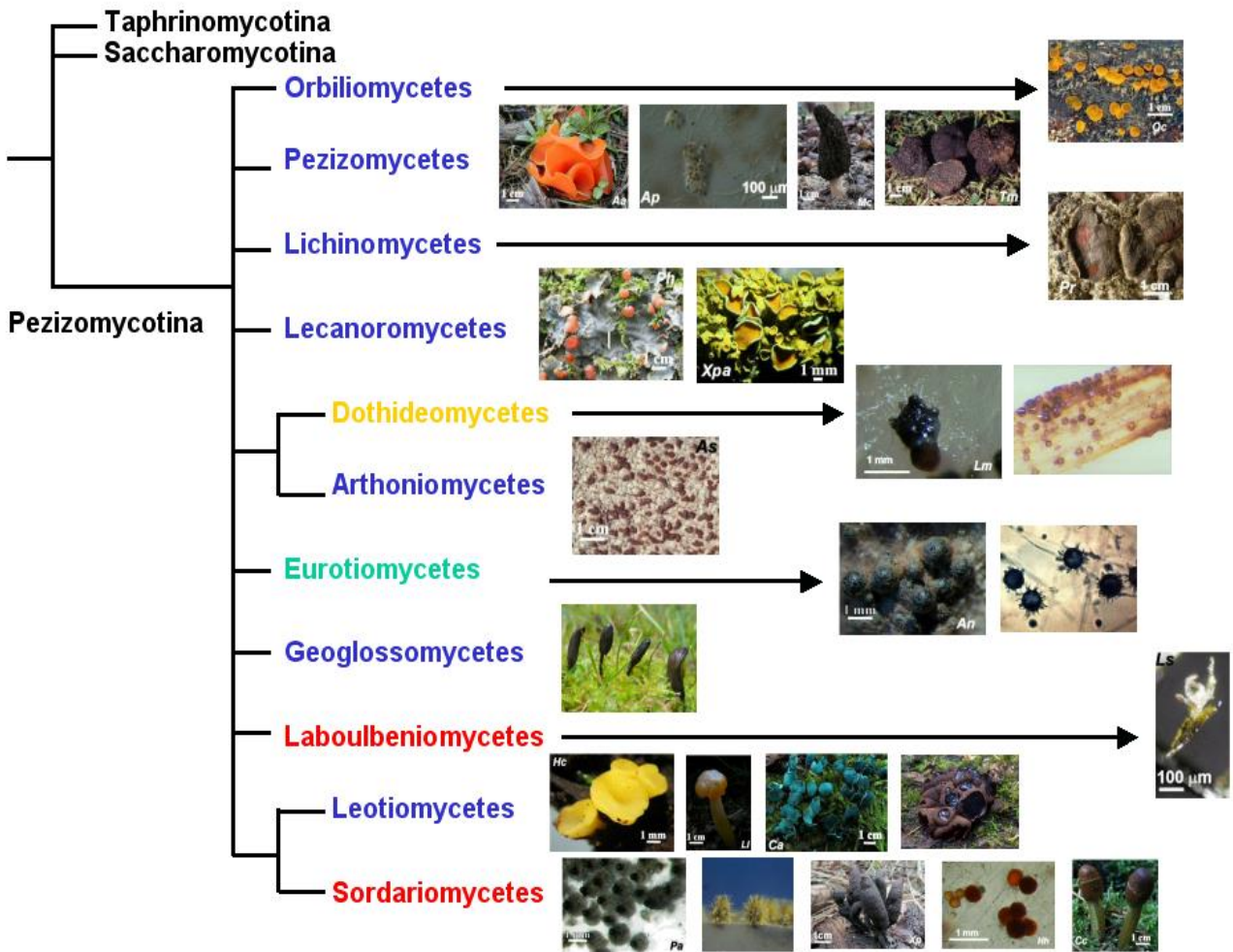
- Les autres taxa sont classés dans une super-classe "Leotiomyceta".

- Leotiomyceta inclus Arthoniomycètes, Dothideomycètes, Eurotiomycètes, Laboulbeniomycètes, Lecanoromycètes, Leotiomycètes, Lichinomycètes et Sordariomycètes.

- Geoglossaceae a été classé dans les Leotiomyceta, mais est rejeté sur des critères moléculaires. Actuellement il est classé "Leotiomyceta" incertae sedis et pourrait former un clade avec les Lichinomycètes ou être une autre classe.



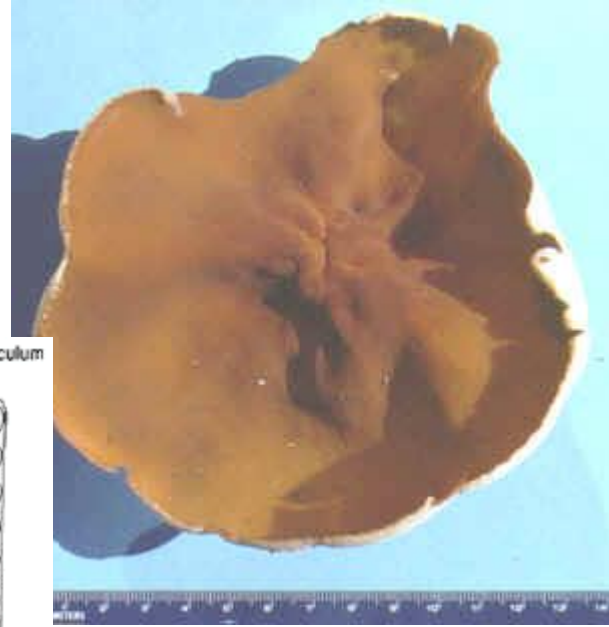
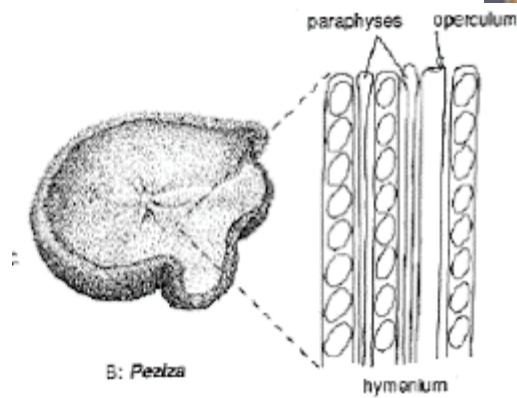
La phylogénie des pezizomycotina



Exemples de Pezizomycètes (ordre Pezizales)

Famille: Pezizaceae

- bois, excréments, sol
- Typique en forme de coupelle
- Apothecies, asques operculate



Famille: Pyronemataceae

- Un des plus commun
- Bois pourris
- Typique en forme de coupelle
- Apothecies, asques operculate



Scutellinia scutellata

Famille: Helvellaceae



Gyromitra esculenta



Helvella lacunosa

Produit la gyromitrin : une toxine mortelle.
Fausse morille. Peut être confondu avec les morilles (comestibles)

Famille: Morchellaceae

- Regroupe les morilles (genre: Morchella) et les verpa (genre Verpa).
- Les premiers sont comestibles, les seconds ne sont pas toxiques mais ne sont pas très bon.



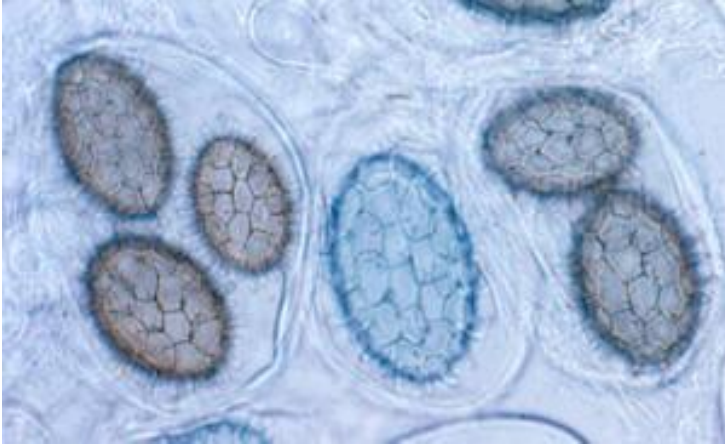
Morchella esculenta



Verpa bohemica

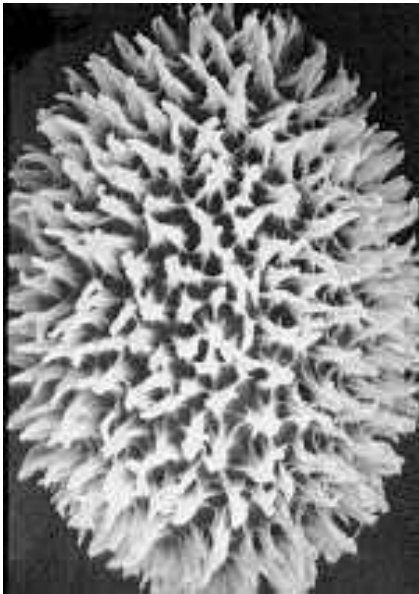
Famille: Tuberaceae

- Comestibles
- hypogées

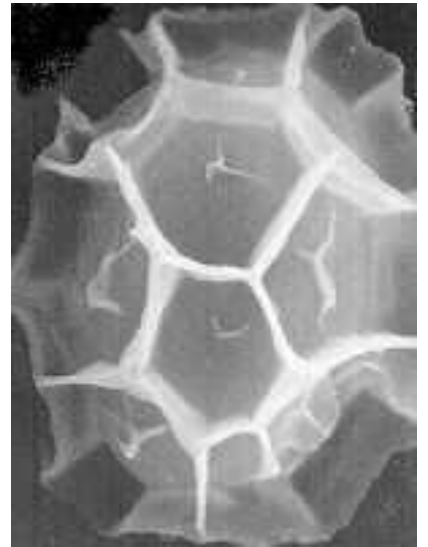


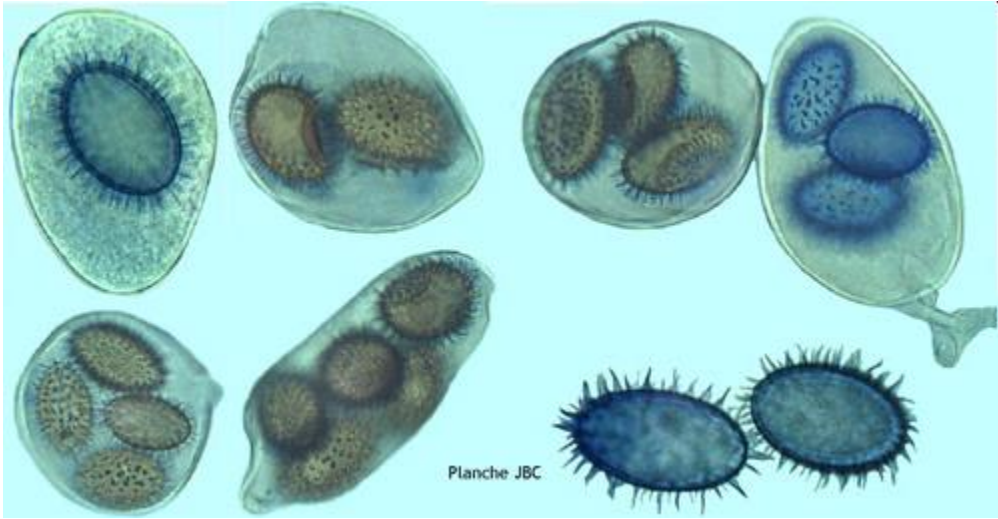
Tuber magnatum

Asques ronds à paroi fine. Pas de trace d'opercule ou autre mécanisme d'éjection des spores. Contient généralement 1 à 3 spores.

