

4. Les champignons

Champignons = Fungi = mycètes (mukes = champignon).

Les champignons représentent l'un des plus importants groupes d'organismes sur terre et jouent un rôle clé dans un grand nombre d'écosystèmes. Ce sont des organismes eucaryotes unicellulaire (comme pour certaines levures) ou pluricellulaire (mycélium) comme la plupart des micromycètes ou des macromycètes, à mode de reproduction sexuée ou asexuée. Les spores produites peuvent avoir un rôle dans la dispersion des champignons, mais peuvent également jouer un rôle dans la survie de l'organisme lorsque les conditions environnementales deviennent défavorables.

Leurs cellules sont entourées de parois qui ne sont pas constituées de cellulose comme chez les végétaux, mais de chitine (polymère d'un dérivé aminé de glucose, constituant également l'exosquelette des insectes).

Les champignons se distinguent des plantes et des algues par l'absence de chloroplastes et des animaux par la présence de parois cellulaires.

4.1. Mode de vie et de nutrition des mycètes

Ces organismes sont dépourvus de chlorophylle et sont tous **hétérotrophes**. Ils ne peuvent pas faire de photosynthèse, Ces organismes sont très importants et vivent en relation avec d'autres organismes, selon plusieurs manières :

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

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

Chez les mycorhizes le champignon fournit les minéraux qu'il tire du sol alors que la plante apporte les éléments organiques qu'elle synthétise. Plus de 95% de tous les végétaux vasculaires possèdent des mycorhizes.

Les cellules des champignons libèrent des enzymes. Celles-ci décomposent les substances complexes comme les protéines, les graisses et les sucres, en substances plus simples qui pénètrent dans les cellules des champignons en compagnie de l'eau, et des sels minéraux.

4.2. L'importance

Les mycètes sont importants par leurs effets bénéfiques que nuisibles. Ce sont des agents de décomposition majeurs, qui dégradent les matières organiques complexes en substances simples.

Les mycètes sont la cause principale des maladies des végétaux (oidium, rouille, ergot...)

Les champignons interviennent dans la pathologie humaine de deux façons :

- Des intoxications alimentaires liées à certains champignons toxiques, essentiellement les Amanites, mais également les *Aspergillus* qui sont capables de produire des aflatoxines cancérigènes.
- Des infections appelées mycoses. La plupart sont opportunistes. Les mycoses peuvent être superficielles et locales (ex : teignes), ou au contraire systémiques (ex : cryptococcoses)

Les mycètes ont également de très nombreuses applications positives :

En fromagerie	Les fromages sont des produits complexes élaborés à partir du caillé du lait, obtenu par l'action de la présure sur le lait frais. Interviennent dans la fabrication de nombreux microorganismes : – des bactéries lactiques et d'autres bactéries pour les arômes. – des <i>Geotricum candidum</i> – des <i>Penicillium</i> comme : ➤ <i>P. camembertii</i> qui utilise l'acide lactique et donc désacidifié et libéré des enzymes intervenant dans la fabrication d'arômes. ➤ <i>P. roquefortii</i> des fromages bleus qui grâce à des enzymes protéolytiques et lipolytiques modifie considérablement le goût du fromage originel. Il est ajouté au départ et l'aération du fromage par pique suffit à assurer son développement.
En charcuterie	Les moisissures interviennent soit comme contaminants soit pour donner en charcuterie l'aspect blanc extérieur du saucisson. Des bactéries lactiques sont aussi utilisées.
Dans les préparations culinaires	Les champignons peuvent faire partie des repas (champignons de Paris, cèpes...) ou intervenir dans l'arôme des mets (truffes). Ils interviennent dans des préparations comme la choucroute (levures). En Asie surtout mais parfois aussi en Afrique les champignons sont très culinaires utilisés dans les préparations culinaires particulières de ces pays. De très nombreuses sortes de champignons servent : <i>Aspergillus</i> , <i>Mucorales</i> , <i>Levures</i> ...
Dans la fabrication des additifs	Des molécules sont souvent ajoutées à des aliments pour faciliter la préparation, améliorer la présentation, améliorer les qualités organoleptiques ou faciliter la conservation. Ces additifs peuvent être chimiques mais sont souvent apportés par des champignons : – des acides organiques comme l'acide citrique (<i>Aspergillus niger</i> , <i>P. citrinum</i>)

