



RONÉOS DFGSP2 2020 - 2021

UE PL2.6 : BEMN 7-8

Date : 15/09/20

Plage horaire : 8h25-10h25

Enseignant : DECENDIT Alain

N°ISBN : 978-2-37366-078-4

Ronéistes

MARTIROSYAN Kristiné – kristine.martirosyan.937@gmail.com

NAKACHE Zacharie – zach.nakache@gmail.com

Zygomycètes

Plan du cours :

IV – Les zygomycètes

A – Caractères généraux

1. Les mucorales
2. Les endomophtorales
3. Les endogonales

B – Développement

1. Reproduction asexuée
2. Reproduction sexuée

IV - Les zygomycètes

A. Caractères généraux

Les zygomycètes (du latin Zygomycotina) ont un thalle **siphonné** et un mycélium composé de filaments non cloisonnés (siphons).

Ils ont une **structure cénocytique**, c'est-à-dire que les noyaux sont disséminés sans cloison interne dans une masse cytoplasmique continue uniquement limitée par une membrane à sa périphérie.

Ce sont essentiellement des champignons **microscopiques**, totalement adaptés à la vie aérienne. Les zygomycètes sont principalement saprophytes, ils se retrouvent sous forme de moisissures (= duvet mycélien à la surface de substrats organique). Mais, on a malgré tout quelques espèces qui sont parasites des animaux et de l'Homme.

En biotechnologie, ils peuvent être utilisés pour faire des fermentations, des productions d'acides aminés ainsi que des bioconversions.

On va voir comme exemple l'ordre des Mucorales avec le genre Rhizopus et le genre Mucor (Rhizopus sp, Mucor mucedo).

Nous avons ci-dessous quelques images microscopiques ou macroscopiques de ce que peut donner une Mucorale (=ordre le plus important chez les zygomycètes).

Ex : Rhizopus



Au niveau de la classification, les Zygomycètes sont subdivisés en 9 ordres, dont 3 importants :

1. Les Mucorales
2. Les Entomophtorales
3. Les Endogonales

1. Les mucorales

Chez les mucorales, on retrouve deux genres importants : Mucor et Rhizopus. Ce sont des **espèces très répandues** dans l'air et le sol, ainsi que des agents de « pourriture » que l'on retrouve très souvent sur les denrées alimentaires et sur d'autres matières organiques d'origine végétale ou animale (ex : crotte de chien).

On a également des parasites de l'Homme comme les mucormycoses qui peuvent se développer chez des sujets immunodéprimés.

Les mucorales ont une **croissance rapide** et un **métabolisme très divers**, ce qui leur permet de coloniser rapidement des ressources nutritives. On dit que ce sont les moisissures les plus efficaces de la biosphère. De plus, ils sont très utilisés en **biotechnologie industrielle**, en agroalimentaire et en pharmacie.

2. Les Endomophtorales

Les Endomophtorales sont des « Mucorales **parasites** ». Ils peuvent parasiter des algues, des insectes et des petits animaux. D'ailleurs, ce sont des destructeurs d'insectes très efficaces (employés dans certains pays en lutte biologique).

Certains parasitent l'Homme, ce qui provoque des mycoses tropicales graves.

3. Les Endogonales

Les Endogonales sont des « Mucorales primitives ». Ce sont souvent des **agents de mycorhizes**, ils vont développer des symbioses (association entre le mycélium d'un champignon et la racine d'une plante) et assurent ainsi un rôle très important dans l'équilibre des biotopes.

B. Développement

Au niveau du développement, on va prendre une espèce type des Mucorales : **Mucor mucedo**. C'est une moisissure que l'on trouve très souvent sur des substrats organiques (pain, confiture, fruits...) et dont le thalle est constitué d'un mycélium avec des noyaux haploïdes.

1. Reproduction asexuée

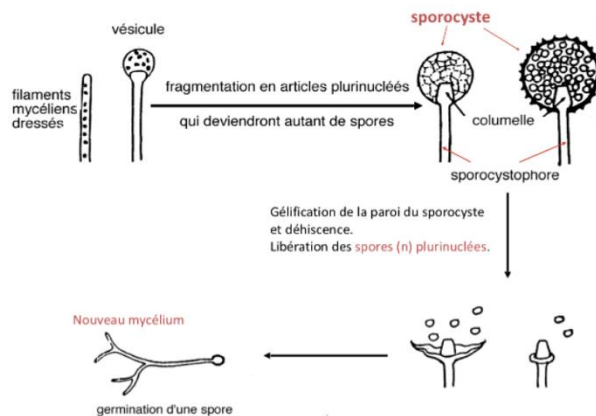
Dans la nature, la reproduction par voie asexuée est **majoritaire**.

On va avoir un mycélium qui se développe sur des fruits, par exemple. Puis, à un moment, ce mycélium va se dresser et on aura au bout de ce filament mycélien dressé, la formation d'une vésicule.

Cette petite vésicule va englober un grand nombre de noyaux haploïdes, qui vont s'entourer d'une paroi et d'un peu de cytoplasme. Ainsi, chacun de ces noyaux va devenir à lui seul une spore. On aura donc à l'intérieur de cette vésicule un millier de petites spores. L'ensemble est appelé **sporocyste** (une cellule qui contient ou qui produit des spores). On peut avoir des petites fioritures sur la paroi de ce sporocyste.

Le filament porteur du sporocyste s'appelle le **sporocystophore**. On retrouve à son extrémité un gonflement qui forme la **columelle** autour de laquelle se trouvent toutes les spores.

Ensuite, à maturité, la paroi du sporocyste va se gélifier et éclater (un peu d'humidité, quelques mouvements, avec la pression la paroi éclate) et de ce fait libérer les spores partout autour du champignon. Si ces spores libérées trouvent assez de nourriture, elles vont se mettre à germer et donner de nouveau un mycélium (haploïde, clone du mycélium parent).



2. Reproduction sexuée

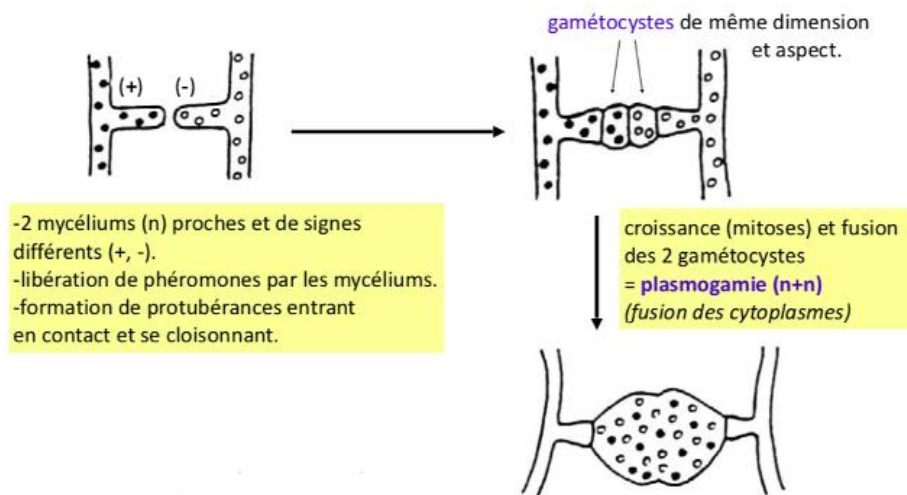
La reproduction sexuée est rare dans la nature. Généralement elle se produit lorsqu'il y a une diminution des nutriments.

Pour que cela fonctionne, la plupart du temps, il faut deux sortes de mycéliums / thalles différents sur le plan génétique et compatibles sexuellement, c'est-à-dire un signe (+) et un signe (-), (il n'y a pas de mâle ou de femelle car il n'y a pas de caractères distinctifs mâle et femelle).

Par exemple, dans une boîte de pétrie avec une gélose, si on fait pousser deux souches, une (+) et une (-) du même zygomycète, ces deux mycéliums vont se rapprocher et on aura dans un premier temps l'émission de deux protubérances qui vont aller l'une vers l'autre.

Ensuite, ces deux protubérances se touchent, et dans une deuxième étape, on aura la formation de **gamétocystes** (deux petites loges haploïdes, (+) d'un côté et (-) de l'autre).

Puis, à la troisième étape, les deux loges vont grossir et fusionner pour donner une énorme cellule, que l'on va appeler jeune zygospore avec à l'intérieur, le mélange des noyaux haploïdes (+) et (-). C'est l'étape de **plasmogamie** uniquement (fusion des deux cytoplasmes des deux gamétocystes). Les noyaux eux restent proches sans fusionner (= stade dicaryotique $n+n$).



Par la suite, cette grosse jeune zygospore va vraiment devenir une zygospore à stade de vie ralentie.

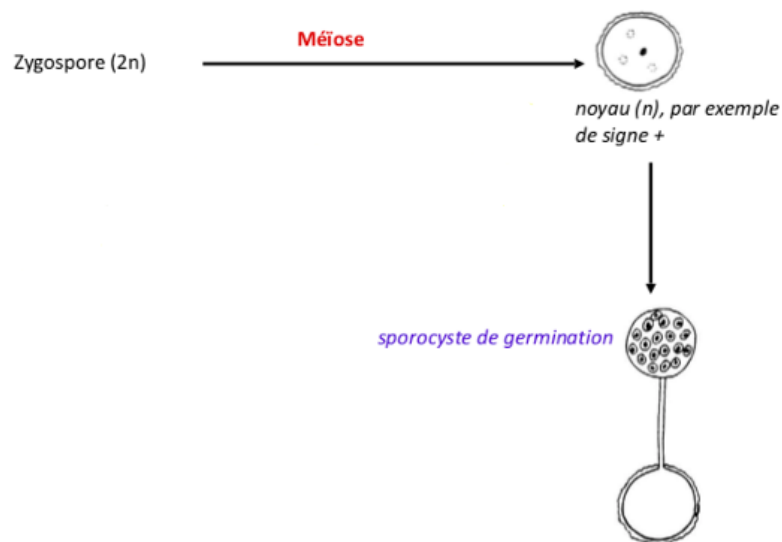
Déjà, dans un premier temps, on va avoir la formation d'une paroi épaisse et verruqueuse qui va permettre la survie de cette zygospore.