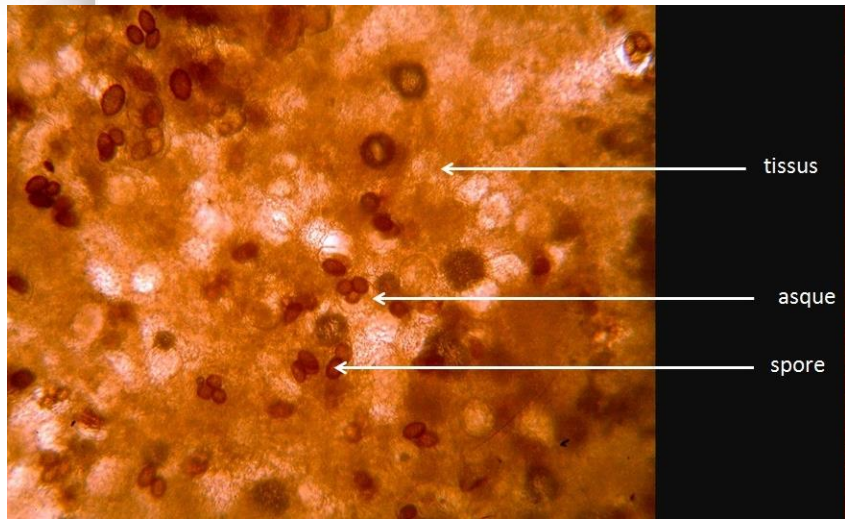
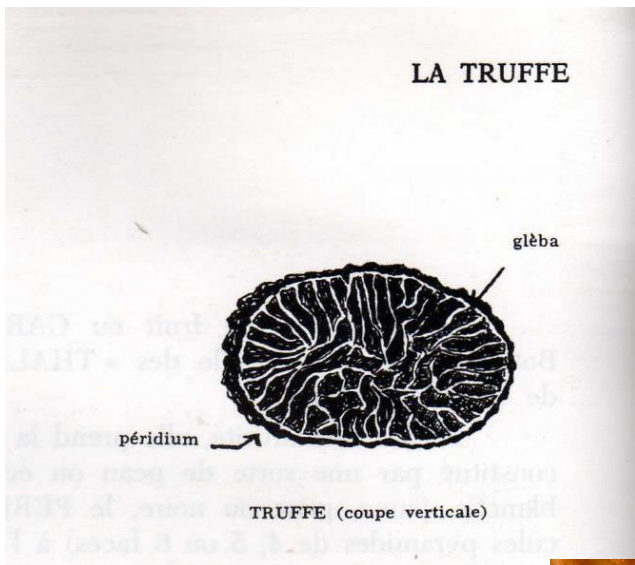


Ascospores ornementés. Spiny (gauche) ou lacuneux (droite).





Tuber brumale



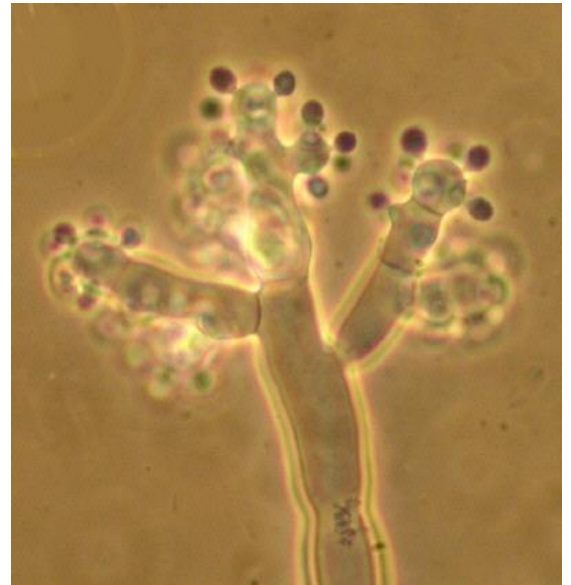
Exemples de Leotiomycètes (13 familles, 400 genres, 2000 espèces).

Famille : Sclerotianaceae

- Responsable de nombreuses maladies chez les plantes

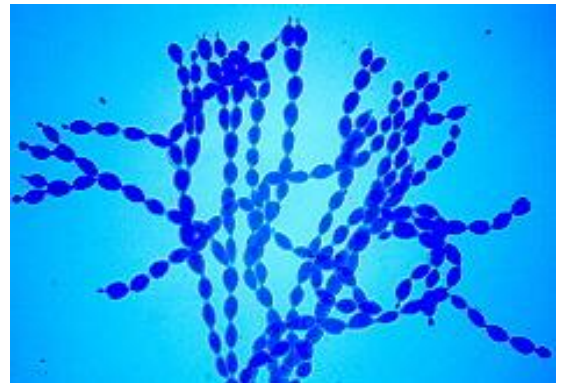


Botrytis cinerea : pourriture grise



Conidiophore avec développement blastique synchronisé des conidies

Monilia sur pêcher. Moisissure formée de masses de chaînes de conidies blastiques ramifiées acropétales.



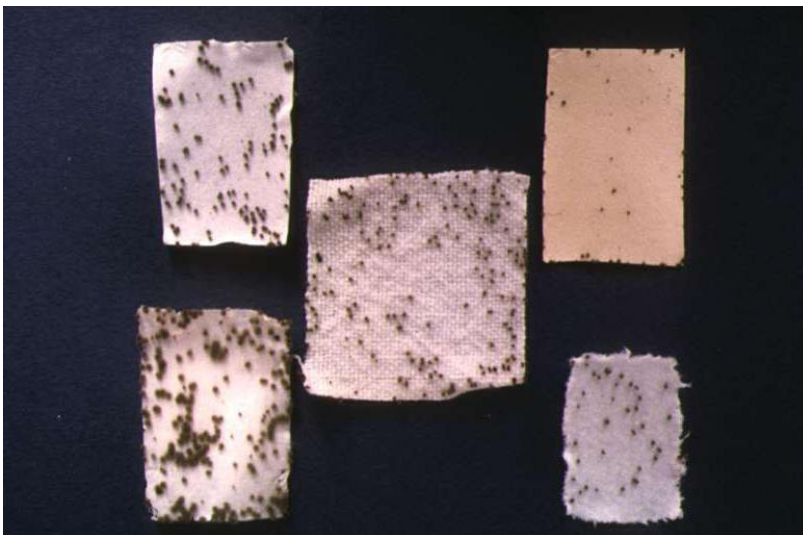
Exemples de Sordariomycetes

Principaux groupes:

- Sordariales
- Diaporthales
- Hypocreales
- Meliolales
- Xylariales

Chaetomium (Sordariale)

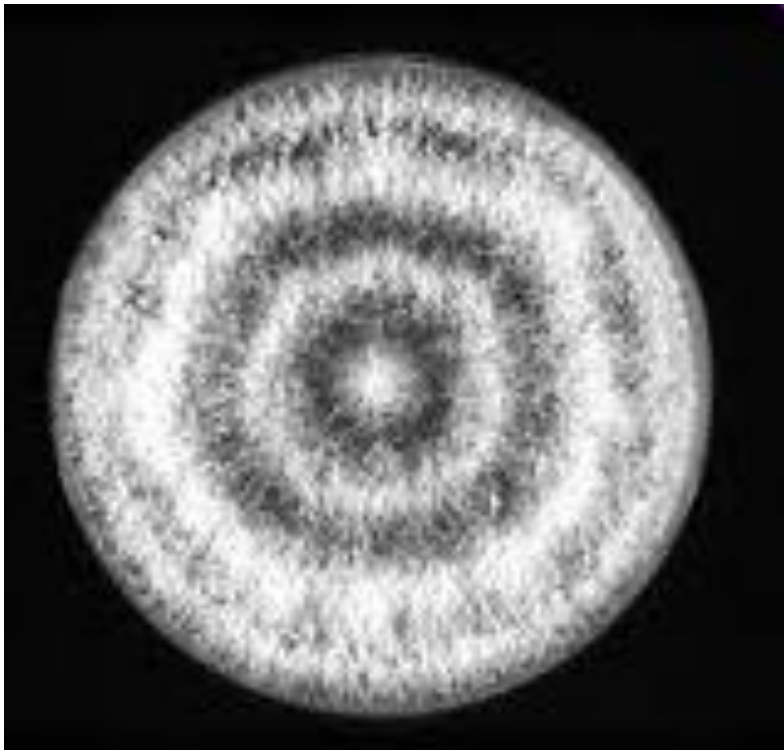
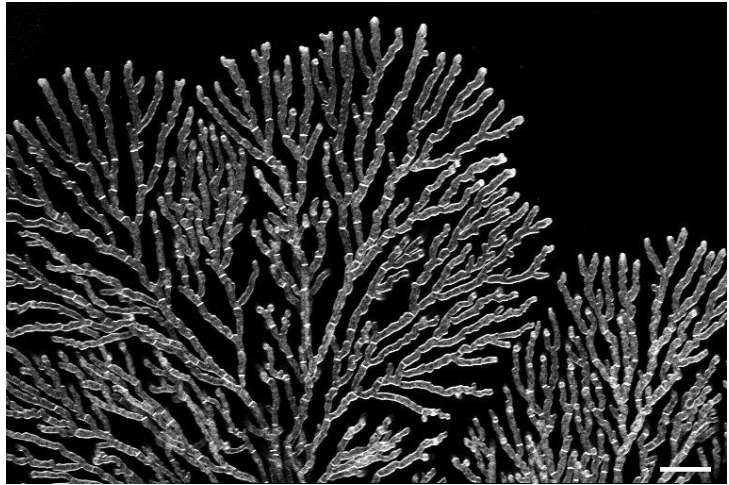
- Sous tous les climats
- Infections chez les humains



Chaetomium Globosum sur papier et textile

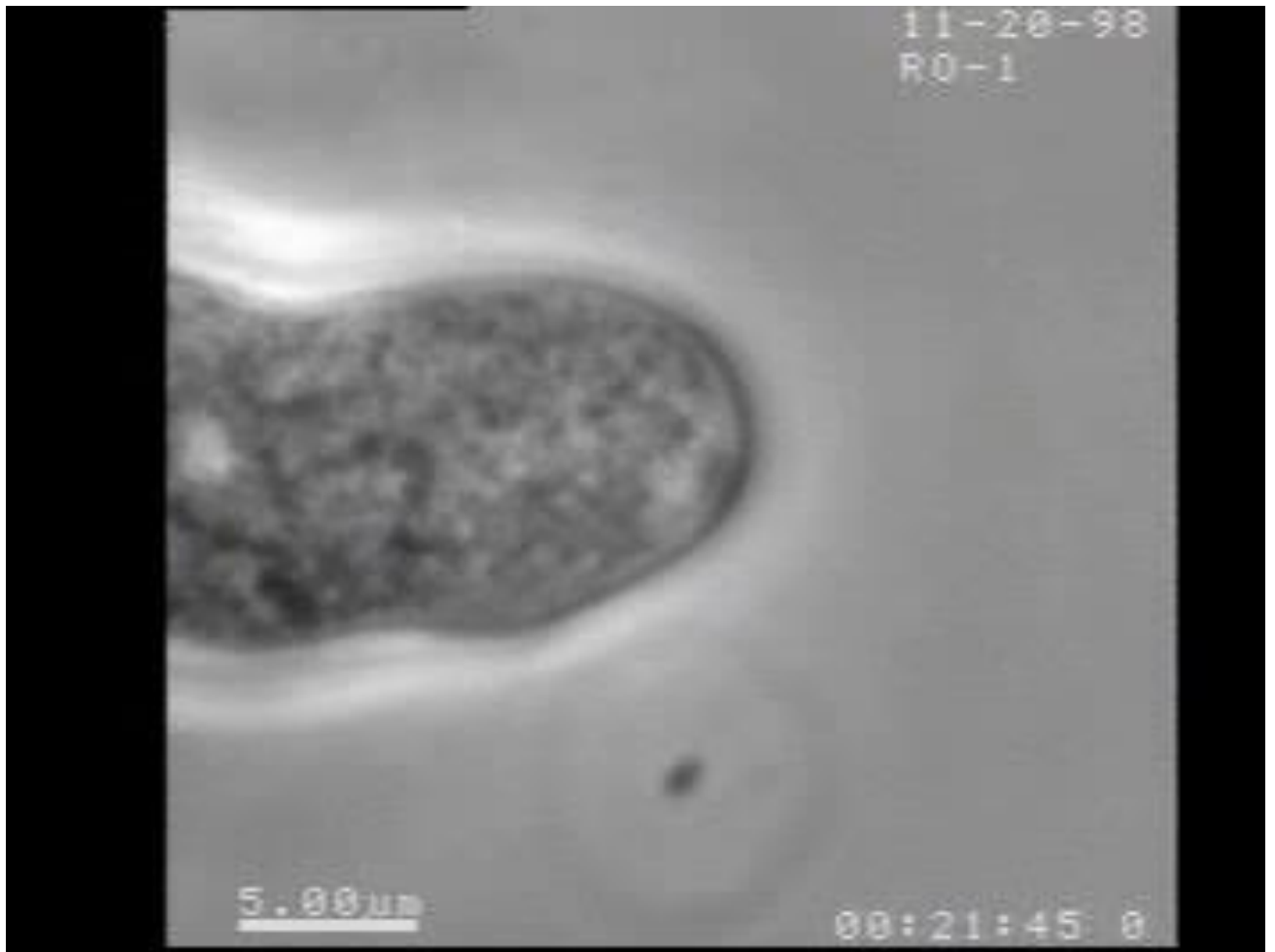
Neurospora (Sordariale)

