

Les champignons = Les Mycètes ou *Mycota* sensu stricto

Les champignons **ou Mycètes ou *Mycota*** (mycète du grec **Mukes** = **champignon**), constituent un règne, ce sont des organismes eucaryotes, thallophytes apparentés aux végétaux, ils ne possèdent ni fleurs, ni graines, ni tissus conducteurs de sève, mais s'en distinguent, en particulier, par le mode de nutrition non photosynthétique.

Le groupe des champignons compte 120 000 espèces décrites aux intérêts économique et médical très importants. Les premiers champignons seraient apparus au précambrien, il y a 600 millions d'années.

Ces organismes nécessitent beaucoup d'eau pour accomplir leur cycle biologique et ils ne vivent donc que sur des milieux terrestres très humides. Ne possédant ni chlorophylle, ni plaste, ils sont hétérotrophes pour le carbone.

Les champignons étaient autrefois classés comme faisant partie du règne végétal du fait de la présence d'une paroi cellulaire et plusieurs similitudes entre leurs cycles de reproduction et ceux des algues.

En 1949, Jahn et Jahn, suivis par Whittaker en 1969, qui les premiers proposent de classer les champignons et de les placer dans un règne particulier « les ***Fungi*** » ou « ***Mycota*** » ceci principalement sur la base du mode de nutrition.

En effet, les comparaisons des séquences génétiques des différentes espèces du monde vivant ont permis d'établir un arbre phylogénétique dans lequel les champignons prennent une place bien individualisée. Ils sont nettement séparés des divers groupes de plantes.

On définissait alors les champignons comme étant des organismes eucaryotes, hétérotrophes (incapables d'utiliser l'énergie solaire, ils absorbent de nombreuses molécules carbonées fabriquées par d'autres êtres vivants) et absorbotrophes (se nourrissent par absorption et non pas par ingestion), thallophytes (appareil végétatif diversifié) et cryptogames (reproduction par des spores).

1. Problèmes posés par la classification des champignons

L'origine des champignons est ancienne, ils sont connus depuis l'ère primaire et leur filiation est discutée. Longtemps classé avec les végétaux. La biologie moléculaire confirme que leur individualisation s'est produite très tôt au cours de l'évolution. Les formes les plus primitives passent par des stades aquatiques mobiles avec un flagelle (zoospores, gamètes) ce qui suggère une parenté avec des Protistes.

Il y a 2 hypothèses pour l'origine des Mycophytes :

❖ 1^{ère} hypothèse :

Ils dériveraient tous d'algues eucaryotes ayant perdu leur plastides et leur complexes pigmentaires.

L'origine serait multiple (Algues rouges ou algues brunes) : les champignons seraient un groupe polyphylétique

❖ **2^{ème} hypothèse :**

Ils dériveraient tous (des plus complexes au plus simples) d'un ancêtre commun : Un protiste indifférencié parmi les cellules eucaryotes.

On parle dans ce cas d'une origine monophylétique et les champignons constitueraient un règne distinct dans le domaine Eucaryota du règne végétal et du règne animal. Ils présentent des formes variées et un mélange de caractères

2. Caractères communs avec les végétaux

- Cycle de développement avec alternance de génération.
- Paroi cellulaire glucidique (cellulosique ou chitineuse) au moins à un stade du cycle de développement
- Absence de motilité sauf pour quelques formes de champignons
- Grande vacuole turgescentes riche en eau
- Multiplication par spores
- Présence de thalle (appareil végétatif filamenteux ramifié)

3. Caractères communs avec les animaux

- Absence de plastides et de pigments photosynthétiques
- Hétérotrophie vis-à-vis du carbone (saprophytes ou parasites)
- Réserve formée par des matières grasses et du glycogène
- Dépôt de chitine (paroi chitineuse).

4. Structure des thalles (mycelium, stroma, sclérote)

L'organisation cellulaire de base des champignons est le thalle qui constitue l'appareil végétatif (généralement en phase haploïde). Celui-ci se caractérise par une grande variété de structures: IL peut être:

Thalle unicellulaire

Constituant l'appareil végétatif. Il se transforme à maturité en un ou plusieurs organes reproducteurs (champignons holocarpiques ou bien il donne naissance à une partie reproductrice (champignons eucarpiques). Les cellules peuvent être associées en colonies.

Ex : Les levures (Figure 1)

Ou bien

✚ **Thalle pluricellulaire** : on distingue différents types de thalles

✓ **Thalle plamodial**: vient du mot plasmode: masse cytoplasmique molle, déformable sans paroi squelettique et multinuclée qui se déplace et se nourrit comme une amibe. Ex **Myxomycètes** (Figure 1).

✓ **Thalle filamenteux ramifié**: C'est un thalle constitué de filaments ramifiés latéralement ou par dichotomie appelés **hyphes**. L'ensemble des hyphes constitue un **Mycelium**.

Les hyphes peuvent être cloisonnés ils sont appelés **septés ou septomycètes** (Figure) avec des cloisons cellulaires ou septa qui possèdent un pore simple. Ces pores interviennent directement dans la croissance de la partie terminale de l'hyphe.

Les hyphes peuvent être non cloisonnés; ils sont dits **siphonnés ou siphonomycètes** (Figure 1) . Leur cytoplasme continu possède plusieurs noyaux.

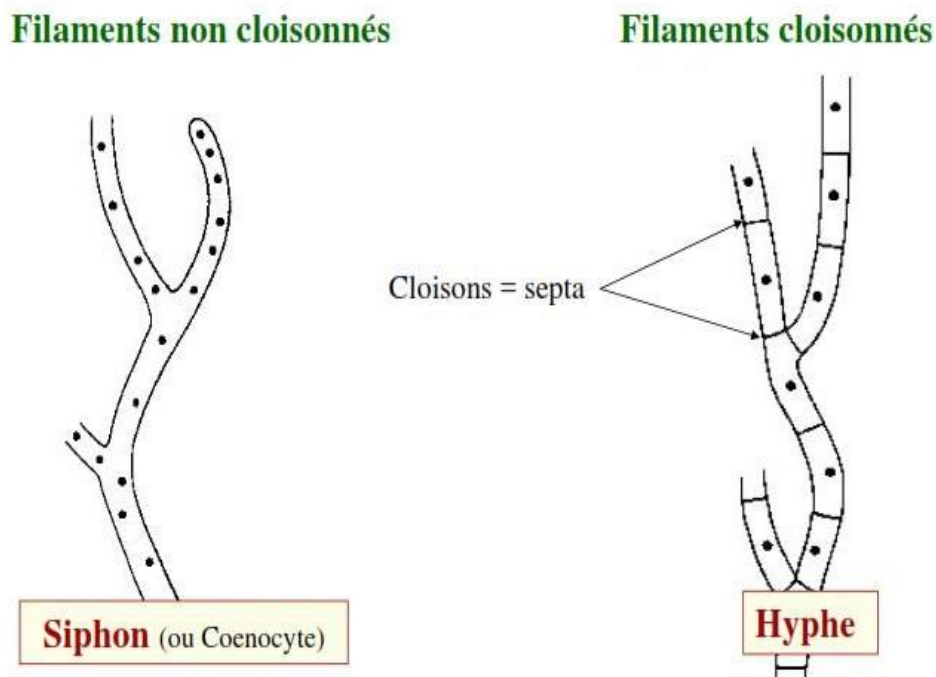


Figure 1: différents types de thalle des champignons

Il existe deux catégories d'hyphes : les hyphes végétatifs et les hyphes reproducteurs.

a) **Les hyphes végétatifs** sont plus ou moins enfouis dans la matière organique qu'ils décomposent à l'aide d'enzymes digestives.

- ❖ Aspect massif plus ou moins compact sous forme de coussins ou **stroma** ,
- ❖ Gros cordons ramifiés noirâtres appelés aussi **rhizomorphes**
- ❖ Aspect tubercule ou **Sclérote** (formes de résistance) (Figure 2)

Chez certaines espèces de champignons, au moment de la reproduction sexuée, le mycélium s'organise en **Carpophore** (pied et chapeau)

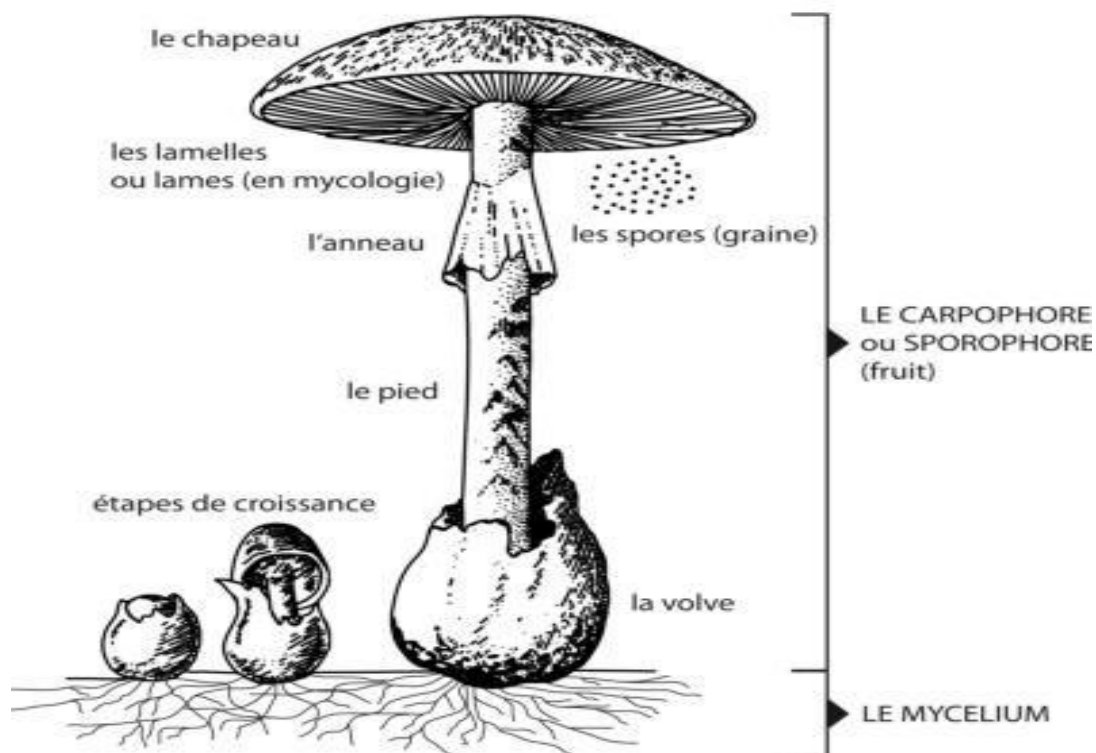


Figure 2: schéma d'un carpophore

A/Caractères cytologiques :

- ✓ **Paroi** : structure complexe, différente en fonction de la classe. composée de glucides, de polysides simples (mananes, glucanes, celluloses), polysides aminés (chitine, chitosane), stérols principalement l'ergostérol et des polyols.