	– des enzymes utilisées dans la préparation du pain (hydrolyse de l'amidon par amylases d' <i>Aspergillus</i>), la coagulation du lait (pseudoprésures de Mucorales), la clarification des jus de fruits (pectinases d' <i>Aspergillus</i>), l'hydrolyse du lactose (lactase d' <i>Aspergillus</i>), antioxydant comme le glucose oxydase comme additif des mayonnaises et des œufs en poudre (<i>Aspergillus niger</i>),.
Dans la fabrication du pain (pâtes), du vin, de la bière, ...	La synthèse de l'éthanol biologique est essentiellement le fruit de l'action des levures (<i>Sacharomyces</i>). Les vins de grande qualité subissent l'action successive de plusieurs dans les levures provenant de l'environnement de vinification (grain de raisin, fabrication du matériel utilise, cave...). Dans un cas, on utilise des moisissures naturelles : c'est la pourriture du vin, de la noble des Sauternes (<i>Botrytis cinerea</i>). La fermentation éthanolique est utilisée aussi en panification pour la levée de la pâte grâce au dioxyde de carbone. L'éthanol s'évapore à la cuisson.
Dans la lutte biologique	Un certain nombre de champignons sont utilisés pour tuer des insectes dans la lutte ou vers nuisibles ; <i>Beauveria bassiana</i> peut parasiter les insectes, <i>Arthrobotryx superba</i> des nématodes.
Dans la fabrication des médicaments	Le premier antibiotique, la pénicilline, est le fruit d'un champignon <i>Penicillium notatum</i> ... (industriellement : <i>Penicillium chrysogenum</i> pour le noyau betalactamine, <i>Cephalosporium</i> pour les céphalosporines..). Ajoutons la cyclosporine très important immunosuppresseur utilise pour les greffes. De nombreuses protéines issues du génie génétique sont aujourd'hui fabriquées par des levures. C'est le cas du vaccin contre l'hépatite B. L'avantage des levures réside dans leur nature eucaryote pour la synthèse des protéines et la facilité de leur culture par rapport aux cellules animales en culture.

4.3. La structure

L'organisation cellulaire des champignons est appelée le **thalle**. Chez les champignons microscopiques, le thalle peut être **filamenteux (moisissures)** ou **unicellulaire (levures)**. Certaines levures sont toutefois capables de former des structures filamenteuses (**pseudomycélium**) dans certaines conditions.

La grande majorité des champignons se présentent sous **une forme filamenteuse**, caractérisée par une structure tubulaire, ramifiée, et plurinucléée. Le diamètre des hyphes varie considérablement en fonction des conditions de l'environnement, de leur position dans la colonie, et surtout d'une espèce à l'autre, de 3-4 μm à plus de 10 μm .

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

1- Non cloisonnée (mycélium siphonné ou coenocytique)

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

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

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

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

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

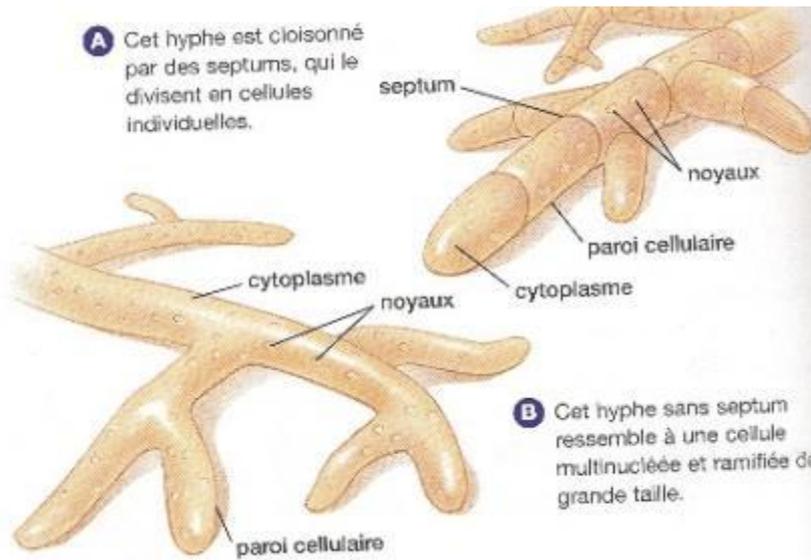


Figure 4 : Structure d'un hyphe et son développement vers la formation d'un mycélium :

(A), hyphe coenocytique ; (B), hyphe cloisonnée.

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

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

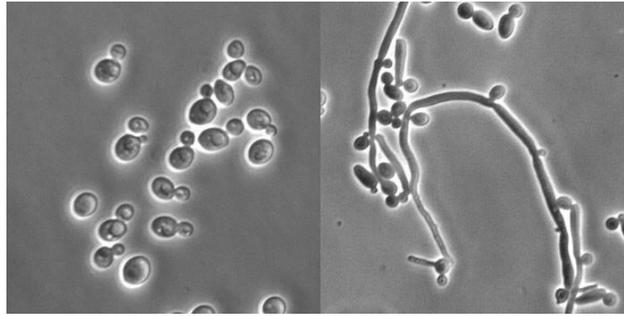


Figure 4 : Dimorphismes chez *Candida albicans*

➤ Structure de l'hyphe

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

Les mitochondries ont des structures qui varient selon les différents règnes de mycètes. Les eumycètes ont des mitochondries à crêtes lamellaires, tandis que les mitochondries d'oomycètes ont des crêtes tubulaires. L'appareil de Golgi des mycètes est très peu développé, et n'est souvent formé que d'un saccule. Dans les cellules plus âgées des vacuoles apparaissent et peuvent envahir la totalité de l'article.

