



RONÉOS DFGSP2 2020 - 2021

UE PL2.6 : BEMN 3-4

Date : 08/09/20

Plage horaire : 8h25-10h25

Enseignant : DESCENDIT Alain

N°ISBN : 978-2-37366-078-4

Ronéistes

LAVIELLE Timothée – ttlavielle@gmail.com

PICAT Arnaud – arnaudpicat@gmail.com

Cours 1 : Introduction à la mycologie

Plan du cours :

I - Les champignons parmi les être vivants

- A - Conception selon Linné (1707 – 1778, 18e siècle...)
- B - Conception selon Whittaker (1969) : (moderne, largement admise)
- C - Classification phylogénétique moderne (cladistique)
 - 1 - La place des champignons
 - 2 - Terminologie des divisions

II - La systématique des champignons

- A - Les « champignons » ne sont pas un groupe homogène...
- B - Caractères du thalle des champignons
 - 1 - La structure cénocytique
 - 2 - La structure cloisonnée
- C - Polymorphisme fongique
- D - Rappels / exemples de thalles de différents types
 - 1 - Structure cénocytique
 - a - Myxomycètes
 - b - Siphomycètes
 - c - Septomycètes

III - Nutrition et Métabolisme

- A - Nutrition
- B - L'anabolisme

IV - Les 3 modes de vie principaux en fonction de la source en aliments carbonés

- A - Saprophytisme
- B - Parasitisme fongique
- C - Parasitisme fongique des végétaux

D- Moyens de lutte contre les champignons phytopathogènes

E - Applications industrielles du parasitisme fongique

V - Symbiose fongique

A - Les Lichens

B - Lichens - occurrence

1 - Morphologie des lichens - Différents types

2 - Anatomie - 2 types de structures

3 - Intérêt des lichens

a - La production de métabolites originaux

b - Indicateurs de pollution atmosphérique

C - Les mycorhizes

1 - Ectomycorhizes

2 - Endomycorhizes

3 - Applications pratiques

Objectifs du cours : connaissances de base de Mycologie

- *Structure des champignons*
- *Grandes classes de champignons et leur reproduction*
- *Développement des Macromycètes*
- *Toxicité des Micromycètes*
- *Mode de vie des champignons*

Pourquoi la mycologie en pharmacie ?

Pour le grand public le pharmacien est censé connaître les champignons, les clients peuvent leur demander conseil ce qui entretient la relation avec eux.

Il existe beaucoup de champignons **toxiques** comme :

- les macromycètes : intoxication liées à certains champignons comme les mycétismes
- les micromycètes : mycotoxicooses qui produisent des substances toxiques extrêmement dangereuses.

Certains champignons sont **pathogènes** :

- pour l'homme : mycoses humaines → **mycologie médicale**
- pour les animaux : mycologie vétérinaire
- pour les plantes : mycoses végétales

Ces champignons pour les animaux et les plantes peuvent entraîner des pertes agricoles très importantes, et provoquer par la suite des mycotoxicooses pour la santé de l'homme.

La phytopathologie, la phytopharmacie, les pesticides et facteurs de risque font parti d'un intérêt particulier pour les pharmaciens.

La mycologie en pharmacie ce sont les applications **industrielles** de certains champignons microscopiques (micromycètes) : pour les biotechnologies par exemple (production d'antibiotiques, bioconversions, fermentations...).

Introduction à la mycologie

La mycologie c'est la science qui étudie les champignons. Ça vient du grec *Mukes* ou *Mukos* qui donne en français le terme "mycète" utilisé souvent comme suffixe pour nommer des classes de champignons (zygomycète, ascomycète, basidiomycète). En latin les champignons s'appellent *fungus* au singulier et *fungi* au pluriel. le règne des champignons se dit donc le règne des fungi (plus scientifique). En latin, *Fungus* vient de *funus* qui veut dire funérailles et *ago* qui veut dire produire = produire des funérailles ce qui fait allusion aux empoisonnements mortels. En français nous avons les terme *fungique* ou *fongique* et *fongicide*.

I. Les champignons parmi les être vivants

A. Conception selon Linné (1707 – 1778, 18e siècle...)

Selon Linné, il existe 2 règnes chez les êtres vivants : animaux et végétaux (les champignons étant inclus dans les végétaux).

Il regroupait les champignons avec les algues dans un groupe appelé les **Thallophytes** (différent des Cormophytes)

Un thalle est un appareil végétatif non différencié en racines, tiges et feuilles que l'on retrouve chez les champignons, les algues, le lichen, et la mousse.

Cela est différent du cormus et donc des cormophytes qui possèdent tige, racine, feuille, ... et en plus des vaisseaux conducteur de sels, tandis que dans le thalle les substances nutritives diffusent de cellule à cellule sans vaisseaux.

Mais il y a des différences métaboliques très importantes :

- Les Algues & Végétaux ont de la chlorophylle, ils font de la photosynthèse et sont donc Autotrophes (à l'aide de CO_2 ils produisent du glucose).
- Les Champignons n'ont pas de chlorophylle, ils sont donc hétérotrophes.

Il y a donc nécessité d'une conception plus moderne pour classer les champignons.

B. Conception selon Whittaker (1969) : (moderne, largement admise)

Whittaker dit que les champignons sont un règne individualisé à part, situé entre les animaux et les végétaux.

Les champignons sont des **eucaryotes** avec un mode de nutrition par absorption à la différence des plantes qui ont une assimilation photosynthétique et des animaux qui ont une assimilation par ingestion.

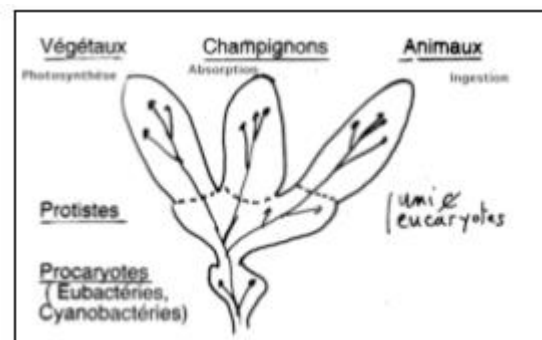
Ils possèdent des cellules avec noyau(x), mitochondries, RE, Golgi, vacuoles (mais pas de chloroplastes!)

Les champignons possèdent beaucoup de **Chitine** (polymère de N-acétylglucosamine) et leur sucre de réserve est le **glycogène** (il n'y a pas de cellulose ni d'amidon comme chez les végétaux).