À l'intérieur de ces zygospores, on va avoir fusion des noyaux (un (+) et un (-), chacun des deux étant haploïdes) ainsi que l'avortement de tous les noyaux sauf 2 qui fusionnent : c'est l'étape de **caryogamie** (signe typique d'une reproduction sexuée). La **zygospore**, dans un certain temps, va se libérer du mycélium, elle va se décrocher des protubérances.

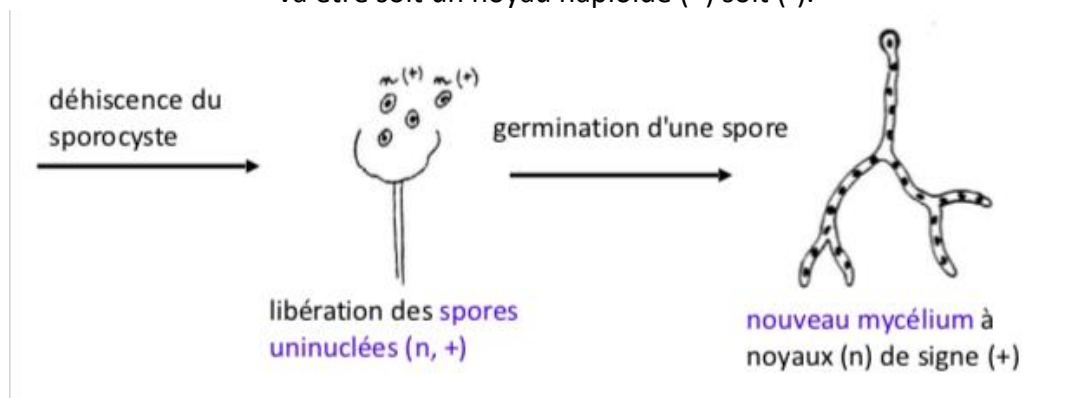


La suite de la reproduction sexuée a lieu seulement si les conditions sont favorables (T, humidité).

La zygospore diploïde subit une **méiose**, brassage de gènes et formation de 4 petits noyaux haploïdes : 2 (+) et 2 (-). Sur ces 4 noyaux, 3 dégénèrent et 1 seul subsiste. On a ensuite, production d'un tube se terminant par un sporocyste contenant des spores (n) qui vont se mettre à se diviser par mitoses pour donner X petits noyaux. Ces noyaux vont s'entourer d'une paroi et de cytoplasme pour constituer des spores.



Puis, on aura la **déhiscence** du sporocyste qui va s'écarter et libérer toutes ces petites spores haploïdes. Celles-ci vont se mettre à germer et de nouveau donner un mycélium qui va être soit un noyau haploïde (+) soit (-).

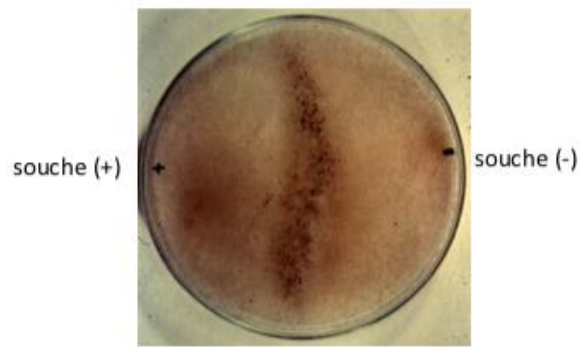


Remarque : Les noyaux haploïdes qui fusionnent ont valeur de gamètes, ils sont formés dans les compartiments appelés gamétocystes.

Chez la plupart des espèces zygomycètes, on observe l'**hétérotallisme** : on aura une reproduction sexuée seulement si on a la présence de deux mycéliums complémentaires, c'est-à-dire issus de 2 spores possédant des « polarités compatibles » (ou de « signes opposés ») appelées spores (+) et spores (-). Ce caractère est dû à la présence d'un couple d'allèles (+, -) donc pour des raisons génétiques. La méiose va donc produire 50% de spores (+) et 50% de spores (-).

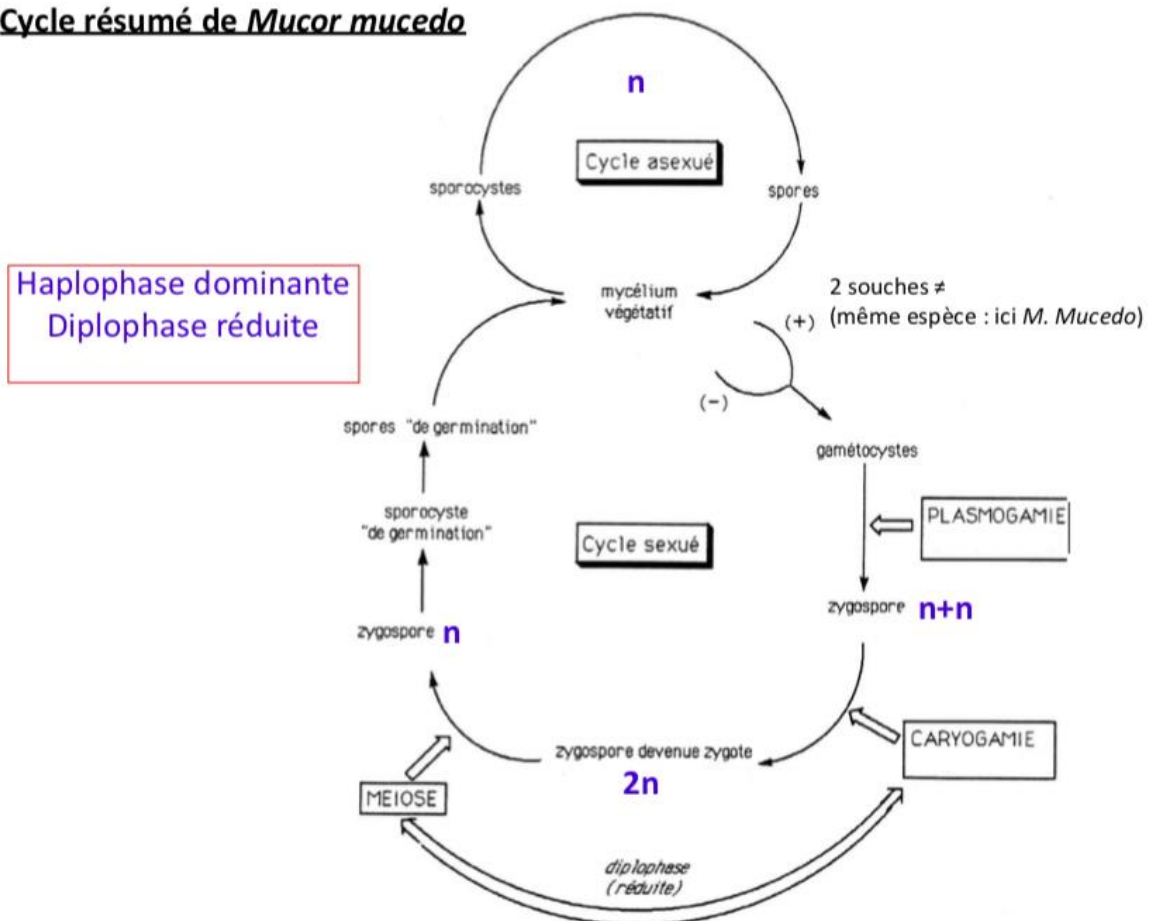
(**Hors cours** : il existe des cas d'homotallisme chez les zygomycètes, ou du moins de parasexualité, c'est-à-dire que le même mycélium est capable de s'autoféconder)

Au laboratoire : formation de zygospores à la confluence des mycéliums



Sur un milieu gélosé en boîte de Petri, on fait pousser d'un côté du mycélium d'une souche (+) et de l'autre côté du mycélium d'une souche (-), on laisse quelques jours, ça prolifère et à la frontière/rencontre des deux, on va avoir une zone très sombre dans laquelle on va avoir des zygospores.

Cycle résumé de *Mucor mucedo*



Il faut savoir, globalement que l'**haplophase** est dominante chez les zygomycètes. La plupart du temps, le champignon se trouve sous forme haploïde. Il n'y a qu'un tout petit moment dans sa vie qu'on observe une diplophase (seulement après la caryogamie).

LES ASCOMYCÈTES

Plan du cours :

I. Caractères généraux

II. Reproduction des ascomycètes

A. Reproduction sexuée

1. Espèce type : P. confluens
2. Variations sur la reproduction sexuée de P. confluens
3. Reproduction sexuée des levures

B. Reproduction asexuée

III. Étude systématique des ascomycètes

A. Laboulbéniomycètes

B. Hémiascomycètes

C. Plectomycètes

D. Hyménoascomycètes

I. Caractères généraux

Les ascomycètes sont des champignons à **filaments cloisonnés**, c'est le début des champignons dits « supérieurs ».

Il y a environ 35 000 espèces d'ascomycètes, ce qui en fait le groupe de champignons le plus important, dont la majorité est microscopique (micromycètes comme les levures, les *Penicillium*). Parmi les quelques macromycètes, on retrouve les truffes et les morilles.

Ces champignons ont un **grand intérêt économique**. En effet, ils peuvent produire des médicaments (entre autres des antibiotiques) et sont des agents de fermentation.

De plus, pas mal d'entre eux sont des parasites pour les végétaux, les animaux et l'Homme. Ils ont donc des conséquences médicales mais aussi économiques et agricoles importantes.

Certains des ascomycètes peuvent produire des mycotoxines (substances toxiques produites par des petits champignons).