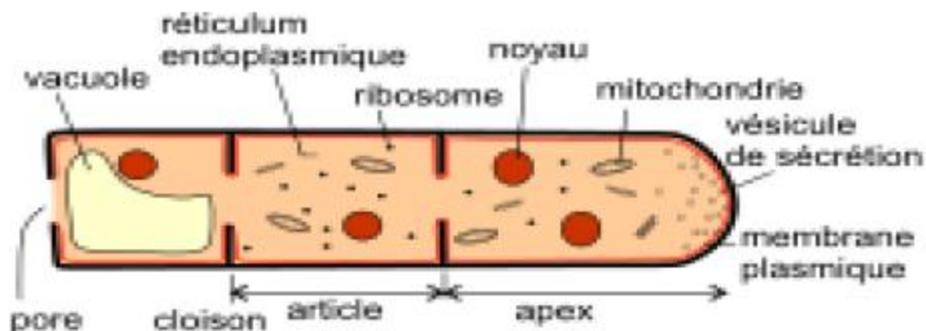


Figure 5 : structure de l'hyphe,

➤ Composition de la paroi

Les champignons filamenteux possèdent une paroi constituée essentiellement de polysaccharides, de glycoprotéines et de mannoprotéines (Figure 6). Les polysaccharides sont majoritairement la chitine, polymère de molécules de N-acétylglucosamine liées entre elles par une liaison de type β -1,4, et les glucanes, polymères de molécules de D-glucose liées entre elles par des liaisons β . Ces deux polysaccharides assurent la protection des moisissures vis-à-vis des agressions du milieu extérieur. La chitine joue un rôle dans la rigidité de la paroi cellulaire, les glycoprotéines jouent un rôle dans l'adhérence et les mannoprotéines forment une matrice autour de la paroi.

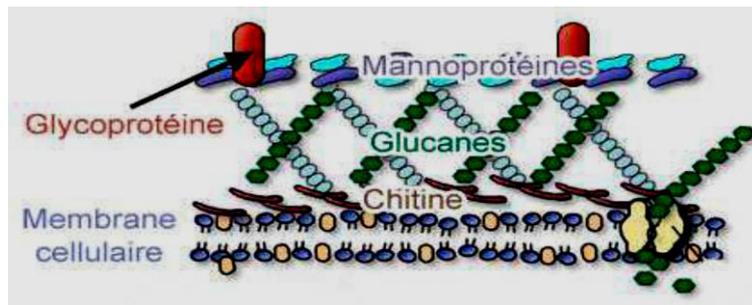


Figure 6 : Schématisation de la structure de la paroi fongique.

4.4. La reproduction chez les champignons

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

a) Reproduction asexuée "anamorphe"

La reproduction asexuée chez les champignons peut se faire par **bourgeonnement**, **fission binaire**, **fragmentation**, ou par **formation de spores**.

❖ Le bourgeonnement et la fission binaire

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

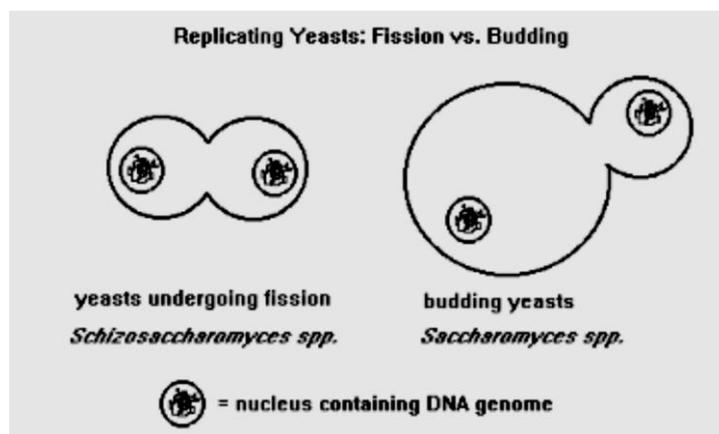


Figure 7 : Illustration de la fission binaire et du bourgeonnement chez les levures.

❖ Le bouturage

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

❖ La sporulation

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

- ✓ Les spores créées peuvent être **endogènes**, c'est-à-dire à l'intérieur de la cellule-mère, ou **exogènes**.