Les champignons noirs possèdent de la mélanine à des concentrations parfois importantes à la paroi.

- ✓ **Noyau** : petit identique à celui à celui des plantes avec 3types d'organisations
 - Hyphe monocaryotique haploïde (n).
 - Hyphe monocaryotique diploïde ($2n$).
 - Hyphe dicaryotique ($n+n'$).
- ✓ **Vacuole**: elle est centrale, repoussant le cytoplasme en périphérie réserves: de nature diverse mais le plus souvent : glycogène ou inclusions lipidiques dans le cytoplasme.

✓ Réserves

Les réserves chez les champignons sont sous forme de glycogène ou de gouttelettes lipidiques dans le

cytoplasme

B/ Reproduction

La reproduction des champignons est complexe reflétant ainsi l'hétérogénéité de leur mode de vie. Le cycle biologique des champignons peut se faire

- Soit avec des fructifications uniquement sexuées
- Soit avec des fructifications uniquement asexuées
- Soit avec des fructifications sexuées et asexuées
- Soit en absence de fructifications et dans ce cas la reproduction se réalise par les sclérotes ou par des fragments de mycélium.

1/ -Reproduction asexuée

La reproduction asexuée se fait sans fusion de gamètes. C'est un mode de reproduction commun à presque tous les champignons. La Figure 3 représente le cycle général de la reproduction asexuée chez les champignons:

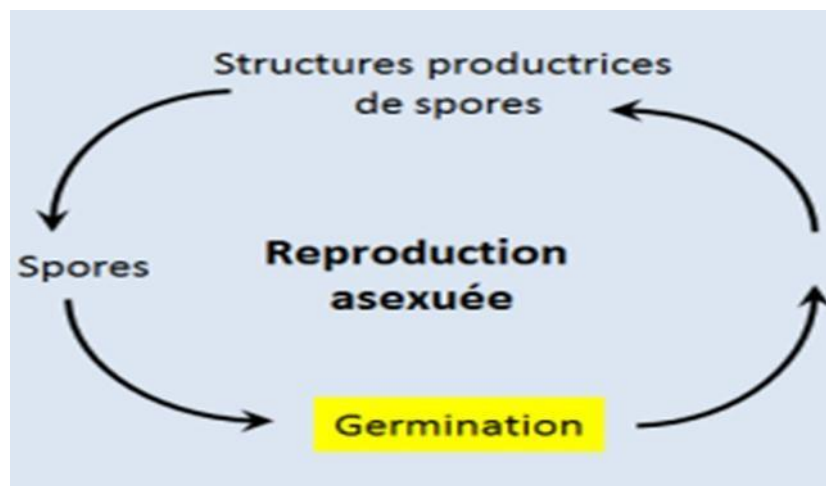


Figure 3: Cycle de reproduction asexuée chez les champignons

La reproduction asexuée chez les champignons se fait selon trois modes différents (figure 3 et 4).

✚ **Bourgeonnement** : 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. Ex : les levures

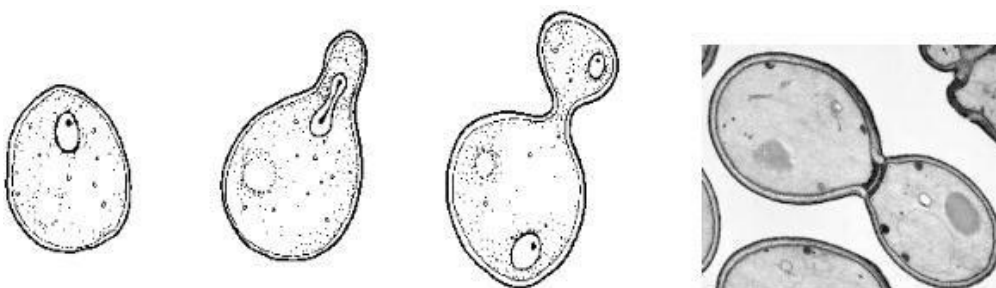


Figure 4 : Bourgeonnement des levures

Les levures (unicellulaires) font une copie du noyau et un petit bourgeon commence à se former sur la paroi cellulaire. Le bourgeon qui contient le noyau continue à grandir et forme une nouvelle cellule.

✚ ***Fission binaire : aboutit à deux cellules identiques.**

Ces deux formes de reproduction suivent la mitose.

✚ *** Fragmentation : c'est une forme de reproduction asexuée où un nouvel organisme se développe à partir d'un fragment parent.** Plus précisément, des morceaux de l'hyphe se détachent et forment de nouveaux mycéliums.

✚ ***Sporulation : c'est la plus importante forme de reproduction asexuée chez les champignons. Une particularité remarquable des champignons est leur aptitude à former des types de spores extrêmement variés : spores asexués et sexués formés au cours de la phase asexuée du cycle de vie des champignons (phase anamorphe). Suite à une mitose, ces spores se transforment en cellules reproductives appelées respectivement mitospores ou meiospores. Elles peuvent être haploïdes ou diploïdes qui, après dispersion, se développent en de nouveaux organismes.**

Les spores sont produites à l'intérieur de compartiments spécialisés des hyphes appelés **asques, basides ou zygosopranges**. La germination d'une spore donne naissance à un filament mycélien haploïde (n chromosomes) appelé mycélium primaire. Mais ce dernier reste stérile. Il lui faut rencontrer un autre filament primaire porteur d'un sexe opposé. Cette rencontre donnera un mycélium secondaire fertile porteur de cellules à deux noyaux (2 chromosomes). Les filaments mycéliens se ramifient et divergent dans toutes les directions. Dans des conditions idéales, le mycélium forme alors un disque à la surface du substrat. Lorsqu'un mycélium a accumulé suffisamment de réserves et que les conditions climatiques sont favorables, un primordium se développe jusqu'à former un sporophore (partie visible du champignon résultant de la fusion de filaments du mycélium) qui donnera à son tour naissance à des spores.

Les spores asexuées ou mitospores se divisent en deux types :

- **Spores endogènes** formées à l'intérieur du sporocyste soit en spores mobiles; **Zoospores avec 1 ou 2 flagelles ou bien en spores immobiles; Aplanospores**
- **Spores exogènes** (Figure 5)

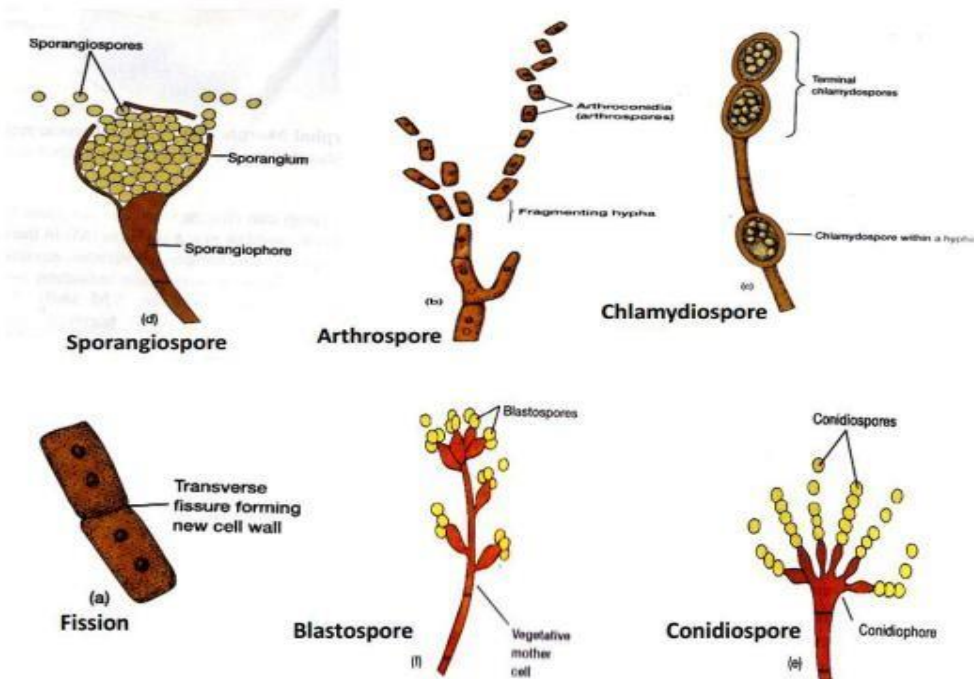


Figure 5: différents types de spores asexuées chez les champignons

2/ Reproduction sexuée :

La reproduction sexuée se fait par production de gamètes typiques à l'intérieur des gamétocystes. Les **gamétocystes** mâles (**spermatocystes**) et femelles (**oogones**) peuvent être morphologiquement identiques ou différents

Les spores sexuées

Elles résultent de la fusion d'un élément mâle et d'un élément femelle qui donne naissance à un zygote. Par divisions successives, il produit une série de spores:

- **Spores unicellulaires et diploïdes**, sorte de formes de résistance auxquelles ont recours les champignons pour passer la mauvaise saison appelées **oospores** ou **zygospores**
- **Spores endogènes haploïdes**

Si le développement ultérieur se fait à l'intérieur de l'œuf: celui-ci prend le nom d'asque et les endospores sont appelées ascospores (Figure 6).