La reproduction sexuée est réalisée avec la formation de sporocystes spécialisés, appelés **asques** à l'intérieur desquels se forment suite à la méiose des **ascospores**. Cette reproduction sexuée est prépondérante chez les ascomycètes les plus évolués (Pézizes, Morilles...). Cependant, la reproduction asexuée reste dominante (notamment chez les petits champignons, les moisissures...).

Remarque : askos (grec) = outre.

II. Reproduction des ascomycètes

A. Reproduction sexuée

1. Espèce type : P. confluens



Pour aborder la reproduction sexuée, nous allons prendre comme exemple une espèce type : *Pyronema confluens* (= *Pyronema omphalodes*) aussi appelée (petite) pézize. Ce champignon pousse sur les bois morts et carbonisés, d'où le nom de Pyronema.

Il possède des fructifications sexuées appelées **apothécies** qui sont des ascocarpes en forme de coupe, de couleur rose à rouge-brun et de très petite taille.

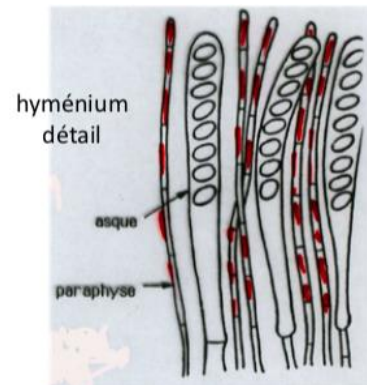
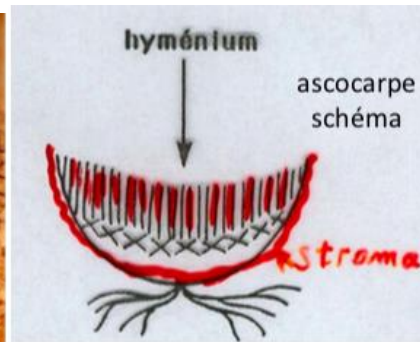
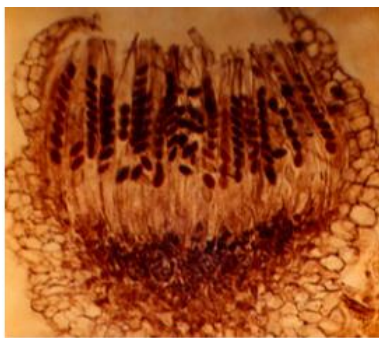
Au fond de la coupe se trouve un **stroma** mycélien (enchevêtrement de filaments).

Au-dessus, on retrouve des formations serrées orientées perpendiculairement au stroma, constituant l'**hyménium** (= partie fertile).

L'hyménium se compose de deux types de structure :

- À côté des asques, on va avoir des éléments très forts que l'on va appeler des **paraphyses** (filaments grêles, stériles, colorées en rouges par les caroténoïdes).

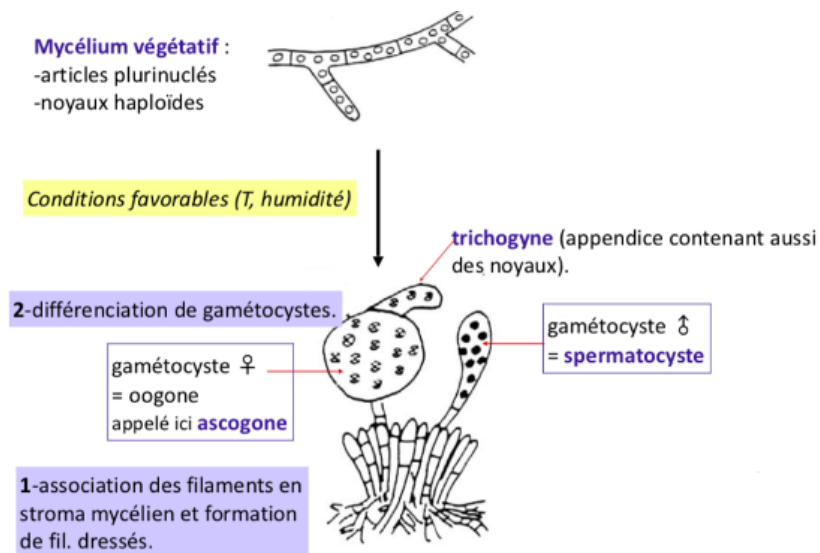
- Les **asques** contenant 8 ascospores, qui sont des formations fertiles en forme de sac allongé.



Déroulement du cycle sexué

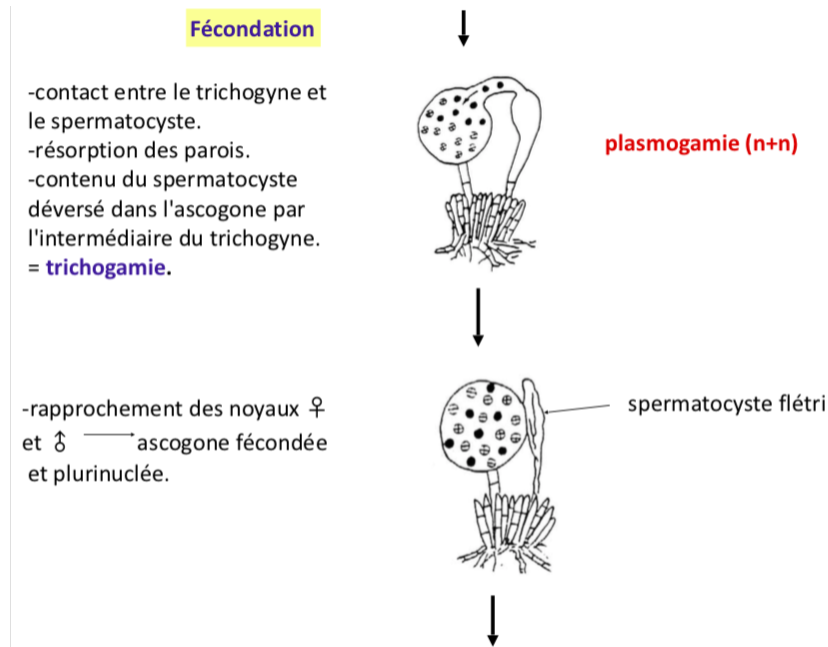
On part d'un mycélium végétatif, avec des articles plurinucléés mais des noyaux haploïdes. Suivant les conditions favorables (température, humidité), on va d'abord avoir une différenciation de gamétocystes : gamétocystes mâles, appelés **spermatocystes** et gamétocystes femelles, appelés **oogones** (ascogones, comme on est chez les ascomycètes).

Au bout de l'ascogone va se former un appendice appelé **trichogyne** (contenant également des noyaux) et, à la base, il y a une association de filaments en stroma mycélien pour avoir une formation de filaments dressés.



Lors de la fécondation, le trichogyne va entrer en contact avec le spermatocyste. Il va y avoir une résorption des parois, et le contenu du spermatocyste va se déverser dans l'ascogone par l'intermédiaire du trichogyne. On va avoir ce que l'on appelle une **trichogamie**, ce qui est en fait une **plasmogamie** (mélange de noyaux $n+n$ à l'intérieur de notre grande cellule).

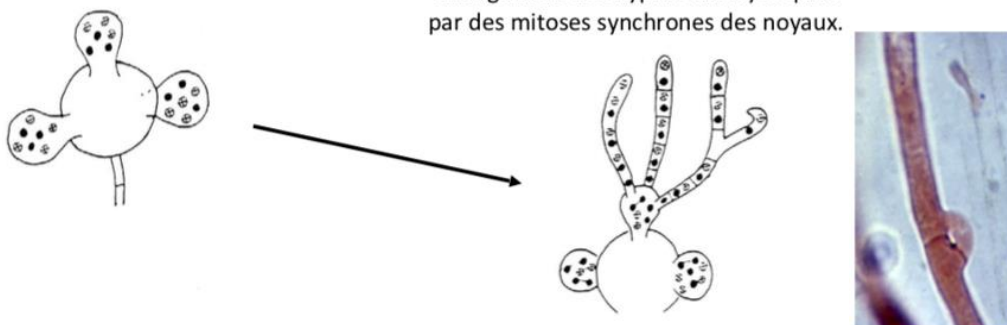
On va avoir un rapprochement des noyaux mâles et femelles, l'ascogone fécondée se retrouve plurinucléée, et en même temps le spermatocyste va flétrir.



Ensuite, au niveau de l'ascogone fécondée, on va avoir formation de vésicules et migration des noyaux dans ces vésicules. À partir de ces vésicules vont ensuite se former des filaments dans lesquels vont s'engager des dicaryons. Ces filaments vont être constitués de petites cellules, et chaque petite cellule contiendra deux petits noyaux haploïdes (un (+) et un (-)), l'ensemble donnera donc une cellule dicaryotique et diploïde.

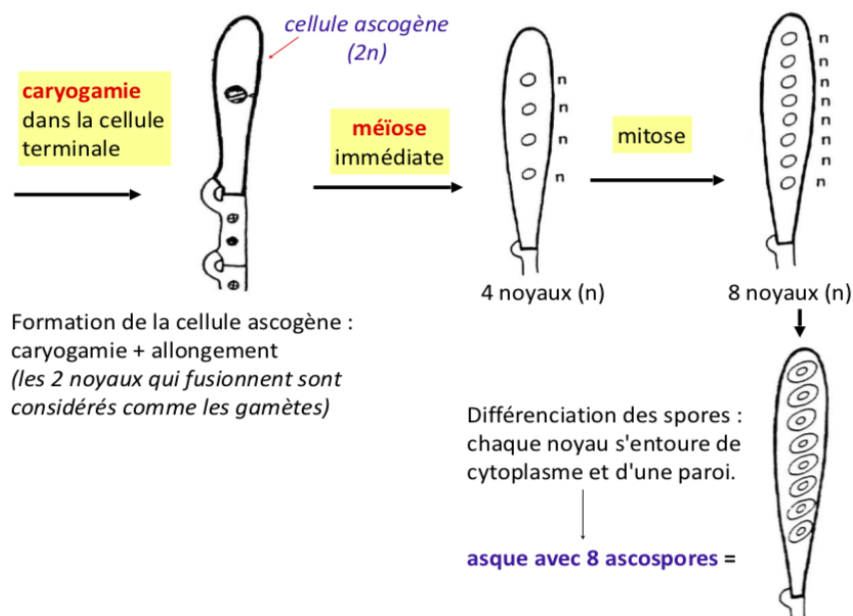
- formation de vésicules.
- migration des noyaux dans celles-ci.