Il existe différents modes de sporulation :

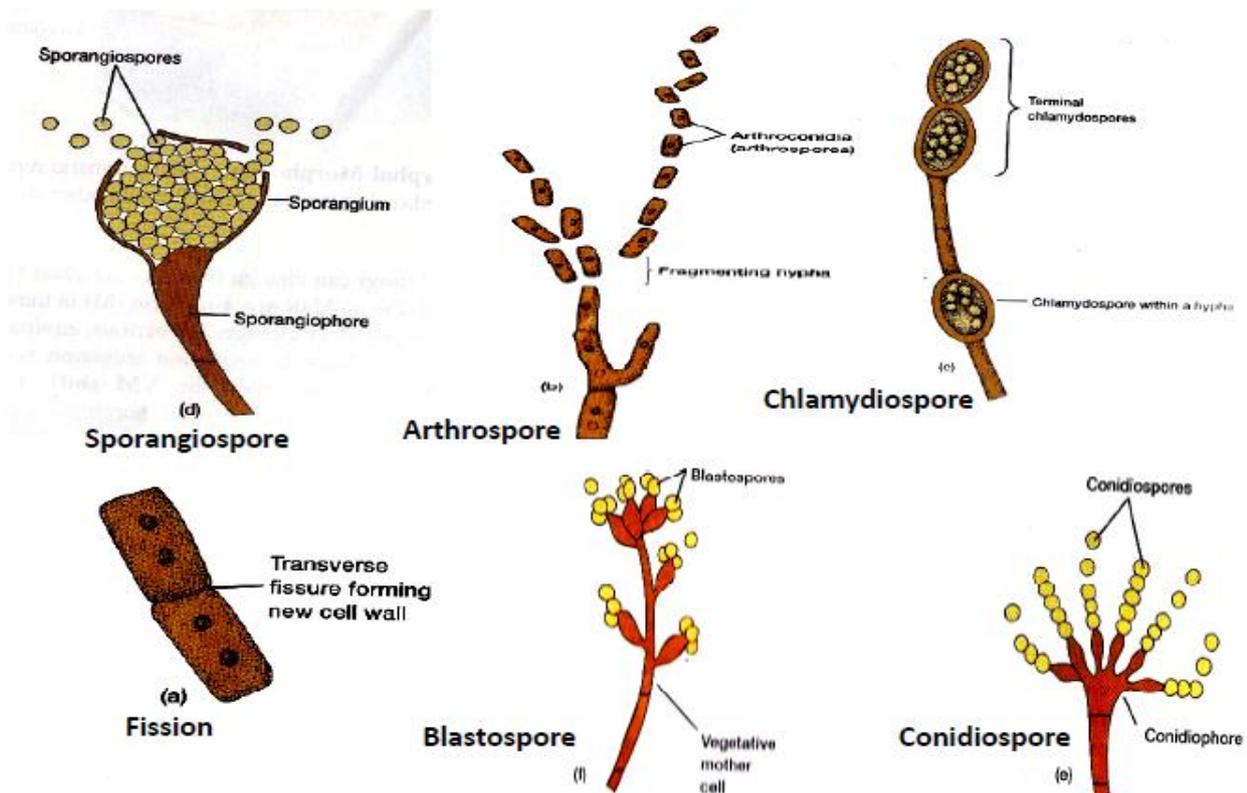
Arthrospores : Par rupture d'un hyphe (cas des chytridiomycètes).

Chlamydospores : La paroi s'épaissit et le cytoplasme se condense, c'est une forme résistante.

Blastospores : Par bourgeonnement (cas des levures).

Sporocystiospores : Ces spores sont endogènes, dans un sporocyste. Elles sont en grand nombre. (cas des zygomycètes).

Conidiospores : Ces spores sont exogènes, à partir d'un phialide. (cas des Basidiomycètes)



b) Reproduction sexuée "téleomorphe"

La reproduction sexuée implique la fusion de deux **cellules haploïdes** à rôle de gamètes, et entraîne la formation d'un **zygote diploïde**. Certaines espèces sont autofertilisantes et produisent des gamètes sexuellement compatibles sur le même mycélium. Chez d'autres espèces, un croisement entre individus différents (notés « + » et « - ») est nécessaire.

Chez les Mycètes, il y a souvent un décalage entre la fusion des cytoplasmes (**plasmogamie**) et la fusion des noyaux (**caryogamie**). Il existe donc un **stade dicaryote**, dans lequel les cellules contiennent **deux noyaux haploïdes séparés**, provenant de chacun des deux parents