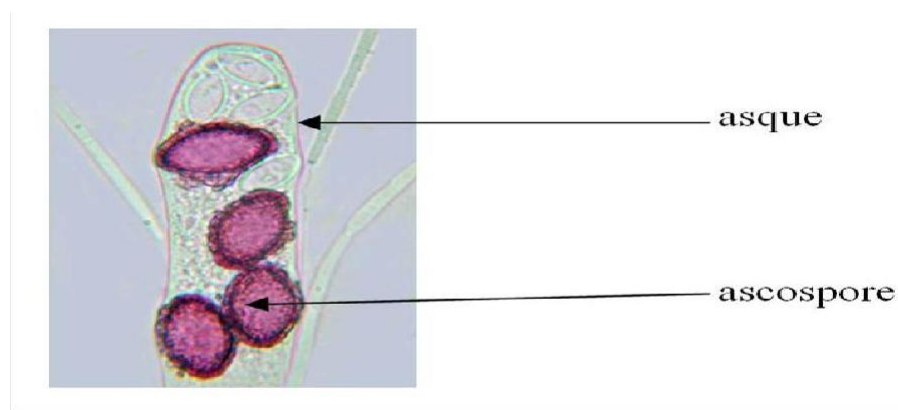


Figure 6: Schéma d'un Asque

- **Spores exogènes haploïdes**

Si les spores sortent de l'œuf mais y restent attachées par des petits "tubes" (= stérigmates): l'œuf porte le nom de baside et les spores sont appelées basidiospores (Figure 7)

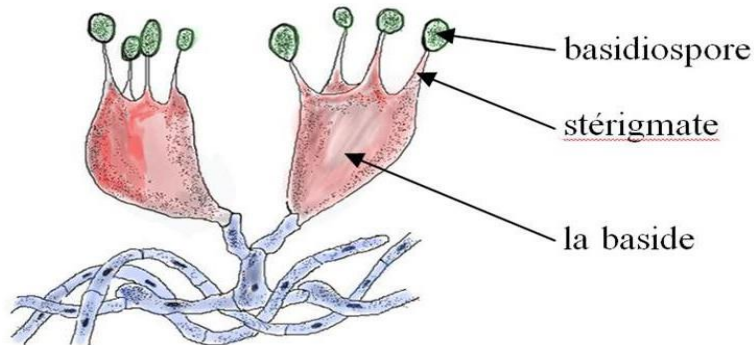


Figure 7: Spores exogènes (basidiospores)

5. Caractéristique des spores asexuées et spores sexuées

Spores d'origine asexuée	Spores d'origine sexuée
*Dispersion	*Survie ou conservation
*Formes de spores très variables	* Nombre limité de formes
*Produites en très grands nombre	*Produites en petit nombre
*Petite taille	*Grande de taille
*Sans substance de réserve	*Avec substance de réserve
*Sans dormance	*Avec dormance

6. Le cycle sexué des champignons comporte 3 phases:

La première étape est la **plasmogamie** qui réunit dans un même thalle deux noyaux compatibles (à noter que deux thalles fusionnent, non pas parce qu'ils sont de sexe différent, mais parce qu'ils sont dotés d'une compatibilité génétique : on désigne les thalles complémentaires par + et - ou A et a) ; avant de fusionner, les noyaux vont cohabiter durant une phase (dicaryophase) plus ou moins longue (le couple de noyaux compatibles prend le nom de dicaryon) ;

La deuxième étape, appelée **caryogamie**, correspond à la conjugaison de noyaux haploïdes pour donner un noyau diploïde ; la troisième étape est une division réductrice ou **méïose**, qui conduit à des noyaux à nouveau haploïdes.(figure 8)

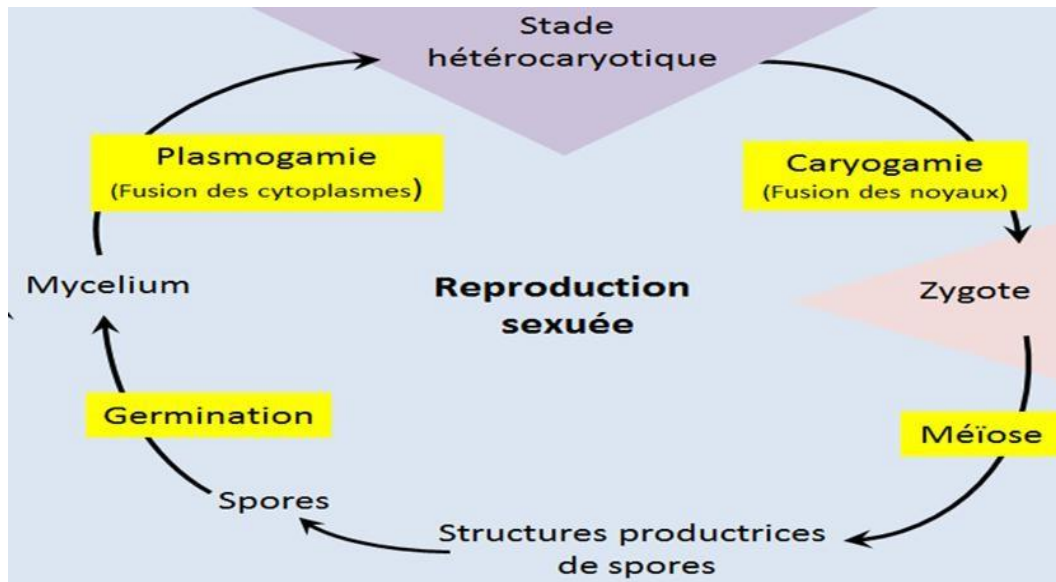


Figure 8 : les différentes étapes du cycle de vie d'un champignon

On distingue plusieurs **Plasmogamie**:

- ✚ **Conjugaison planogamétique (planogamie)** : c'est la fusion de 2 gamètes dont l'un ou les deux sont mobiles
- ✚ **Contact gamétocystique (trichogamie)** : c'est le contact du gamétocyste femelle avec le gamétocyste mâle sans fusion des protoplasmes. Les noyaux mâles migrent ensuite à travers un pore
- ✚ **Conjugaison gaétocystique (Cystogamie)** : c'est la fusion de 2 gamétocystes l'un mâle l'autre femelle pour donner un zygote qui peut se développer en spore de résistance
- ✚ **Spermatisation** : c'est la fusion du contenu d'une spore non mobile et uninuclée (spermatie)
- ✚ **Somatogamie (perritogamie)** : c'est la fusion de 2 cellules somatique équivalentes

Le cycle de développement des champignons est haplodiplophasique; les spores sont haploïdes (n chromosomes), ou le carospore correspond à la phase diploïde ($2n$)

Il existe trois types de cycle de développement chez les champignons (Figure 9a, b,c):

- ✚ **Cycle monogénétique haplophasique** Ex le genre **Mucor**

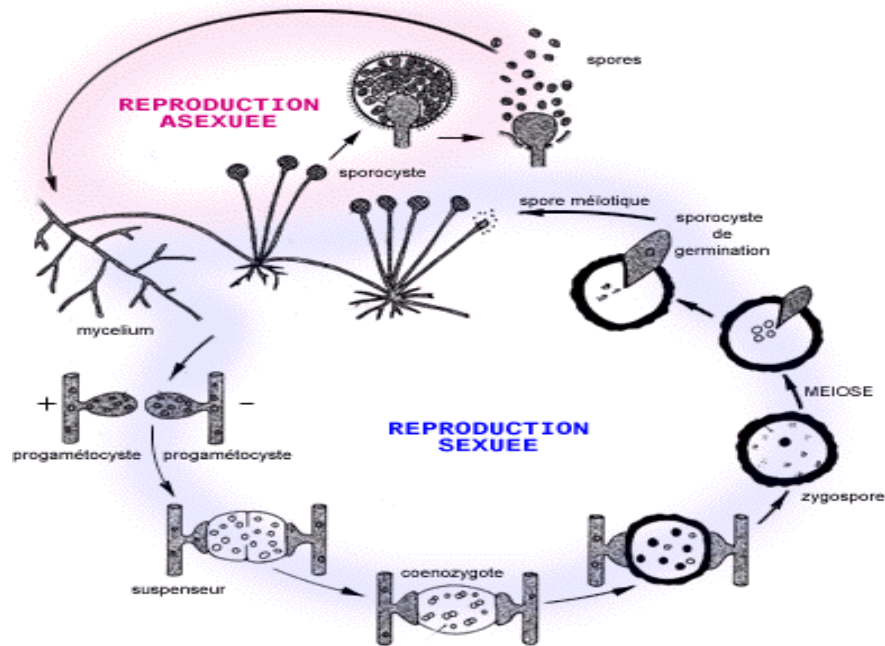


Figure 9 a Multiplication végétative (en haut du schéma) et Cycle monogénétique haplophasique du *Mucor* (en bas du schéma)

La reproduction sexuée se fait par cystogamie: les progamétocystes grandissent et se divisent chacun en deux segments, le suspenseur et la gamétocyste plurinucléé. Les gamétocystes fusionnent pour former un coenozoogote contenant plusieurs noyaux diploïdes. La paroi du coenozoogote s'épaissit, pour former une structure résistante aux conditions défavorables du milieu extérieur. Lorsque les conditions redeviennent favorables, un sporocyste se développe. Les noyaux subissent la méiose pour former des spores méiotiques qui après dissémination se développeront pour former de nouveaux mycéliums (dissémination des spores par formation d'un "sporocyste de germination")(Figure 9a).

