Document téléchargeable sur le site
https://www.svt-tanguy-jean.com/

Lycée Valentine LABBÉ
41 rue Paul DOUMER – BP 20226
59563 LA MADELEINE CEDEX
CLASSE PRÉPARATOIRE TB
(Technologie & Biologie)

ENSEIGNEMENT DE SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE (SVT)
°° SCIENCES DE LA VIE °°

Partie 4. Biologie des écosystèmes
>> Travaux pratiques <<

TP 4.2.

Les 'mycètes' dans les écosystèmes

Objectifs : extraits du programme

Séance(s)	Connaissances clefs à construire, commentaires, capacités exigibles
Les mycètes dans les écosystèmes (1 séance)	- caractériser les mycètes à travers des études macroscopiques et microscopique (thalles variés, reproduction par spores), moléculaires (nature de la paroi, glycogène...) et trophiques. - identifier les interactions entre mycètes et écosystème (symbiose : lichen et mycorhize, saprophytisme, parasitisme, mise en relation trophique des peuplements d'embryophyte au sein des forêts …) Cette étude est aussi l'occasion de discuter du caractère variable des relations interspécifiques (mycète/orchidée....)

Introduction

Au sens traditionnel, l'ancien règne des **'champignons'** ('Fungi') ou **'mycètes'** désignait ***les organismes eucaryotes – généralement pluricellulaires (mais pas toujours ; ex. 'levures') – hétérotrophes s'alimentant par absorption (absorbotrophie)*** – par opposition à la **phagotrophie** (alimentation par ingestion) que l'on trouve chez les **Animaux**. Le groupe est hautement **polyphylétique**. Dans leur **acception moderne**, les **Champignons** ou **Mycètes** ***peuvent être aujourd'hui synonymes du groupe (monophylétique) des Eumycètes*** (figure 1).

La **définition métabolique** que nous venons de donner mérite d'être précisée : les **'mycètes'** sont surtout **hétérotrophes au carbone** et ***nécessitent donc du carbone organique qu'ils ne peuvent pas produire eux-mêmes à partir de carbone minéral***. **Une partie** non négligeable d'entre eux est néanmoins **autotrophe à l'azote** et ***peut par exemple métaboliser des nitrates***.

La **diversité du groupe** s'exprime entre autres par la **variété des rôles écologiques** que peuvent occuper ses représentants dans les **écosystèmes**.

Au niveau **structural**, les 'mycètes' sont souvent caractérisés par des ***structures cellulaires végétatives filamenteuses*** qu'on appelle **hyphes** (masc. ou féminin), qui ***lorsqu'elles sont rassemblées en un ensemble cohérent et visible à l'œil nu***, constituent un **mycélium**. ***Quand les filaments sont soudés et/ou enchevêtrés étroitement***, on parle de **plectenchyme**. ***L'appareil végétatif ne présentant ni feuilles ni racines différenciées***, on peut l'appeler **thalle** (revoir le TP 5.3. sur la biodiversité des organismes photosynthétiques).

Notons que les **cellules fongiques** sont généralement **vacuolisées** et possèdent une **paroi**, quoique de **composition dissemblable des 'plantes'** (cas des Eumycètes : voir I.D).

Comment s'organisent les 'mycètes' ? Comment s'intègrent-ils dans les écosystèmes ?

TRÈS IMPORTANT

Toutes les **notions abordées** dans ce TP ne seront **pas forcément revues en cours** mais peuvent – et **doivent** ! – **servir dans vos épreuves de synthèse**, notamment **à l'oral**. Il vous revient donc de **bien comprendre les exemples** pris ici et de **savoir les exploiter** dans le cadre d'un exposé de connaissances.

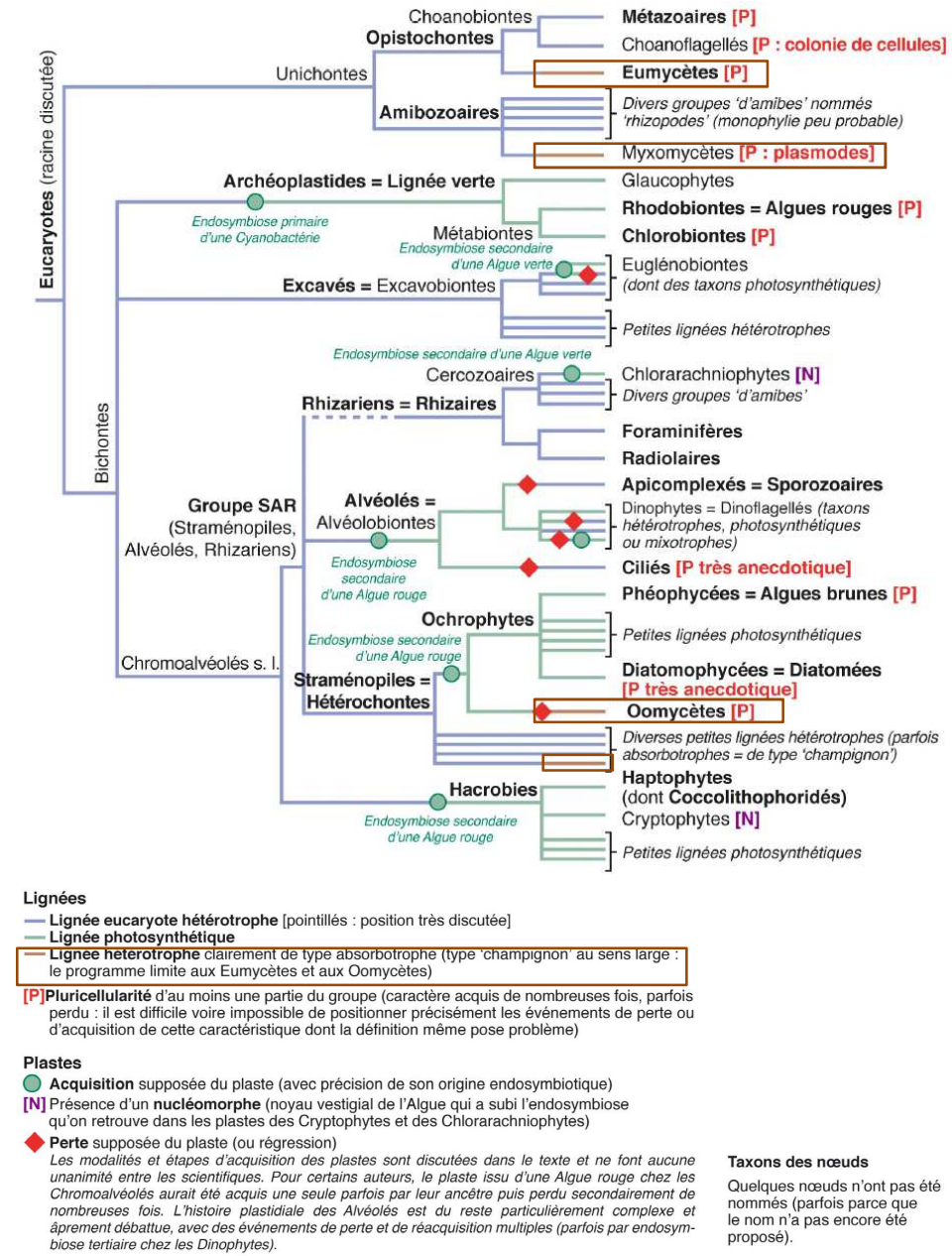


FIGURE 1. Arbre phylogénétique des Eucaryotes. D'après SEGARRA *et al.* (2015) [*Document que j'avais produit à partir de nombreuses références bibliographiques*].

I. Diversité, reproduction, organisation et composition des 'mycètes'

Capacité exigible	✓ **Caractériser** les mycètes à travers des études macroscopiques et microscopique (thalles variés, reproduction par spores), moléculaires (nature de la paroi, glycogène...) et trophiques.

A. Diversité et classification du groupe

1. Les 'mycètes' au sens traditionnel : un ensemble polyphylétique d'organismes

- L'étude de **l'arbre des Eucaryotes** montre clairement que les **'champignons' au sens large** sont **polyphylétiques** (figure 1).
- On retiendra notamment **deux groupes** :
  - Les **Eumycètes [Eumycota = Fungi s. str]** (env. 70 000 espèces connues), appartenant aux **Opistochontes**, ce qui place les Eumycètes **quasiment en groupe frère des Métazoaires**.
    Caractères dérivés propres :
    - *Une voie originale de **synthèse de la lysine***
    - *Des **arguments moléculaires** (ARNr, ADN…) variés)*
  - Les **Oomycètes [Oomycota]** (env. 1000 espèces connues) qui appartiennent aux **Straménopiles** et sont très **proches des Algues brunes** et autres groupes apparentés. Il semblerait que les **Oomycètes** soient une lignée de **Straménopiles ayant perdu la capacité photosynthétique**.

2. Les Eumycètes : un groupe monophylétique diversifié

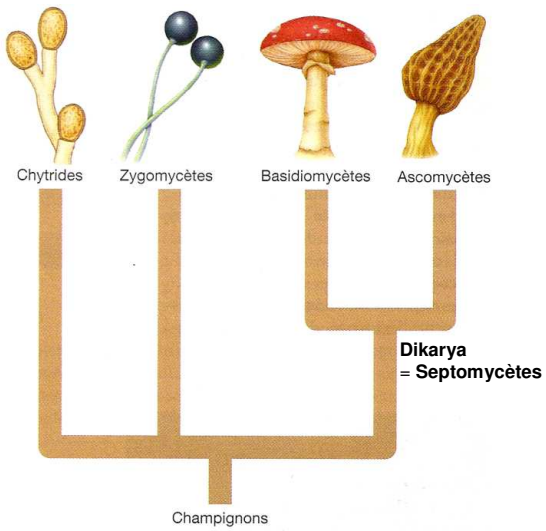


FIGURE 2. Arbre simplifié des Eumycètes (pour information). D'après RAVEN *et al.* (2007)

- Les Eumycètes sont classés classiquement en quatre groupes : **Chytridiomycètes**, **'zygomycètes' (probablement polyphylétique)**, **Ascomycètes** et **Basidiomycètes** (figure 2) qui généralement valeur d'embranchement. Les **relations phylétiques précises** sont encore l'objet de **débats** et controverses.
- Le tableau I présente les **caractéristiques majeures** de ces groupes.