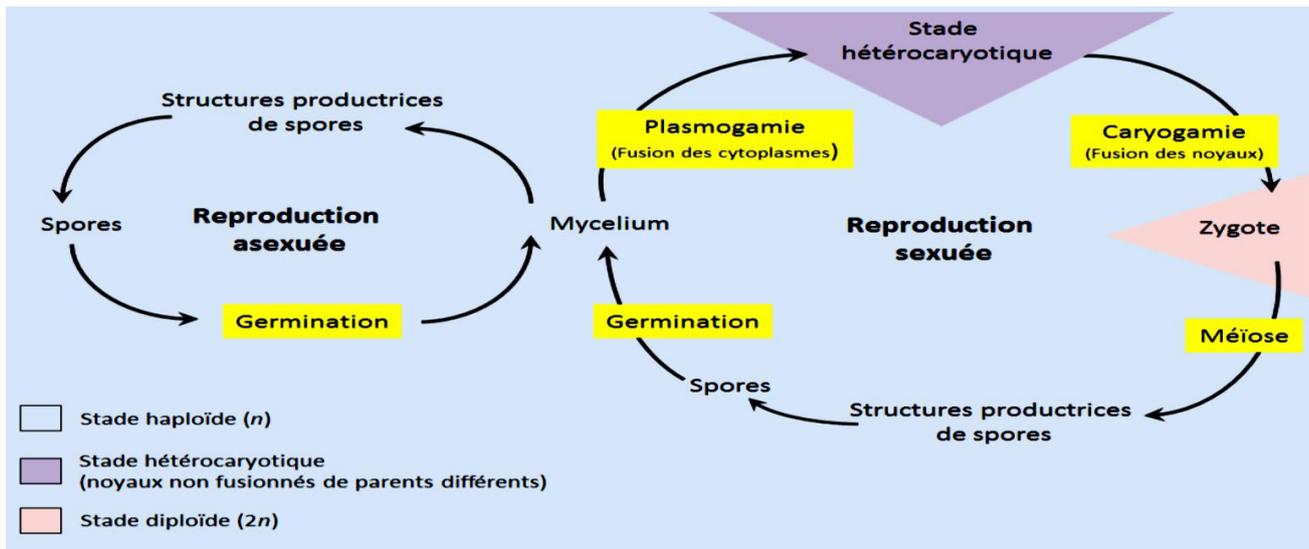


Figure 9 : Reproduction sexuée "téléomorphe" chez les mycètes

4.5. Les caractéristiques des embranchements des mycètes

– *Zygomycota* ou Zygomycètes

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

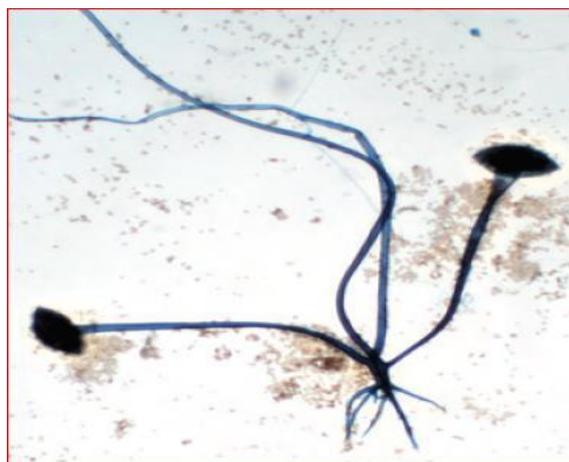


Figure 10 : Zygomycète

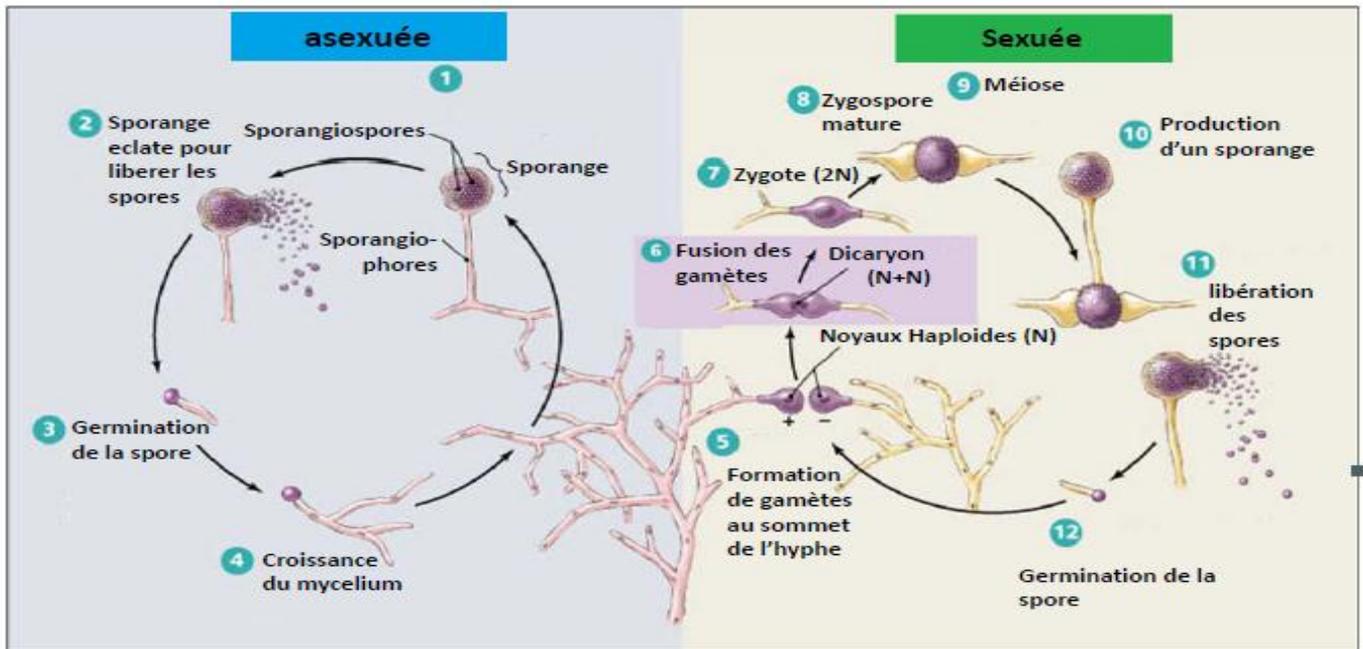


Figure 11 : Cycle de vie d'un Zygomycète

- *Ascomycota* ou Ascomycètes

Plus de 48000 espèces d'Ascomycètes ont été décrites à ce jour. Le mycélium est cette fois cloisonné. Les spores mûrissent à l'intérieur d'un sporocyste, l'asque, généralement en forme de massue. Beaucoup sont des moisissures, et se reproduisent le plus souvent de façon asexuée (pas de production d'asques) (Ex: Les *Penicillium*. Moisissures souvent vertes)

Les levures sont des Ascomycètes particuliers, qui ne présentent plus de mycélium. Elles sont constituées de cellules isolées se reproduisant par bourgeonnement. A l'état naturel, elles se développent sur la peau des fruits.

Certains Ascomycètes forment des carpophores visibles à l'œil nu, dont certains sont comestibles (Ex.: les Truffes, les Morilles, les Pezizes).