Il propose 5 règnes chez les êtres vivants :

- Procaryotes
- Protistes
- Champignons
- Végétaux
- Animaux

Les champignons sont entre les végétaux et les animaux.



En ce qui concerne la phylogénie (= d'où ça vient) des champignons il y a beaucoup d'incertitudes car on a très peu de fossiles en paléontologie. Mais depuis l'avènement des techniques d'ADN on arrive à pister les parentés des champignons via des études d'ADN.

L'ancienne classification d'Ainsworth (\pm 1973) est basée sur une ancienne classification morphologique :

Règne des *Fungi* :

- Il a créé une première division des *Myxomycota* (pas des champignons) qui présente des plasmodes (très grandes cellules multinucléées qui peuvent se déplacer)
 - Acrasiomycètes (ex : *Dictyostelium discoideum*)

- Myxomycètes (ex : *Fuligo septica*, *Physarium polycephalum*)
- Plasmodiophoromycètes (ex : "*Hernie du chou*" parasite)
- Il a créé une deuxième division des **Eumycota** qui ne présentent pas de plasmode avec :
 - La subdivision des *Mastigomycotina* : Ils présentent des spores mobiles qu'on appelle des zoospores et là dedans on a encore 3 sous classes :
 - Chytridiomycètes : (ex : à spore flagellée postérieure , *Allomyces sp.*) ils sont considérés comme les ancêtres des champignons actuels.
 - Hyphochytridiomycètes : (ex : à spore flagellée antérieure)
 - Oomycètes : Ils ne sont plus considérés comme des champignons mais traités comme des champignons (ex : à spore bi-flagellée, les "*Mildious*", *Plasmopara viticola*)
 - La subdivision des *Deuteromycotina* : ce sont des vrais champignons mais qui n'ont pas de reproduction sexuée (*Champignon imparfaits*, *Ascos en fait**...)
 - La subdivision des *Zygomycotina* : (ex : *Mucorales*)
 - La subdivision des *Ascomycotina* (ex : *Penicilliums*, *Levures*, *Pézizes*, *Truffes*...)
 - La subdivision des *Basidiomycotina* : très gros champignons (ex : *Amanites*, *Bolets* = *Cèpes*, *Agarics*...)

Cette 1^{ère} classification du règne des Fungi comprenait un certain nombre d'organismes qui, par la suite, ont été replacés dans d'autres règnes :

Les **Oomycètes** et les **Hyphochytridiomycètes** sont maintenant classés dans les Straménopiles.

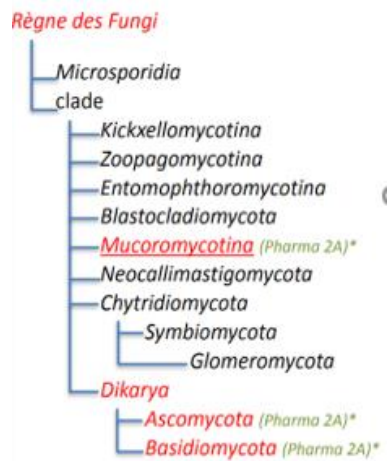
Les **Myxomycota** sont maintenant classés dans plusieurs groupes de protistes.

Les **Chytridiomycota** ou **Chytridiomycètes** sont des espèces dont les spores portent un flagelle. On les considère comme les ancêtres de tous les autres champignons.

Les **Deuteromycota** ou **Deuteromycètes** formaient le groupe des champignons imparfaits, il s'agissait de champignons que l'on ne connaissait que sous forme anamorphe ou asexuée, il est maintenant en général possible de rattacher chaque genre à diverses classes d'**Ascomycètes**.

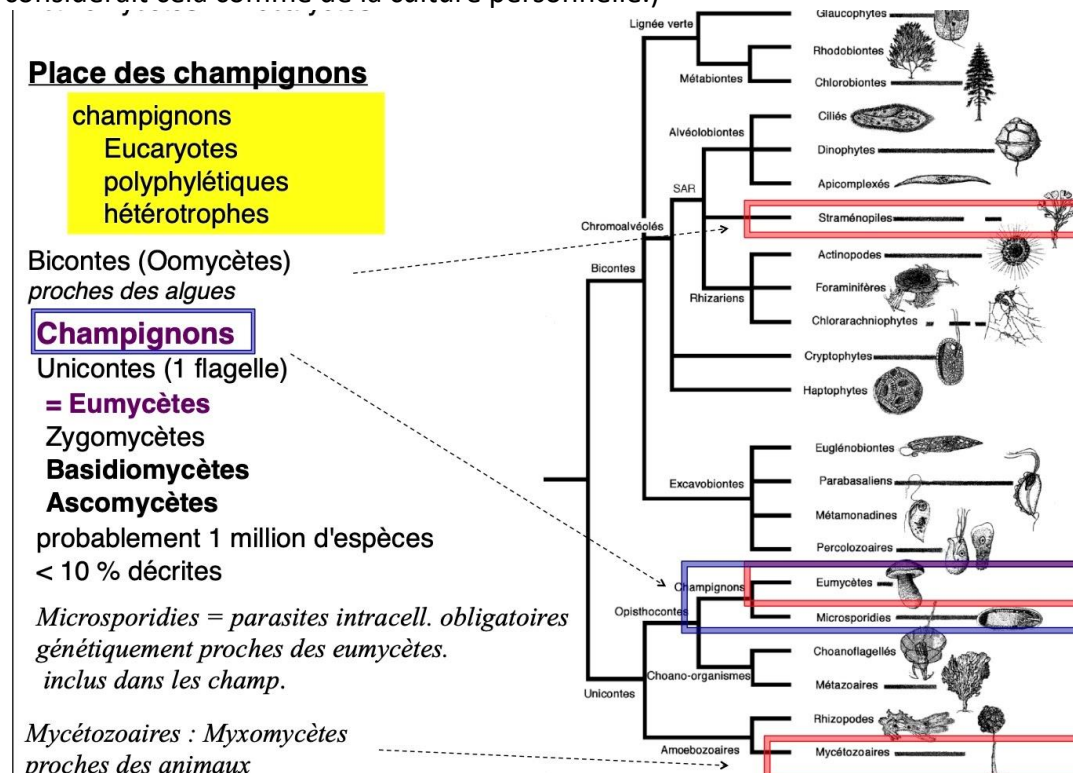
C. Classification phylogénétique moderne (cladistique)

Elle a été obtenue par des études d'ADN, c'est une nouvelle classification systématique phylogénétique (on ne s'intéresse pas uniquement à la morphologie).