- formation de filaments dans lesquels s'engagent les **dicaryons** qui s'individualisent par des cloisons.
- allongement des hyphes dicaryotiques par des mitoses synchrones des noyaux.

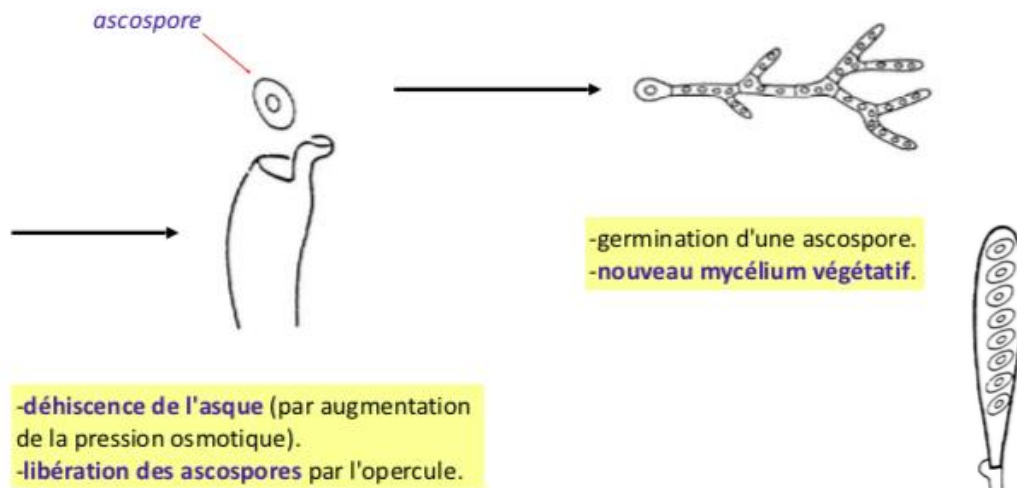


Remarque : On va avoir formation d'une petite boucle à chaque cloison, car un des petits noyaux revient vers la cellule d'avant. C'est une méthode d'élongation de l'hyphe dicaryotique complexe faisant intervenir une anse latérale (= boucle ou crochet).

À partir de ce filament bouclé, dicaryotique, il va y avoir la formation d'une cellule dans laquelle les deux petits noyaux vont fusionner après **caryogamie**. Cette cellule terminale diploïde avec un seul noyau, devient ce qu'on appelle une **cellule ascogène** qui va immédiatement subir une **méiose** : brassage de gènes, disjonction des caractères sexuels (+) et (-), formation de 4 petits noyaux haploïdes (n). Cette méiose est suivie par une **mitose supplémentaire**. On obtient alors 8 noyaux (n) qui vont s'entourer de cytoplasme et d'une paroi pour constituer chacun une ascospore. On se retrouve donc avec un **asque contenant 8 ascospores**.

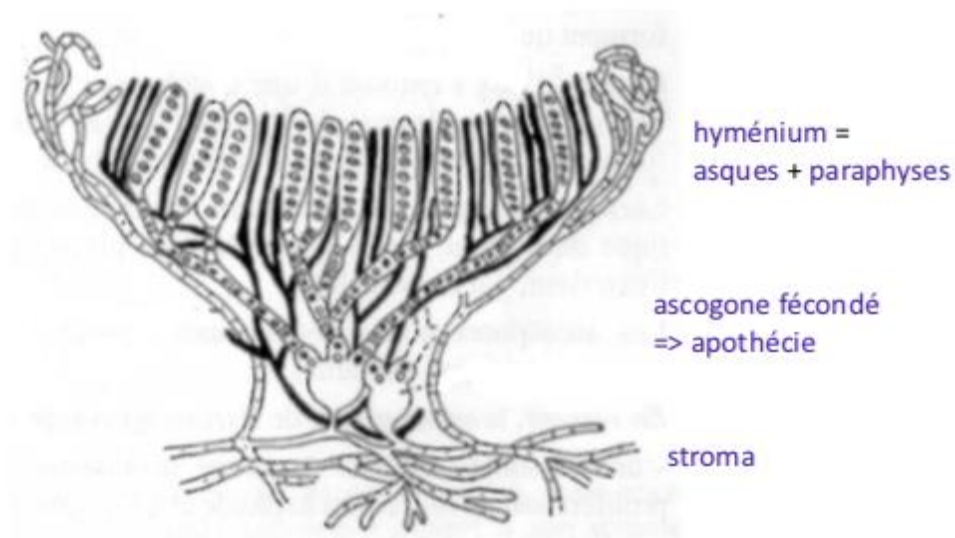


Enfin, on va avoir une **déhiscence de l'asque** (par augmentation de la pression osmotique) et **libération des ascospores** par l'opercule (petit couvercle au niveau de l'asque). (Certains asques n'ont pas d'opercules, libération d'une manière différente). Les spores vont germer et donner un **nouveau mycélium végétatif** (monocaryotique et haploïde (+) ou (-)).

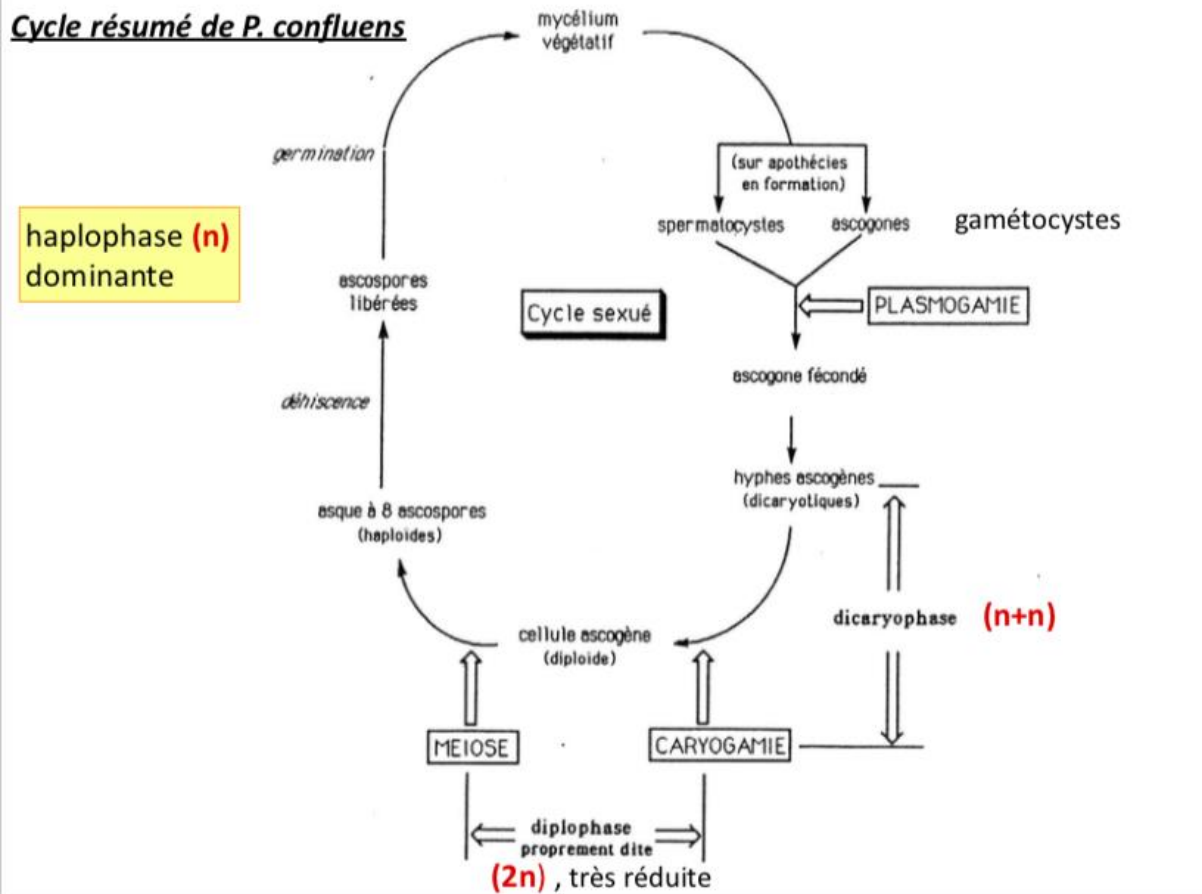


Tout ceci se passe au niveau de l'**apothécie**.

Schéma de l'apothécie



Si l'on fait un résumé de ce cycle de reproduction (cf. schéma page suivante) :
On voit que là encore, on va avoir une haplophase (noyaux à n chromosomes) dominante.
Il y aura un peu de dicaryophase, mais la diplophase est très réduite.



2. Variations sur la reproduction sexuée de *P. confluens*

On peut avoir des variations au niveau de la reproduction sexuée chez *P. confluens* ainsi que chez d'autres pézizes.

a. Au niveau de la fécondation



Normalement, on retrouve la trichogamie chez la plupart des Ascomycètes. Mais il y a également d'autres processus, notamment la **périthogamie**.

Par surévolution la reproduction sexuée se limite à la rencontre de 2 filaments haploïdes (un (+) et un (-) qui vont l'un vers l'autre) par leur cellule terminale, engendrant 1 dicaryon, puis un filament dicaryotique (par mitoses). Dans ce cas-là, il n'y a pas de différenciation de gamétocystes. C'est ce que l'on va retrouver chez les truffes et les morilles.