TABLEAU I. Principaux embranchements d'Eumycètes. D'après RAVEN *et al.* (2007.)

Groupe	Exemple typique	Caractéristiques principales	Nombre approximatif d'espèces actuelles
Chytrides	*Allomyces*	Champignons aquatiques flagellés, produisant des gamètes haploïdes lors de la reproduction sexuée ou des zoospores diploïdes lors de la reproduction asexuée.	1 000
Zygomycètes	*Rhizopus, Pilobolus*	Hyphes plurinucléés sans cloisons, sauf dans les structures reproductrices ; la fusion des hyphes aboutit directement à la formation d'un zygote dans un zygosporange, dans lequel la méiose se déroule immédiatement avant la germination ; la reproduction asexuée est la plus commune.	1 050
Basidiomycètes	Champignons à chapeau, champignons vénéneux, rouilles	Lors de la reproduction sexuée, les basidiospores se forment sur des structures en forme de massue, les basides ; la reproduction asexuée est occasionnelle.	22 000
Ascomycètes	Truffes, morilles	Lors de la reproduction sexuée, les ascospores se forment à l'intérieur d'un sac, l'asque ; la reproduction asexuée est également commune.	45 000

Embranchement	Structure reproductrice unique
Chytridiomycètes	Spores mobiles munies d'un flagelle
Zygomycètes	Zygosporange résistant (stade sexué)
Ascomycètes	Spores sexuées contenues dans des structures en forme de sacs appelées « asques »
Basidiomycètes	Spores sexuées situées au bout de structures en forme de massues appelées « basides »

B. Étude de quelques Eumycètes

Activité 1. Étude pratique de quelques Eumycètes

Comment s'organisent les Eumcyètes ?

Savoirs à construire	Organisation des Eumycètes

	Capacité ou attitude visée	Évaluation
Savoir-faire sollicités	Maîtriser un outil, un geste technique, un logiciel ➢ Microscope ➢ Coloration, montage microscopique	

On se proposer d'étudier les **'champignons'** à votre disposition ; **réalisez** des prélèvements et des **préparations microscopique** (eau, bleu de méthylène, bleu coton). Vous **observerez** ensuite ces préparations au **MO**.

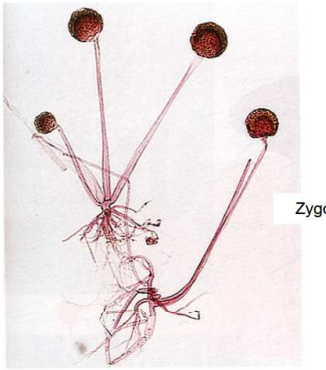
Vous **compléterez** votre étude par l'observation de **lames du commerce**.

Exploitation
***Complétez** les légendes sur les figures et **produisez** les dessins demandés par l'enseignant.*

1. Étude d'une Mucorale ('zygomycètes')

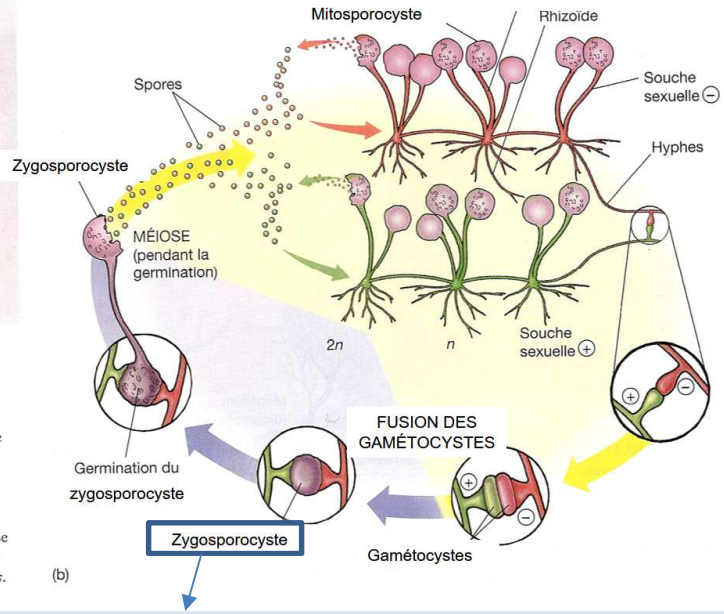
- On peut étudier *Mucor mucedo* ou encore *Rhizopus nigricans* qui sont des **moisissures classiques** se développant sur des structures riches en glucides (pain, fruits…).

a. Caractéristiques et cycle de reproduction



(a)

***Rhizopus*, zygomycète se développant sur des sucres simples.** On trouve souvent ce champignon sur le pain humide ou les fruits. (*a*) Les sporanges sphériques foncés sont portés par des hyphes haut d'environ 1 centimètre. Les hyphes en forme de racines fixent les sporanges. (*b*) Cycle de développement de *Rhizopus*. Le groupe des zygomycètes doit son nom aux zygosporanges caractéristiques de *Rhizopus*.



> Dans ce **zygosporocyste**, il y a ***fusion des noyaux (haploïdes)***, ce qui aboutit à **plusieurs noyaux diploïdes** dont **un seul subsiste : le zygote.**
> **Ce zygote subit immédiatement la méiose** : **quatre cellules filles haploïdes** sont obtenues ; ***une seule subsiste***, que l'on peut appeler une **méiospore**.
> ***Cette méiospore germe et produit, par mitoses, de nombreuses spores libérées à maturité*** : les **zygospores**.

FIGURE 3. Une Mucorale et son cycle de reproduction. D'après RAVEN *et al.* (2007)

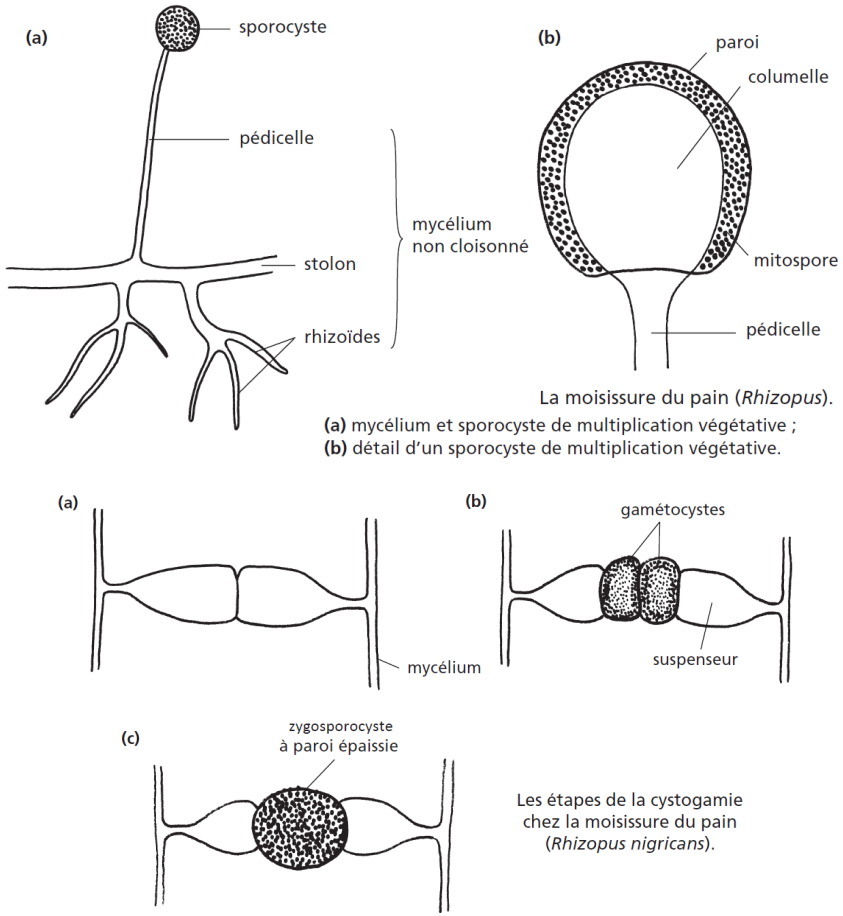


FIGURE 4. Appareil végétatif et reproduction d'une Mucorale. D'après PEYCRU *et al.* (2010b)

- Voir figures 3-4.
- Il existe deux types de **thalles haploïdes** (notés + et –) qui **s'attirent mutuellement**. Ces thalles se présentent comme des **siphons** (***hyphes*[1] *non cloisonnées***).
- Leur rencontre aboutit à la production de **gamétocystes** au sein desquels sont produits des **gamètes**.
- Il y a ensuite ***fécondation par fusion des gamétocystes*** + et – (**cystogamie**), ce qui aboutit à un **coenozygocyste (= zygosporocyste)** où les noyaux fusionnent deux à deux (**caryogamie**), mais ***un seul noyau diploïde (zygote) persiste*** ; celui-ci subit la ***méiose immédiatement*** (retour immédiat à l'haploïdie >> le cycle est **monogénétique haplophasique**) et ***un seul des noyaux haploïdes subsiste***, devenant une **méiospore**.
- Cette ***méiospore germe*** et produit un **zygosporocsyte** renfermant des **zygospores** produites par ***mitoses***.
- Ces spores ***germent et produisent les hyphes*** de la Moisissure, pouvant ***se multiplier végétativement*** sans reproduction sexuée, formant de **mitospores**.