✚ Cycle digénétique

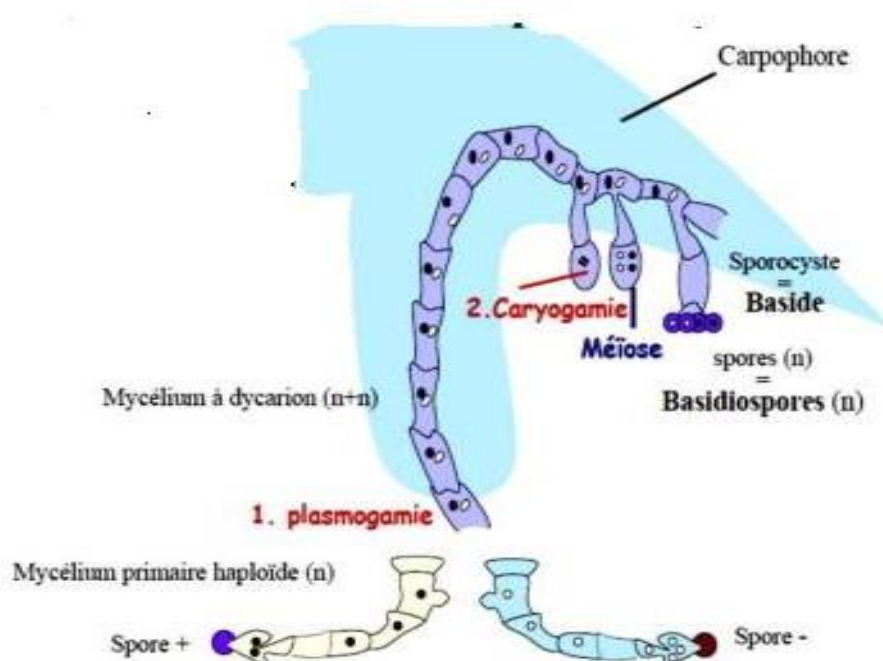


Figure 9 b : Cycle digénétique chez le genre *Coprinus* (basidiomycète)

Chez les basidiomycètes, comme les coprins par exemple, la génération gamétophytique est représentée par des filaments mycéliens haploïdes. Ces filaments (= le mycélium primaire) réalisent la reproduction sexuée en s'unissant deux à deux, c'est une somatogamie ou périttogamie

Dans un premier temps, seuls les cytoplasmes des cellules fusionnent, on dit qu'il y a plasmogamie. Ceci donne naissance à un mycélium dicaryotique (=mycélium secondaire), c'est à dire constitué de cellules à deux noyaux haploïdes.

Cette phase dicaryotique spécifique des champignons constitue la génération sporophytique. Le mycélium dicaryotique s'organise en pseudotissus et forme le carpophore.

Au niveau des sporocystes a lieu la fusion de deux noyaux haploïdes, ou caryogamie, bientôt suivie d'une méiose qui générera quatre spores méiotiques exogènes. Les sporocytes sont des basides et les spores méiotiques des basidiospores. Ces spores seront à l'origine du mycélium gamétophytique haploïde et le cycle est bouclé (Figure 9 b).

🌈 Cycle trigénétique(le cycle trigénétique à deux sporophytes)

Chez les ascomycètes, comme la pézize par exemple, la génération gamétophytique est représentée par un mycélium primaire haploïde. La plasmogamie donne naissance à une structure très particulière, un mycélium myctohaploïde qui représente la première génération sporophytique. De cette première génération sporophytique est issue la seconde génération sporophytique constituée d'un mycélium dicaryotique.

Au niveau des sporocystes ou asques, a lieu la fusion des noyaux ou caryogamie suivie d'une méiose et d'une mitose complémentaire pour engendrer huit spores méiotiques endogènes, les ascospores. Chaque ascospore sera à l'origine d'un mycélium primaire haploïde (Figure 9 c).

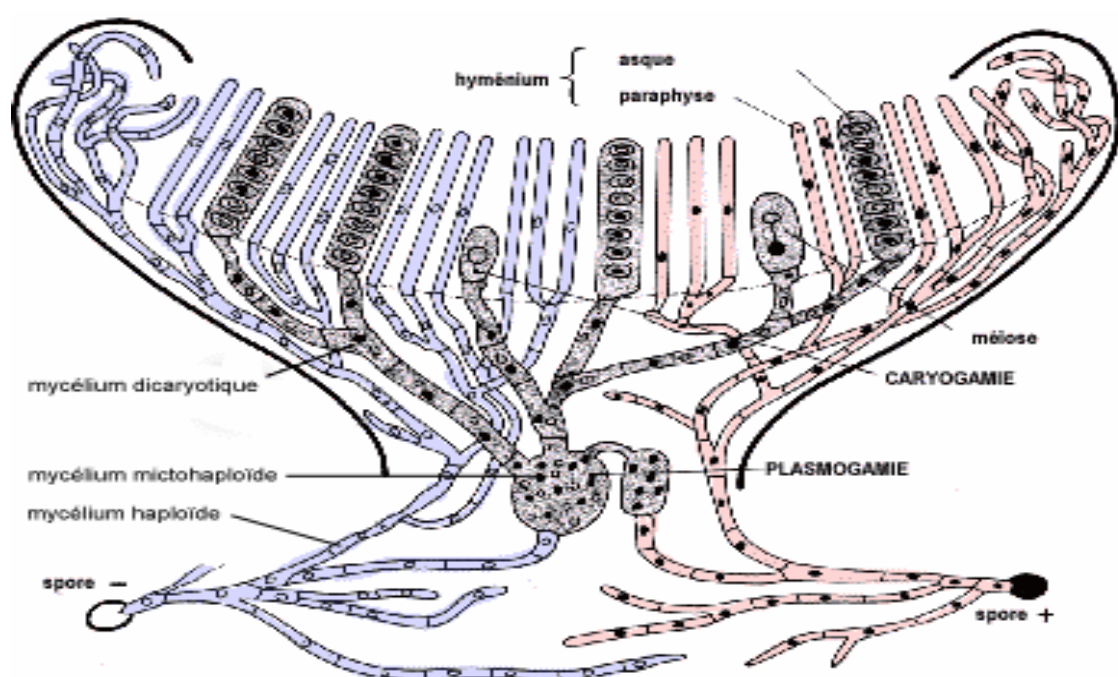


Figure 9: Cycle trigénétique des champignons. Ex : Pezize (ascomycètes)

7. Notion de compatibilité

Sur la base de la compatibilité sexuelle on distingue:

- ✚ **Les champignons homothalliques**; chaque thalle du champignon est autofertile pouvant se reproduire sexuellement par lui-même sans le recours à un autre thalle.
- ✚ **Les champignons hétérothalliques**; chaque thalle du champignon est autostérile et exige le recours à un autre thalle compatible pour se reproduire sexuellement

8. Mode de vie hétérotrophe des champignons :

L'hétérotrophie a imposé aux champignons plusieurs modes de vie:

- ✚ **Saprophytes**: Se nourrissent de matières organiques mortes dont ils provoquent à l'aide des bactéries la décomposition des débris végétaux, les cadavres d'animaux et les excréments). Ce sont des détritivores qui dégradent toutes sortes de substrats et jouent un rôle essentiel dans la nature, notamment dans l'élaboration de l'humus et des sols.

Ex: Mucor du pain et *Penicillium* → veinures d'un fromage de type bleu et croûte blanchâtre du camembert.

- ✚ **Parasites**: S'accroissent aux dépens d'autres cellules vivantes. Ils sont pathogènes et peuvent causer des dégâts considérables notamment aux plantes cultivées.

Ex : Quelques champignons parasites de spermaphytes : Mildiou de la vigne (*Plasmopora viticola* : Phycomycètes) et Hernie de chou au niveau du collet (excroissance) Mixomycètes.

Même l'homme est sujet à diverses affections mycosiques: teignes, muguet, mycétomes....dont certaines peuvent être mortelles.

- ✚ **Symbiotiques (Lichens)**: D'autres champignons préfèrent la symbiose ou le mutualisme, association avec un végétal autotrophe, chacun des deux organismes tirant profit de cette association (bénéfice réciproque). La symbiose permet parfois de créer des êtres nouveaux, comme les lichens et les mycorhizes

- ✚ Symbiose avec les algues formant les Lichens : ils sont les premiers à avoir colonisés le milieu terrestre. C'est une association permanente et stable établie entre un champignon (Septomycètes) et une algue (cyanobactérie ou algue verte unicellulaire « chlorelle »). L'algue assure la nutrition et le champignon va fournir l'eau et les sels minéraux. Ce sont des bio-indicateurs de la pollution atmosphérique.

- ✚ Symbiose avec les racines de plantes supérieures en formant les Mycorhizes

-Ecotomycorhizes :

Le champignon forme un feutrage entourant la racine, peut pénétrer entre les cellules mais jamais à l'intérieur : Fréquente chez les basidiomycètes

- **Endomycorhizes**

Le mycélium pénètre dans les cellules en formant des vésicules sans dépasser le péricycle, elles sont arrêtées par la lignification du cadre de Caspari : Fréquente chez les Ascomycètes

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 ex : l'orchidée

✚ Symbiose avec les insectes (coleoptères ,xylophages, fous, Termites....

C/ Systématique :

La classification des mycètes était et reste toujours difficile à établir vu l'importance de la diversité et l'hétérogénéité observées au sein du règne.