- Signifie ‘spore nerveuse en raison des rayures caractéristiques des spores qui ressemblent à des axones
- Organisme modèle



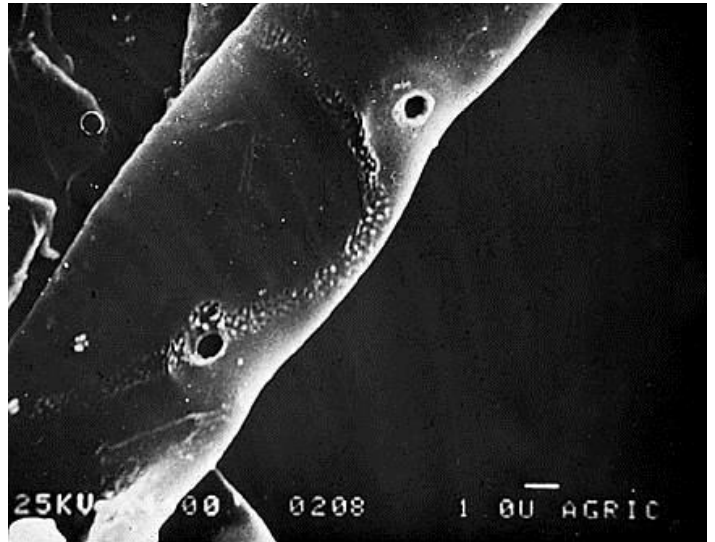
Rythme circadien

Ex. Spitzenkörper chez *Neurospora crassa*



Trichoderma (Hypocreale)

- Utilisé en lutte biologique contre d'autres champignons pathogènes



Claviceps (Hypocreale)



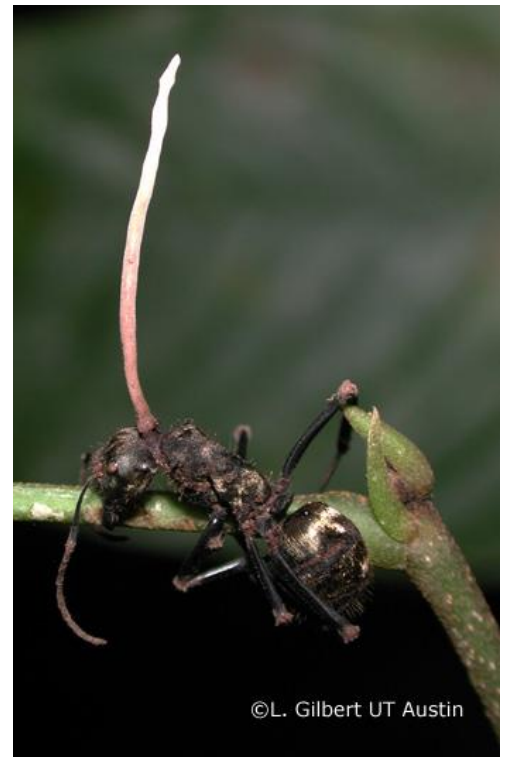
Claviceps purpurea (ergot du seigle)

Cordyceps (Hypocreale)

- Parasites d'insectes, d'araignées, de mites



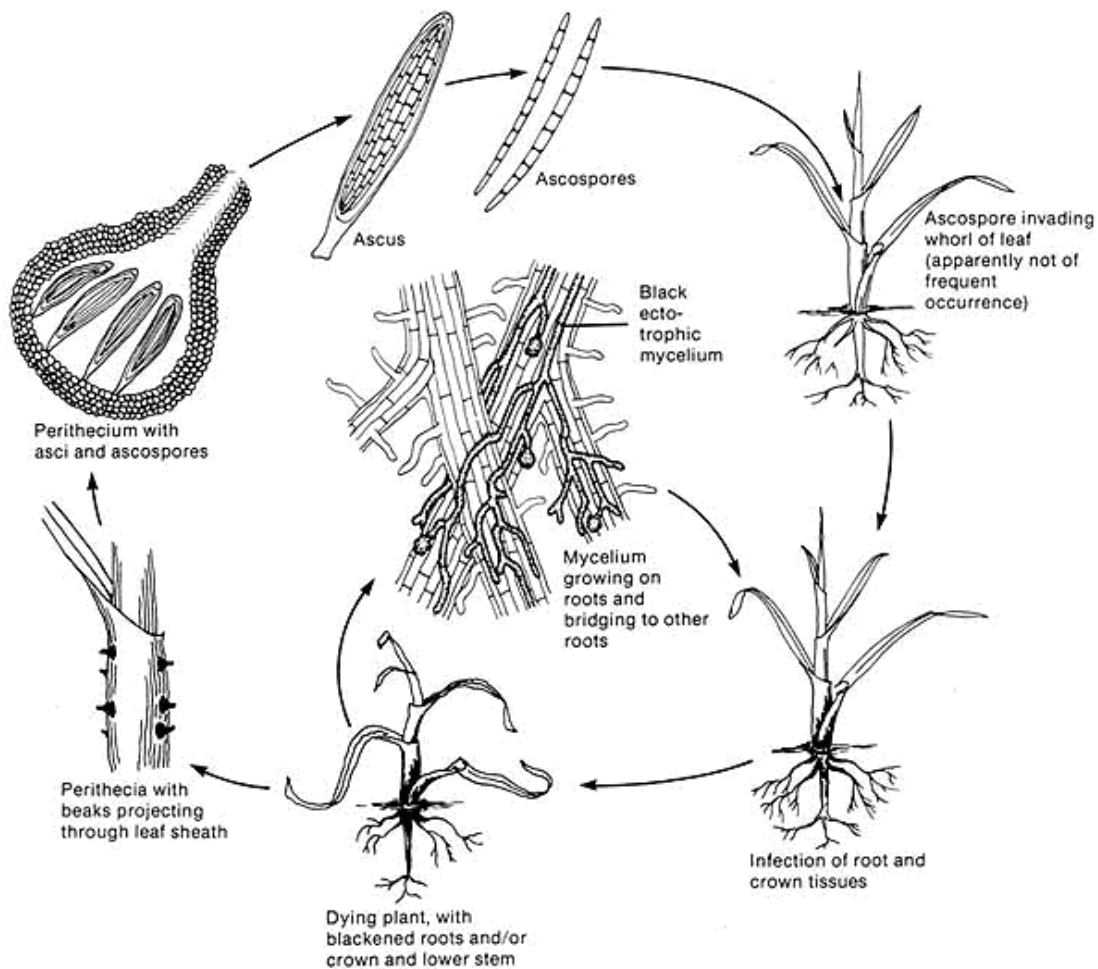
Cordyceps se développant sur une mygale



Gaeumannomyces graminis (Diaporthales)

• Gros problème sur blé

Nécroses sur racines de blé



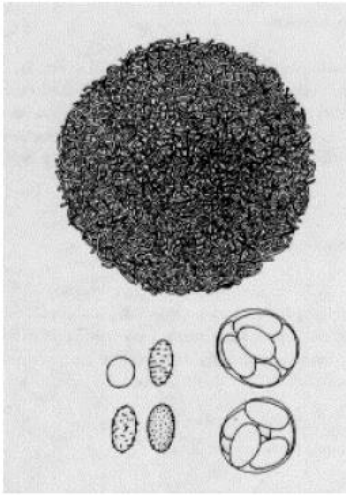
***Xylaria polymorpha* (Xylariales)**

- Forêt
- Troncs pourris

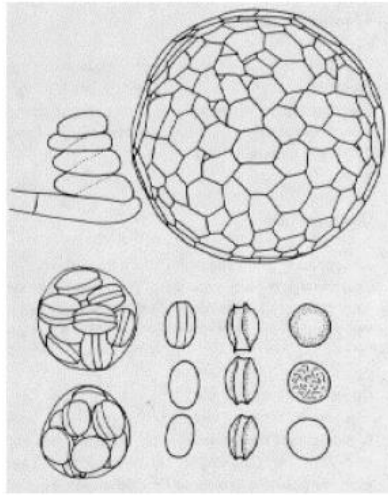


Exemples de Eurotiomycetes

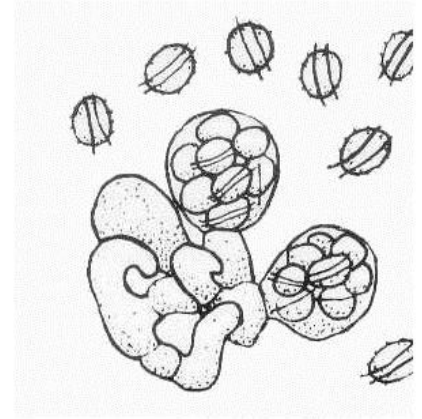
Beaucoup de genres sont téléomorphes de *Penicillium*, *Aspergillus*



Talaromyces
anamorphs: *Penicillium*, *Paecilomyces*...



Eurotium
anamorphs: *Aspergillus*,...



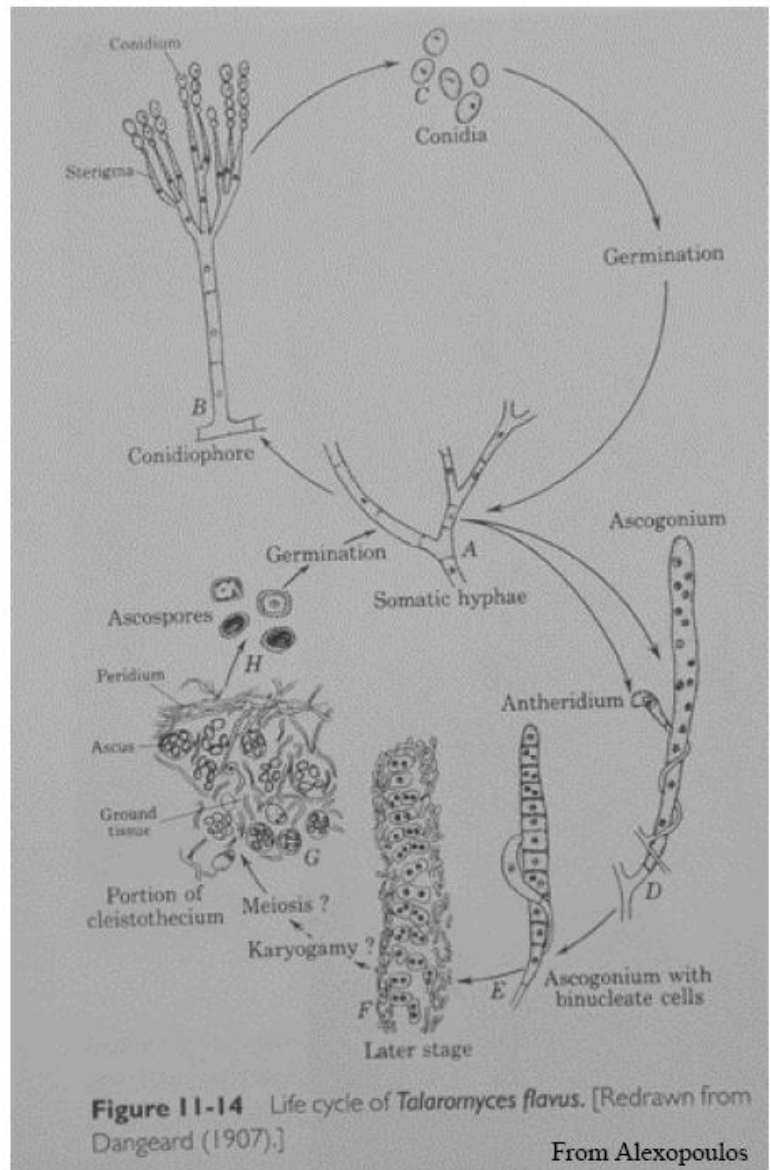
Eupenicillium
anamorphs: *Penicillium*,...