1. La place des champignons

(Le professeur a précisé que cette partie n'était pas importante pour l'examen, et qu'il considérait cela comme de la culture personnelle.)



2. Terminologie des divisions

Pour illustrer cette partie nous prendrons l'exemple de l'Amanite phalloïde :

elle appartient au règne Fungi, son embranchement est Basidiomycota, son sous embranchement Agaricomycotina. L'Amanite phalloïde appartient à la classe des

Agaricomycetes, la sous classe Agaricomycetideae, l'ordre des Agaricales, la famille Amanitaceae, le genre Amanita et enfin l'espèce Amanita phalloides.

Terminologie des divisions		
Règne	<i>Fungi</i>	Exemple :
Embranchement	<i>-mycota</i>	<i>Basidiomycota</i>
Sous-embranchement	<i>-mycotina</i>	<i>Agaricomycotina</i>
Classe	-mycètes ou <i>-mycetes</i>	<i>Agaricomycetes</i>
Sous-classe	-mycétidés ou <i>-mycetideae</i>	<i>Agaricomycetideae</i>
Ordre	-ales	Agaricales
Famille	-acées ou <i>-aceae</i>	<i>Amanitaceae</i>
Genre		<i>Amanita</i>
Espèce	Amanite phalloïde ou <i>Amanita phalloides</i>	

II. La systématique des champignons

Cette systématique est complexe, en effet l'étude est très difficile car :

- Poussée capricieuse et éphémère donc une récolte au hasard...
- L'observation *in vivo* des caractères n'est pas toujours évidente car il y a des problèmes de conservation.
- Nous n'avons pas de fossiles à disposition.
- Les Cultures *in vitro* et fécondations expérimentales sont très difficiles pour certaines espèces ; en effet quelques champignons ne poussent que par symbiose avec des racines d'arbres particulières.

=> On étudiera seulement quelques exemples dans 3 divisions du règne fongique : Zygomycètes, Ascomycètes et Basidiomycètes

Remarque : heureusement qu'aujourd'hui nous avons les techniques de l'ADN pour pouvoir étudier plus simplement cette systématique complexe.

On considère qu'il y a 120 000 espèces d'identifiées (70 000 visibles – 50 000 microscopiques).

D'autre part certains auteurs estiment qu'il y aurait 1 million d'espèces dans le monde.

A. Les « champignons » ne sont pas un groupe homogène...



Déjà par leur taille : *Boletus edulis*



Penicillium sp.

Micromycètes = « champignons microscopiques »
ex : moisissures, levures... (utiles ou pathogènes)
Le terme **micromycète** est un abus de langage ce n'est
pas un terme scientifique.

Macromycètes appelés « gros champignons » : ce sont les sporophores, issu de la reproduction sexuée des champignons supérieurs.
ex : bolets, amanites, girolles, morilles...

Les champignons sont constitués par un **thalle**, c'est à dire un appareil végétatif non différencié en racines, tiges et feuilles et pas de vaisseaux conducteurs comme les Algues. (Rq : c'est pour cela qu'ils étaient anciennement appelés Thallophytes).

Mais ils ne possèdent **pas de Chlorophylle**, il ne réalisent donc **pas de photosynthèse** ce qui fait qu'ils sont **Hétérotrophes** (à la différence des Algues & Végétaux qui eux ont de la Chlorophylle, réalisent la Photosynthèse et sont appelés Autotrophes).

Ce sont des **Eucaryotes** ils ont **un noyau typique.**

Ils possèdent des Cellules avec un nombre variable de **noyau(x)** : 1, 2 (dicaryon) ou plus parfois.

Les noyaux sont très petits : 2-3 μ m tandis que chez les plantes ils sont 10 fois supérieur.
Le génome est aussi très petit : 10⁷ pb (chez les bactéries c'est 10⁶ pb, plantes ou animaux 10¹⁰ pb).

On a chez les champignons une persistance de l'enveloppe nucléaire durant la mitose alors qu'on observe une disparition chez la majorité des eucaryotes.

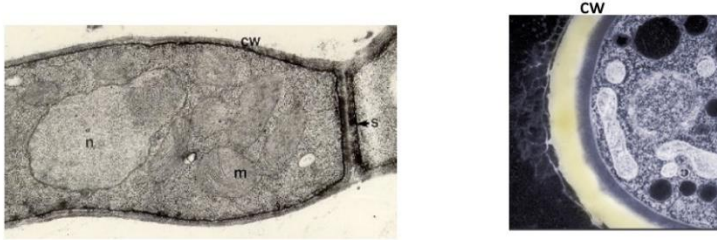
On peut avoir des champignons avec des noyaux de même génotype : thalles homocaryotiques ou des thalles avec des noyaux de génotypes différents : thalles hétérocaryotiques.

Le cytoplasme :

Les réserves glucidiques sont constitués de glycogène (comme chez l'animal), il n'y a pas d'amidon (au contraire du végétal) alors que le glycogène et l'amidon sont deux polymères de glucose très proches.

On a des Mitochondries, Golgi, RE, Vacuoles... (mais pas de chloroplastes : \neq végétaux), comme les autres cellules eucaryotes.

On a une paroi épaisse de nature glucidique.



n=noyau ; m = mitochondrie; cw = paroi cellulaire ; s = cloison transversale

Glucide azoté :

Chitine polymère de N-acétylglucosamine en β -1,4 c'est la même molécule sur la paroi des insectes et crustacées.

- On retrouve aussi des Glucides non azotés :

mannanes, galactomannanes : ils peuvent être extraits et servir à protéger les plantes contre l'attaque des champignons.

Il n'y a pas de **cellulose** (glucose en β -1,4) (\neq végétaux) sauf chez les Oomycètes (mais ils ne sont plus classés en tant que champignons).

Remarque : sur la planète la Cellulose est le 1er polymère, et la Chitine le 2ème.

Au niveau sucre de réserve : le Glycogène est un Polymère de glucose lié en α -1,4 avec des branchements α -1,6 tous les 8 à 12 résidus $(C_6H_{10}O_5)_n$.

B. CARACTÈRES DU THALLE DES CHAMPIGNONS

1. La structure cénocytique

C'est une masse cytoplasmique continue avec des noyaux disséminés sans cloisons internes dans la grande cellule.

On va retrouver cela dans les **plasmodes** par exemple de **Myxomycètes**.