Les classifications proposées sont multiples...Elles sont en constante évolution... La classification de Hawksworth, Sutton et Ainsworth (1970) modifiée par Kwon Chung et Bennett (1992), puis par de Hoog (1995), est la plus utilisée actuellement

a/ -Classification classique



Acrasiomycètes

Myxomycètes

Plasmodiophoromycètes

Subdivision des Mastigomycota

***Chitridiomycètes**

***Hyphochytridiomycètes**

***Oomycètes**

Subdivision Deuteromycotina

Subdivision des Zygomycotina

Subdivision des Ascomycotina

Subdivision des Basidiomycotina

La classification classique était basée sur la constitution de l'appareil végétatif et la mobilité des spores:

Champignons à spores mobile ou zoides

*Thalle plamodial, zoides flagellées

Myxomycètes

*Thalle siphonné, zoides flagellés

Phycomycètes

*Thalle tubuleux, plurinuclée, zoides, amiboïdes

Thricomycètes

Champignons à spores immobiles

*Thalle siphonné, la fécondation produit des zygospores

Zygomycètes

* Thalle cloisonnée

Eumycètes ou Septomycètes

*Après fécondation, formation d'un Asque

Ascomycètes

* Après fécondation, formation d'une baside

Basidiomycètes

A. *Myxomycota* :

Les myxomycètes sont une classe de protistes appartenant à l'embranchement des amibozoaires, ce sont des organismes à plasmode. Le radical « myxo » fait référence à la formation du plasmode, un des stades de développement, caractérisé par une masse gélatineuse. Cette masse correspond à une seule cellule non segmentée, dans laquelle baignent de nombreux noyaux.

Les myxomycètes ont été longtemps considérés comme des végétaux, puis des champignons, et inclus dans les anciens Mycetozoa. Pour cela leur appartenance aux champignons est aujourd'hui réfutée. Les travaux sur la composition chimique de la paroi ainsi que les recherches en biologie moléculaire confirment qu'ils sont distincts. Ils ne possèdent pas de mycélium.

Ils possèdent un plasmode et assurent leur nutrition par phagocytose, qui est un mode de nutrition par ingestion, ce qui les exclut également des *Fungi* qui ont pour mode de nutrition exclusif l'absorption.

Ils ne possèdent pas les caractères propres au règne fongique et ne sont donc plus des champignons au sens strict ; ils ne peuvent pas non plus s'intégrer dans l'un des quatre autres règnes, à l'exception des Mycetozoa. Leur reproduction sexuée se fait par formation des spores inertes entourées par une paroi glucidique dans sporocyste nu et entouré d'une tunique appelée le peridium. Ils sont pour la plus part des saprophytes sur les feuilles en décomposition ou bois pourri. Sous des conditions d'humidité forte, ils peuvent se développer sur les plantes vivantes sans les parasiter :

Ils sont répartis en plusieurs classes

1/ *Protostéliomycètes*

2/ *Ceratiomycètes*

3/ *Dictyostéliomycètes*

4/ *Acrasiomycètes*

5/ *Myxomycètes*

6/ *Plasmodiomycètes*

7/ *Labyrinthulomycètes*

Le phylum des Myxomycètes est composé de 600 espèces environ, répartie en une cinquantaine de genres eux-mêmes répartis par Van Tieghem en quatre familles-: *Endomyxées*, *Cératiées*, *Acrasiées* et *Plasmodiophorées*.

Les critères de cette classification sont résumés dans le tableau 4 :

Tableau 4: Les critères de classification des Myxomycètes

Thalle pluricellulaire	Plasmode fusionné	Spores internes	Endomyxées : 35 genres environ à spores blanches (<i>Bursulla</i>) ou vioiolettes (<i>Fuligo</i>)
		Spores externes	Cératiées : <i>Ceratium</i>
	Plasmode agrégé		Acrasiées : <i>Acrasis</i> , <i>Dictyostelium</i> , <i>Guttulina</i>
Thalle unicellulaire	Plasmodiophorées : <i>Plasmodiophora</i>		

b/-Systématique Phyllogénétique

La systématique actuelle se base sur les données phyllogénétiques (biologie moléculaire, séquençage d'ADN et d'ARN

Les « **vrais champignons** » ou Amastigomycota ou Eumycètes

Seuls les Eumycota constituent le règne des champignons on y distingue actuellement Cinq divisions ou embranchement (Figure 10).

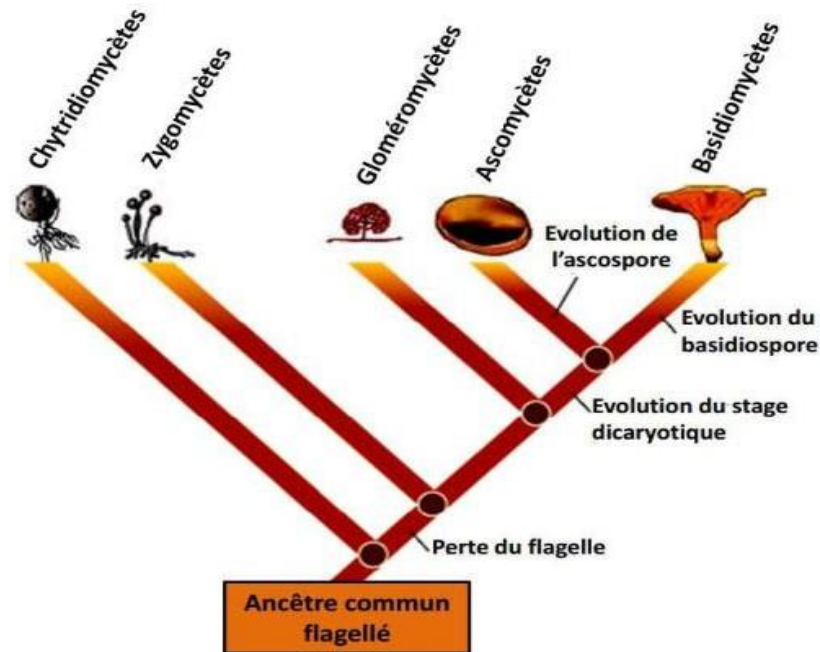


Figure 10 : Différents groupes des Mycophytes

Le groupe des oomycètes est retiré du règne des mycètes car il est plus proche aux algues.

Les chytridiomycètes sont un groupe de champignons très mal connu.

**Principe de la nomenclature des rangs taxinomiques en mycologie.
Exemple avec *Aspergillus nidulans*.**

Rangs taxinomiques	Exemple : <i>Aspergillus nidulans</i>
Règne : champignon (Fungi)	Fungi
Division ou phylum : -... mycotina ou mycota	Ascomycotina
Classe -... mycètes	Euascomycètes
Ordre -... ales	Eurotiales
Famille -... aceae	Trichocomaceae
Sous famille... adeae	
Genre espèce :	
stade télémorphé (sexué)	<i>Emericella nidulans</i>
stade anamorphe (asexué)	<i>Aspergillus nidulans</i>

1- Les Ascomycètes:

1-1- Généralités :

Les Ascomycètes sont caractérisés par des spores formées à l'intérieur de cellules mères sous forme de sacs appelées **asques**. De ce fait, les spores sont nommées **ascospores**.

Plus de 48000 espèces d'Ascomycètes ont été décrites à ce jour. Le mycélium est cloisonné. 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).

Plus de la moitié des espèces d'ascomycètes s'associent aux algues par symbiose pour former des lichens, aux racines des végétaux pour former les mycorhizes.

De nombreuses espèces sont utilisées pour la fabrication d'antibiotiques, de médicaments, pour des fermentations. Certaines sont très recherchées pour leur valeur gastronomique (Morilles, Truffes). Quelques-unes sont de redoutables parasites des végétaux, des animaux et des hommes.

Ils comprennent aussi les agents pathogènes les plus dévastateurs pour les plantes Ex : truffes, morilles, l'ergot de seigle, levures, tavelures

Les spores sont produites à l'intérieur de sacs (les asques) et sont projetées, à maturité, à l'extérieur par ouverture de l'asque.

1-2- Reproduction :

a- Reproduction asexuée :

Les ascomycètes fabriquent des conidiospores ou conidies qui germent pour donner de nouveaux hyphes cloisonnés qui vont développer des conidiophores et des conidies et ainsi de suite.

b- Reproduction sexuée :

- Des mycéliums de types sexuels opposés s'entrelacent et produisent un gamétocyste appelé ascogone

- L'ascogone possède ainsi un échantillon des noyaux des deux parents.
- L'ascogone produit des hyphes qui forment un ensemble ascocarpe
- Les extrémités des hyphes sont séparées en asques. La fusion des noyaux s'y produit, suivi d'une méiose et d'une mitose, ce qui donne huit noyaux haploïdes. Une paroi cellulaire se développe autour de chaque noyau pour donner des ascospores
- Arrivées à maturité, toutes les ascospores sortent par l'extrémité de l'asque.
- La germination des ascospores donne naissance à des nouveaux mycéliums haploïdes

1-3- Exemples d'Ascomycètes :

a- Le genre *Penicillium* :

Le nom *Penicillium* est donné à un genre de champignons qui faisait partie des champignons imparfaits (Deutéromycètes). Actuellement la forme de reproduction sexuée chez quelques espèces du genre

Penicillium est connue, et ce genre est également classé avec l'embranchement des *Ascomycota*.

Ce sont des contaminants fréquents de nombreux substrats, notamment des aliments. Certains d'entre eux produisent des métabolites toxiques pour les mammifères.

Les *Penicillium* sont très répandus dans l'environnement, ce sont des contaminants alimentaires fréquents, mais certaines espèces sont utilisées par l'industrie : *P. roqueforti*, *P. camemberti*, *P. nalgiovense*.

Certaines espèces produisent des métabolites d'intérêt médical; Fleming en 1928, a été à l'origine de la découverte de la pénicilline à partir d'une souche de *P. notatum*.

Très peu d'espèces sont incriminées en pathologie humaine.

• **Position systématique :**

Règne : Fungi

Embranchement : Ascomycota

Classe : Eurotiomycetes

Ordre : Eurotiales

Famille : Trichocomaceae

Genre : *Penicillium*

• **Description :**

Les *Penicillium* sont caractérisés par la présence de conidiophores dressés, plus ou moins ramifiés, terminés par des phialides.