<http://www.univ-brest.fr/esmisab/sitesc/Myco/fiches/Eochra.htm>

Pics from Malloch's web site

Penicillium

Talaromyces



Exemples de Laboulbeniomycetes



laboulbeniomycète sur un coléoptère
d'après <http://nh.kanagawa-museum.jp/>

Exemples de Dothideomycetes

- les *Alternaria* qui produisent des spores allergènes
- les *Cochiobolus*, *Leptosphaeria*, *Pyrenophora* et *Mycosphaerella* qui infectent de nombreuses plantes cultivées



Exemples de Geoglossomycetes



Geoglossum glutinosum d'après
<http://www.hallandsbotan.org/>

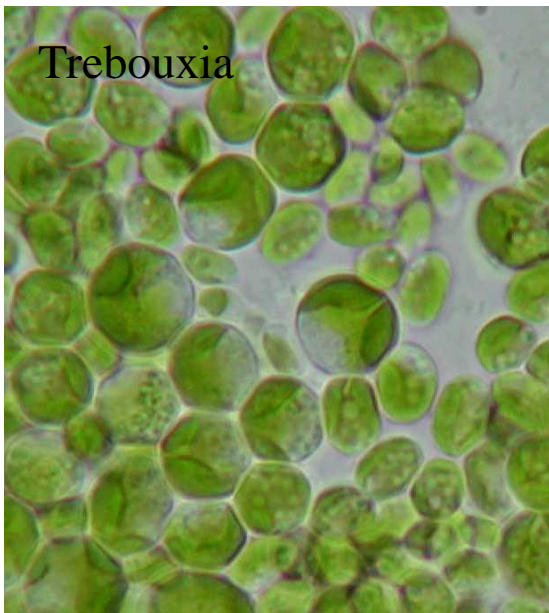
Les lichens

- Symbiose entre un champignon (majoritairement *Ascomycète* plus rarement *Basidiomycète* ou *Deutéromycète*) et une algue verte ou une *cyanobactérie, autotrophes* (chlorophylliens).

- *Trebouxia* (80%) algue unicellulaire
- *Trentepohlia* algue filamenteuse
- Cyanobactérie filamenteuse (*Nostoc*)

= 90% des **photobiontes**

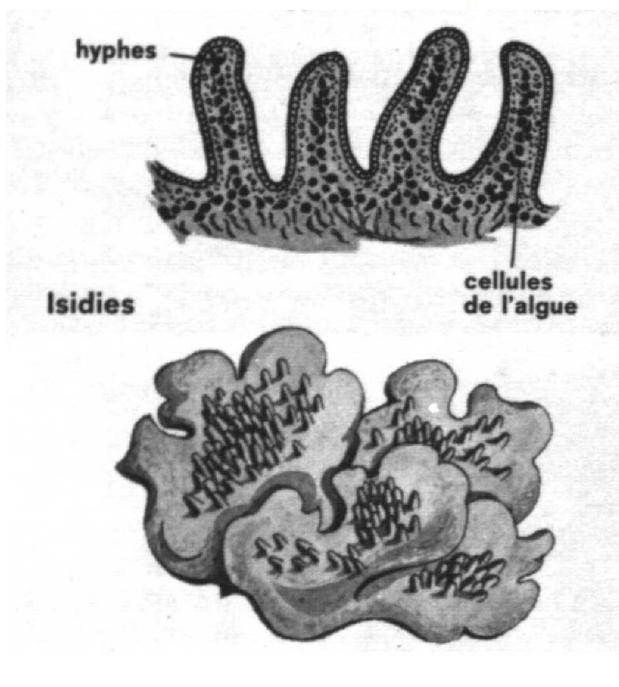
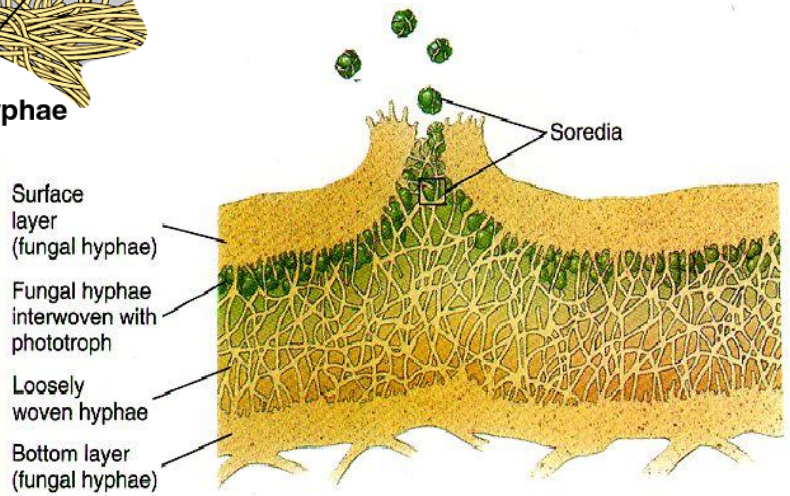
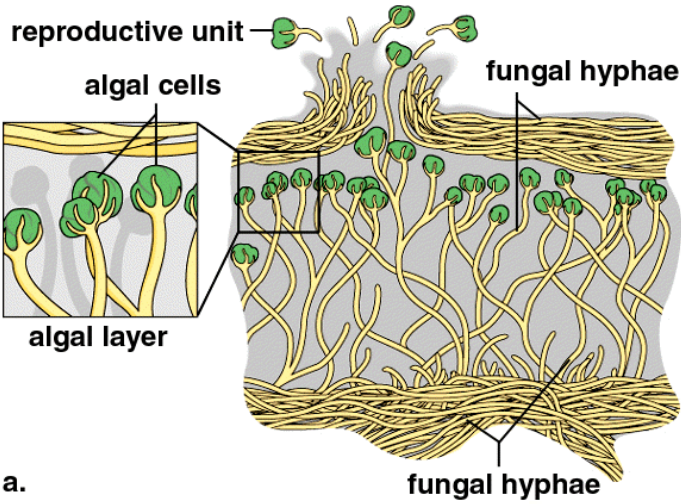
- 40% des ascomycètes (15-20000 espèces décrites)
- 1/5 des champignons connus
- Résistants aux conditions extrêmes

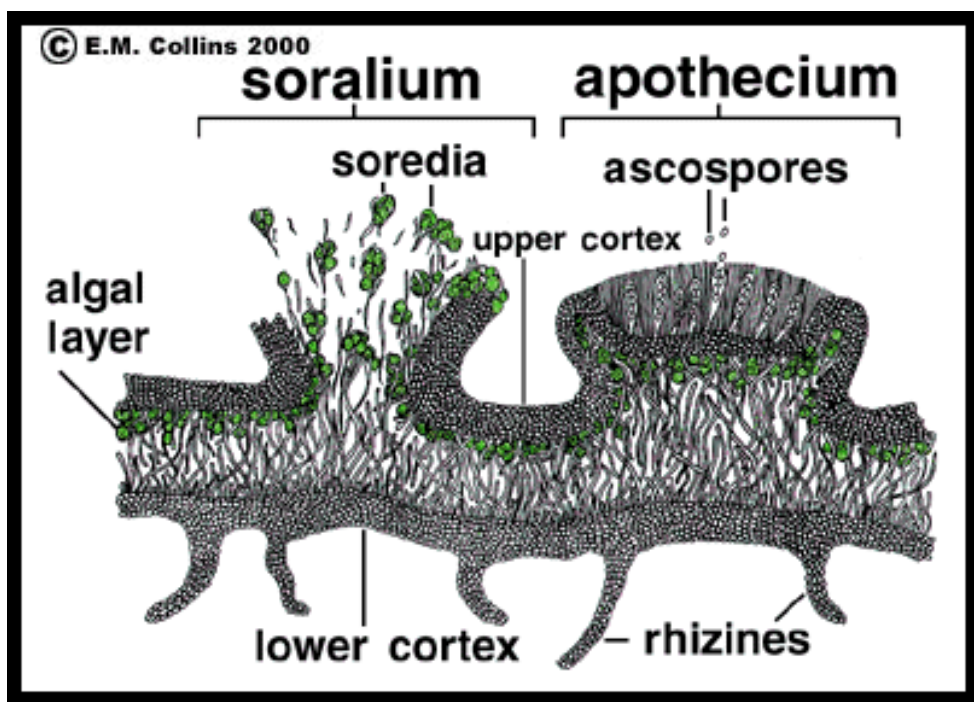
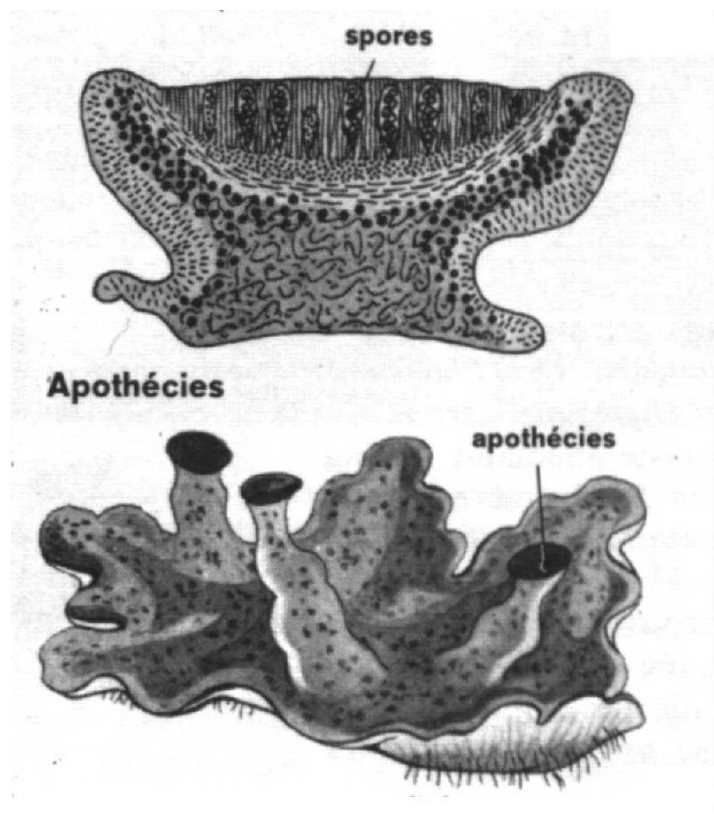


Reproduction des lichens

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

Lichen morphology





Caractéristiques du thalle

On distingue trois types de lichens selon l'aspect global de leur thalle.

1. Lichen crustacé: thalle fortement plaqué au support, formant une croûte.
2. Lichen foliacé: thalle formant de petits lobes arrondis, comme de petites feuilles qui s'écartent un peu du support.
3. Lichen fruticuleux: thalle formant des prolongements plus ou moins longs, redressés ou pendants.



Autres caractéristiques

1. Résistants aux conditions extrêmes (teneur en eau de 2% - températures de -70° à $+70^{\circ}$ c).
2. Croissance excessivement lente: certaines espèces quelques centièmes de mm par an !
3. Grande longévité : certaines colonies > 4000 ans.
4. Indicateur de pollution
5. Alimentation: rennes, caribous
6. Industrie teinturière: teintes de bleu, pourpre (rouge violacé) et violet sont données par la parelle d'Auvergne, *Ochrolechia (Lecanora) parella*, l'orseille des Canaries (*Roccella tinctoria*).

Le mycobionte

- **Lichinomycètes**

- Photobionte généralement cyanobactérie
- Asque bitunique

- **Arthoniomycètes**

- Photobionte Trebouxia
- Apothécie avec asques bituniqués

- **Lecanoromycètes**

- Les plus important



Anema nummularium



Roccella fusiformis



Letharia vulpina

- grows mostly on old or dead trees in dry, low temperature 'old growth' coniferous forests; also on old wooden fenceposts.
- known only from North America and Europe.
- highly sensitive to human disturbance, especially the eradication of old growth forests.
- It is now reportedly extinct in Finland!