Chez les SIPHOMYCETES, le thalle est formé par des filaments non cloisonnés appelés siphons avec des noyaux qui ne seront pas séparés les uns des autres.

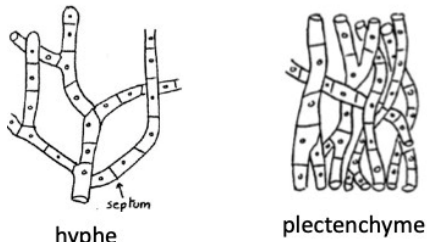
Chez les **siphomycètes** nous avons :

- Les **OOMYCETES = PHYCOMYCETES** qui ont un spore flagellé (dont Miliou).
- Et nous avons surtout les **ZYGOMYCÈTES** qui quant à eux possèdent des spores sans flagelles

2. La structure cloisonnée

Le taxon = **AMASTIGOMYCOTA** regroupe des champignons qui ont des spores non flagellés.

On va avoir un thalle formé de **cellules typiques** séparées par des cloisons avec un ou plusieurs noyau par cellule ; on appelle alors la cellule un **article** (terme préféré à



cellule).

Les champignons à structure cloisonnée sont un groupe surnommé les **SEPTOMYCETES** (= Champignons "supérieurs"). Parmi ces septomycètes on va avoir 3 classes de fungi en fonction du mode de reproduction :

- **ASCOMYCETES**
- **BASIDIOMYCETES**
- **Fungi Imperfecti (champignon imparfait)**

Il y a deux morphologies possibles :

- **cellules associées en filaments cloisonnés = hyphes**

(vient du grec huphê = tissu) avec une croissance de type apical : allongement du filament par son extrémité par mitoses.

Concernant le thalle du champignon :

Soit les filaments vont simplement s'enchevêtrés = **mycélium** (sorte de duvet), soit ils vont s'associer entre eux (carpophore).

On peut aussi avoir des cellules **séparées** les unes des autres (thalle dissocié) :

c'est ce que l'on va retrouver chez les **Levures** (champignons unicellulaires microscopiques) qui vont avoir une multiplication très rapide par mitose et par bourgeonnement (le plus répandu).

Il y aura émission d'un "bourgeon" (= blastospore) par la cellule mère.

ex : on retrouve cela chez le genre Saccharomyces.

C. Polymorphisme fongique

Il est évidemment observé entre des espèces différentes (une amanite et un bolet sont très différents), mais aussi pour une même espèce :

- **au cours du cycle de reproduction** (mycélium / sporophore)
- **en fonction des conditions de vie** on peut avoir un Dimorphisme levure / filament.

Il y a des levures qui peuvent à certains moments de leur vie produire des filaments ou alors se mettre à proliférer à grande vitesse et ne donner que des petites cellules.

Ce dymorphisme est aussi très répandu chez les champignons pathogènes pour l'Homme :

- forme pathogène = forme levure (présente dans l'organisme)
- forme filamenteuse = champignon isolé en culture dans boîte de Pétri.

Les Principaux termes de systématique à retenir :

Zygo-, Asco-, Basidio-mycètes (en latin -mycotina)... + les Fungi Imperfecti (groupe à part)

Mucor-, Asco-, Basidio-mycotina + toujours les Fungi imperfecti

D. Rappels /exemples de thalles de différents types

1. Structure cénocytique

Noyaux disséminés sans cloison interne dans une masse cytoplasmique continue uniquement limitée par une membrane à sa périphérie.

a. Myxomycètes

thalle = **plasmode** (noyaux dans une masse cytoplasmique ± irrégulière).

Intermédiaires entre animaux et champignons.

Déplacement par reptation et nutrition par phagocytose. Ce sont des Phytopathogènes.

Et ils ne sont plus considérés comme des champignons.

b. Siphomycètes

Le thalle est constitué de **siphons** (filaments non cloisonnés).

Nous avons les Oomycètes (Phycomycètes) : « champignons-algues ». Il y a présence de cellules **flagellées**, milieux aquatiques.

Ce ne sont plus des champignons (le mildiou n'est donc plus un champignon!).

Les **ZYGOMYCÈTES** ont également des filaments non cloisonnés.

c. Septomycètes : (filaments cloisonnés)

Les **ASCO & BASIDIOMYCÈTES** en font partis.

III. Nutrition et Métabolisme

A. Nutrition

Mode de nutrition par **absorption** ≠ plantes (assimilation photosynthétique). Par toute la surface du thalle (pas de racine...) ≠ animaux (ingestion)

Besoins nutritifs comme tous les autres être vivants : C, H, O, N, P, S, oligoéléments...

Sources de C (carbone) :

Glucides = sucres simples, polysaccharides (amidon, cellulose, glycogène) utilisés grâce à des enzymes (amylases, cellulases). Les champignons sont des êtres qui vont pouvoir recycler tous ces éléments.

Sources de N (azote) :

Principalement Nitrates (NO₃⁻) mais aussi ammoniums (NH₄⁺) : molécules azotées organiques.

Autres éléments utiles pour les champignons :

phosphates, sulfates, Mg²⁺, K⁺, Oligoéléments, Fe, Cu, vitamines...

Remarque : ils sont capables d'accumuler en grande quantité des métaux lourds (pas très utiles), éléments radioactifs, polluants, pesticides...

Des espèces sont **prototrophes** (capables de synthétiser un composé), d'autres sont auxotrophes (incapables de synthétiser un composé : elles vont devoir le trouver dans le milieu). *Exemple de la leucine/souches de levures...*

Les champignons produisent de l'énergie par Anabolisme chimiosynthétique, ce qui est différent des végétaux qui utilisent la photosynthèse : on parle d'anabolisme photosynthétique.

Leur source d'énergie est chimique, puis il y a oxydation des molécules organiques (glucides...) pour former de l'ATP.

Il existe un catabolisme aérobie ou respiratoire (le plus souvent) : glycolyse \Rightarrow ATP + acide pyruvique puis cycle de Krebs et chaîne respiratoire dans les mitochondries pour produire de l'ATP et du CO₂.

Plus rarement par Catabolisme anaérobie ou fermentaire : *ex. fermentation alcoolique*.

L'acide Pyruvique donne **l'acétaldéhyde** puis l'alcool déshydrogénase le transforme en **éthanol**.



Ceci est particulièrement développé chez les levures mais il n'y a pas de production d'ATP supplémentaire.