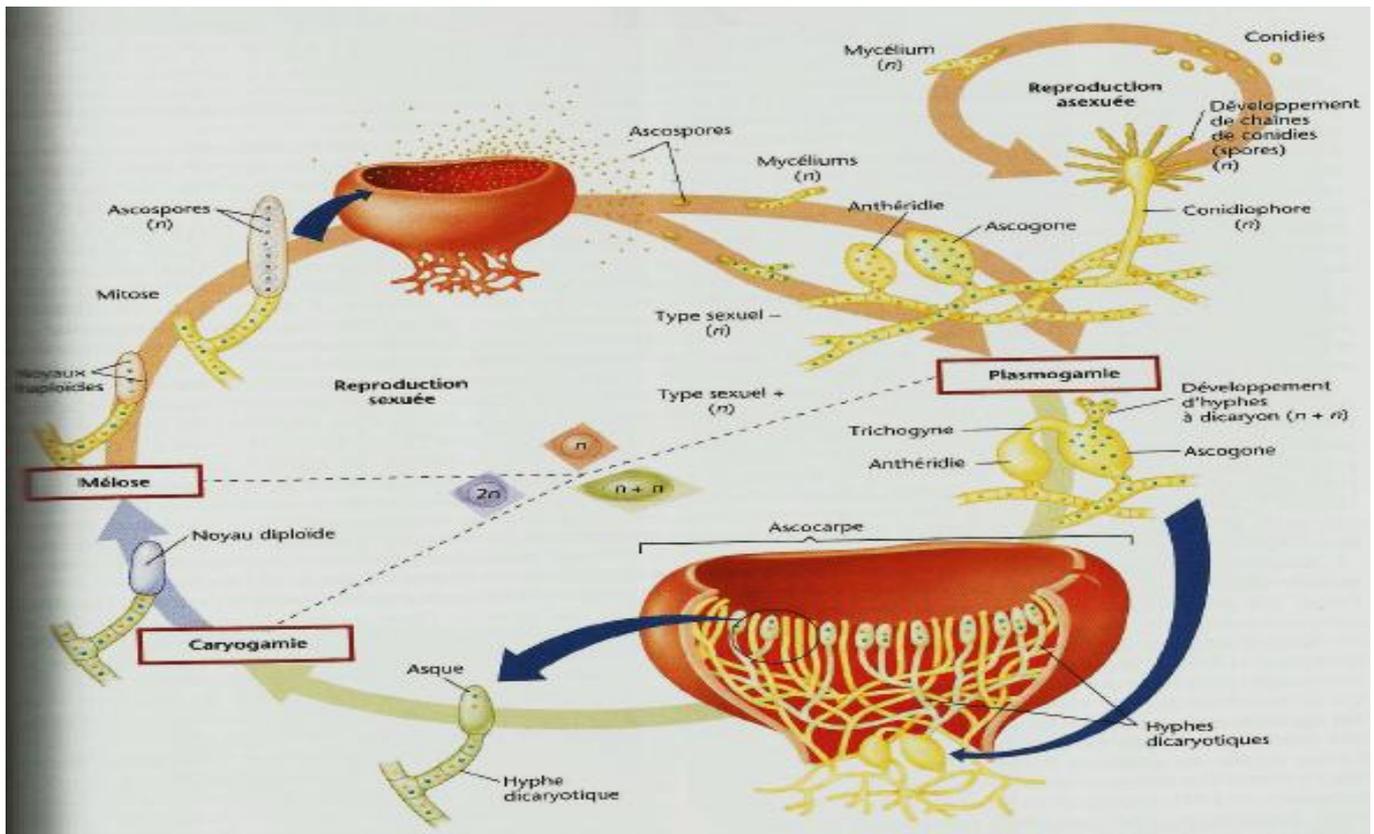


Figure 12 : Cycle de vie d'un Ascomycète

– *Basidiomycota* ou Basidiomycètes

Plus de 30.000 espèces de Basidiomycètes ont été décrites. Ces champignons présentent un mycélium cloisonné. Les spores sont produites généralement par quatre et mûrissent à l'extérieur du sporocyste (la baside). Les basides sont portées par une structure complexe, le carpophore. La plupart des "champignons" au sens commun du terme, sont des carpophores de Basidiomycètes.