b. Étude pratique

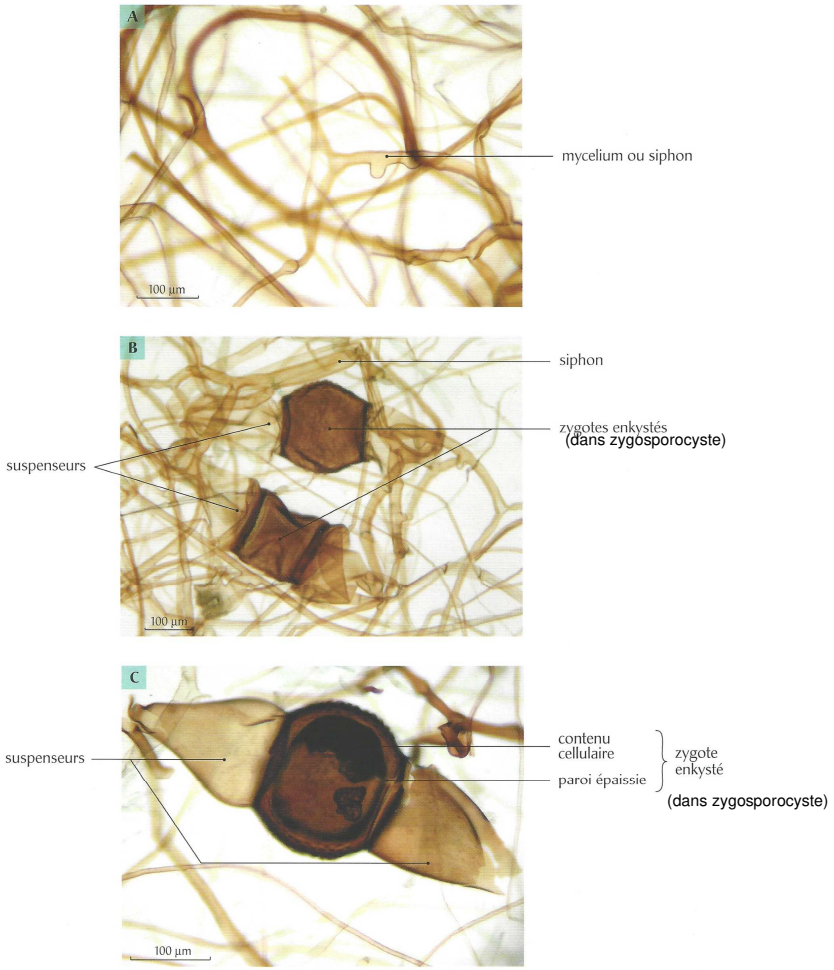


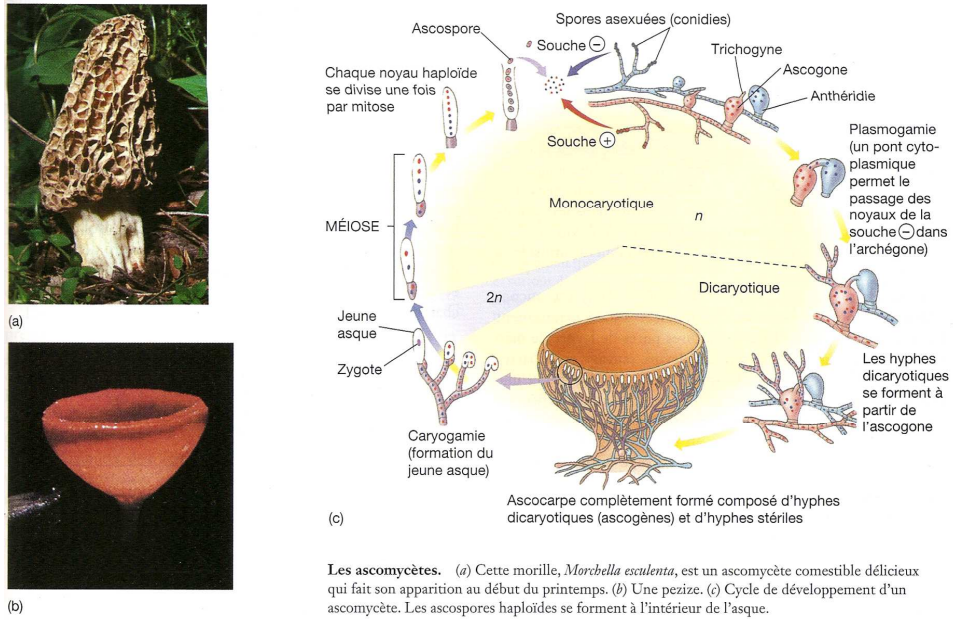
FIGURE 5. Observation au MO d'un *Mucor*. D'après BOUTIN *et al.* (2010)

[1] **Certains** de mes collègues considèrent qu'on ne parle d'**hyphes** que pour les ***filaments cloisonnés*** et **excluent** donc les **siphons**. Cette **option terminologique** est toutefois **minoritaire** dans les ouvrages de botanique et encore plus dans les livres spécialisés de mycologie. Je ne la retiens donc pas.

2. Étude d'un Ascomycète (ex. Morille, Pézize)

- On peut étudier une Morille *Morchella* sp. ou une Pézize *Peziza* sp.

a. Caractéristiques et cycle de reproduction

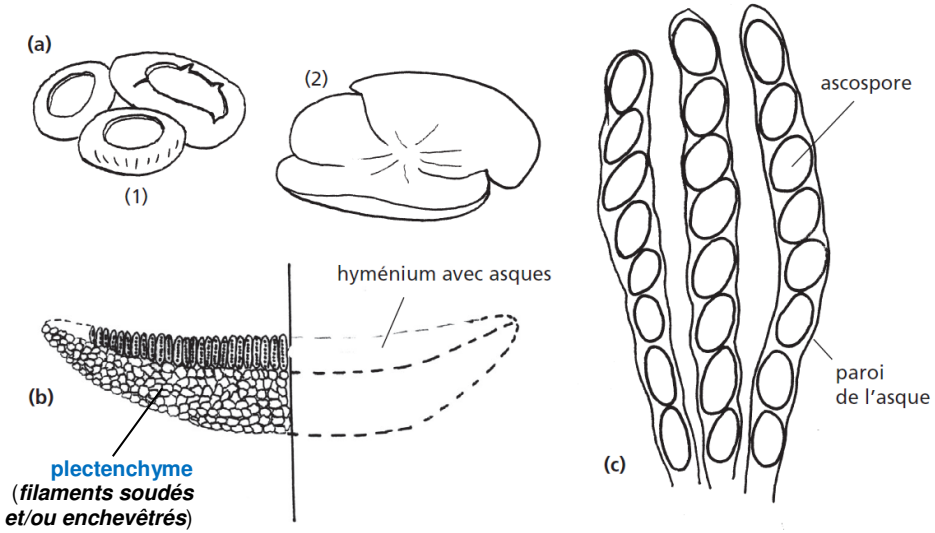


Les ascomycètes. (*a*) Cette morille, *Morchella esculenta*, est un ascomycète comestible délicieux qui fait son apparition au début du printemps. (*b*) Une pezize. (*c*) Cycle de développement d'un ascomycète. Les ascospores haploïdes se forment à l'intérieur de l'asque.

FIGURE 6. Deux Ascomycètes et leur cycle de reproduction. D'après RAVEN *et al.* (2007)

- Voir figures 6-7.
- Les **hyphes** sont ici **cloisonnées** (= ***présence de septa entre les cellules***).
- Le cycle est **monogénétique haplophasique**. On note l'alternance entre **trois temps** (figure 6) :
  - Une **période haploïde monocaryotique** qui intervient **juste après la fécondation** (**caryogamie**) ; ***les cellules sont haploïdes et ne présente qu'un noyau*** :
    - le **zygote diploïde** subit **immédiatement la méiose** à l'intérieur d'une ***structure limitée par une paroi*** qu'on appelle un **asque**. On obtient 4 spores.

      Les asques sont regroupés en **apothécies**.
    - Ces **quatre spores** subissent chacune une **mitose**, d'où l'obtention de ***huit spores haploïdes*** ou **ascospores**.
    - La paroi de **l'asque mature** se déchire et **libère** ses ascospores qui développent des **hyphes cloisonnées sexuées** (notées + et –) formant un **mycélium**.
    - Localement, des ***groupements plurinucléés*** se constituent (**gamétocystes**) ; le **gamétocyste « femelle » (souche +)** produit des ***petits poils permettant la fusion avec le gamétocyte mâle (souche –)*** (**trichogynes**), ce qui permet la **migration des noyaux – dans le gamétocyste +**.
  - Une **période haploïde dicaryotique** : ***les cellules sont haploïdes présentent deux noyaux*** ; il y a en effet ***formation d'hyphes cloisonnées et bi-nucléées*** qui sont à l'origine des ***fructifications*** qu'on appelle **ascocarpe** ; il en existe deux types principaux : ***en forme de bouteille*** (**périthèce**) ou ***en forme de coupole évasée*** (**apothécie**) (figure 7).
  - Une **période diploïde réduite au zygote** : celui-ci se forme dans les **asques** par **caryogamie** (***fusion des noyaux***). *C'est la **diplophase**, ici réduite au **zygote**.*



Apothécie d'un ascomycète.