(Grec : perittos = inhabituel et gamos = mariage).

b. Au niveau de l'asque

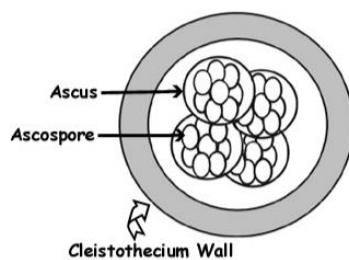
Il y a des formes très diverses d'asques et d'ascospores selon les espèces.

On peut aussi avoir des différences dans le mode de déhiscence et la structure de la paroi des asques (présence ou non d'opercule). Ce sont des critères de classification des Ascomycètes.

c. Au niveau de l'ascocarpe

Il y a pleins de possibilités, nous avons vu le niveau le plus évolué : l'apothécie, en forme de coupe.

- Ascomycètes sans ascocarpe : on parle alors d'asque nu. On retrouve cette absence d'ascocarpe chez les **Hémiascomycètes** comme les **levures**, des cellules isolées. Il n'y a pas d'ascocarpe, ni de sporophore, les asques sont dans le milieu de culture avec les cellules végétatives.
- Les ascocarpes les plus rudimentaires sont des sphères creuses sans ostiole, sans mode de déhiscence particulier. Les asques à l'intérieur sont désordonnés (pas structurés). On va uniquement avoir la libération des ascospores qui va se faire par désagrégation de la paroi. Ils sont appelés **cléistothèces** (du grec kleistos = fermé). Ce type d'ascocarpe est caractéristique de la classe des **plectomycètes** comme les *Aspergillus* ou encore les *Penicillium*. On va également trouver ça chez l'agent de l'Oïdium de la vigne, *Erysiphe necator*.

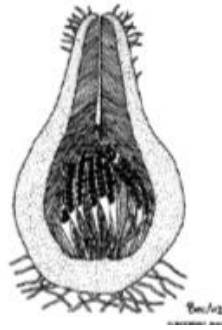


cleistothèce libérant ses asques
chez *Erysiphe necator* (Oïdium de la Vigne)

- On a aussi des ascocarpes de forme plus ou moins complexe, avec cette fois-ci un **hyménium**. On retrouve cette catégorie d'asque chez les **hyménoascomycètes**. Les ascocarpes peuvent être des **apothécies** (en forme de coupe ou de disque) comme pour la pézize orangée, la pézize étoilée, les morilles et la truffe noire. On peut parler de **discomycètes**. Ils peuvent aussi être sous forme de **périthèce**, c'est-à-dire en forme d'urne, de bouteille, une structure fermée mais avec un ostium. On retrouve cette forme d'asque chez les **Pyrénomycètes** qui sont très nombreux, comme les *Claviceps*.



Aleuria aurantia Pézize orangée



d. Au niveau du thalle

La **majorité des ascomycètes est homothallique**, comme *P. confluens*, c'est à dire que la reproduction sexuée se fait avec des mycéliums issus de spores identiques, ou encore venant d'un mycélium issu d'une seule spore.

Ainsi, seuls 10% des souches sont hétérothalliques, c'est-à-dire que leur reproduction sexuée se fait avec des mycéliums issus de spores différentes.

3. Reproduction sexuée des Levures (exemple très particulier)

La levure, *Saccharomyces cerevisiae* est un ascomycète, la plupart du temps homothallique mais pouvant également être hétérothallique.

On va prendre un exemple d'hétérothallisme chez la levure de bière, *Saccharomyces cerevisiae*.

Pour résumer, imaginons qu'on fait pousser des levures de bière dans un milieu.

À l'intérieur de notre brassage, nous allons avoir plusieurs populations de levures qui vont vivre ensemble :

- Populations haploïdes (+)
- Populations haploïdes (-)
- Populations diploïdes

De temps en temps, une levure (+) va rencontrer une levure (-) et elles vont fusionner ensemble par leur cytoplasme (phénomène de périthogamie).

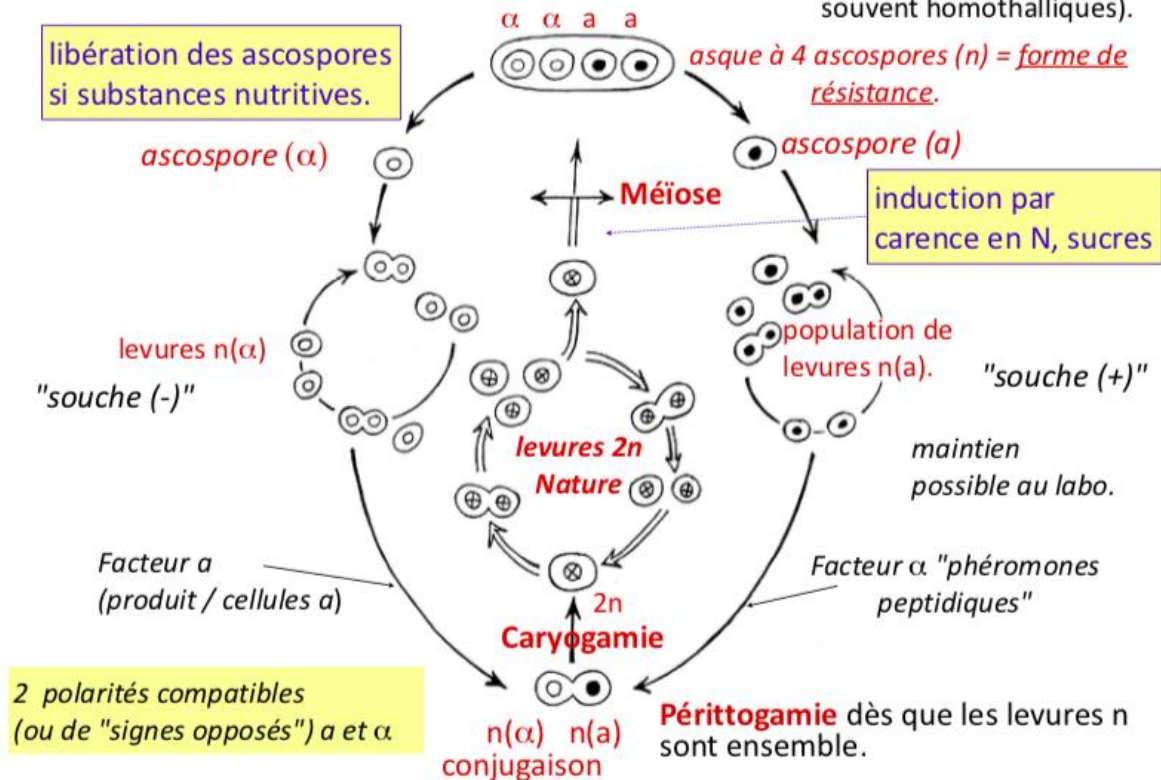
Ensuite, à partir de cette cellule diploïde et dicaryotique, les 2 noyaux de cette cellule vont subir une caryogamie. Nous allons donc avoir une nouvelle cellule de levure diploïde à 2n chromosomes qui va se mettre à se diviser et à proliférer dans la culture.

Au bout d'un certain temps, le manque de nutriments (carence en Azote (N), en sucre...) est un signal pour la levure diploïde de réaliser une reproduction sexuée. La reproduction sexuée lui permettant de fabriquer des ascospores qui vont être des systèmes de survie pour elle.

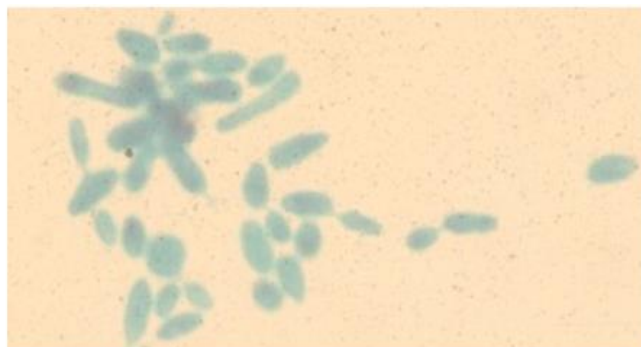
À ce moment-là, la cellule diploïde va subir une méiose (brassage des gènes, disjonction des caractères sexuels (+) et (-)) et la paroi de cette cellule de levure va constituer la paroi de l'asque. Chaque petit noyau va s'entourer de cytoplasme avec une paroi et va devenir une ascospore (= forme de résistance). En toute rigueur, on devrait avoir 4 petites ascospores à l'intérieur de l'asque, mais il n'y aura pas d'organe plus complexes pour protéger les asques qui resteront nus.

Si la levure retrouve un milieu nutritif, la paroi de l'asque va éclater et ainsi libérer les ascospores qui vont germer et donner de nouvelles populations de levures.

ex : cycle de *Saccharomyces cerevisiae* (la + connue)- hétérothallique. (levures le + souvent homothalliques).



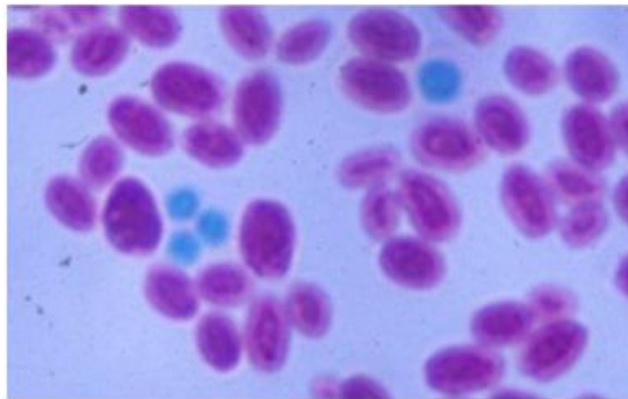
Exemples d'observations microscopiques de levures :



Conjugaison des levures - 1ère étape de la R^{sexuée}



multiplication végétative des levures



Fructification -2^{ème} étape de la R° sexuée

Sur la photo de gauche, on voit une multiplication végétative intense des levures. Elles peuvent être haploïdes (n) ou diploïdes ($2n$), mais c'est impossible à voir au microscope photonique. Il y a des cellules mères et des cellules filles qui prolifèrent végétativement.