B. L'anabolisme

Il est très varié chez les champignons capables de produire des **Métabolites Primaires** (comme chez tous les autres êtres vivants) : synthèse d'acides aminés, sucres, protéines, lipides, acides nucléiques...

La plupart des champignons sont capables de produire des **Métabolites Secondaires** (qui seront spécifiques d'une espèce ou d'une souche). Il y a une très grande diversité de molécules.

Cela constitue une source très importante (inépuisable...) de molécules nouvelles à intérêt thérapeutique : ils peuvent produire des Antibiotiques (pénicilline), cyclosporines, statines...

Mais aussi des substances toxiques...

IV. Les 3 modes de vie principaux en fonction de la source en aliments carbonés

- **Saprophytisme (la plus importante)** : absorption des composés organiques inertes (en décomposition le plus souvent). Le saprophytisme concerne la plupart des micromycètes. On considère qu'ils sont des Détritivores, "éboueurs de la nature", recyclage du C, N... Cela concerne 40-45 % des **macromycètes**, ils permettent une dépollution et servent d'outils de biotechnologie industrielle.

- **Parasitisme** : absorption des composés organiques d'un être vivant aux dépens de l'hôte.

Ex : certains polypores (pas tous), armillaires (gros champignons)... & nombreux parasites de l'Homme qui vont développer chez certains êtres vivants des mycoses, teignes...

- **Symbiose** : absorption des composés organiques d'un être vivant en association bénéfique avec l'hôte.

Exemple : les lichens sont une symbiose d'algues avec champignons, mycorhizes (mycéliums + racines d'arbres) : Bolets, Truffe noire (*Tuber melanosporum*) avec le Chêne vert, Lactaire délicieux (*Lactarius deliciosus*) avec le Pin sylvestre...

Tout ceci montre une spécificité entre champignon et arbre.

A côté de ces trois modes là nous avons le **Commensalisme** qui se situe entre le saprophytisme et la symbiose... Ex: Dans la flore intestinale nous avons des bactéries commensales, ainsi que des champignons commensaux.

A. **Saprophytisme** (du grec sapos = pourriture et phyton = plante)

Ce sont des champignons qui vont donc se nourrir de matière organique inerte (morte...) par absorption. (rappel : la plupart des champignons...)

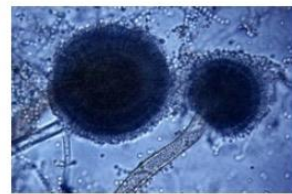
Quelques exemples :



Penicillium roqueforti



Agaricus campester
Rosé des prés



Aspergillus sp.



Lepista nuda
Pied bleu

Pour les grands champignons saprophytes, il est très facile de maîtriser leur culture.

B. **Parasitisme fongique** (du grec para = à côté et sitos = aliment)

Champignon parasite :

-critère nutritionnel = **aliments carbonés** organiques pris à un **organisme vivant**.

⇒ cela va provoquer des perturbations des fonctions physiologiques de l'organisme.

⇒ Un état pathologique = parasitose, appelée **mycose**.

-deux caractéristiques:

Un contact intime et de longue durée entre l'hôte et le parasite ainsi qu'une relation déséquilibrée au profit du parasite et au détriment de l'hôte qui va conduire à la mort de la plante et de l'animal.

Domaine du parasitisme fongique :

- On retrouve des **champignons** parasites dans tous les groupes de la classification. (zygo/asco/basidio).

- **Au niveau des hôtes** = presque tous les groupes d'êtres vivants sont susceptibles d'être attaqués par des champignons. Les **champignons** eux-mêmes peuvent être attaqués par les champignons.

ex : Boletus parasiticus sur les Sclérodermes.

***animaux** : mycoses dans tous les groupes. Chez les Insectes on parle de champignons entomopathogènes. Chez les Crustacés, les Mollusques, les Poissons. Les Oiseaux peuvent eux aussi être touchés (aspergilloses aviaires à cause d'*Aspergillus fumigatus*). Enfin il y a énormément de mycoses chez les mammifères.

***Homme** : c'est une partie très importante de la mycologie médicale.

*Les **végétaux** sont des hôtes très importants des champignons parasites :

Algues, Fougères, Mousses... et surtout sur les Plantes supérieures ; on parle de champignons phytopathogènes notamment sur les plantes alimentaires ce qui peut provoquer des pertes économiques très importantes et des famines.

C. Parasitisme fongique des végétaux

Diversité des plantes parasitées : quelques exemples de plantes économiquement importantes :

-**Vigne** : attaqués par le mildiou (qui n'est pas un champignon) , les oïdium (ascomycètes) , pourriture grise(ascomycètes), esca, eutypiose...

-**Arbres fruitiers** : attaqués par les tavelures, oïdium, cloque, pourriture des fruits...

-**Arbres forestiers** : attaqués par les oïdium, pourridiés (pourriture des racines)...

-**Pommes de terre, Tomates** : attaqués par le mildiou, pourriture du collet...

-**Céréales** : attaqués par la rouille, charbons, caries...

-**Légumes** (Pois, Haricot) : attaqués par l'anthracnose

-**Plantes ornementales, plantes médicinales** : nombreuses maladies (dû notamment aux oïdiums...)

Malgré les moyens de lutte, il y a des pertes économiques importantes = **1/4 à 1/3 de perte à l'échelle mondiale**. Si on ne traitait pas, il pourrait y avoir des pertes économiques encore plus importantes ainsi que des champignons parasites après récoltes sur les fruits stockés.

D. Moyens de lutte contre les champignons phytopathogènes

Il est plus facile de prévenir que de guérir une mycose végétale !!!

Il existe une utilisation massive de produits phytosanitaires en France : 94 000 tonnes /an (2ème pays mondial à traiter).

On utilise des fongicides minéraux, ex : Cu 2+ (contre les mildious) ou encore des fongicides organiques de synthèse : à actions plus spécifiques. Il y a donc une **notion de lutte plus raisonnée**. *ex : Vigne, maîtrise des "intrants"...*

E. Applications industrielles du parasitisme fongique

Il n'y a pas seulement des effets néfastes ! Quelques exemples :

On peut utiliser les champignons parasites en lutte biologique en Agriculture contre les champignons phytopathogènes. Il y a surtout une utilisation de plusieurs espèces du **genre Trichoderma** (USA, UE, Israël, Inde, Suisse...) contre *Botrytis cinerea*, la pourriture grise et d'autres champignons.