(a) aspect général (1. Bulgaire, 2. Pézize) ; **(b)** organisation vue en coupe ; **(c)** asque et ascospores . On appelle **hyménium** la couche fertile dans laquelle sont localisés les asques ainsi que des filaments mycéliens stériles.

FIGURE 7. Apothécie (ascocarpe). D'après PEYCRU *et al.* (2010b)

b. Étude pratique

- Voir figure 8.
- **Produisez** un dessin d'observation au niveau d'une **apothécie**.

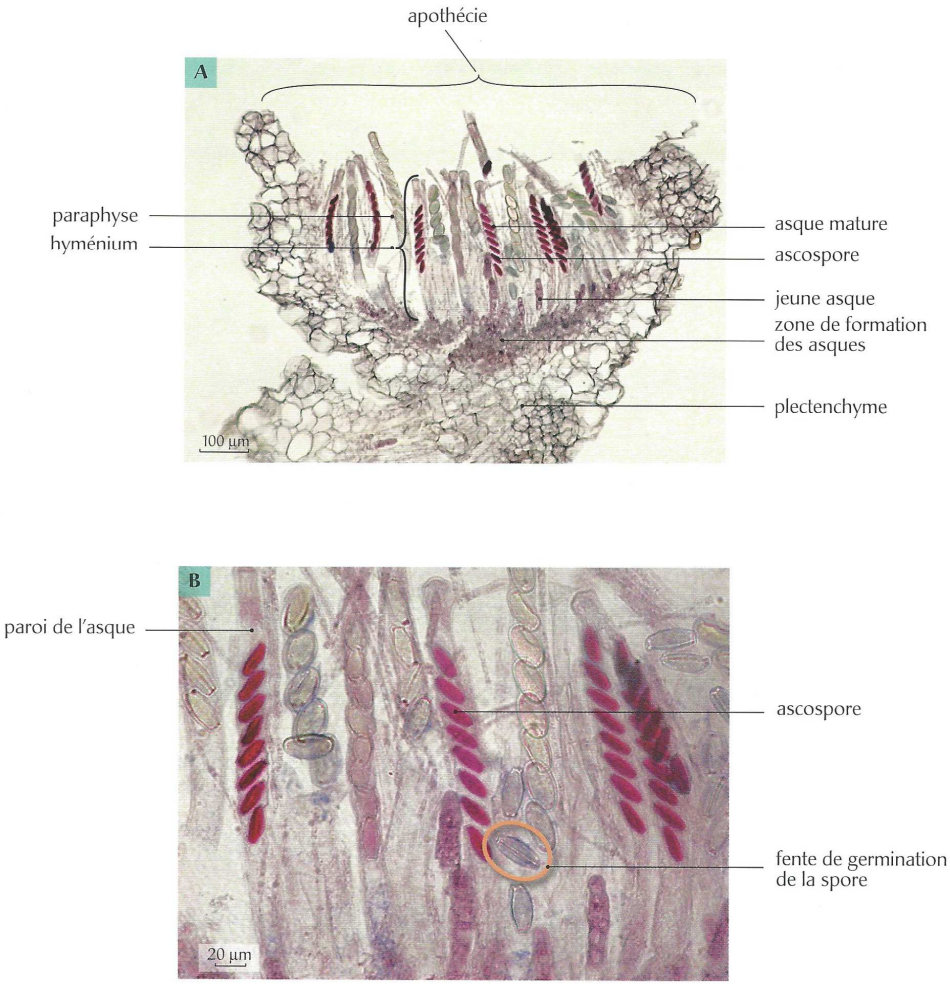
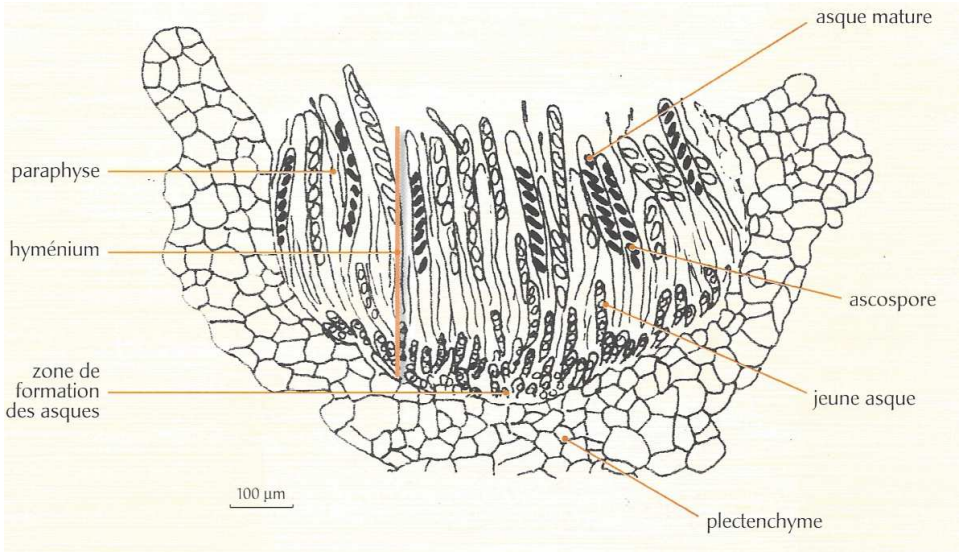


FIGURE 8. <u>Apothécie (MO)</u>. D'après BOUTIN *et al.* (2010)

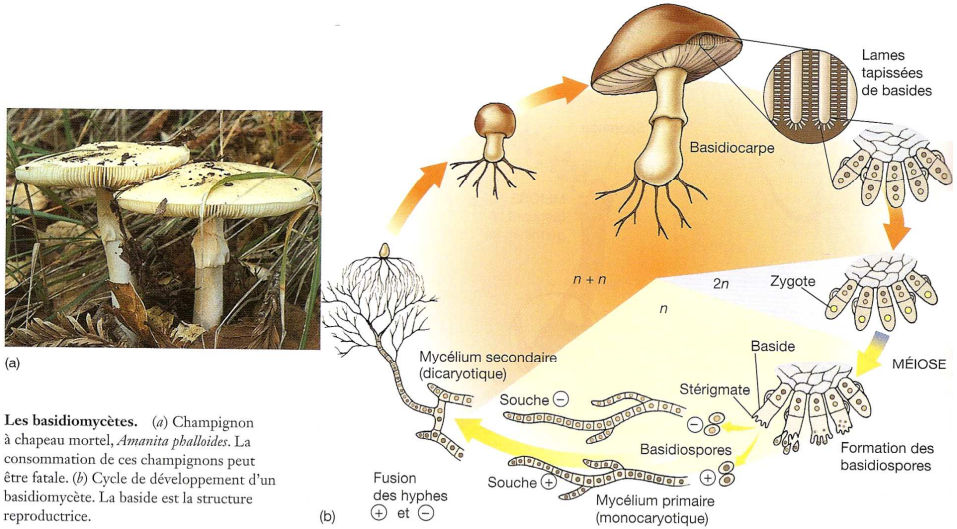


<u>Dessin d'observation d'une apothécie de Pézize (Eumycètes : Ascomycètes) en coupe longitudinale observée au MO</u>. D'après BOUTIN *et al.* (2010).
[On alignera bien les légendes dans un vrai dessin d'observation].

3. Étude d'un Basidiomycète (ex. Champignon de Paris, Coprin)

- On peut étudier un Coprin *Coprinus* sp. ou un Champignon de Paris *Agaricus bisporus*.

a. Caractéristiques et cycle de reproduction



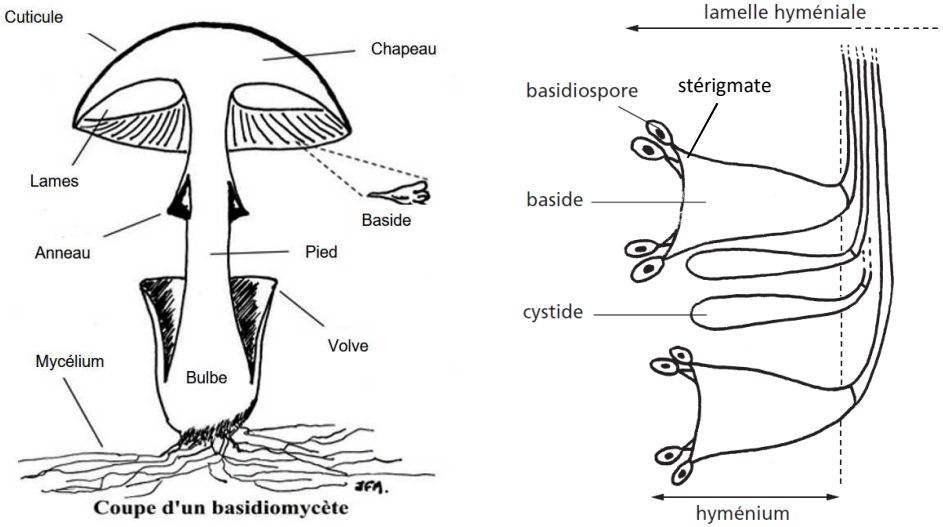
Les basidiomycètes. (*a*) Champignon à chapeau mortel, *Amanita phalloides*. La consommation de ces champignons peut être fatale. (*b*) Cycle de développement d'un basidiomycète. La baside est la structure reproductrice.