- Toxic; widely used in both Native American and early European civilizations:
 - Scandinavians used to mix with meat to kill wolves, hence its common name, the "Wolf Moss".
 - The Achomawi in Northern California used it to make poison arrowheads.
 - Water extracts also used as a medicine for internal problems and in stronger solution to wash external sores and wounds.
 - Also employed as a yellow dye for staining baskets and fibers.

Cladonia



Usnea lichen is important to note because it has life-saving potential. Native Americans employed it as a compress to severe battle wounds to prevent infection and gangrene, and it was also taken internally to fight infections. Usnea contains potent antibiotics (Usnic acid) which can halt infection and are broad spectrum and effective against all gram-positive and tuberculosis bacterial species.

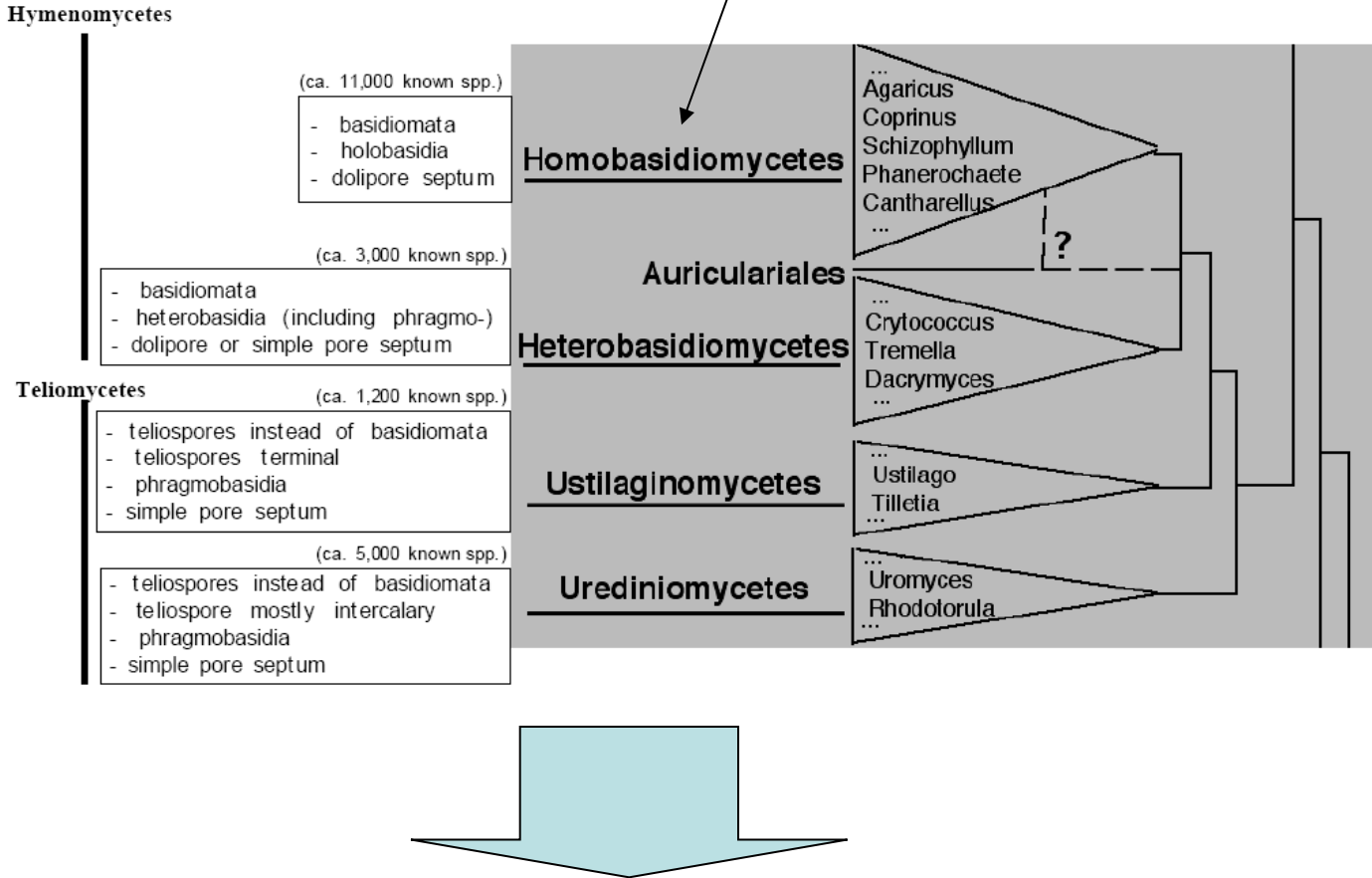
This lichen, promoted to induce weight loss via increase in metabolic rate, has been the topic of an FDA warning in the USA, due to hepatotoxicity in a product called Lipokinetix.



Usnea barbatum
Usnea Lichen
photo by David Parke

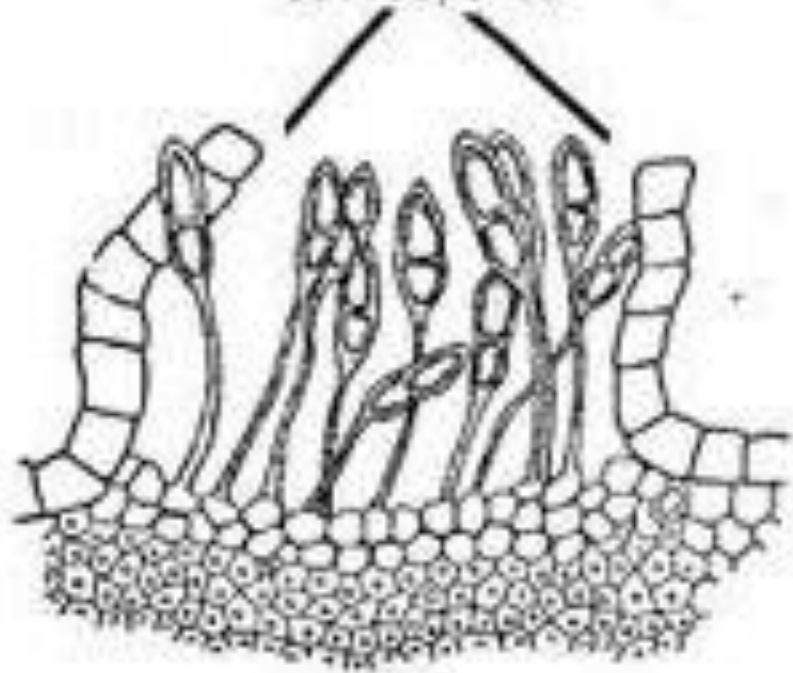
2. Les Basidiomycètes

Gastéromycètes (qui ne déchargent pas les spores activement)

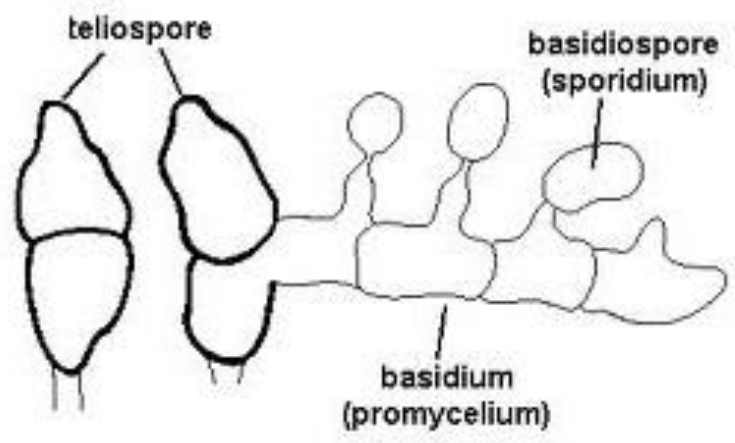
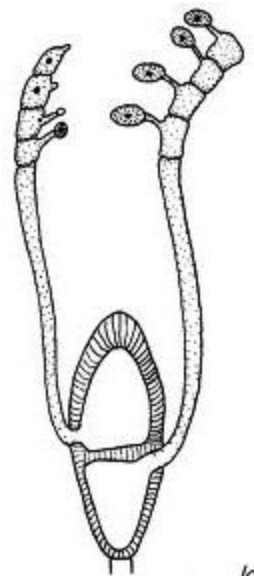


- Agaricomycotina (jelly fungi, yeasts, and mushrooms) « fungi »
- Ustilaginomycotina (smut fungi) « charbon »
- Pucciniomycotina (a diverse group of fungi, including rusts, yeasts, smut-like and jelly-like fungi)
- ? Entorrhizomycetes
- ? Wallemiomycetes « Wallemia » « rouille »

teliospores



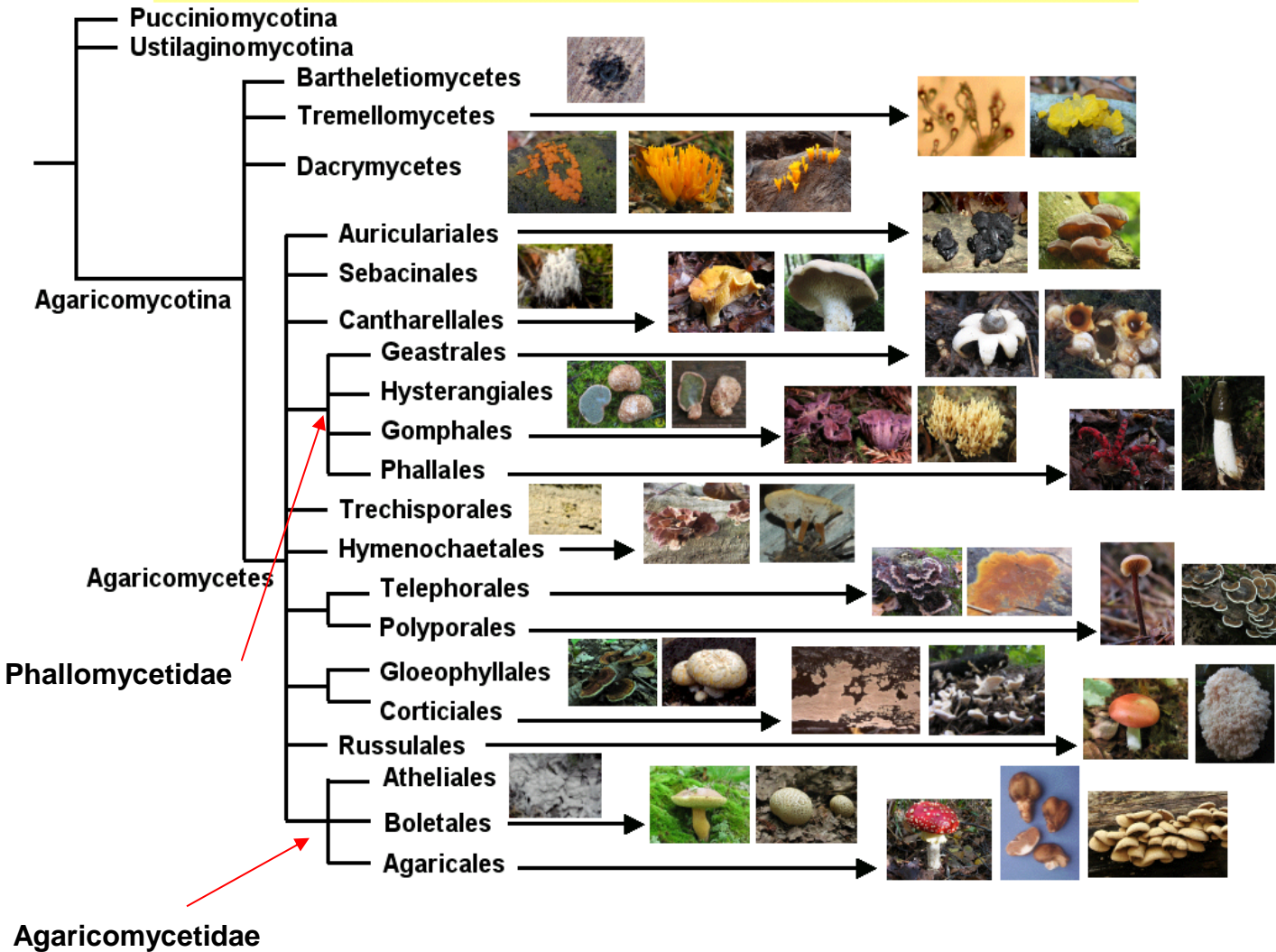
Telium
Stage III



9/1/97

Agaricomycotina

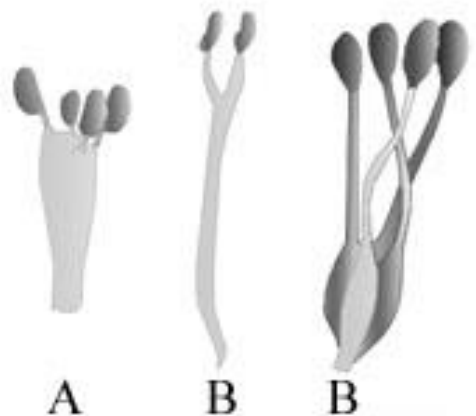
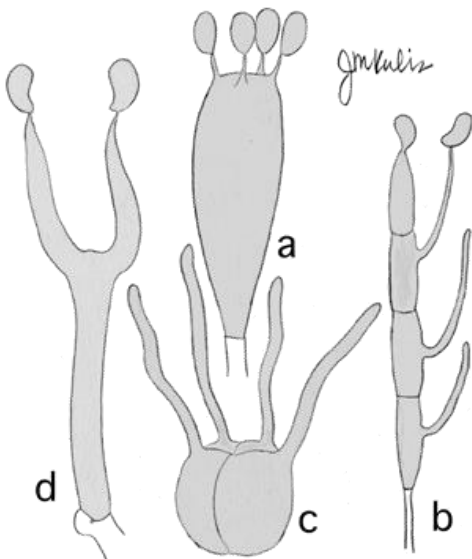
La phylogénie des Agaricomycotina