Mode d'action : Il va y avoir une compétition pour la nourriture et l'espace au niveau de la plante, sécrétion de substances antibiotiques, qui vont donc induire des défenses chez la plante-hôte. Ensuite nous pouvons utiliser les champignons parasites contre les insectes ravageurs des cultures.

Pour cela il y a une utilisation de champignons entomopathogènes = **mycoinsecticides** (en Russie, Brésil, Canada) contre le Doryphore, la Pyrale du maïs...

On cultive industriellement des champignons parasites et on pulvérise des spores, ce qui va développer le mycélium dans les téguments de l'insecte, et provoquer la mort de l'insecte.

Les 3 principaux genres utilisés sont :

-**Beauveria** (Fungi imperfecti)

-**Entomophthora** (Zygomycètes)

-**Metarhizium** (Fungi imperfecti) contre les criquets en Afrique.

Un exemple local : la pourriture grise/noble du raisin

Ceci est due à une attaque de ***Botrytis cinerea*** sur les fruits qui provoque de grosses pertes agricoles ! Ce phénomène se retrouve sur les raisins ainsi que les autres fruits.

Sur certains **cépages blancs**, surtout dans le **Sauternais** et d'autres vignobles du même type, la pourriture grise a une action bénéfique et complexe (attaque de la pellicule => évaporation de l'eau => augmentation de la concentration en sucre => **vins blancs liquoreux**). Ceci va concentrer en sucre le raisin et donner un bon goût au vin.

V. Symbiose fongique (du grec sun = avec et bios = vie)

Symbiose = association entre 2 êtres vivants bénéfique pour les 2.

C'est un état d'équilibre entre profits et pertes.

Il y a utilisation par le champignon de matière organique de son partenaire, mais en contrepartie ce partenaire bénéficie de produits du métabolisme du champignon.

Deux cas remarquables de symbiose avec un **végétal** sont les **lichens** et les **mycorhizes**.

A. Les Lichens

Le lichen est un organisme mixte résultant de l'association d'un **champignon hétérotrophe** (asco- ou basidiomycète) et d'une **algue** (bleue ou verte) autotrophe car elle fait de la photosynthèse. L'algue à partir de CO₂ va produire des glucides qu'elle va donner au champignon et en retour le champignon va produire des vitamines et va apporter de l'humidité et une protection à l'algue.

Remarque : Au niveau des **Champignons**, 98% sont des ascomycètes contre 2% de basidiomycètes.

Chez les Algues, ce sont principalement des cyanobactéries du genre *Nostoc* ou chlorophycées unicellulaires.

B. Lichens – occurrence :

Ce sont des organismes biologiquement autonomes avec une morphologie propre.

On aurait 15 à 20 000 espèces capables de peupler des **milieux hostiles** dans lesquels ni l'algue ni le champignon ne pourraient vivre séparément.

Ils ont une capacité de **résistance exceptionnelle aux conditions climatiques extrêmes** :

ex : très résistants à basse température (-70°C) et abondants dans les régions nordiques.

Ce sont donc des "pionniers de la végétation" préparant le terrain à l'implantation ultérieure d'autres végétaux, par formation d'une mince couche d'humus.

1. Morphologie des lichens - Différents types

- **crustacé** en croûte, avec une forte adhérence au support.



- **foliacé** membraneux, aplati en feuille, avec une adhérence partielle.



- **fruticuleux** en forme d'arbuscules dressés ou pendants.

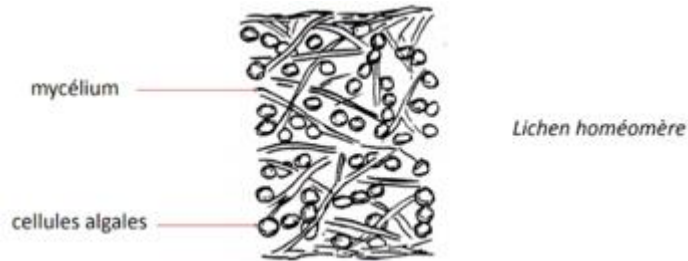


- **gélatineux**.

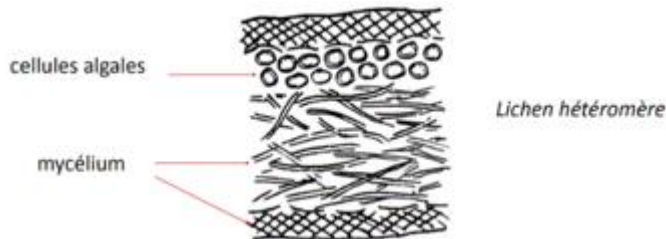


2. Anatomie - 2 types de structures

- **Homéomère** : mycélium mélangé aux cellules algales.



- **Hétéromère** : mycélium et cellules algales séparés en couches différentes.



3. Intérêt des lichens

a. La production de métabolites originaux

- les acides organiques que l'on appelle "acides lichéniques" solubilisant les minéraux.
ex : acide usnique qui a des propriétés antibiotiques.
- On retrouve dans ces métabolites secondaires produits par les lichens des principes odorants utilisés en parfumerie (extraction d'huiles essentielles).
ex : Ervenia = « mousse de chêne », ce sont aussi de bons fixateurs de parfums.
- Des glucides complexes : utilisation de Cladonia en alimentation animale pour nourrir les rennes et de Cetraria en alimentation humaine (bouillie, pain... en Islande)

b. Indicateurs de pollution atmosphérique

Les lichens ont une forte capacité de piégeage des substances volatiles due à la présence de mucilage intercellulaire.

On peut réaliser des relevés lichéniques permettant de faire des cartes de pollution par dosage des différents polluants et évaluations des altérations morphologiques.

C. Les mycorhizes

C'est une association étroite entre le mycélium d'un champignon (« myco») et la racine (« rhize») d'un végétal, au niveau des radicelles. Cela s'étend des fougères aux plantes à fleurs. Il s'agit de la règle presque générale pour toutes les plantes.

La plante va donner des **glucides** au champignon.

À l'inverse le champignon va donner des **éléments minéraux** (en très faible concentration dans le sol) et le champignon va les concentrer pour les donner plus facilement à la plante. Cela permet aussi à la plante au niveau de ses racelles d'augmenter considérablement le volume de terre exploré (x50).

Le champignon va aussi apporter une **protection** : aspect mécanique de petits vents chauds et excrétion de substances antibiotiques qui vont s'opposer aux microorganismes.