FIGURE 9. Un Basidiomycète et son cycle de reproduction. D'après RAVEN *et al.* (2007)

- Voir figure 9-10.
- Il existe deux types de **thalles haploïdes** (notés + et –) qui **s'attirent mutuellement**. Ces thalles sont composés d'***hyphes cloisonnées haploïdes monocaryotiques*** formant le **mycélium primaire**.
- Leur rencontre aboutit à une ***fusion des cytoplasmes*** (**plasmogamie**) sans fécondation. On obtient un **mycélium secondaire** qui est ***haploïde dicaryotique***.
- À partir de ce **mycélium**, se développe une ***fructification*** nommée le **carpophore**. À la périphérie des **lames du chapeau**, il a formation de **basides** où il y a **caryogamie** (= ***fusion des noyaux*** qui donne un **zygote diploïde**) immédiatement suivie de la **méiose** qui produit ainsi des **basidiospores** ***haploïdes*** initialement **attachées** à la baside par des **stérigmates**.

On appelle **hyménium** ***l'assise cellulaire d'une lamelle où se forment les basides et donc*** **in fine** ***les spores***.
NB Une **lamelle** est qualifiée d'**hyméniale** ***lorsque l'hyménium y est développé voire mature***.

- Ces **spores** pourront ensuite **germer dans le sol** et former un nouveau **mycélium primaire**.



Morphologie d'un Basidiomycète
La ***structure érigée*** (chapeau + pied + volve…sans les mycéliums du sol) porte le nom de **carpophore**.
http://www.corif.net/site/especemois/champignon.htm

Baside.
D'après PEYCRU *et al.* (2010b).

FIGURE 10. Organisation d'un Basidiomycète. D'après PEYCRU *et al.* (2010b)

b. Étude pratique

- Voir figure 11.
- **Produisez** un dessin d'observation au niveau d'une **baside**.

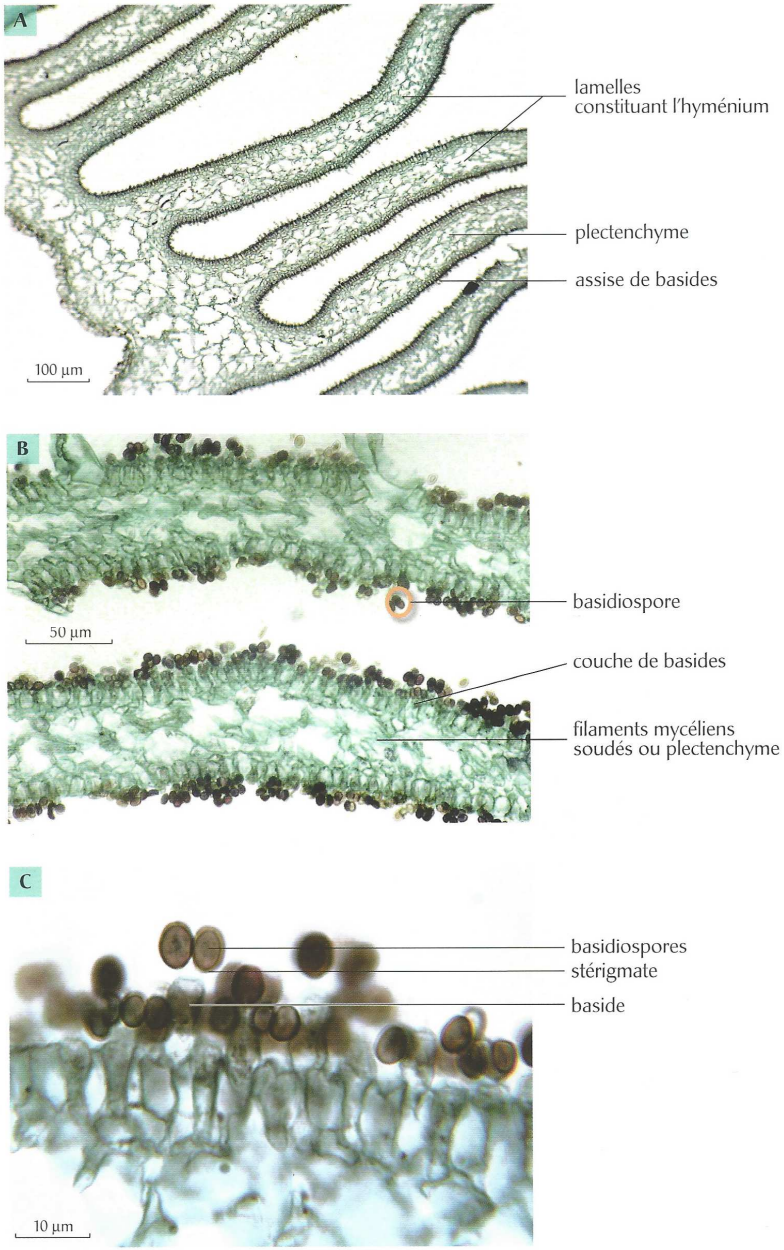
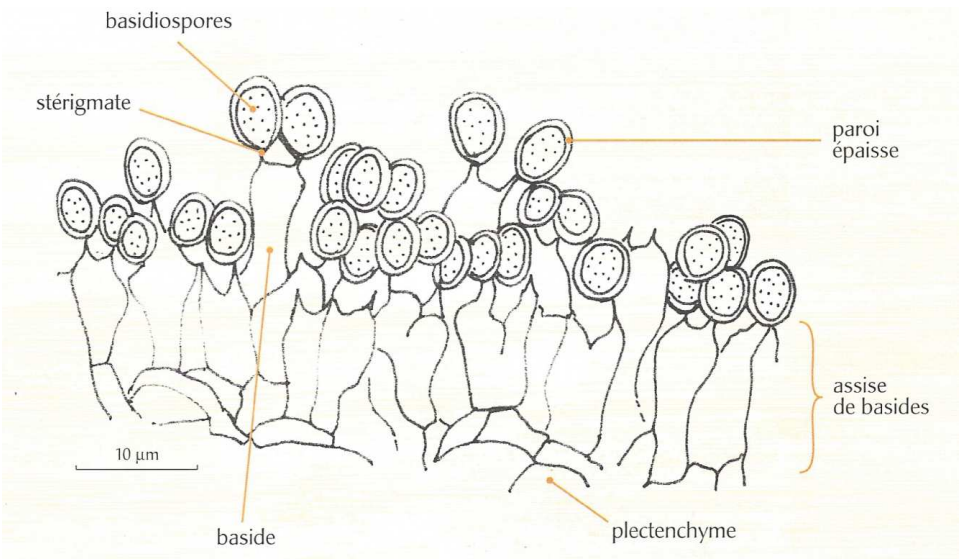


FIGURE 11. <u>Observation d'une coupe de Coprin (MO)</u>. D'après BOUTIN *et al.* (2010)



<u>Dessin d'observation de l'hyménium d'une lamelle de Coprin (Eumycètes : Basiodiomycètes) en coupe transversale observée au MO</u>. D'après BOUTIN *et al.* (2010).
[On alignera les légendes, et on évitera les pointillés, dans un dessin d'observation].

C. Quelques remarques transversales sur le cycle de reproduction et la ploïdie chez les Eumycètes

- On peut considérer le **cycle des Eumcyètes** (figures 12-13) comme :
  - **Monogénétique** : ***une seule génération***.
  - **Haplophasique** : ***l'haplophase correspond à cette génération***.
- La **diplophase** est en effet ***réduite au zygote*** qui subit immédiatement la **méiose** ; il y a bien une phase diploïde mais pas de ~~génération diploïde~~ puisqu'on ne note ***aucune mitose à l'état diploïde, donc aucun développement végétatif diploïde***.
- Chez les **Ascomycètes** et chez les **Basidiomycètes** (regroupés dans le groupe des **Dikarya** par les Anglo-Saxons ou, plus traditionnellement, dans les **Septomycètes** – figure 2), certains auteurs considèrent que le cycle est « digénétique » et reconnaissent (figure 13) :
  - Une **génération haploïde (haplophase au sens strict)** caractérisée par le ***mycélium primaire haploïde***.
  - Une **« génération » dicaryotique (« dicaryophase »)** caractérisée par le ***mycélium secondaire et les fructifications binucléées***.

La **vision « digénétique »** me semble toutefois **minoritaire**… et **intellectuellement critiquable** car :
- Dans ce cas, pourquoi ne pas créer une **phase « coenocytique »** pour les cycles des 'siphonomycètes' ?
- Une **génération** est fondamentalement ***définie au niveau nucléaire***. Il est donc abusif de compter les noyaux d'une cellule.
- Que dire des 'siphonomycètes' qui possèdent quelques cloisons ? Apparaît-il une « génération polycaryotique » ? (encadré A)

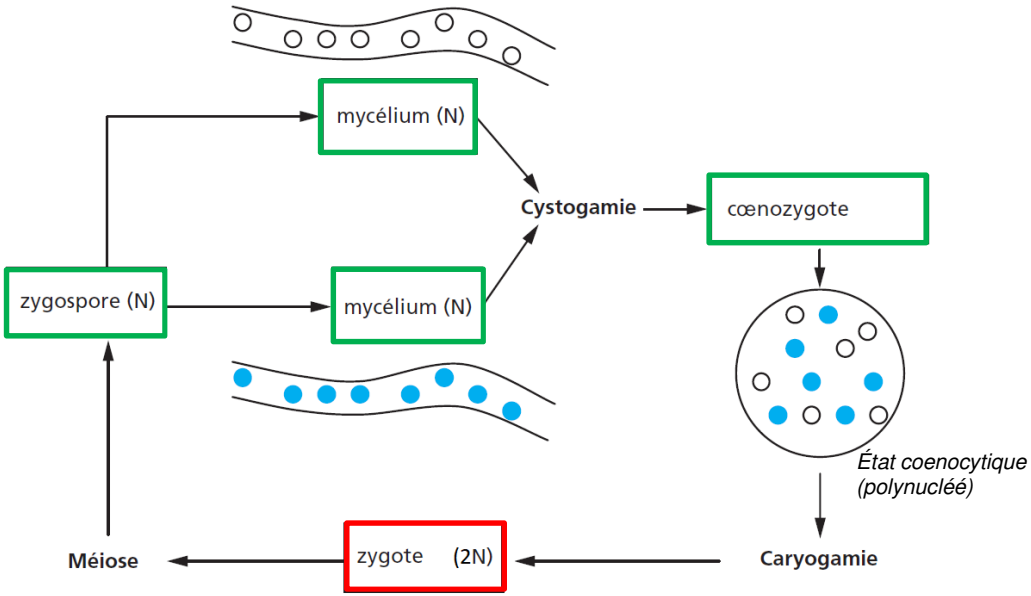


FIGURE 12. Cycle de reproduction d'un 'siphonomycète' : exemple d'une Mucorale.
D'après PEYCRU *et al.* (2010b), modifié. *L'haplophase est en vert et la diplophase en rouge.*
La phase de reproduction asexuée (par des mitospores haploïdes) n'est pas représentée.