Les phialides sont disposées en verticilles à l'extrémité des conidiophores. Elles sont insérées directement (*Penicillium* monoverticillés) ou par l'intermédiaire d'une rangée de métules (*Penicillium* biverticillés) ou de deux rangées successives de métules (*Penicillium* triverticillés) sur les conidiophores.

Les conidies produites en grand nombre par les phialides restent en chaîne et contribuent à donner à la tête conidienne un aspect en pinceau (ou pénicille).

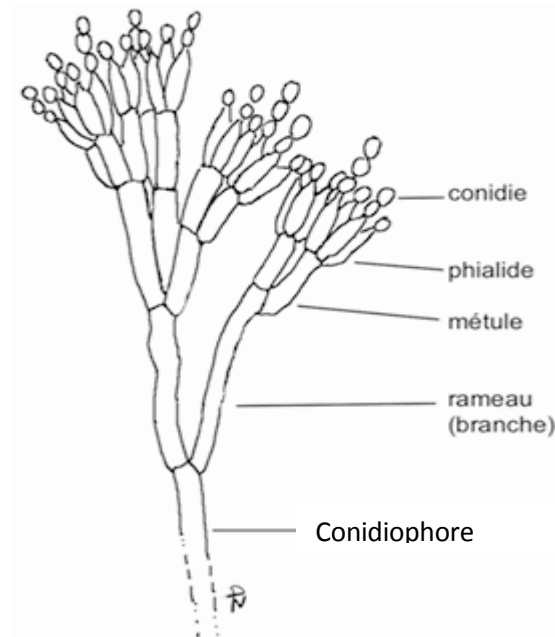


Figure 11- Structure d'un Pénicillium

2- Les Zygomycètes :

a- Généralités :

Un groupe qui comporte 1000 espèces, ce sont des moisissures, très discrets et de taille le plus souvent microscopique, ce sont des champignons à spores non flagellés, dans lesquels les cellules ne sont pas séparées par des cloisons, leurs hyphes étant cœnocytiques ou siphonnés, avec de nombreux noyaux dans un même siphon.

Ces champignons sont également caractérisés par une abondante reproduction asexuée et une croissance rapide qui leur permettent de coloniser rapidement leur milieu.

ILS sont souvent des parasites de plantes ou d'animaux. La plupart vivent en milieu terrestre ou sur des matières végétales ou animales en décomposition.

Ils peuvent s'associer aux racines des végétaux pour former des mycorhizes. Le nom de cet embranchement vient des zygosporanges, les structures résistantes qui se forment durant la reproduction sexuée.

On trouve deux ordres selon le nombre des spores. Une spore unique (Entomophthorales) ou un

grand nombre de spores (Mucorales) .

Les spores sont produites au sein du sporocyste et libérées après rupture de la paroi du sporocyste.

b- Reproduction :

- **Reproduction asexuée :**

Les spores germent directement pour donner un nouvel hyphes avec un zygosporange qui libère des spores.

- **Reproduction sexuée :**

C'est une **cystogamie**.

Certaines espèces sont homothalliques (auto-fertile) et d'autres hétérothalliques (auto- stérile). Chez les espèces hétérothalliques, la reproduction sexuée nécessite deux colonies physiologiquement compatibles (désignées + et -).

- Des mycéliums de types sexuels opposés forment des prolongements appelés gamétanges cloisonnés à plusieurs noyaux.
- Les gamétanges haploïdes fusionnent et forment un zygosporange diploïde.
- La cellule se recouvre d'un revêtement épais et rugueux pour résister aux rigueurs du climat.
- Lorsque les conditions s'améliorent, la méiose survient
- Le zygosporange germe et produit des petits sporanges
- les spores haploïdes se dispersent, germent et deviennent des nouveaux mycéliums.

c- Exemple des Zygomycètes :

- **Le genre *Rhizopus* :**

- **Position systématique :**

Règne : Mycota
Embranchement : Zygomycota
Sous embranchement : Mucoromycotina
Classe : Zygomycètes
Ordre : Mucorales
Famille : Mucoracées
Genre : *Rhizopus*

- **Description :**

Rhizopus est un genre de moisissures communes qui se développent sous forme de filaments dans les sols, sur les fruits et les végétaux en décomposition et sur le pain. Il fait partie de l'ordre des *Mucorales*.

Le hyphes est un siphon (sans cloison), multinuclé, à noyaux haploïdes, et à croissance apicale, possédant une paroi de chitine et de glucanes.

Le protoplasme renferme de nombreuses vacuoles qui repoussent le cytoplasme et les noyaux à la

périphérie. Les réserves de nourriture sont stockées sous forme de glycogène et de lipides.

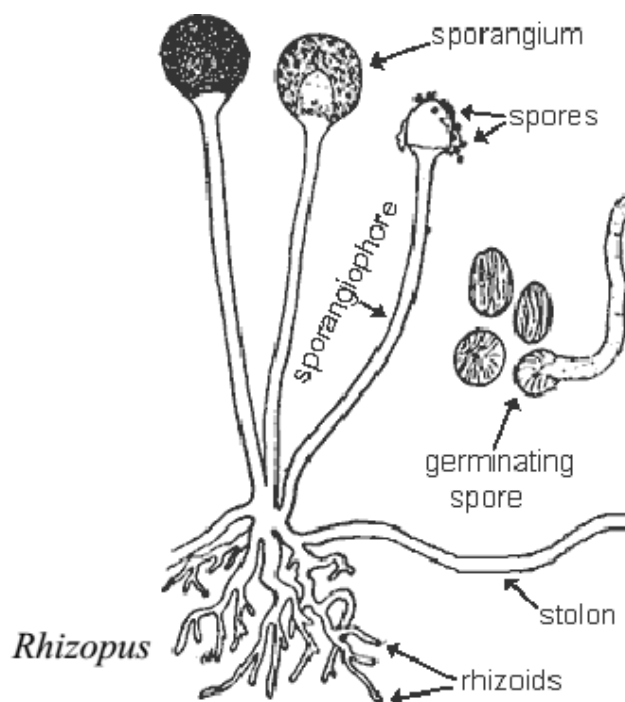
Le genre *Rhizopus* se caractérise par :

- La formation d'appendices en forme de racines, nommés rhizoïdes, qui se forment à la base des sporocystophores (ou sporangiophores) et fixent le
- mycélium sur le substrat.
- Les sporocystophores non ramifiés et groupés par 3 à 5.
- La présence de stolons, hyphes aériennes grâce auxquelles le champignon se dissémine.
- Le sporocyste avec, dans le prolongement de l'axe du sporocystophore, une formation globuleuse, appelée columelle, qui s'effondre en une structure en forme d'ombelle

Avec l'âge:

- Les sporangiospores munies de parois épaisses striées.

Le mycélium est lâche, extensif, cotonneux devenant brun-noir à maturité. Lorsqu'il envahit le substrat, il se manifeste comme une moisissure duveteuse, blanchâtre puis grise. À la loupe, on distingue clairement les fructifications noirâtres (sporocystophore et sporocystes).



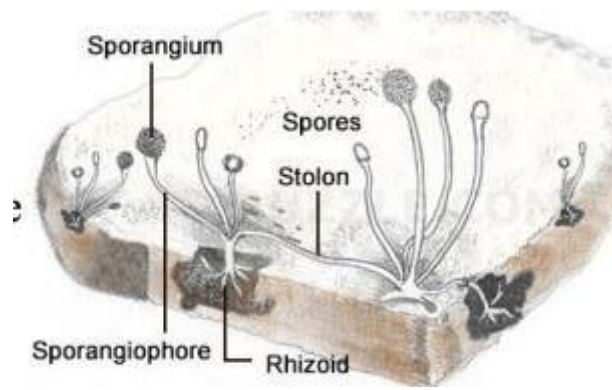


Figure12- Développement du *Rhizopus* sur le substrat (morceau de pain)

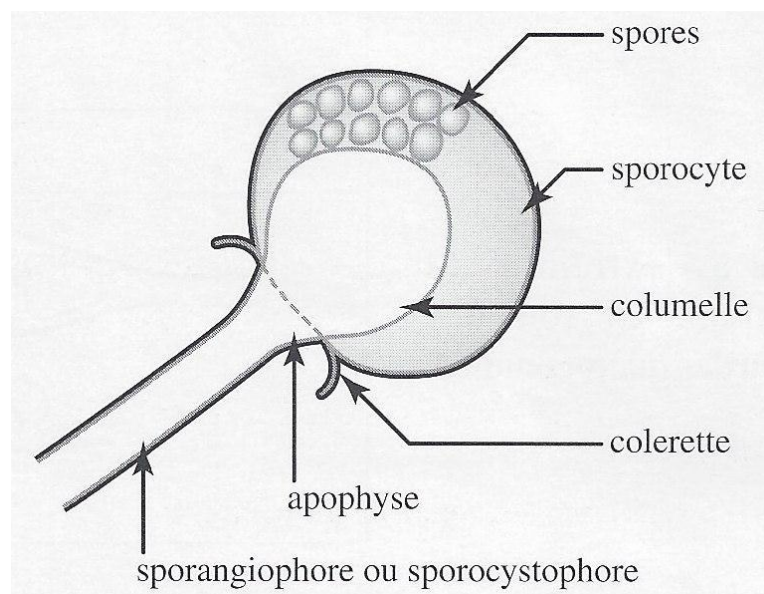


Figure 13- Sporangie du *Rhizopus*.

Les thalles de *Rhizopus* se reproduisent par des sporocystes (sporangies) qui produisent des spores directes, ce sont des vésicules sphériques formées au sommet des axes appelés : **sporocystophores ou sporangiophores**. Le sporocyste se sépare **sporocystophore** par une cloison appelée : **Columelle**.