Deux types de mycorhize :

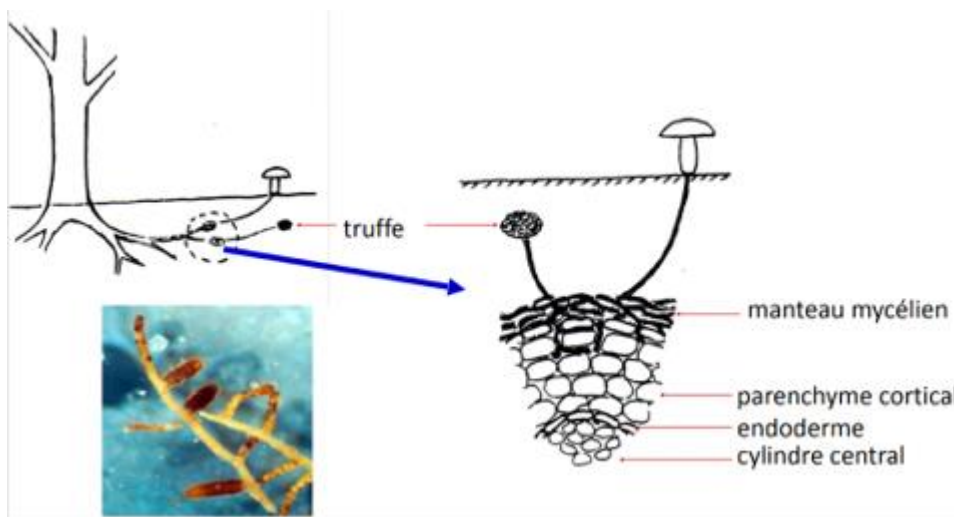
1. Ectomycorhizes (du grec *ecto*, extérieur)

Formation d'un « manchon » par les filaments mycéliens autour des racelles.

Il n'y aura qu'une petite pénétration du mycélium au niveau des **couches externes**, en restant **intercellulaire**.

Les végétaux concernés sont presque exclusivement des **arbres**.

Pour les champignons on aura surtout des **basidiomycètes** (Bolets, Amanites...) et rarement des ascomycètes, sauf exception : les Truffes.



2. Endomycorhizes (du grec *endo*, intérieur)

La pénétration fongique est **plus profonde** (au maximum jusqu'à l'endoderme). La localisation inter- et **intra-cellulaire** mais pas de manchon.

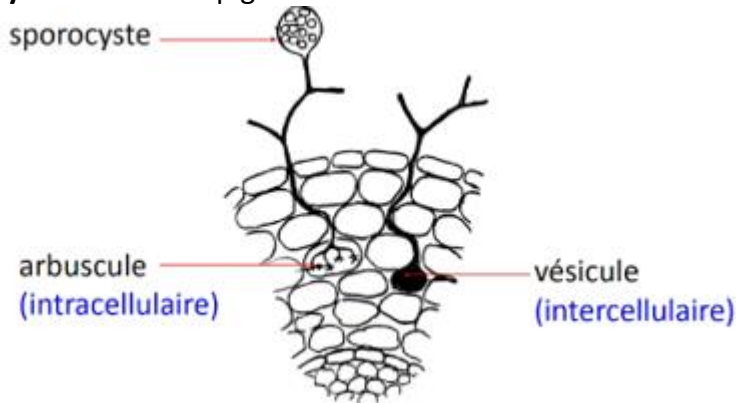
ex : 2 types d'endomycorhizes : à **vésicules** et **arbuscules** (le plus répandu).

Il y a une pénétration du mycélium **dans** les cellules sous forme d'arborescences très ramifiées : les arbuscules.

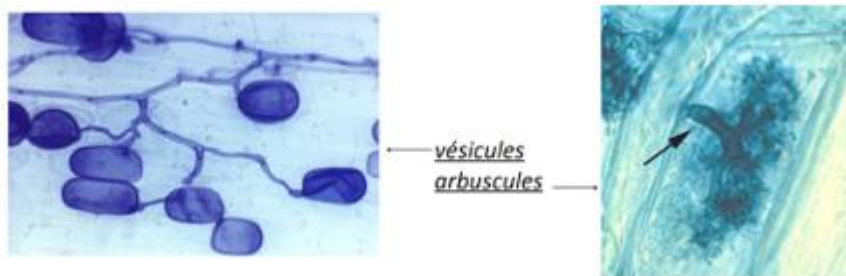
Cela permet la formation de vésicules intercellulaires avec une très grande surface de contact.

Donc le filament rentre dans la cellule pour certains champignons et se développe en faisant des ramifications ou en formant des petites boules.

Le **sporocyste** est le champignon.



Il y a des nombreux arbres, et une majorité des plantes arbustives et herbacées. Les champignons concernés sont les Endogonacées (strictement symbiotiques, Zygomycètes).



3. Applications pratiques

- **mycorhization artificielle** des plantes avec le champignon approprié pour l'amélioration de la croissance des plantes (c'est ce que l'on fait en pépinières de plus en plus).
- **production de carpophores de Macromycètes** dépendante de l'association avec l'arbre. Il n'y aura **pas de sporophore** en l'absence du partenaire symbiotique. Donc la culture industrielle de ces champignons est très difficile.

il faut éventuellement, par des techniques très complexes, faire tremper les racines d'un arbuscule dans une suspension de spores, de mycélium et ensuite mettre ça dans un pot en espérant que quand on va le planter dans le terrain, dans 10 ans, on obtienne peut-être des truffes.

Pour les champignons saprophytes uniquement il n'y a pas de problèmes (champignons de Paris, Pleurote...). Contrairement aux champignons les plus estimés parmi les espèces ectomycorhiziennes qui sont : les Bolets (Cèpe de Bordeaux), les Oronges, les Truffes, les Girolles, le Lactaire délicieux/Pin sylvestre...

Cours 1 : Reproduction des champignons

Plan du cours :

I - Les cas possibles dans la reproduction des champignons

- A - Les champignons qui n'ont aucune reproduction connue
- B - Les champignons dont on ne connaît que la reproduction asexuée
- C - Les champignons dont on connaît les 2 types de reproduction
- D - Les Champignons avec une reproduction sexuée principale

II- Les modes de reproduction des champignons

- A - Multiplication végétative
- B - Reproduction asexuée
- C - Reproduction sexuée

La reproduction des champignons est une étude indispensable pour :

- la **classification des espèces** en fonction du type de reproduction.
- l'**identification des espèces** (caractères distinctifs au niveau des organes de reproduction, spores...)
- la **connaissance de l'écologie des espèces**, notamment parasitaires pour trouver des stratégies de lutte.
- l'**exploitation industrielle** (multiplier le champignon).