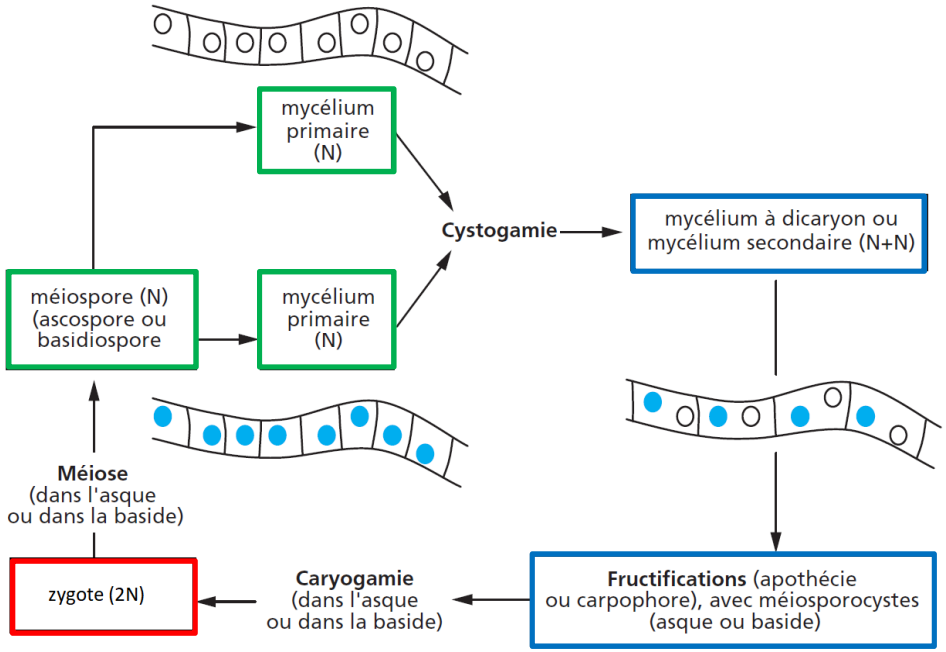


FIGURE 13. Cycle de reproduction typique des Basidiomycètes et Ascomycètes.
D'après PEYCRU *et al.* (2010b), modifié. *L'haplophase monocaryotique est en vert, l'haplophase dicaryotique en bleu et la diplophase en rouge.*

Encadré A Hyphes siphonnées, hyphes septées, 'champignons' unicellulaires

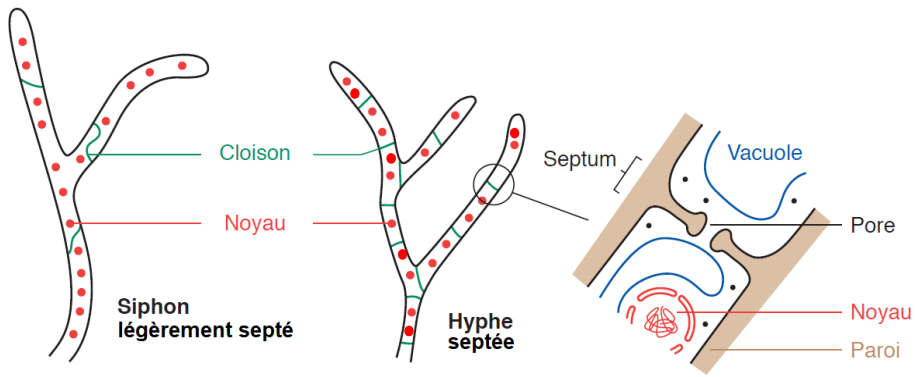


FIGURE a. Variabilité du cloisonnement des hyphes. D'après SEGARRA *et al.* (2015), modifié.

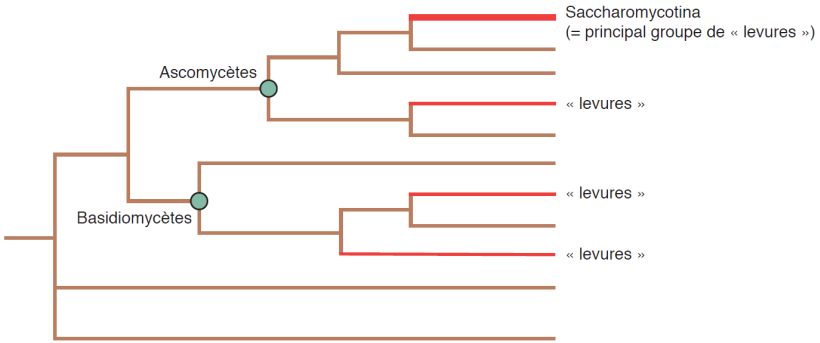
➢ Nous l'avons compris, les **thalles pluricellulaires de 'champignons'** sont typiquement classés en (figure a) :

- **Siphons** = ***hyphes non cloisonnées***. On peut alors regrouper les organismes concernés dans le groupe (polyphylétique) des 'siphonomycètes'.
  Certains auteurs réservent le terme « d'hyphe » aux hyphes septées mais, comme je le dis plus haut, cet usage est minoritaire chez les mycologues.
- **Hyphes septées** = ***hyphes cloisonnées***. On peut alors parler de **Siphonomycètes** qui correspondent aux **Dikarya** (Ascomycètes et Basidiomycètes) (**groupe monophylétique**).

➢ Toutefois, à y regarder de plus près, les **siphons** peuvent être **partiellement** et plus ou moins **irrégulièrement septés** (figure a). *Attention toutefois, il existe bien des siphons sans aucun septum, contrairement à l'affirmation de quelques auteurs.*

➢ Par ailleurs, **certains 'champignons'** ont **perdu secondairement la pluricellularité** comme c'est le cas des **'levures'** (= mot qui désigne ***tout organisme unicellulaire de type absorbotrophe souvent capable de réaliser une fermentation et généralement utilisé à des fins de transformations des aliments par l'homme***) (figure c).

➢ La plupart des **'levures'** sont des **Eumycètes** ; l'étude d'un **arbre phylogénétique simple** (figure b) permet de comprendre que le **retour à la pluricellularité** est clairement une **convergence évolutive**.



La position des 'levures' dans une topologie très simplifiée et schématique de l'arbre phylogénétique des Eumycètes

En marron sont présentés les taxons pluricellulaires et en rouge les taxons unicellulaires dont beaucoup sont classiquement utilisés par l'homme pour permettre la fermentation d'aliments ou de boissons (ce sont les 'levures'). On notera que le retour à l'unicellularité est clairement une convergence et que les 'levures' sont un ensemble polyphylétique. La majorité des espèces de levures (dont *Saccharomyces cerevisiae* vue en TP) appartient à la sous-division des Saccharomycotina.

FIGURE b. Levure *Saccharomyces cerevisiae* (Ascomycètes). D'après SEGARRA *et al.* (2015).

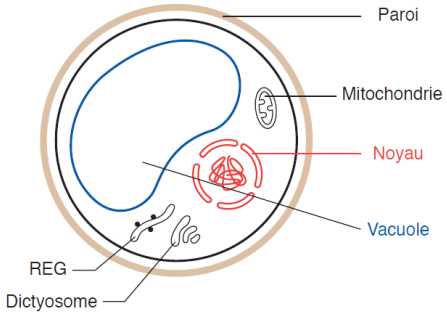


FIGURE c. Levure *Saccharomyces cerevisiae* (Ascomycètes). D'après SEGARRA *et al.* (2015).

D. Détermination de la composition pariétale et des réserves des Eumycètes

Activité 2. Étude biochimique des Eumycètes

Comment peut-on mettre en évidence la nature biochimique des réserves et de la paroi des Eumycètes ?

Savoirs à construire	Composition de la paroi et des réserves des Eumycètes

	Capacité ou attitude visée	**Évaluation**
Savoir-faire sollicités	Maîtriser un outil, un geste technique, un logiciel ➢ Microscope ➢ Coloration, montage microscopique	

Travail à faire

On utilisera le Basidiomycète étudié plus haut.

1. **Montez** entre lame et lamelle un thalle et des lamelles dans du **bleu COTTON** (qui colore la **chitine**).
2. **Broyez** un peu de Basidiomycète et **placez**-le broyat dans un tube à essai avec du **Lugol**. *On admet que ce colorant devient **violet** en présence d'**amidon** et **brun-acajou** en présence de **glycogène**.*

Exploitation
Décrivez *vos résultats et* ***concluez*** *sur la nature biochimique de la paroi et des réserves.*

Coloration bleu (au bleu coton) des **parois** fongiques
>> Présence de **chitine** dans la paroi

Coloration brun-acajou (au lugol) du broyat fongique
>> Présence de **glycogène** dans les cellules = molécule de réserve

(!) Caractères communs avec les Animaux
(à relier à leur apparentement : voir figure 1)

II. Quelques exemples de relations entre les 'mycètes' et les écosystèmes

- Ce TP suppose une connaissance du **fonctionnement des écosystèmes** (chapitre 20) et de la typologie des **relations interspécifiques** existantes (TP 4.1. Relations trophiques dans un écosystème).