Sur la photo de droite, on voit la première étape de la reproduction sexuée, la conjugaison des levures haploïdes (+) et (-).

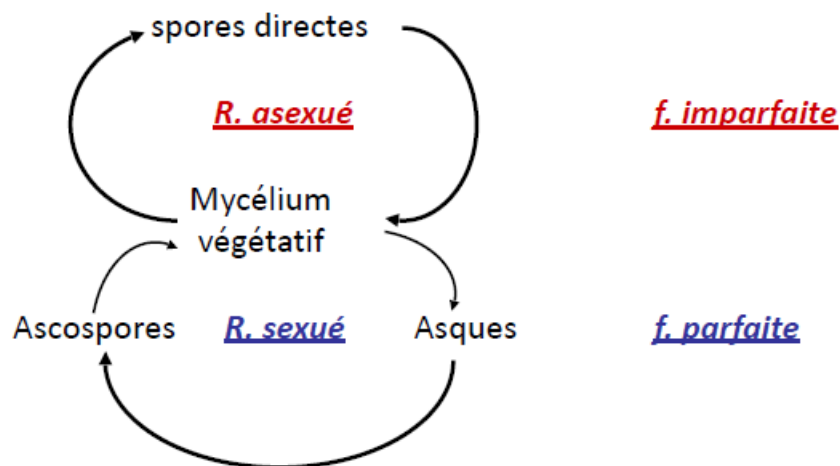
Sur la photo du bas, on va avoir des cellules végétatives en rose, et des ascospores en bleu avec des asques nus (invisible sur la photo).

Il n'y a pas de différenciation de formes sexuelles (gamétocystes) chez les levures.

B. Reproduction asexuée

Chez les ascomycètes, (à part chez les plus évolués pour lesquels la reproduction sexuée est importante) c'est la reproduction asexuée qui est **dominante**. Ce cycle asexué est simple, et correspond à la **forme imparfaite** d'un champignon.

On va avoir une **production directe** par mitoses de **spores par le thalle**. Ces spores vont germer pour redonner du mycélium. Il y a formation de fructifications asexuées et des spores très variés selon les genres et les espèces et cela permet de classer et d'identifier les différents champignons.



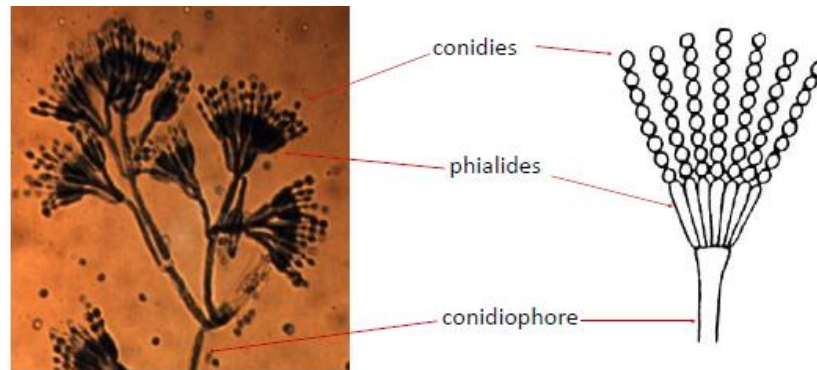
Il existe plusieurs types de spores asexuées :

- Les **conidies** ou conidiospores

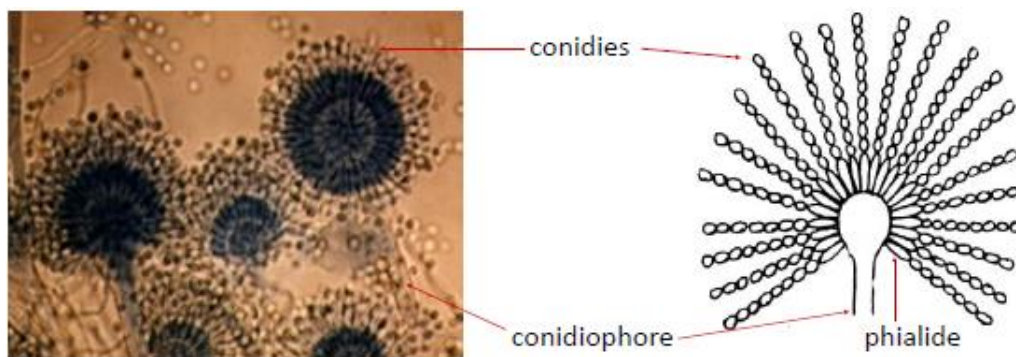
Ce sont des spores uninucléées qui sont de petite taille. Ce sont les plus répandues, de très petite taille et elles sont produites par **bourgeonnement** (mitoses) au niveau de sporocystes simples appelés **phialides**. La phialide peut bourgeonner en un nombre illimité de spore chez les ascomycètes à la différence des spores des zygomycètes qui sont en nombre limité dans le sporocyste. On observe aussi une séparation facile des spores qui sont en chapelets, ce qui permet d'envahir plus facilement la nature. Les phialides sont également regroupées à l'extrémité de filament porteur appelé **conidiophore**.

Quelques exemples :

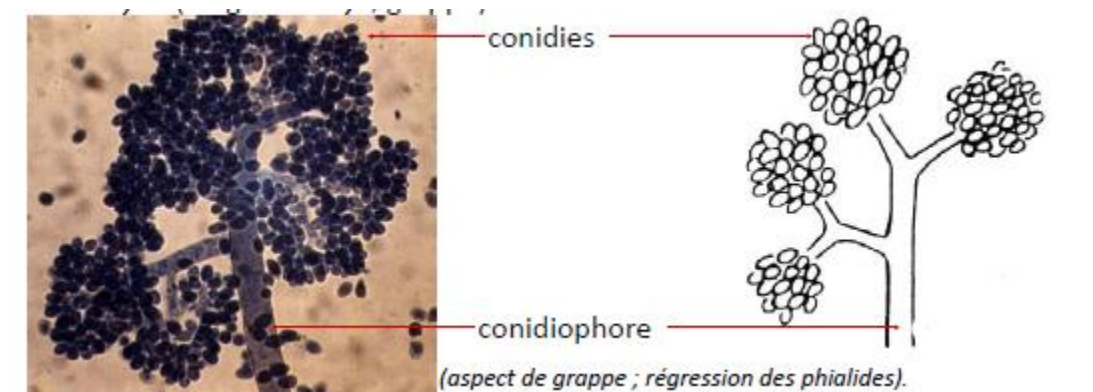
- ***Penicillium*** : forme de pinceau qui permet de l'identifier en microscopie.



- ***Aspergillus*** : ressemble à un goupillon d'eau bénite. Sur la photo, on retrouve les phialides et les conidies. Là encore cette forme caractéristique permet d'identifier clairement une espèce du genre *Aspergillus*.

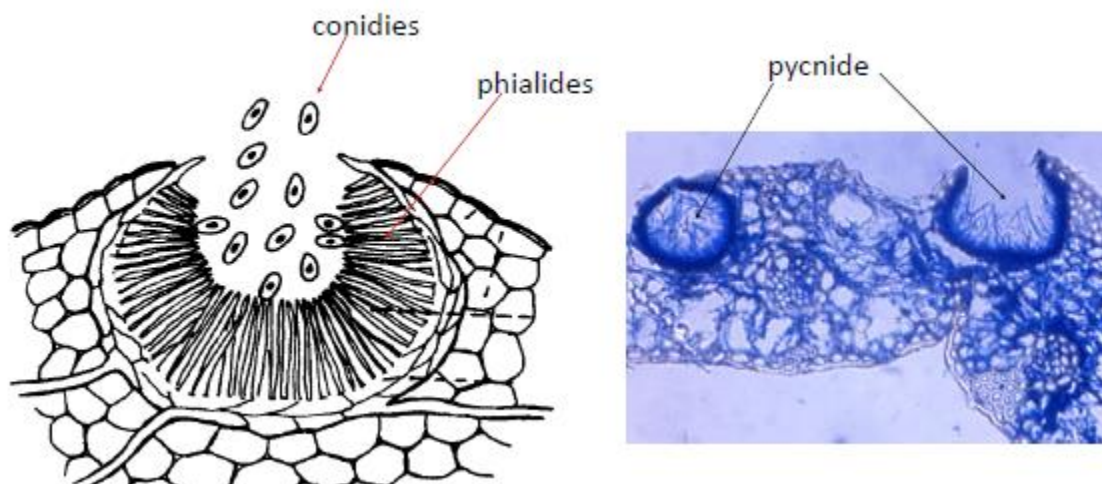


- ***Botrytis*** : aspect de grappes. On voit bien le conidiophore et on remarque qu'il y a régression des phialides. Les structures se forment directement sur les extrémités du filament, on a un bourgeonnement/formation des conidies.



Chez les levures, la reproduction asexuée (on pourrait plus dire que c'est de la multiplication végétative) va se faire par bourgeonnement des cellules du thalle et production de spores appelées **blastospores**.