I. Les cas possibles dans la reproduction des champignons

A. Les champignons qui n'ont aucune reproduction connue (jamais de fructification, ni sexuée ni asexuée).

On les met dans un groupe artificiel, on les surnomme **Mycelia sterilia**

Il y a une propagation de l'espèce par **bouturage (multiplication végétative)** et croissance.

Ces champignons sont sous **forme stérile** et sont très nombreux dans le sol et très difficiles à identifier.

On peut, à force de repiquer un champignon, ne donner progressivement plus que du mycélium stérile, il se développe, il grossit mais ne fait plus de reproduction sexuée

B. Les champignons dont on ne connaît que la reproduction asexuée

On les met aussi dans un groupe artificiel et on les surnomme **Fungi imperfecti** (champignon imparfait) ex : *Penicillium*, *Aspergillus*, *Botrytis*...

C. Les champignons dont on connaît les 2 types de reproduction (asexuée et sexuée)

Ils sont classés selon leur reproduction sexuée ex : *Botrytis/Sclerotinia*, certains *Penicillium/Talaromyces* ou *Aspergillus/Eurotium*, Levures...

Botrytis/Sclerotinia est le même champignon, sous sa forme sexuée on l'appelle Botrytis Cinerea mais on s'est aperçu qu'il pouvait lui donner des formes sexuées que l'on appelle Sclerotinia fuckeliana. Normalement on devrait l'appeler Sclerotinia fuckeliana mais on garde encore par habitude cet ancien nom : Botrytis Cinerea. Et c'est souvent sous cette forme là qu'il va parasiter les plantes.

De même on a la même chose avec le Penicillium qui va donner une reproduction sexuée et sous cette forme là on les appelle Talaromyces. Il en est de même pour les levures.

D. Les Champignons avec une reproduction sexuée principale

Ce sont surtout des **champignons supérieurs** comme les Morilles, Bolets, Agarics, Amanites... on les surnomme les "Macromycètes".

Il existe différents modes de reproduction (en fonction de la classe) difficile à schématiser et le vocabulaire est très spécifique.

À un certain stade de développement du champignon on va avoir :

- 1- Une différenciation au niveau du thalle de formes de reproduction (= fructifications) produisant des spores (cellules différenciées).
- 2- Une germination des spores régénérant le thalle. Le champignon a donc fructifié, il se présente sous forme fertile.

2. Repro et Zygo AD2020

2 / 17

difficile à schématiser et vocabulaire très spécifique.

À un certain stade de développement du champignon :

- 1- différenciation au niveau du thalle de formes de reproduction (= **fructifications**) produisant des **spores** (cellules différenciées).
- 2- germination des spores régénérant le thalle.

Le champignon a donc fructifié, il se présente sous **forme fertile**.

1. Multiplication végétative (pas de reproduction...)
Prolifération végétative du thalle, des cellules du mycélium (rien à dire de plus !)

II. Les modes de reproduction des champignons

A. Multiplication végétative (pas de reproduction...)

La prolifération végétative du thalle, des cellules du mycélium.

B. Reproduction asexuée (ou imparfaite ou anamorphe)

Cette reproduction se fait par simples mitoses, les noyaux du thalle vont donner des **spores mitotiques** qui donneront à leur tour des thalles. On va avoir spores asexuées avec une grande diversité, ex : les conidies = conidiospores...



La descendance est un clone du thalle parent génétiquement identique au thalle parent (sauf s'il se produit une mutation mais c'est rare).

Le thalle donne des fructifications asexuées (ou appareil conidien) qui vont donner des spores (sous forme de conidie) qui vont redonner un thalle.

ex : *penicillium*, *aspergillus*, *cladosporium*

Formes imparfaites = formes asexuées, anamorphes. Fungi imperfecti.

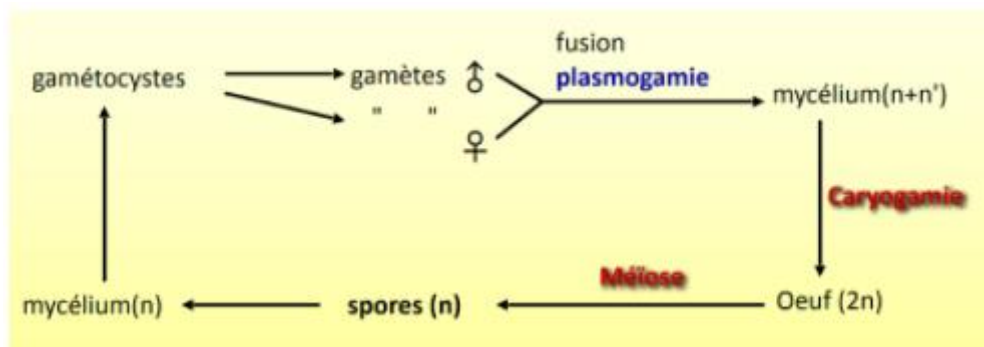
La reproduction asexuée est souvent rencontrée chez les Ascomycètes...

C. Reproduction sexuée

Le champignon est sous forme **parfaite (= téléomorphe)**

Il y a une différenciation de fructifications spécialisées, appelées **gamétocystes**, produisant les **gamètes** mâles et femelles.

À partir des gamétocytes on obtient des gamètes mâles et femelles qui vont fusionner par une plasmogamie. Cela donnera un mycélium qui contient les 2 cellules haploïdes qui vont fusionner leur noyau lors d'une caryogamie pour donner un oeuf. Ce noyau va subir une méiose et donner des spores (au moins 4 spores différents : 2 plus, 2 moins et 2 mâles, 2 femelles). Ces spores vont être disséminées et vont donner naissance à un mycélium qui va se développer.



On va avoir lors de la reproduction sexuée, 2 étapes nucléaires fondamentales indispensables : la **caryogamie** (fusion de 2 noyaux haploïdes en 1 noyau diploïde) et la **méiose** (formation de 4 noyaux haploïdes à partir d'un noyau diploïde).

Il y a de multiples exceptions : absence de différenciation morphologique de gamétocystes, de gamètes...

Il existe 3 **types de spores de reproduction sexuée** correspondant aux 3 principales classes de champignons (= critères de classification) :

- **Zygosporés** pour les zygomycètes (*Mucoromycotina*)
- **Ascospores** pour les ascomycètes
- **Basidiospores** pour les Basidiomycètes