Capacité exigible	✓ **Identifier** les interactions entre mycètes et écosystème (symbiose : lichen et mycorhize, saprophytisme, parasitisme, mise en relation trophique des peuplements d'embryophytes au sein des forêts …) *Cette étude est aussi l'occasion de* ***discuter*** *du caractère variable des relations interspécifiques (mycète/orchidée....).*

Activité 3. Place écosystémique des 'mycètes'

Comment peut-on caractériser les interactions des 'mycètes' avec les écosystèmes ?

Savoirs à construire	Interactions entre mycètes et écosystème (symbiose : lichen et mycorhize, saprophytisme, parasitisme, mise en relation trophique des peuplements d'embryophyte au sein des forêts …)

	Capacité ou attitude visée	Évaluation
Savoir-faire sollicités	Sélectionner des informations utiles dans un support	
	Analyser, interpréter, raisonner, mettre en relations des données	
	Maîtriser un outil, un geste technique, un logiciel ➢ Microscope	

Travail à faire
1. **Montez** entre lame et lamelle une **coupe transversale fine** (non colorée) de **Lichen**.
2. **Produisez** un **dessin d'observation** du Lichen à la page 13.
3. **Utilisez**, pour caractériser la diversité des rôles écosystémiques des 'mycètes' et la variété des relations interspécifique dans lesquelles ils sont impliqués :
   - Les **lames du commerce** à votre disposition (Lichen, mycorhize, 'champignon' parasite…)
   - Le texte et les documents proposés dans cet énoncé de TP
   - Les **espaces** à compléter.

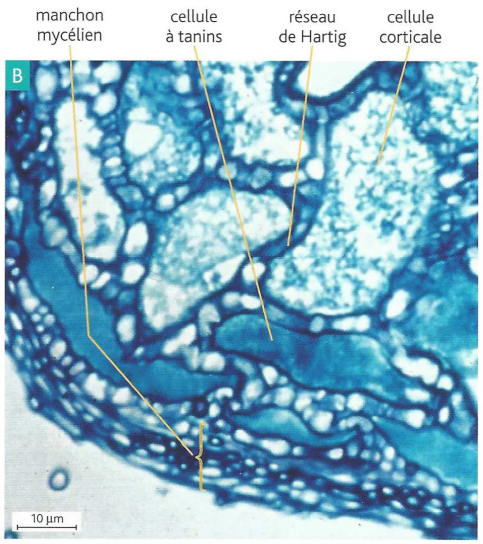
A. Étude de deux symbioses

1. Les mycorhizes : des interactions entre Eumycètes variés et Embryophytes (surtout Spermaphytes)

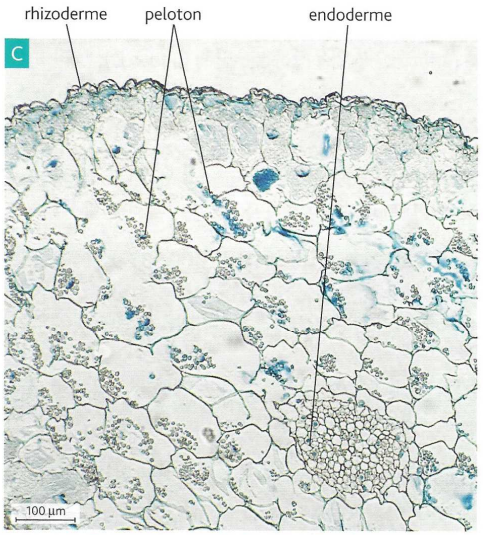
- Beaucoup de **champignons à carpophore/ascocarpe** sont **mycorhiziens**.
- Pour faire une bonne étude des **mycorhizes**, vous avez à votre disposition :
  - La page 12 (figure 14) qui en résume les caractéristiques principales
  - Les clichés, notamment microscopiques, de la page 14 qu'il convient de compléter.
  - Les lames du commerce montrant des mycorhizes.
  - L'annexe 1 détaillant les caractéristiques de cette association.

a. Étude microscopique (et macroscopique) des mycorhizes

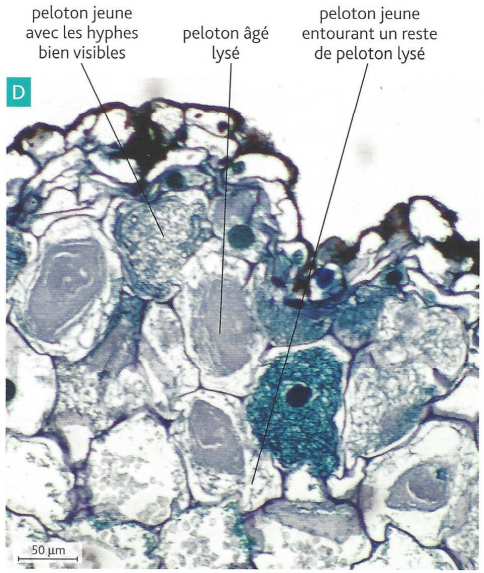
Mycorhize de *Scleroderma sinnamariense* sur Pin.
(Photo : M.-A. Selosse, ISYEB, MNHN)



Coupe transversale d'ectomycorhize colorée au bleu coton (MO × 100).
(Photo : M-A Selosse, ISYEB, MNHN)



Coupe transversale de racine d'Orchidée avec endomycorhizes colorée au bleu coton (MO × 100).



Détail de la coupe transversale de racine d'Orchidée avec endomycorhizes colorée au bleu coton (MO × 400).

Les **mycorhizes** correspondent à des associations étroites, de type interaction durable, entre le mycélium d'un Champignon et les racines de divers végétaux supérieurs, essentiellement des arbres forestiers. La plupart des Champignons impliqués appartiennent au groupe des Basidiomycètes. Comme dans le cas des lichens (fiche 41), les mycorhizes sont des complexes avec une physiologie particulière et une morphologie propre. Ce sont de véritables **organes nouveaux**. Ceci a des conséquences importantes en sylviculture puisque, dans le cas de reboisements, il faut également ensemencer le sol avec le Champignon qui formera les mycorhizes adéquates.

Différents types de mycorhizes selon l'aspect du mycélium

Dans le cas des **mycorhizes ectotrophes**, ou **ectomycorhizes**, le mycélium forme un **manchon** serré constitué d'hyphes très entrelacées se présentant sous la forme d'un feutrage autour de la racine (photo A). Des prolongements internes s'insinuent en direction du cortex racinaire, mais ils ne pénètrent pas dans les cellules de l'écorce. Les hyphes forment un réseau appelé **réseau de Hartig** et disjoignent les cellules corticales (photo B). Ce type de mycorhize se rencontre surtout sur les racines des arbres forestiers des forêts tempérées.

Dans le cas des **mycorhizes endotrophes** ou **endomycorhizes** (photos C et D), le mycélium est en partie externe, mais sans former de manteau, en partie logé dans les tissus des racines. Il pénètre alors dans le cadre pecto-cellulosique des cellules en repoussant la membrane plasmique qu'il ne franchit jamais. Le mycélium présente des formes diverses, spécifiques du champignon impliqué (arbuscules, pelotons des photos C et D, vésicules). On les trouve chez les Bruyères, les Orchidées, certains arbres des forêts tempérées et la majorité des arbres des forêts tropicales et équatoriales.

Pour tous les types de mycorhizes, la colonisation par le Champignon est limitée au cortex racinaire (l'endoderme n'est pas franchi : photo C), dans les parties jeunes de la racine.

Mycorhizes et type de relation interspécifique

L'association entre les deux partenaires s'apparente à première vue à une **symbiose**, association à bénéfices réciproques :

Du point de vue nutritionnel : le spermaphyte, **autotrophe**, fournit non seulement des glucides solubles au champignon **hétérotrophe**, mais également des vitamines et des facteurs de croissance. En retour, le champignon, grâce à ses filaments mycéliens, constitue une très vaste surface de contact avec le sol et assure ainsi une meilleure absorption hydrique et minérale. Les filaments permettent la capture et le stockage du phosphore, de l'azote, du calcium et du potassium en grandes quantités et pendant une longue durée. Le champignon peut synthétiser divers acides aminés à partir de l'ammonium du sol, qui peuvent ensuite être cédés à la racine.

Du point de vue physique : le champignon joue un rôle de **protection**, le manteau constituant une barrière contre de nombreux agents pathogènes pour les racines ; certains champignons peuvent même sécréter des antibiotiques empêchant le développement de ces pathogènes. Il stimule également les défenses de la plante : le réseau de Hartig induit dans le cortex la différenciation des cellules à tanins (photo B) contenant des molécules phénoliques toxiques pour les pathogènes. Enfin, les champignons mycorhiziens créent un véritable réseau dans le sol entre les racines des divers arbres, tous interconnectés via les filaments mycéliens.

Toutefois, cette symbiose, à l'instar de celle qui s'établit chez les lichens (fiche 41), est teintée de **parasitisme**. C'est le cas, par exemple, des plantes mixotrophes qui tirent leur matière organique du champignon, lui-même l'obtenant d'autres spermaphytes au travers du réseau mycélien.