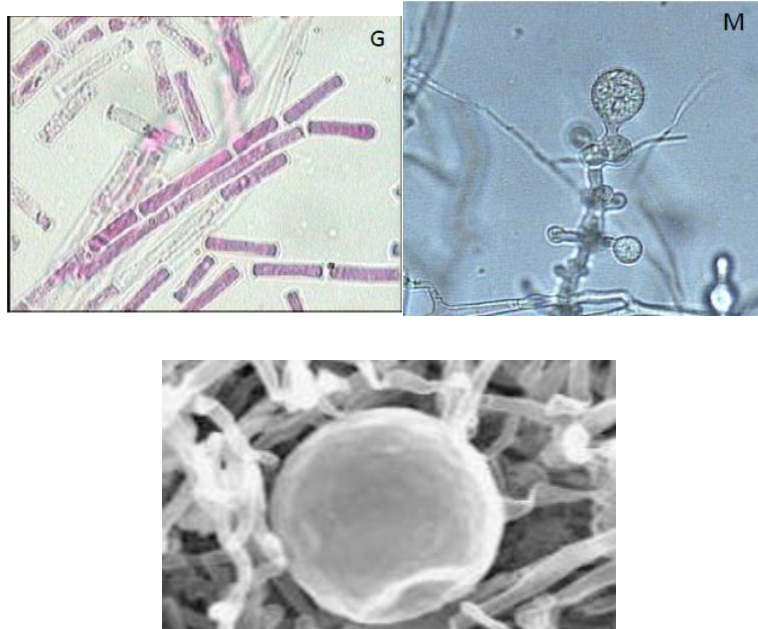
Les **pycnidiospores** sont aussi un autre exemple où les conidies sont produites dans des **pycnides**, c'est assez courant. Ça se passe au niveau des feuilles : la pycnide est un sac enfoncé d'une paroi épaisse qui s'ouvre par un ostiole.



Ex : Les champignons comme les *Phoma* se trouvant sur les feuilles de vigne provoquant le Black Rot (maladie).

On a aussi (moins courant) des spores produites par **fragmentation du mycélium** :

- Les **arthrospores** proviennent de la fragmentation du mycélium en articles (*Geotrichum candidum* en est un représentant).
- Les **chlamydospores** ont leurs articles qui prennent une forme ronde avec une paroi épaissie, ils vont accumuler des réserves et ainsi avoir une forme de résistance (*microsporum*).



III. Étude systématique des Ascomycètes

Il y a 4 classes d'ascomycètes : les **Laboulbeniomyces**, les **Hémiascomycètes**, les **Plectomycètes** et les **Hyménoascomycètes**.

A. Laboulbeniomyces

Il n'en parle pas trop parce que ce n'est pas très important en pharmacie.

Le thalle est un cladome (thalle cladomien), c'est à dire un gros filament central dressé avec des ramifications latérales.

Leur fécondation rappelle celle des algues rouges car il n'y a pas d'ascocarpe.

Ce sont surtout des parasites d'arthropodes.

B. Hémiascomycètes

Ces champignons ne possèdent pas d'ascocarpe (donc juste des asques nus). Il y a deux ordres :

- **Les Taphrinales** : ce sont des parasites des végétaux supérieurs qui créent des déformations/hypertrophies.

Ex : la Cloque du pêcher (déformation des feuilles) par *Taphrina deformans*.



● **Les Endomycétales** : ce sont les **levures**. La famille de levure la plus importante est celle des **Saccharomycétacées** (= vraies levures) au thalle levuriforme (4-6 à x 5-8 mm).

Deux espèces/genres de cette famille sont très important :

- ***Saccharomyces cerevisiae*** : espèce très utilisée dans le domaine de l'agro-alimentaire et de l'industrie pharmaceutique (reconstitution de la flore intestinale et protéines recombinantes)
- Le genre ***Candida*** : pathogène pour l'Homme et les animaux. Il est responsable de la plus grande partie des mycoses.

C. Plectomycètes

L'ordre principal des **Plectomycètes** est celui des **Eurotiales** (dans certains livres on peut aussi trouver le terme de Plectascales).

Dans cet ordre on retrouve 2 familles :

- Les ***Gymnoasquacées*** vivent sur des milieux riches en kératine (peau, cheveux, ongles). Ces champignons sont donc des dermatophytes qui sont pathogènes pour l'Homme. Ex : *Trichophyton*, *Microsporum*. Les maladies engendrées sont donc respectivement des teignes et des onychomycoses.
- Les ***Aspergillacées*** également appelées **Eurotiacées** sont des moisissures très communes présentes sur divers substrats organiques (bois, fromage, confiture, fruits...). Il y a un millier d'espèces des genres *Aspergillus* et *Penicillium*. Ce sont des formes asexuées donc imparfaite et ils prennent le nom de Eurotium en forme parfaite. Ces champignons possèdent de nombreuses **applications industrielles**.

D. Hyménoascomycètes

Ces champignons possèdent une ascocarpe avec un hyménium, d'où leur nom. C'est le groupe le plus important des Ascomycètes (en nombre d'espèces).

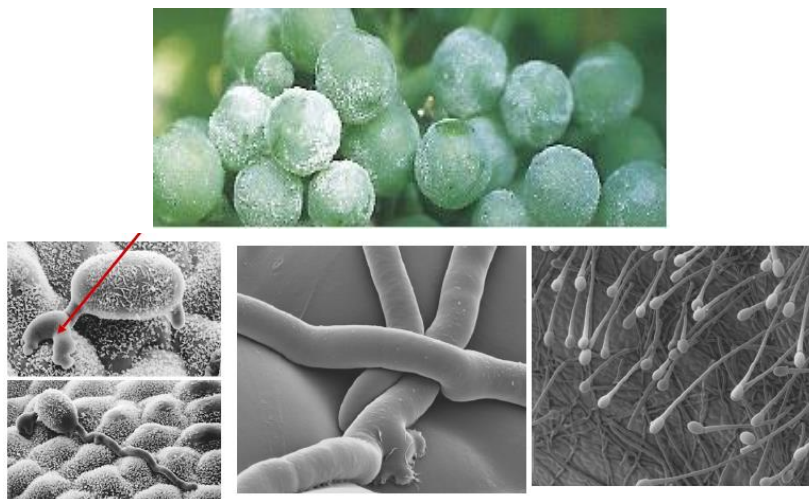
Il y a 3 sous-classes d'intérêt :

- les **Erysiphomycétidées**
- les **Pyrénomycétidées**
- les **Pézizomycétidées**

1. Les Erysiphomycétidées

On va s'intéresser à un ordre en particulier, celui des Erysiphales, car il est responsable d'une maladie très connue, les blancs (la conidie est ovoïde et blanche) ou **oïdiums**. Ce sont des parasites obligatoires et superficiels des végétaux, présents sur les baies et les feuilles.

Ex : *Erysiphe* (*Uncinula*) *necator* qui donne l'oïdium de la vigne. Il émet des suçoirs qui vont aller sur les cellules épidermiques. Il a beau rester à la surface et ne pas être très agressif, il crée des blessures qui permettent à d'autres champignons de s'installer sur les organes.



2. Les Pyrénomycétidées

Ce sont de nombreux parasites des végétaux, comme *Nectria sp* et *Claviceps sp*. Ce sont également des saprophytes d'humus ou de fumier, comme *Sordaria sp*. ou des saprophytes de bois vivant ou mort, comme *Xylaria* ou *Hypoxylon*.

Il y a de nombreuses espèces de Pyrénomycétidées, mais une en particulier est connue et a un intérêt en pharmacie : **Claviceps purpurea**.

Ce champignon est un parasite des épis d'orges et de seigle. Il a la propriété de former des **sclérotés** qui sont une forme de résistance (en forme d'ergot) pour passer l'hiver. Il contient des alcaloïdes indoliques dérivés de l'ergotamine utilisés en thérapeutique (dérivé dihydroergotamine, hydrogénation d'une double liaison) dans le traitement de fond des migraines ou pour faciliter les accouchements. Le LSD provient de ce champignon. Avant que l'on connaisse l'ergotamine et ses propriétés, *Claviceps purpurea* fut responsable de nombreuses intoxications via la consommation de farines contaminées, du Moyen-Âge jusqu'au XIXe siècle.

3. Les Pézizomycétidées

Aussi appelés Discomycètes en raison de leur forme, ces champignons sont divisés en 3 ordres :

- **Helotiales** ou **Léotiales**
- Pézizales
- Tubérales

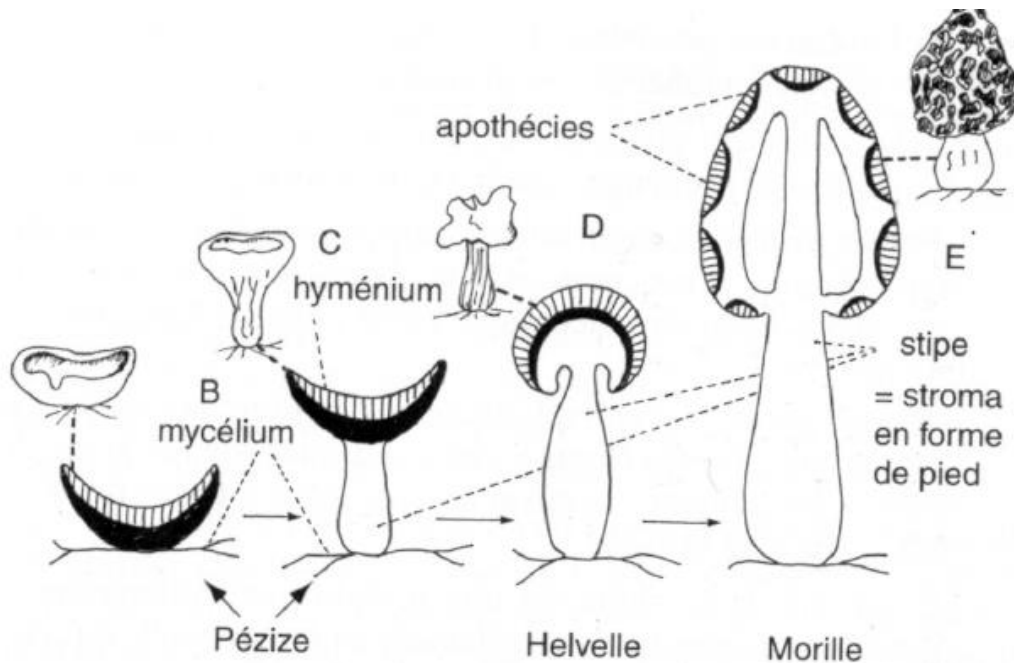
Les Helotiales sont des parasites des végétaux comme Botrytis (nom de la forme parfaite = Sclerotinia) retrouvé sur les fruits, ou des saprophytes sur bois mort comme Chlorociboria aeruginosa (contient un pigment vert, cf. photo ci-dessous).