- Toutes les stratégies écologiques
 - Saprophytes
 - Associations (de type antagoniste – mycorhize) avec plantes, animaux
 - Pathogènes
 - Mycoparasitisme (surtout chez Tremellomycètes)
- Regroupent la plupart des espèces comestibles

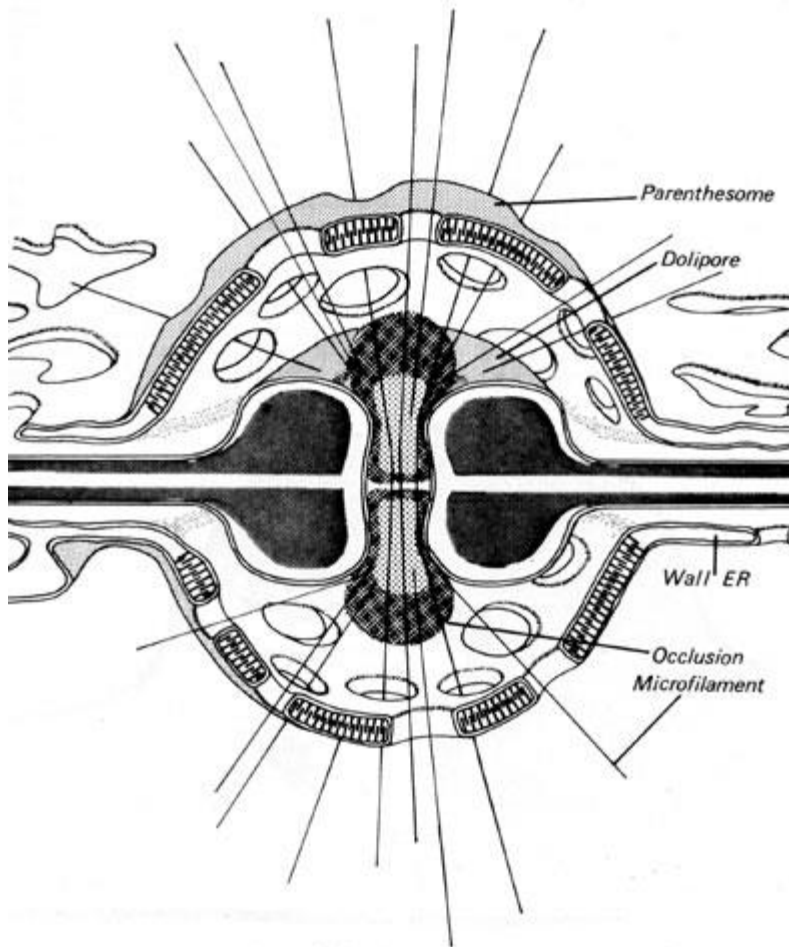
Caractéristiques

- Grande variabilité macroscopique et microscopique.
- Forme et septation du baside: un des caractères les plus importants en taxonomie (supra)
- Basides peuvent être de forme différente, être non-divisés ou divisés transversalement ou longitudinalement par des septa.
 - Homobasidiomycètes: (homo)basides non divisés avec production de spores sur des stérigmates courts.
 - Hétérobasidiomycètes : (hétéro)basides cloisonnés
 - Des études phylogéniques récentes classent certains homobasidiomycètes avec les hétérobasidiomycètes
 - En conséquence, le terme "homobasidiomycètes" et "hétérobasidiomycètes" n'est plus utilisé en taxonomie (mais uniquement comme terme descriptif).



Comparison de baside. A, baside chez la plupart des fungi B, deux types de basides chez les jelly fungi. 230

- Caractère unifié chez les Agaricomycotina: présence d'un dolipore (pore dans le septum qui sépare deux parois) et de parenthosomes (dans pratiquement tous les genres).



Bartheletiomycetes

- Une seule espèce décrite: *Bartheletia paradoxa*
- Saprophyte : feuilles de *Ginkgo biloba*
- Fossile vivant



Bartheletia paradoxa



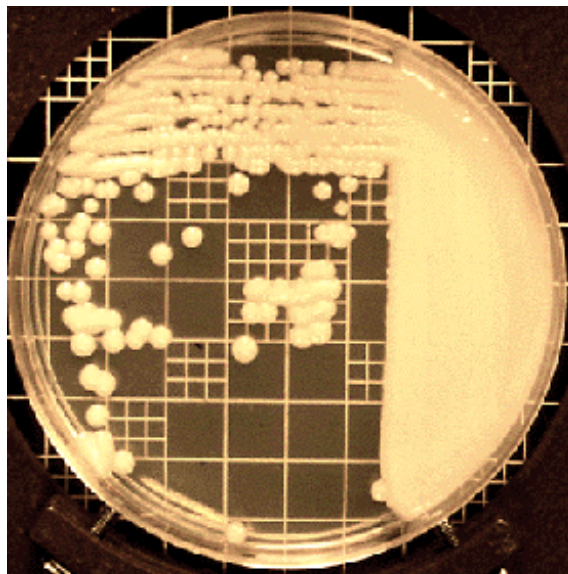
Feuille de Ginkgo en cours de dégradation

Tremellomycetes

- Saprophytes ou parasites d'autres champignons
- Cycle (haploïde levurien) - fusion de levures = mycelium dicaryotique et carpophore gélatineux
- Certains uniquement sous forme de levure : *Cryptococcus neoformans*



Tremella foliacea



Cryptococcus neoformans
Yeast extract glucose agar

Dacrymycetes

- un seul ordre, les dacrymycétales, qui sont des saprophytes communs. Ils sont caractérisés par leur baside qui ont une forme de fourchette à deux pics
- Fructifications sont souvent colorées en orangé/jaune



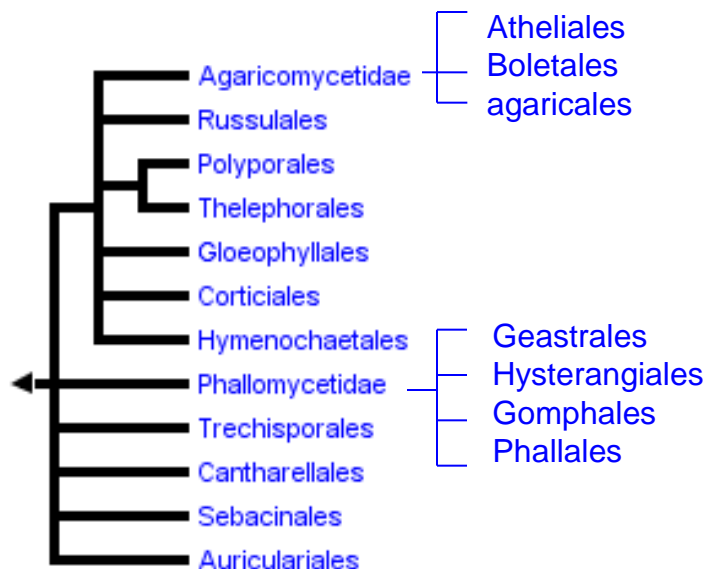
Calocera viscosa



Calocera cornea

Agaricomycètes

- +/- 16 000 espèces (= 80% des Agaricomycotina).
- Produisent des carpophores (champignons à chapeau)
 - Taille varie de quelques gr jusqu'à 300 kg (*Rigidoporus ulmarius*)
 - Taille mycélium plusieurs hectares (ex. *Armillaria gallica* avec une masse de 10 000 kg) – âge 1500 ans.
- Saprophytes, pathogènes, parasites, symbiotes
 - Wood decayer (forêt)
 - Ectomycorrhizes
- La grande majorité des comestibles sont des Agaricomycètes
 - Cultivés: (*Agaricus bisporus*), shiitake (*Lentinula edodes*), (*Pleurotus ostreatus*) ...
 - Espèces sauvages (non cultivables car ECM): Bolets, (*Boletus edulis*), chanterelles (*Cantharellus cibarius*), and matsutake (*Tricholoma matsutake*).

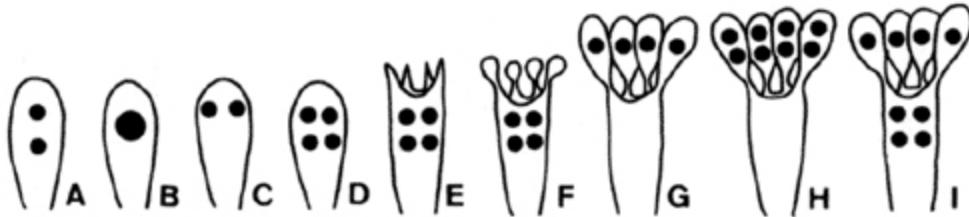


Caractéristiques

- filamenteux – hyphes séparés par des septa percé d'un dolipore et flanqués de parenthosomes
- Cycle de vie dominé par une phase dicaryotique (deux noyaux haploïdes).
- Champignons forment des carpophores issus de mycelium dicaryotique.
- Parfois les carpophores en périphérie (ronds de sorcière).

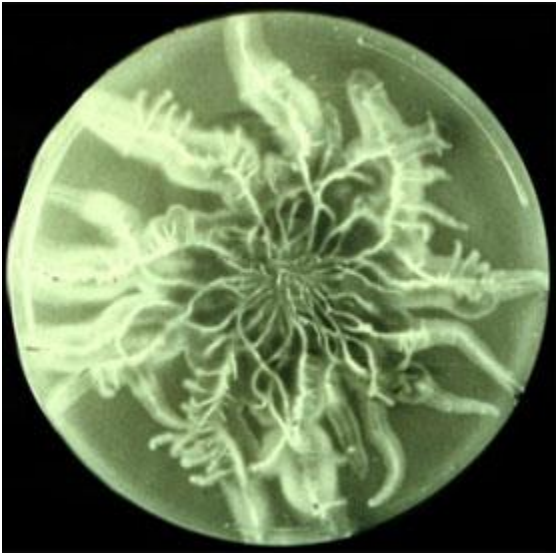


- Caryogamie et méiose dans basides formés dans un hyménium.
- Hyménium produit souvent d'autres structures (cystides – cellules stériles).
- La plupart produisent des basides non-divisés (homobasides).



- Certains produisent des basides divisés (Auriculariales, Sébacinales, certains Cantharellales)
- La plupart anciennement classés parmi les homobasidiomycètes mais ce nom est abandonné car tous ne forment pas des homobasides.
- Deux à huit basidiospores (meiospores) sont formées par baside (généralement 4).
 - La basidiosporogénèse est plus compliquée (que la simple migration de quatre spores dans les stérigmates).
 - Usuellement on a une mitose post-meiotique qui produit 8 noyaux haploïdes. Cette phase peut se produire dans la baside ou le stérigmate. Dans ce dernier cas, il peut y avoir une migration, des noyaux dans la baside ou ces noyaux peuvent rester dans les stérigmates.