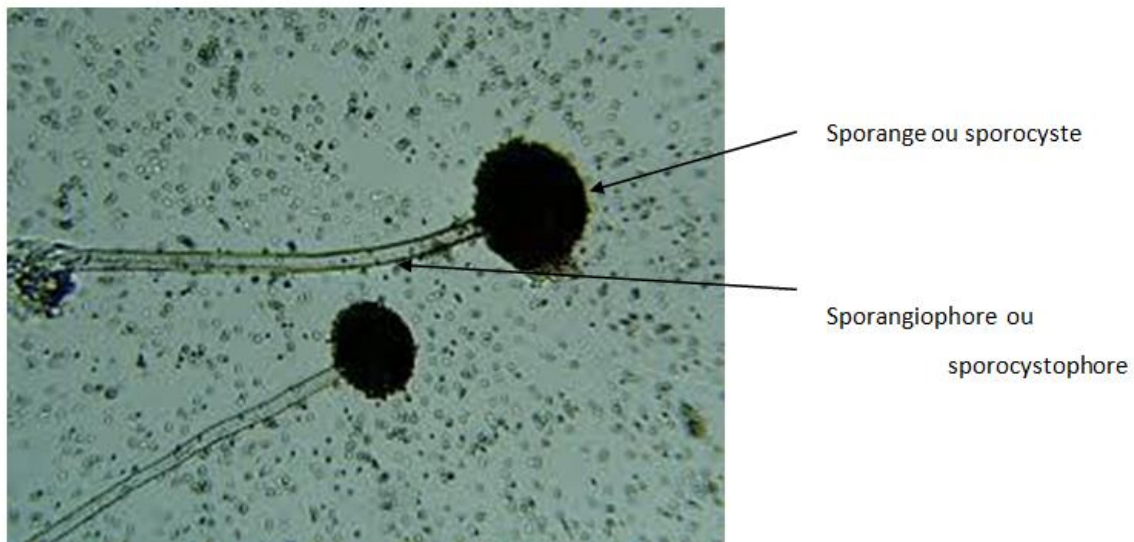


Figure 14- Observation microscopique du genre *Rhizopus*

3- Les Basidiomycètes :

a- Généralités :

Basidiomycota constitue un vaste embranchement de mycètes qui regroupe la plupart des espèces désignées dans la langue courante par le nom de champignon, ils sont caractérisés par des spores formées à l'extrémité de cellules spécialisées, **les basides** sur des carpospores (chapeaux) et sont dispersées par le vent à maturité.

Les basidiomycètes sont couramment appelés « champignons à chapeau ». Ces champignons peuvent être classés sur des critères morphologiques (forme du pied et du chapeau, consistance de la chair, couleur des spores), organoleptiques (odeur et saveur) et chimiques.

L'embranchement comprend environ 25,000 espèces. Ils sont d'importants décomposeurs de bois et d'autres matières végétales. Ex : bolets, agarics, Amanites.

Le thalle des Basidiomycètes est un **hyphe cloisonné** qui vit sur la terre riche en humus, les végétaux en décomposition, le vieux bois, les agglomérations de feuilles mortes.

Il peut être quelquefois parasite de certaines plantes vivantes. Mais il existe également des Basidiomycètes microscopiques, moins connus qui peuvent être phytopathogènes (rouilles, charbons) ou agent d'altération d'aliments.

L'hyménium d'un basidiomycète est formé de plusieurs basides terminées par des basidiospores et entre ces basides, sont disposées des cystides stériles.

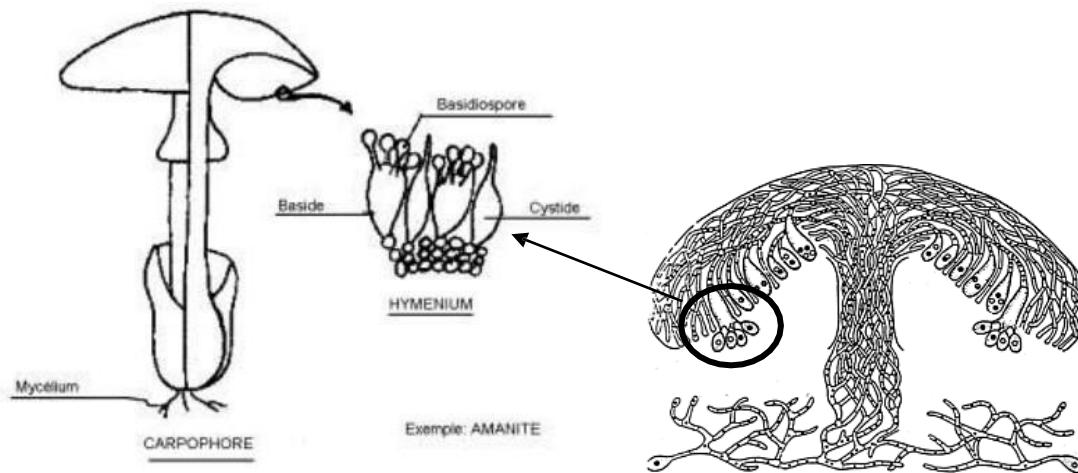


Figure15- Le thalle des Basidiomycètes

9. Une association particulière algue-champignon: les lichens

A/- Structure:

Un lichen est le résultat de la symbiose entre un champignon et une algue procaryote (cyanobactérie dans 10% des cas) ou eucaryote (algue verte chlorophyceae) dans 80% des cas. Pour le champignon, c'est le plus souvent un ascomycète, plus rarement un basidiomycète. C'est le mycobionte.

La cyanobactérie est généralement une nostocale (genre Nostoc) alors que la chlorophyceae est une chlorococcales. C'est la phytobionte. Un même mycobionte peut s'associer à différentes espèces de phytobiontes. Dans la construction du thalle, l'algue est représentée par des cellules ou gonidies et le champignon est représenté par des hyphes. Le lichen est un organisme autotrophe.

B/ Nature de l'association:

Les observations au microscope électronique ont apporté des précisions sur les relations cytologiques. Il s'agit d'une pénétration de suçoirs fongiques dans les cellules de l'algue.

Sur le plan physiologique, les hyphes, grâce aux gonidies, disposent d'une source de glucides. Les gonidies sont ravitaillées en eau et sels minéraux par l'intermédiaire du mycélium. Il s'agit de la confrontation de l'autotrophie de l'algue et l'hétérotrophie du champignon:

- 🌈 L'algue cède les substances organiques qu'elle produit par photosynthèse.
- 🌈 Le champignon alimente l'algue en eau et sels minéraux provenant du milieu extérieur et du substrat (par capillarité ou diffusion). Il lui offre une protection contre la dessiccation et les fortes intensités de lumière.

C/ Ecologie :

Les lichens se développent dans les milieux les plus divers dans le monde entier, sous toutes les latitudes et aux altitudes les plus hautes. Ils colonisent les substrats naturels ou artificiels, vivant dans des conditions que ni les gonidies ni le mycélium ne supporteraient s'ils étaient seuls.

Les lichens ont une propriété de reviviscence très grande. En effet, ils ont le pouvoir de passer très rapidement de l'état sec à l'état humide en quelques minutes. C'est un phénomène physique que physiologique. L'absorption d'eau se fait par toute la surface du thalle. Les lichens sont bien adaptés à des variations hydriques de courtes durées et peuvent résister à de très fortes dessiccations (2% de teneur en eau).

Ils résistent aux températures extrêmes en particulier les basses températures (- 70°C +70°C). C'est pourquoi les régions du nord et les hautes montagnes sont riches en lichens. Ce sont des bioindicateurs de pollution car ils sont sensibles à celle-ci.

D/ Morphologie :

La structure des lichens est très variée (Figure 60). Les principaux types sont représentés par:

✓ **Thalles gélatineux** : ils contiennent des cyanobactéries réparties dans toute l'épaisseur du thalle. A l'état sec ils sont noirs, coriaces et friables. En présence d'eau ils gonflent pour donner des masses gélatineuses

✓ **Thalles crustacés** : ils forment une croûte fortement adhérente au substrat Plus d 4/5 des lichens ont des thalles crustacés ; la plus part d'entre eux sont souvent appelés les microlichens.

✓ **Thalles foliacés** : ils forment des lames plus ou moins lobées, facilement séparables du substrat auquel ils sont parfois fixés par des rhizines Ex : *Xanthoria parietina*.

Certains thalles foliacés n'adhèrent au substrat que par une petite zone (crampon) souvent située au centre de la face inférieure.

✓ **Thalles fruticuleux** : Ils n'adhèrent au substrat que par une surface très réduite, ils sont plus ou moins buissonnants, plus ou moins ramifiés, à section ronde ou aplati.

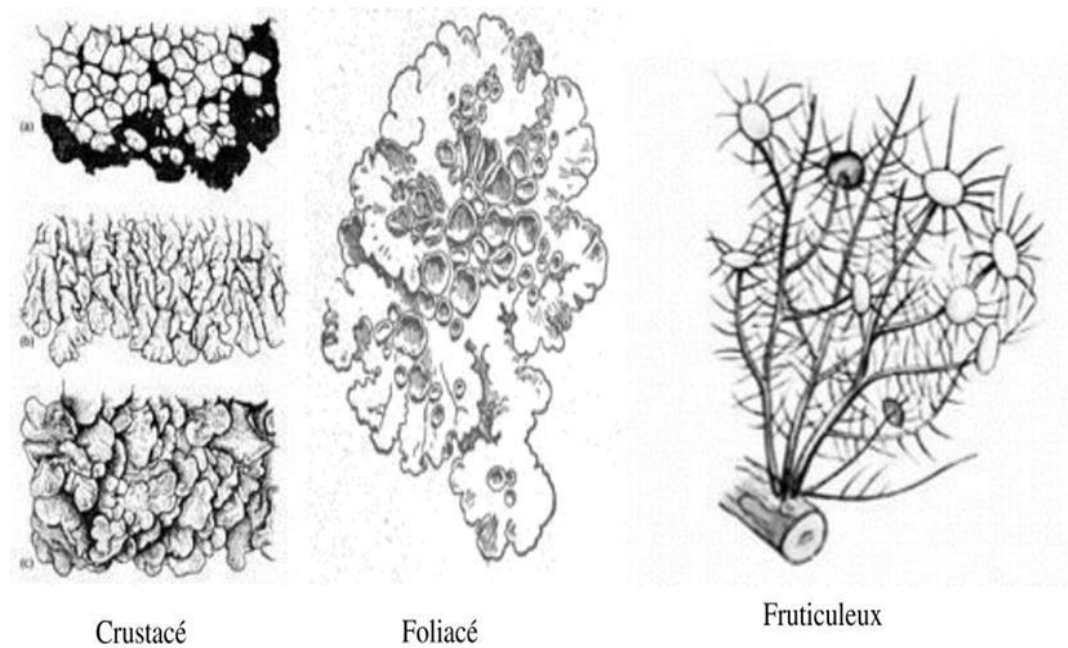


Figure 16: Aspects morphologiques des lichens

E/ Structure anatomique :

L'examen d'une coupe d'un lichen montre une structure homéomère ou hétéromère avec la structure morphologies :

***Thalles homéomère** des couronnes: Les gonidies ou cellules de l'algue isolées ou formant des couronnes sont mélangées aux hyphes du champignon dans toute l'épaisseur du thalle.