Le botrytis sous sa **forme asexuée** on l'appelle **botitrys cinerea**, état des fruits attaqués par de la pourriture grise. On peut, grâce à ce champignon présent sur des raisins blancs, obtenir certain vin (mais que s'il n'y en a pas trop). Cette pourriture grise provoque de très grande perte économique. Le même champignon, sous **forme parfaite** (sexuée) est appelé **sclerotinia fuckeliana** (masse noirâtre sur la photo). Ce champignon est rare mais on arrive à l'obtenir facilement en boîte de pétri en laboratoire.



Les Pézizales ont leur ascocarpe au-dessus du sol. Cet ordre contient 3 familles :

- les **Pézizacées** : apothécie isolée en forme de coupe (les pézizes).
- les **Helvellacées** : l'hyménium est à la surface et va recouvrir le champignon d'une lame plus ou moins fine, portée sur un pied développé. ex. Gyromitra, helvelles.
- les **Morchellacées** : nombreuses apothécies sur un stroma charnu de grande taille. Chaque creux visible est une apothécie (morille)



Les **Tubérales** ont une ascocarpe globuleuse et souterraine et les apothécies sont refermées sur elles-mêmes. L'exemple le plus connu est la truffe. Elles peuvent vivre en symbiose (mycorhize) ou bien elles peuvent être saprophytes. On n'a jamais réussi à montrer de reproduction asexuée chez les **truffes...** (disparition presque totale de la reproduction asexuée). Les truffes seraient une évolution des ascomycètes.



Helvelle



Gyromitre



Morille

LES BASIDIOMYCÈTES

Plan du cours :

I - Caractères généraux

A - Qu'est-ce qui les caractérisent ?

B - Les basides

II - Classification des Basidiomycètes

A - Téliobasidiomycètes = téliomycètes

B - Phragmobasidiomycètes

I. Caractères généraux

On retrouve 14 000 espèces décrites. On considère qu'il y en a 100 qui sont réellement toxiques dont 20 potentiellement mortelles. Ce sont des champignons qu'on considère

comme les plus perfectionnés et leur mycélium est cloisonné. Il y a de nombreux macromycètes avec un sporophore qu'on appelle également un carpophore ou basidiocarpe qui est de grande taille.

Ex : Bolets, Amanites, champignons de couche...

A. Qu'est-ce qui les caractérise ?

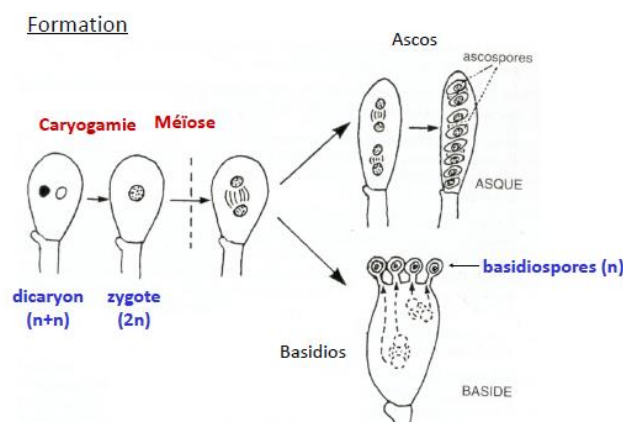
Rappel : On classe les champignons suivant leur mode de reproduction.

Chez les Basidiomycètes, elle se fait avec formation de sporocystes spécialisées appelées **basides**, que l'on retrouve le plus souvent au niveau des lames et des lamelles, à l'**extérieur** desquelles se forme, à la suite de la **méiose**, des **basidiospores**. Ceux-ci sont exogènes (contrairement à ceux des Ascomycètes qui sont endogènes) et portés à l'extrémité de filaments courts : les stérigmates.

Cette reproduction sexuée est souvent **prédominante** avec un mycélium dicaryotique (cellules à 2 noyaux $n+n$). Chez les basidiomycètes, la reproduction asexuée est réduite avec formation de conidies limitée.

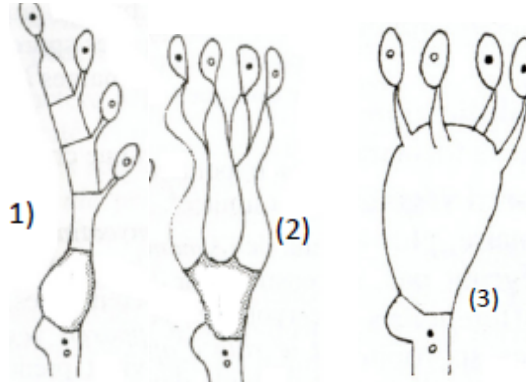
B. Les basides

Pour la formation des basides, il va y avoir un filament **dicaryotique** (avec deux petits noyaux haploïdes). On va d'abord avoir une **caryogamie** sur la cellule basidiogène et les deux petits noyaux haploïdes vont fusionner pour donner un **zygote**. Ensuite, ce noyau diploïde va subir une méiose avec formation de 4 petits noyaux qui vont migrer à l'extérieur de cette cellule. Ils vont ensuite s'entourer d'un cytoplasme et d'une paroi. Avec cette méiose, on a brassage de gène et disjonction des caractères sexuels ($2+$ et $2-$). Il n'y a pas de mitose supplémentaire chez les Basidiomycètes.



Ces basides sont trouvées en 3 types, ce qui va permettre de classer les Basidiomycètes :

- **Archéobaside primitive (1)** : leur formation se rapproche de celle des asques, il y a un **cloisonnement transversal** individualisant les noyaux superposés et émission de stérigmates par chaque cellule puis migration du noyau qui donne la basidiospore externe.
- **Hétérobaside (2)** : mécanisme similaire mais **cloisonnement longitudinal**.
- **Homobaside (3)** : possède les basides les plus évoluées mais **sans cloisonnement**.



II. Classification des Basidiomycètes

On classe en fonction du mode de vie, du sporophore et du mode de division de la baside. On a 3 classes :

A. Téliobasidiomycètes (téliomycètes)

Ils n'ont **pas de sporophores**, ce sont des **parasites** des végétaux supérieurs qui provoquent des maladies comme les rouilles, les charbons et les caries. Ils ont des basides primitives : **archéobasides**.



Puccinia graminis
(Rouille du Blé)

Il y a deux ordres :

- Les **Urédinales** : maladies appelées rouille en raison de la couleur des spores. On a 4000 espèces mais l'exemple le plus connu est la **Rouille** du blé "*Puccinia graminis*". Il n'y a pas de carpophore.
- Les Ustilaginales : 500 espèces où on retrouve 2 familles :
- Les **Ustilaginacées** : maladies appelées **charbons** (spores noires) comme par exemple le Charbon du maïs qui entraîne une hypertrophie des fleurs parasitées et donc une perte agricole.
- Les **Tillétiacées** ce sont des maladies appelées **Caries**. Ex : la Carie du blé



Ustilago zeae
(Charbon du Maïs)



Tilletia tritici
(Carie du Blé)

B. Phragmobasidiomycètes

Il en existe plus de 500 espèces, leur sporophore est développé, souvent gélatineux et souvent plissé, en forme d'oreille ou découpé en lobes foliacés, lignicole. Ils ont peu d'intérêt et les basides sont cloisonnées.

On a trois ordres :

- **Auriculariales** (archéobasides), Ex: Auricularia sp (auriculaire)
- **Trémellales** (hétérobasides) ; Ex: Tremella mesenterica (trémelle mésentérique)
- **Dacrymycétales** (basides plus ou moins cloisonnées : groupe de transition avec les homobasides).

C. Homobasidiomycètes

Ils possèdent plus de 10 000 espèces et présentent des sporophores de grande taille, on les surnomme “gros champignons”, ceux sont les plus évolués, ils présentent des homobasides.

Il y a 3 sous classes :

- Les **Aphyllorphormycétidées** : qui correspondent à la classe la plus primitive. Sans lames, l’hyménium est porté par des **replis** du carpophore (préfigurant les lames).
Ex : la gyrolle, la trompette de la mort.



Girolle

Chanterelles



Trompette de la mort

L’hyménium est toujours en contact direct avec l’extérieur, dès le début de sa croissance, le sporophore n’est jamais protégé par une enveloppe externe. La **croissance hyméniale est dite indéfinie**, elle est non limitée dans le temps et pouvant durer plusieurs années comme chez les Polypores. Ils sont saprophyte du bois.



Polypore

saprophytes sur bois



Tramète

Autre ex : hyménium sous forme d’aiguillons avec le Pied de mouton *Hydnum* sp.



Hyménium à aiguillons
Pied de mouton
(*Hydnum* sp.)

- Les **Agaricomycétidées** : il sont évolués et on retrouve 8 ordres: ce sont des champignons à **chapeau** le plus souvent à **lames** (hyménium de chaque côté des lames). Contrairement au précédent, le **développement de l’hyménium est défini**, c’est à dire que toutes les hyphes fertiles basidiogènes (qui vont former des basidiospores) sont définitivement formées dans l’oeuf (primordium), dès la naissance dans le sol à l’origine du sporophore. C’est un développement rapide et limité dans le temps (quelques heures à quelques jours). **L’hyménium va être protégé dans un premier temps**, puis en contact avec l’extérieur au cours du développement du sporophore (on le nomme sporophore épanoui).



Hyménium à lames
Amanites



Hyménium à tubes
Bolets