- Autres structures spécialisées:
 - Rhizomorphes (pour explorer l'environnement)
 - Sclérotes (structures de survie)



Rhizomorphes d'*Armillaria* en culture et en nature

Agaricomycetidae

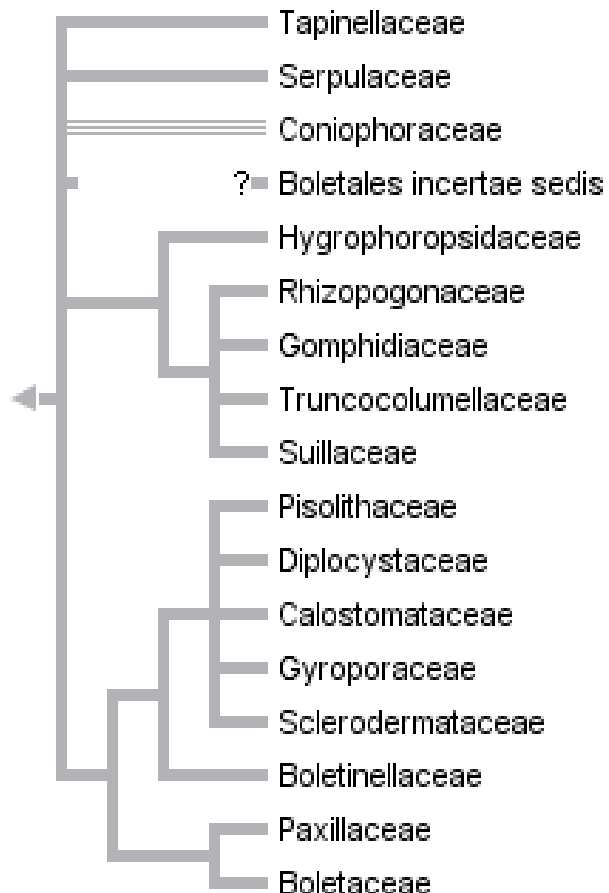
- Agaricales
- Boletales
- Atheliales

Boletales

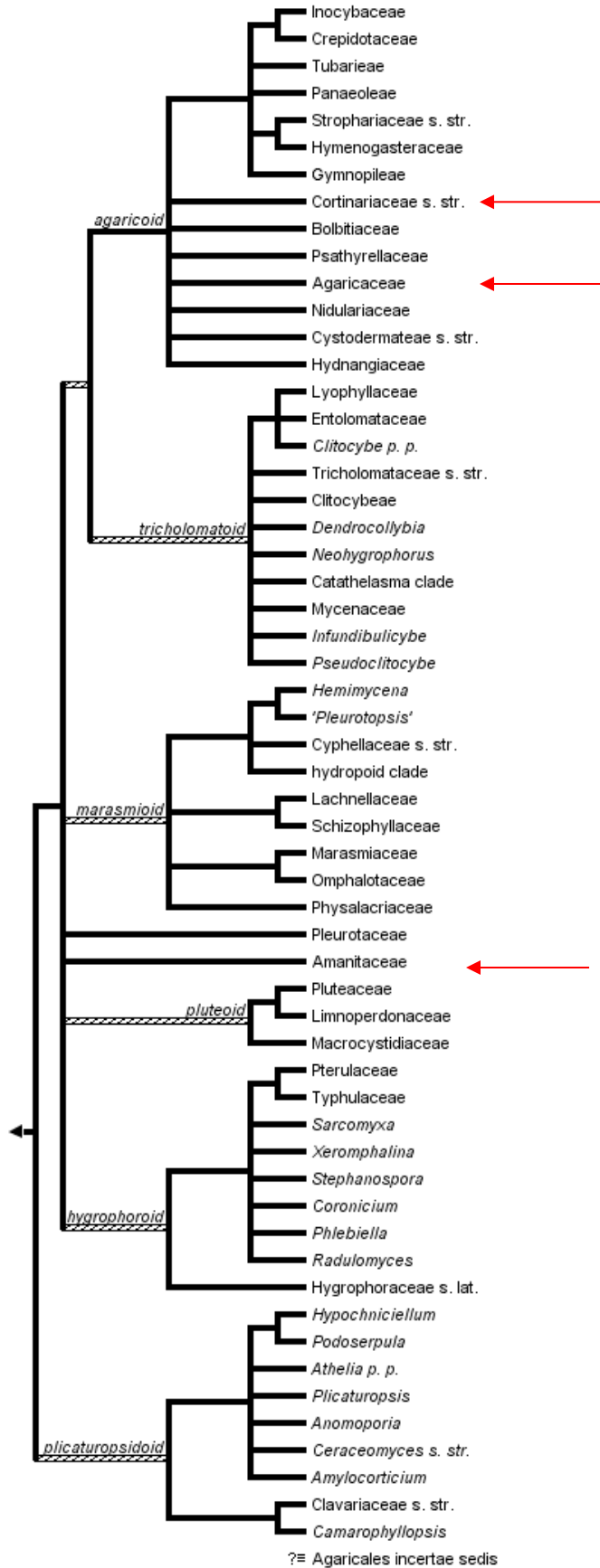
- comprend essentiellement des familles de champignons à tubes (notamment les *boletacées*) mais également des familles de champignons à lames telles que *paxillacées* ou *gomphidiacées*.
- Majoritairement ectomycorhiziens, certains sont également parasites
- Bolets ont une surface spongieuse sous le chapeau plutôt que des lames
- Certains sont comestibles (*B. edulis*) d'autres sont toxiques (*B. satanas*)



Boletus satanas



Agaricales



- +/- 8500 espèces
- Ubiquistes (déserts, prairies, forêts, toundra, tropiques ...)
- Un grand nombre sont saprophytes
- Certains sont parasites de vertébrés et invertébrés
- Beaucoup sont symbiotiques (Ectomycorhizes)
 - Les orchidées dépendent obligatoirement de certains Agaricales (*Armillaria*, *Tricholoma*)
 - Certains sont symbiotes de termites
 - Certains sont prédateurs de nématodes.

Des espèces d'*Armillaria*, *Moniliophthora* et *Mycena* sont des pathogènes de plantes très importants

D'autres dans les genres *Agaricus*, *Lentinula*, *Termitomyces*, *Tricholoma* et *Volvariella* sont des champignons comestibles cultivés.

Enfin, certains sont psychotropiques ou hallucinogènes (ex. *Psilocybe*) ou produisent des toxines mortelles pour l'homme (*Amanite*).



Ectomycorhize chez Eucalyptus

Pleurotus qui attaque et consomme un nématode



Termitomyces reticulatus (Lyophyllaceae)
issu d'une termitière.

Caractéristiques

- Pas de caractéristique morphologique ou écologique propre aux agaricales
- Outil moléculaire est à la base de la classification actuelle
- Fossiles et âge des agaricales
 - Seulement quatre fossiles de fungi à lamelles ont été retrouvés.
 - Le plus vieux date de 90 millions d'années (milieu du crétacé)
 - Fossiles de bolets vers 50 millions d'années (milieu de l'Eocène)



Protomyцена electra, un fossile datant du Miocène trouvé dans de l'ambre en Rép. Dominicaine



Gymnopilus spectabilis



Lycoperdon perlatum



Squamanita paradoxa

Polyporales

- Décomposeurs du bois
- Pas de lamelles mais le plus souvent des pores
- Certains sont comestibles (ex. Polypore soufré)



Ganoderma applanatum



Polyporus sulfureus
"chicken of the woods" (poulet des bois)



Polyporales sp.

Cantharellales

- Groupe de champignons qui inclus les chanterelles
- Surface lisse et présence de lamelles
- Trois genres:
 - *Cantharellus*: comestible – symbiote
 - *Craterellus* (signifie petit cratère) – trompette de la mort - comestible
 - *Hydnum* – comestible - mycorhizien



Cantharellus cibarius



Hydnum umbilicatum



Hymenochaetales

•Beaucoup sont phytopathogènes. En particulier les *Phellinus* (agent des pourritures blanches des forêts de conifères).

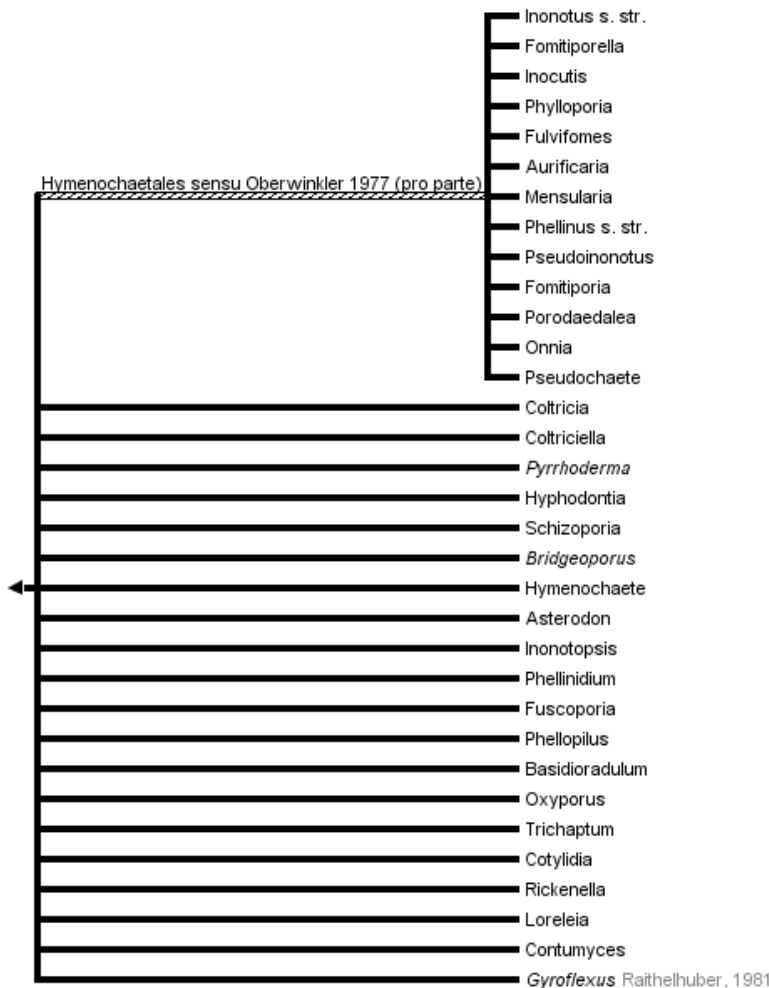
•*Phellinus pini* est responsable du red ring rot, le plus important agent de pourriture des pins.

•Certains sont utilisés en médecine populaire en Asie.

•Beaucoup produisent des composés antioxydant.

•Ils ont la capacité de dégrader la lignine.

•Certains sont utilisés pour la biodégradation des xénobiotiques (plastiques, biocides ...).



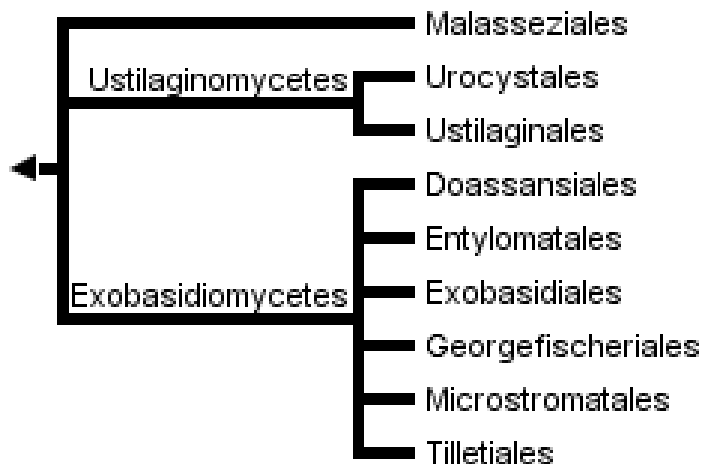
•Symptomes sur un Pin. Le bois présente des stries rougeâtres liés à la décomposition du bois.