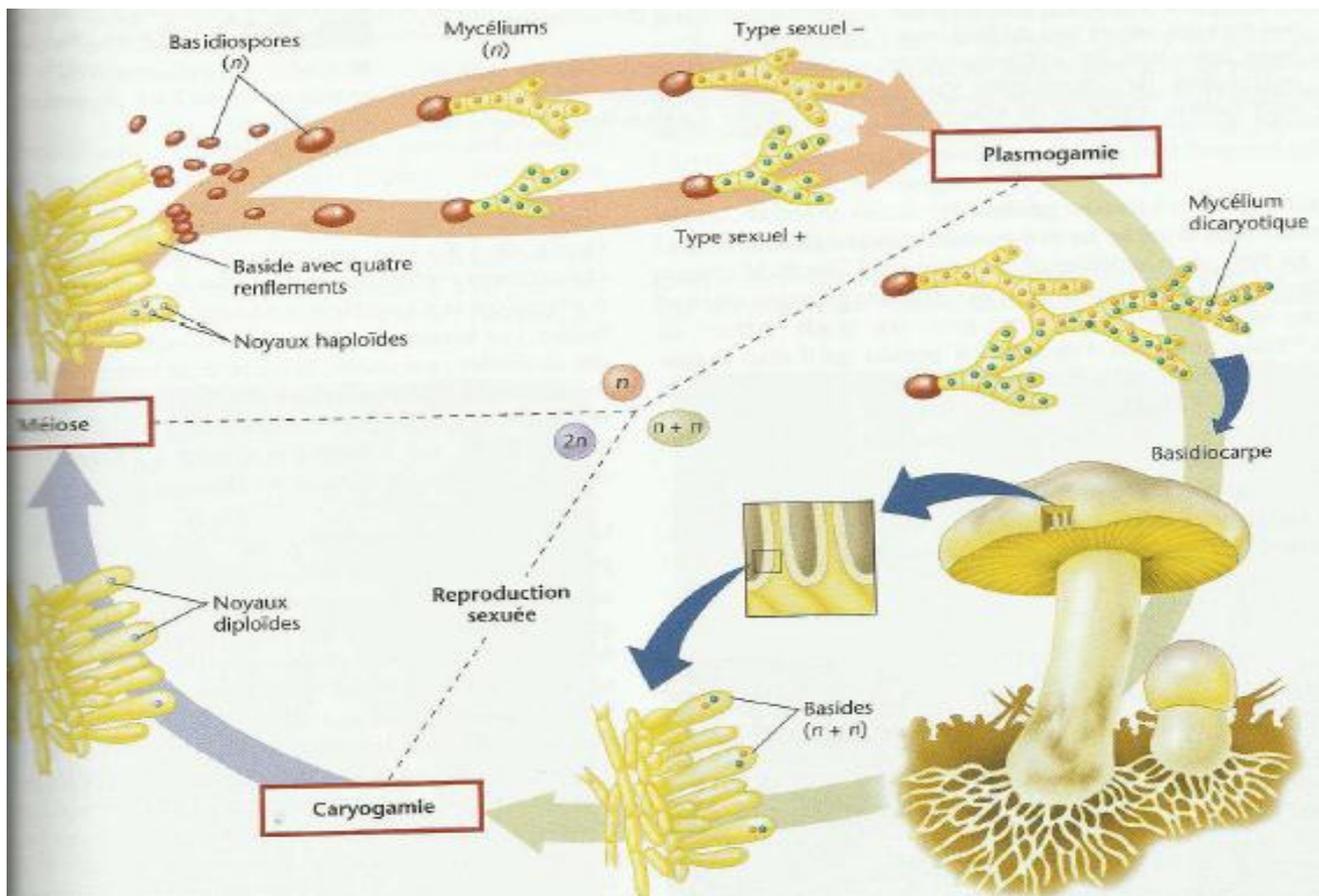


Figure 13 : Cycle de vie d'un Basidiomycète

- *Chytridiomycota* ou Chytridiomycètes

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

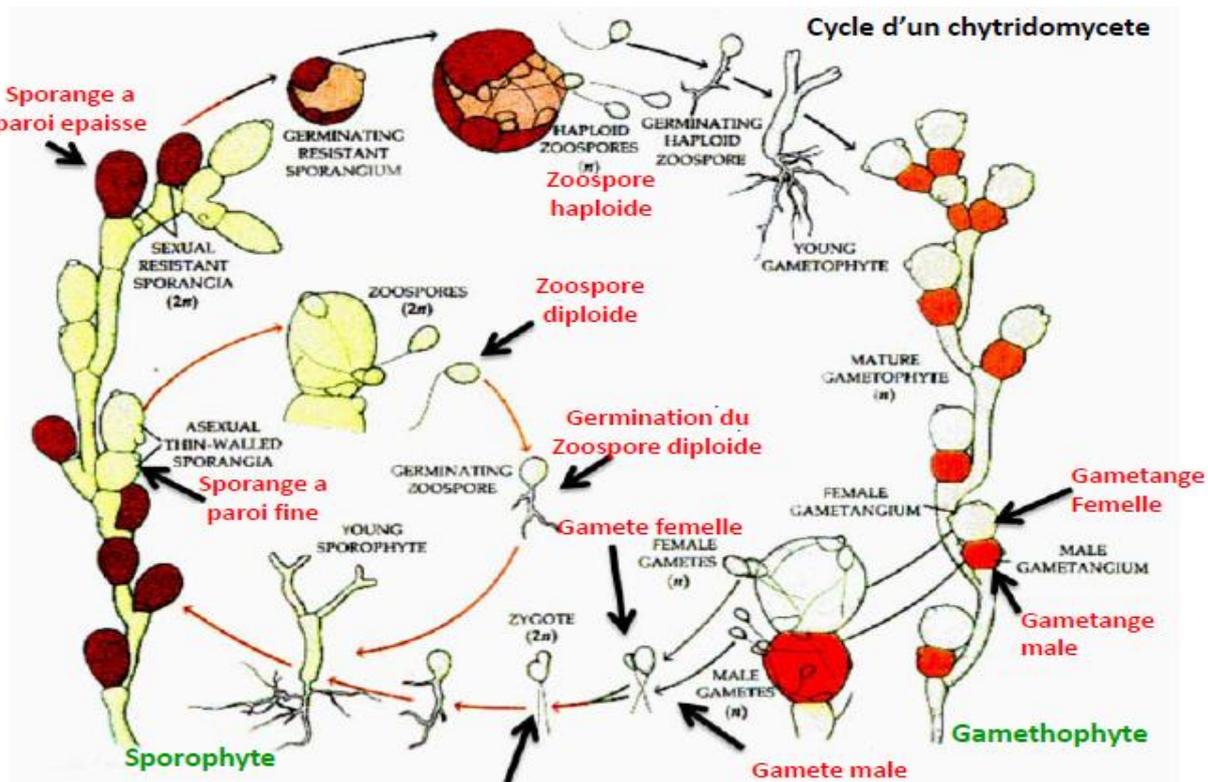


Figure 13 : Cycle de vie d'un Chytridiomycète

- *Deuteromycota*

Appelé aussi *Fungi imperfecti* (champignon imparfait), cet ensemble hétérogène est un problème contrariant pour les taxinomistes. En effet, les Deutéromycètes n'ont pas de forme sexuée connue et cette absence oblige à les classer à part en ne tenant compte que de leur stade anamorphe. Cet ensemble regroupe le plus grand nombre d'espèces médicales. Classiquement on distingue trois classes.

➤ **Blastomycètes**

Ou micromycètes ayant une phase levure, ils se multiplient par simple bourgeonnement.

➤ **Coelomycètes**

Ce sont des champignons filamenteux qui possèdent des structures de protection, pour leur conidiogénèse asexuée, appelées pycnides ou acervules selon les cas.

➤ **Hyphomycètes**

Ces derniers regroupent tous les micromycètes filamenteux asexués, c'est un groupe très hétérogène, dont la biologie moléculaire étudie actuellement les possibles rapprochements et même rattachements à des genres ou à des espèces sexuées. On y distingue principalement l'ordre des Moniliales.

Chez les Hyphomycètes, l'ordre des Moniliales se divise en deux principales familles selon la couleur des filaments et des spores asexués : Les Moniliaceae (Hyphomycètes clairs ou hyalins) appelées également hyalohyphomycètes et le Dermatiaceae (Hyphomycètes foncés ou noirs) appelés aussi Phaéohyphomycètes.