***Thalles hétéromère** : Quand le thalle est limité par plusieurs couches :

- Un cortex supérieur et un cortex inférieur. Les gonidies et les hyphes sont réparties en couches superposées ou concentriques: -une couche gonidiale, -une couche médullaire (hyphes).

Le cortex inférieur peut présenter des filaments destinés à la fixation. Ce sont des rhizoïdes ou rhizines (Figure 17)

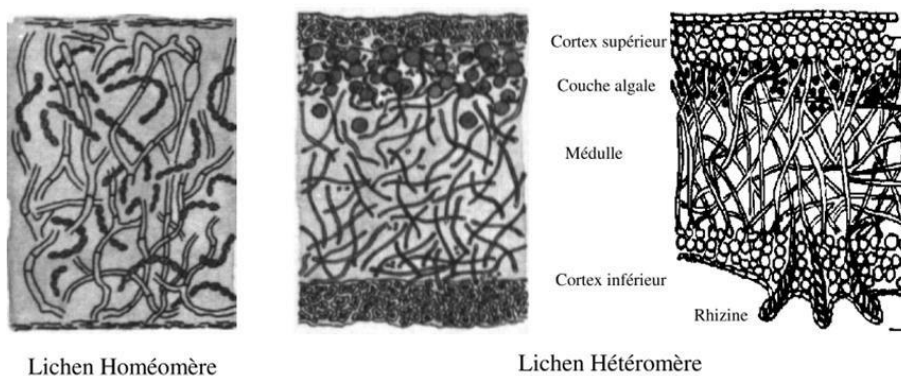


Figure 17: Structure anatomique des lichens (homo et hétéromère)

F/-Reproduction:

a/ Reproduction asexuée

Le seul mode de reproduction chez le lichen est la reproduction asexuée ou végétative. La reproduction asexuée se fait par la dissémination du complexe lichénique :

-Fragmentation du thalle

-Par formation de structures particulières : les propagules qui sont les :

***Sorédies** : elles sont constituées par des gonidies et des hyphes regroupés en soralies en forme de verrue ayant une couleur différente du thalle qui ont un poids léger, sont transportées par le vent, la pluie, les insectes colonisant ainsi d'autres endroits (Figure 18).

***Isidies** : ce sont des éclatements du thalle, sortes de bourgeonnement émettent par le thalle, formées par des gonidies et des hyphes, de la même couleur que l'algue et plus lourdes que les soralies, ne peuvent être transportées, elles assurent une colonisation du substrat (Figure 18).

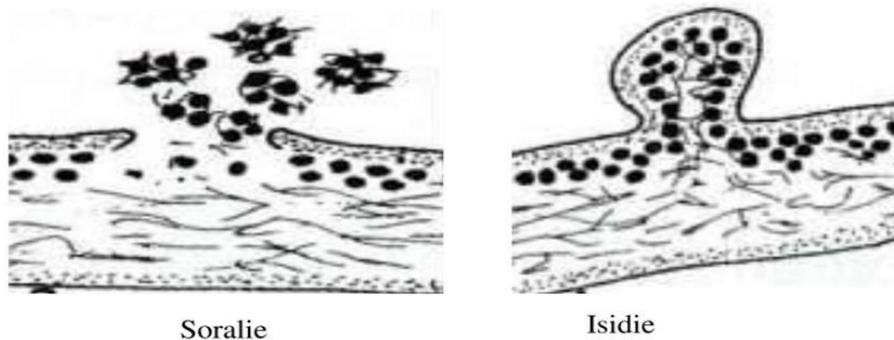


Figure 18: Reproduction asexuée chez les Lichens

B/- Reproduction sexuée des lichens

Seul le champignon assure une reproduction sexuée issue d'une fusion de deux hyphes différenciés qui aboutit à la formation de fructification sur la surface du thalle. Ce sont des structures en formes de boutons (Apothécies), ou des coupes plus ou moins fermées (Périthèces), dans lesquelles les asques formant l'hyménium, vont élaborer les ascospores. Entre les asques se trouvent des cellules stériles: les paraphyses. Après leur libération, ces spores germent et donnent des hyphes qui capturent des algues pour pouvoir redonner un nouveau thalle lichénique. Les basidiomycètes n'ont pas d'apothécies leur couche à baside est accolé au substrat (Figure 19).

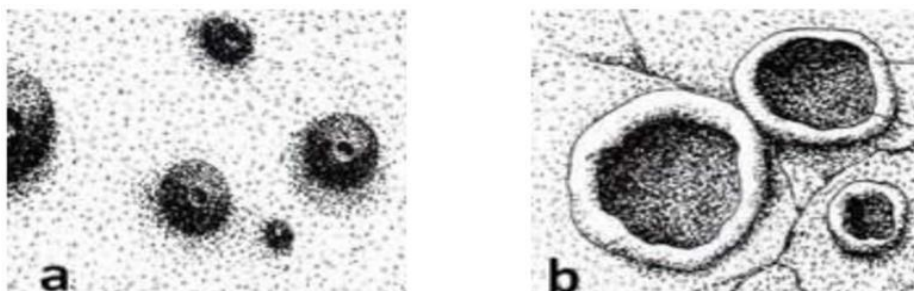


Figure 19 : Reproduction sexuée chez les lichens (a : Périthèce, b : Apothécie)

G/Systématique des lichens:

L'ancienne classification de **Zahlbruckner (1907,1926)** garde sa valeur pratique face aux classifications récentes incomplètes. Elle sépare les lichens en deux sous classes (Figure 64):

- **Ascolichens** : (le champignon est un ascomycète) très fréquent, comprenant une cinquantaine de famille, spores produites dans des asques. Ex : *Xanthoria parietina*
- **Basidiolichens** : (le champignon est un basidiomycète) beaucoup moins fréquent avec seulement 3 genres et moins de 20 espèces essentiellement tropicales.

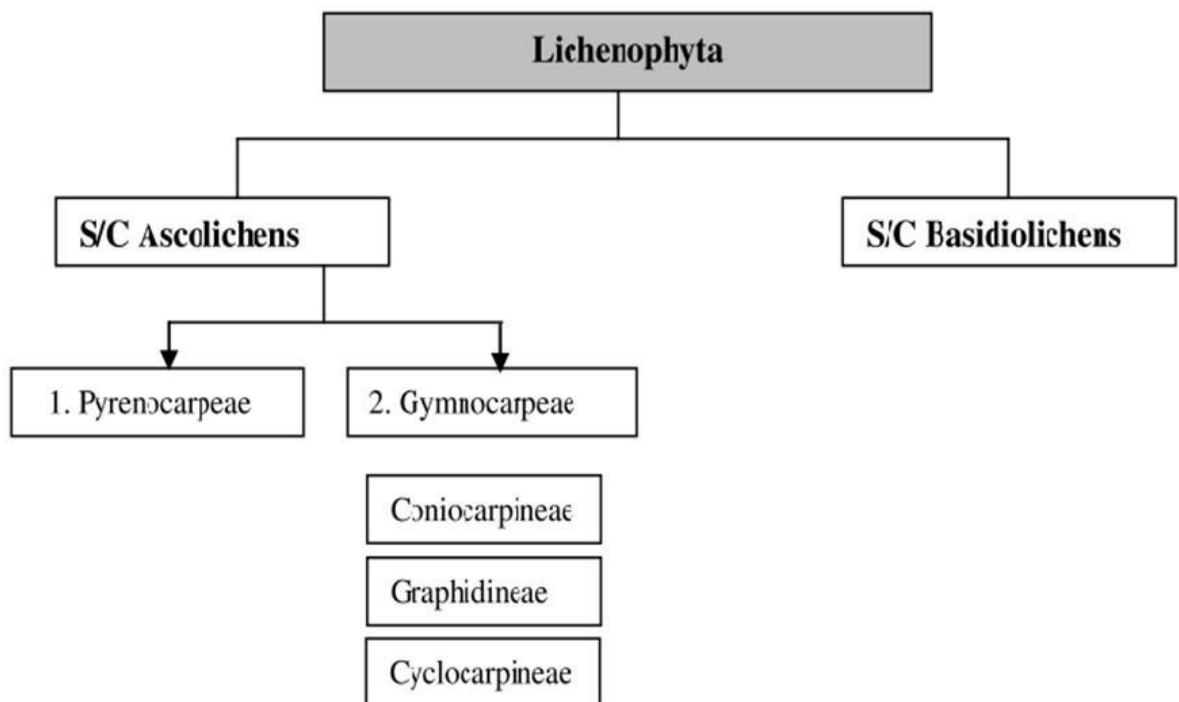


Figure 20 Classification des lichens d'après Zahlbruckner (1907-1929)