UGA4823100

Ustilagomycotina

- The true smut (agent du charbon) fungi
- Plus de 1400 espèces (70 genres) de parasites de plantes.
- Ubiquiste mais certaines espèces limitées aux régions tropicales, tempérées ou arctiques.
- Certaines espèces appartenant aux genres *Ustilago* et *Tilletia*, sont économiquement importants.
 - Exemple de 1983 à 1988, le barley smut fungi à réduit la production de 0.7 à 1.6 % - perte de 8000000 \$ annuel.
 - 2-5% des plants de maïs sont infectés par *Ustilago maydis*
 - A contrario, les galles de *U. maydis* sont considérés (au Mexique et USA) une délicatesse “Mexican truffle” – “caviar Azteca”.



Caractéristiques

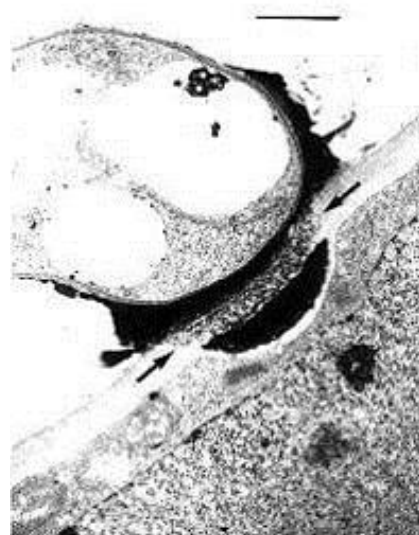
Parasites de plantes

- Les quelques 1400 espèces parasitent les Poaceae (810) et Cyperaceae (170).
- Aucune espèce ne parasite les Orchidées (or orchidées = 20000 espèces – un des plus grand groupe d'angiospermes)

Interaction cellulaires

- Zone d'interaction hôte-parasite caractérisé par l'exocytose de vésicules dans l'hôte.

Transmission electron micrograph showing a transfer stage between *Mycosyrinx cissi* (upper cell) and its host (lower cell). Note the infiltrated host cell wall (between the two arrows) and the deposit at the host cell. Scale bar = 1 μm





Ustilago maydis : parasite important.

Egalement consommé par les mexicains (mexican truffle)

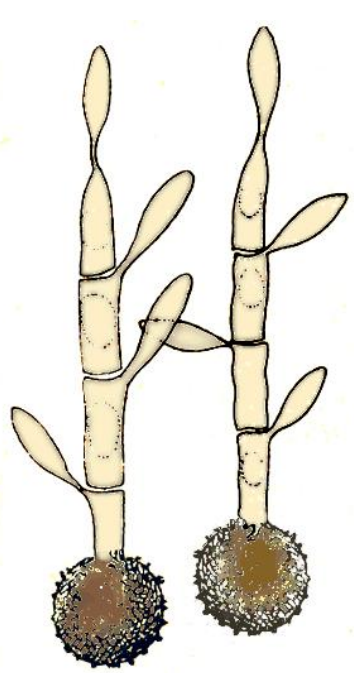
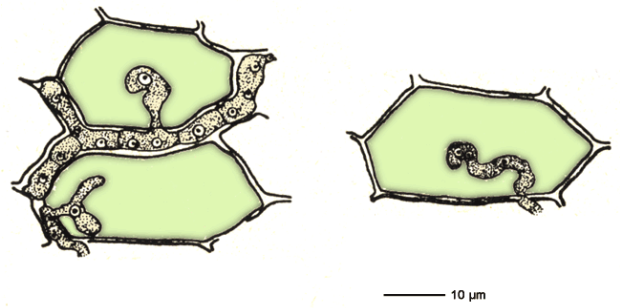
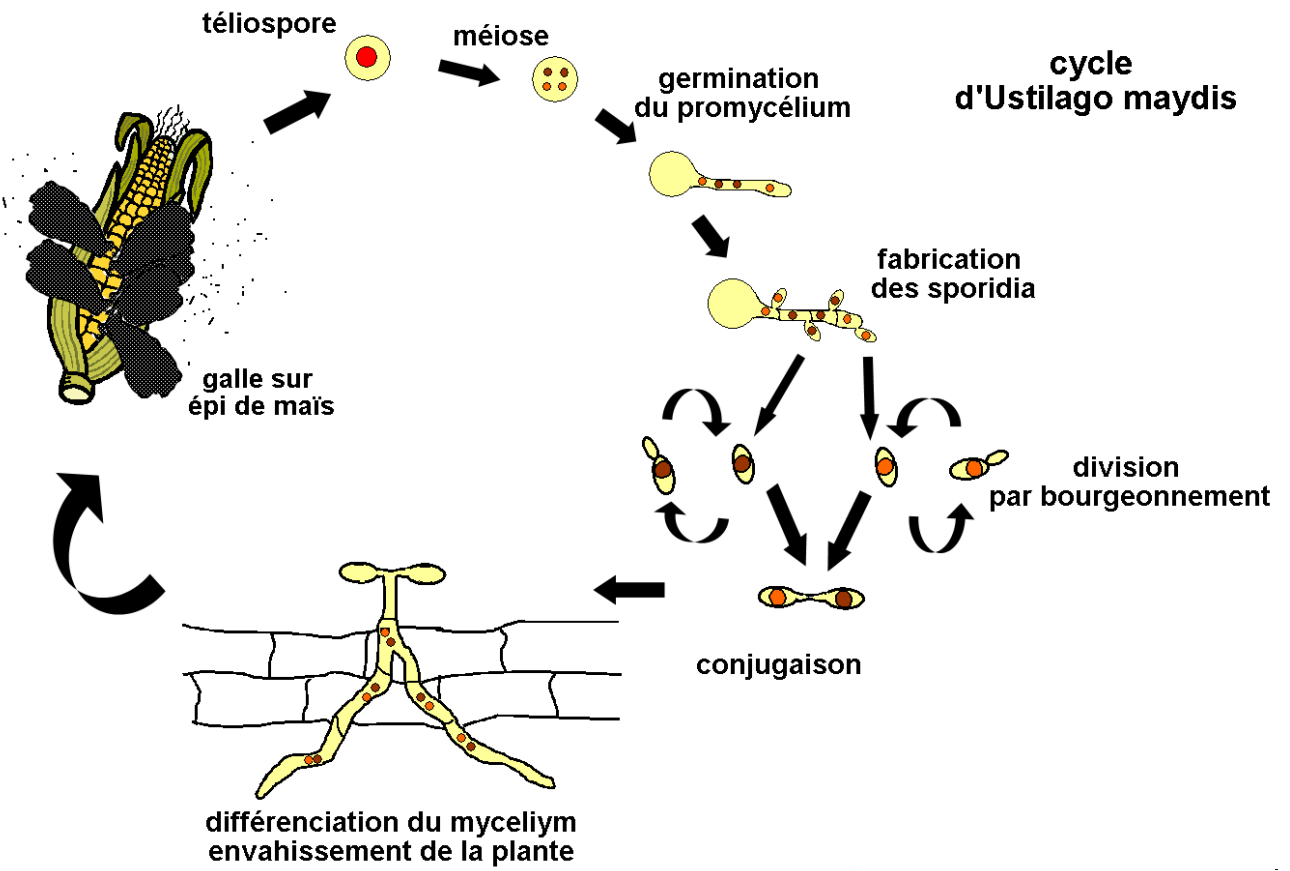


Charbon sur maïs



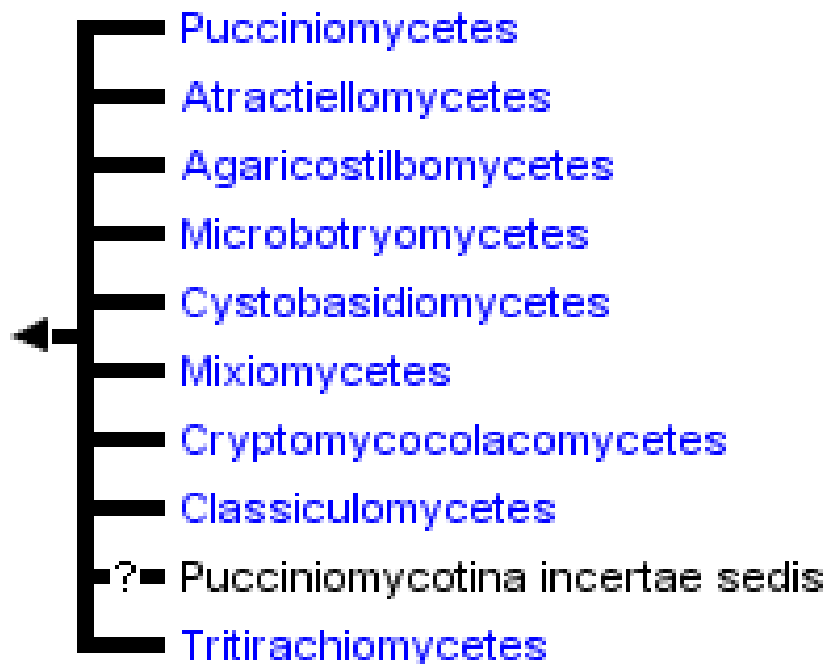
Ustilago tritici

Cycle de vie

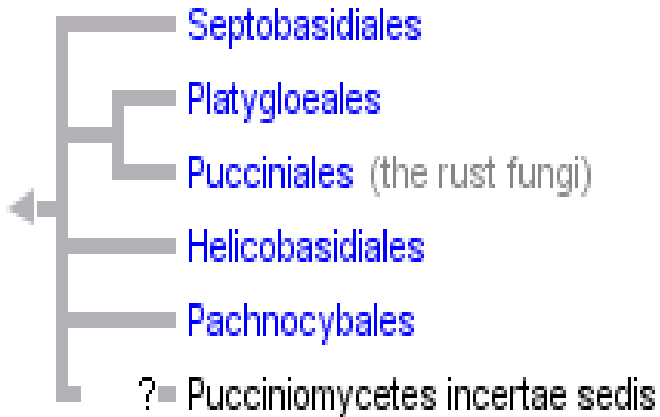


Pucciniomycotina

- 7500 espèces – 215 genres
- 95% des espèces dans les Pucciniales (Pucciniomycètes) – la rouille (parasite de plante)
- Les rouilles sont d'importance économiques: parasites obligatoires de nombreuses espèces de céréales, légumes, arbres (café, cacao ...) – réduction importante des rendements.



Pucciniomycètes

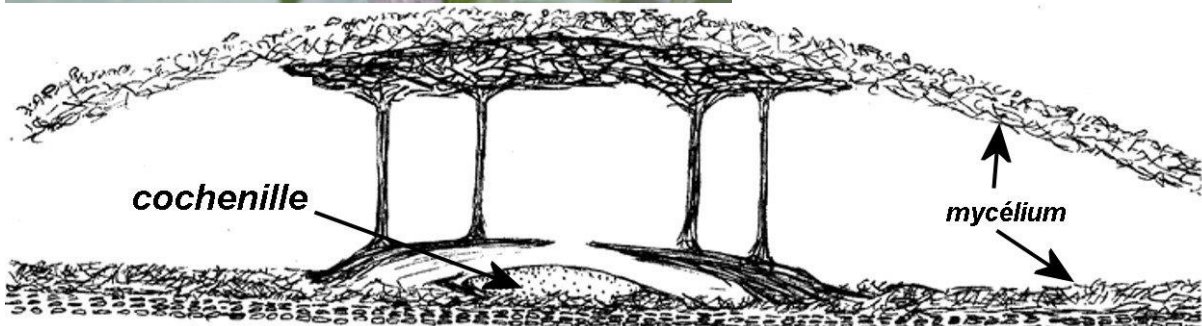


Septobasidiales

- Forme des associations avec des insectes (coccoidea) dont ils se servent comme véhicule.
- Ils sortent ensuite des insectes pour se développer en tapis sur les plantes.
- Surtout sous les tropiques et sub-tropiques et en méditerranée



Colonie sur Erable



Pucciniales

- Agent de la rouille
- +/- 4000 espèces
- Parasite majeur de beaucoup de plantes dont les céréales



Puccinia graminis



Gymnosporangium cornutum et *Sorbus* spp.

Cycle de vie