FIGURE 14. Mycorhizes : caractéristiques générales et étude d'échantillons.
D'après BOUTIN *et al.* (2015).

b. L'importance des mycorhizes dans la mise en relation trophique des peuplements d'Embryophytes

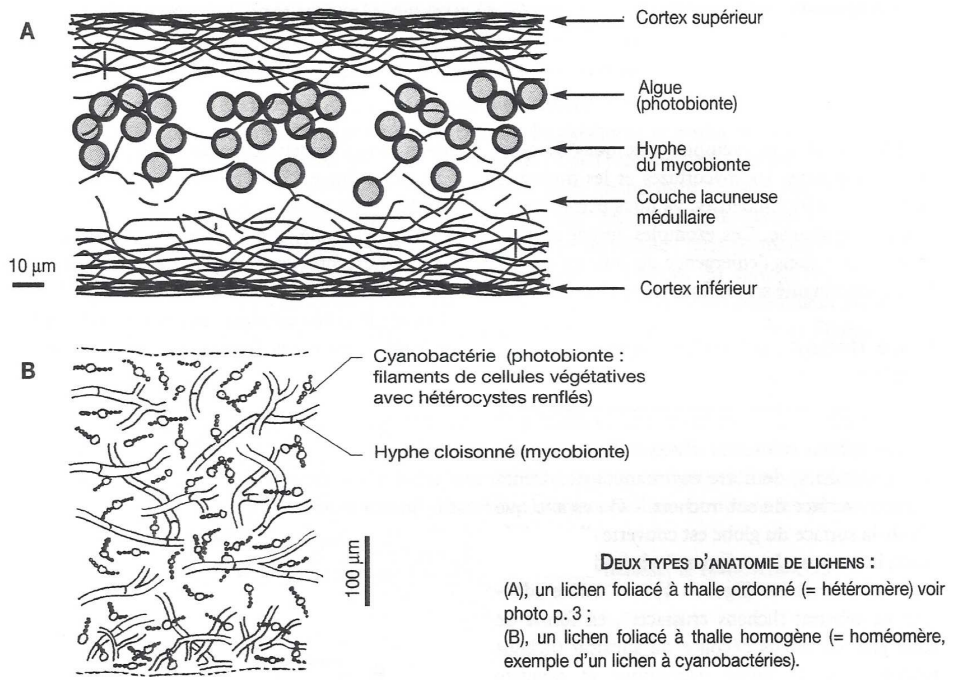
- Des **études variées** montrent qu'un **même mycélium** est fréquemment **associé à plusieurs plantes**, notamment **plusieurs arbres** dans les forêts. Il y a ainsi une **mise en commun d'éléments nutritionnels** provenant d'individus végétaux variés.

c. Le caractère variable des relations interspécifique : cas des plantes mixotrophes

- Certaines **plantes mixotrophes** ***tirent leur matière organique des champignons qui l'obtiennent eux-mêmes d'autre plantes*** ; l'association est alors clairement teintée de **parasitisme**.

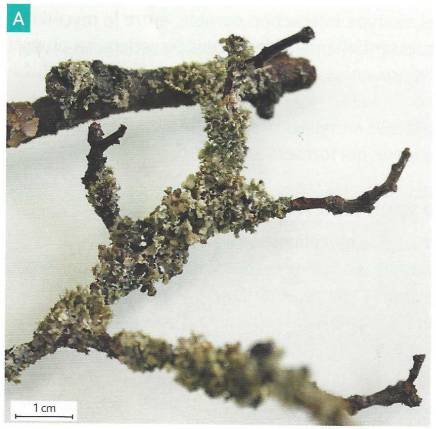
2. Les Lichens : une symbiose entre un 'mycète' (souvent Ascomycète) et une 'algue' (Algue vert, Cyanobactérie)

- Pour faire une bonne étude des **mycorhizes**, vous avez à votre disposition :
  - La page 15 (figure 14) qui en résume les caractéristiques principales
  - Les clichés, notamment microscopiques, de la page 15 qu'il convient de compléter.
  - Un Lichen à préparer (cf. protocole activité 3) et un espace ci-contre pour faire un dessin d'observation (ce seront des schémas dans la version corrigée en ligne).
  - Les lames du commerce montrant des Lichens.
  - L'annexe 2 précisant les caractéristiques de cette association.

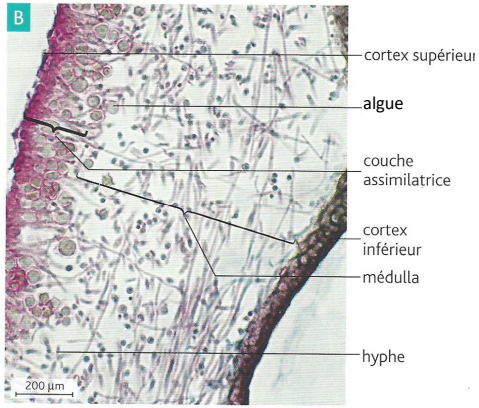


DEUX TYPES D'ANATOMIE DE LICHENS :
(A), un lichen foliacé à thalle ordonné (= hétéromère) voir photo p. 3 ;
(B), un lichen foliacé à thalle homogène (= homéomère, exemple d'un lichen à cyanobactéries).

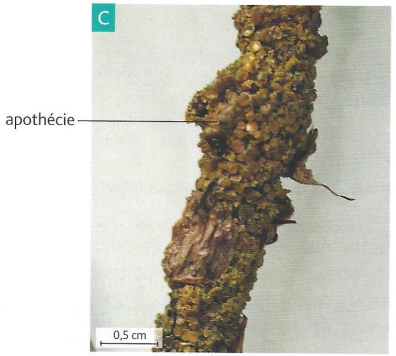
Schéma montrant les deux grandes types d'anatomie des Lichens. D'après SELOSSE (2000).



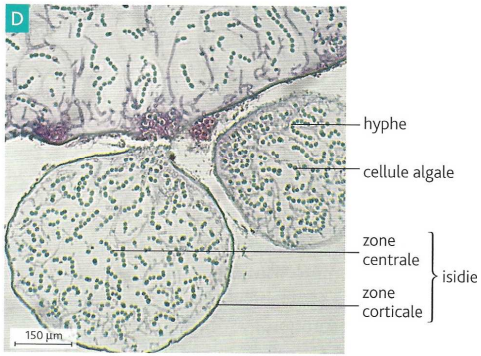
Lichen foliacé.



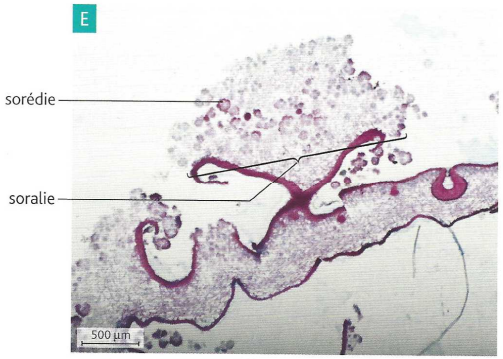
Coupe transversale dans un lichen hétéromère (MO × 400).



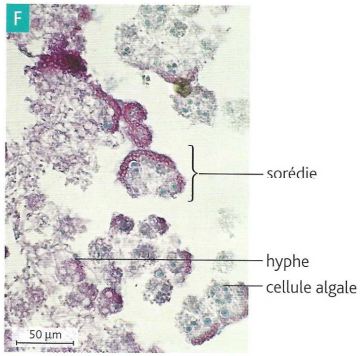
Lichen montrant des apothécies.



Coupe transversale d'isidies (MO × 400).



Coupe transversale dans une soralie (MO × 100).



Coupe transversale dans des sorédies (MO × 400).

Les **lichens** sont des associations stables entre un champignon et une algue. Le champignon est appelé **mycobionte**, il appartient généralement au groupe des Ascomycètes, mais peut également être un Basidiomycète ou un Deutéromycète. L'algue, ou **photobionte**, est formée de cellules chlorophylliennes portant le nom de **gonidies**. L'algue peut être une algue verte (le plus fréquent), une cyanobactérie ou les deux à la fois.

Anatomie du thalle

La forme du thalle est variable selon l'espèce et selon le substrat sur lequel le lichen se développe (murs, bois, sol, roches…). Deux types d'anatomie existent :

- les **lichens homéomères** où les gonidies sont réparties uniformément parmi les hyphes ;
- les **lichens hétéromères** où les gonidies sont regroupées en une couche assimilatrice à l'intérieur d'une structure clairement organisée (photo B), avec du haut vers le bas un cortex supérieur, une couche assimilatrice (avec les gonidies), une médulla constituée d'hyphes lâchement enchevêtrées et un cortex inférieur, émettant des rhizines dans le cas d'un lichen foliacé (photo A).

Mode de reproduction sexuée

Seul le champignon est concerné par la reproduction sexuée : des **spores** sont produites puis libérées. Dans le cas des Ascomycètes, les spores sortent d'un organe spécifique dont la morphologie est caractéristique de l'espèce. La photo C montre, par exemple, des apothécies, en forme de coupes, contenant les spores. Après leur libération, les spores germent et doivent capturer des algues terrestres libres afin de donner un nouveau thalle lichénique.

Mode de reproduction asexuée

La reproduction asexuée peut survenir suite à la fragmentation accidentelle du thalle ou faire intervenir des organes spécialisés. Dans tous ces cas, algue et champignon sont disséminés ensemble :

- les **sorédies** (photo F), enchevêtrements simples d'hyphes et de cellules algales, sont libérées à partir de déchirures du thalle appelées **soralies** (photo E). Très légères, elles peuvent être disséminées très loin de leur thalle d'origine, par le vent ou par l'eau.
- les **isidies** (photo D) sortes de petits bourgeons en surface du thalle, sont aussi des enchevêtrements d'hyphes et de cellules algales, mais organisées en une structure corticale formée d'hyphes agglomérées et une zone centrale plus lâche formée d'hyphes et de cellules algales. Plus lourdes que les soralies, elles ne peuvent être disséminées aussi loin et assurent plutôt une colonisation locale du substrat.

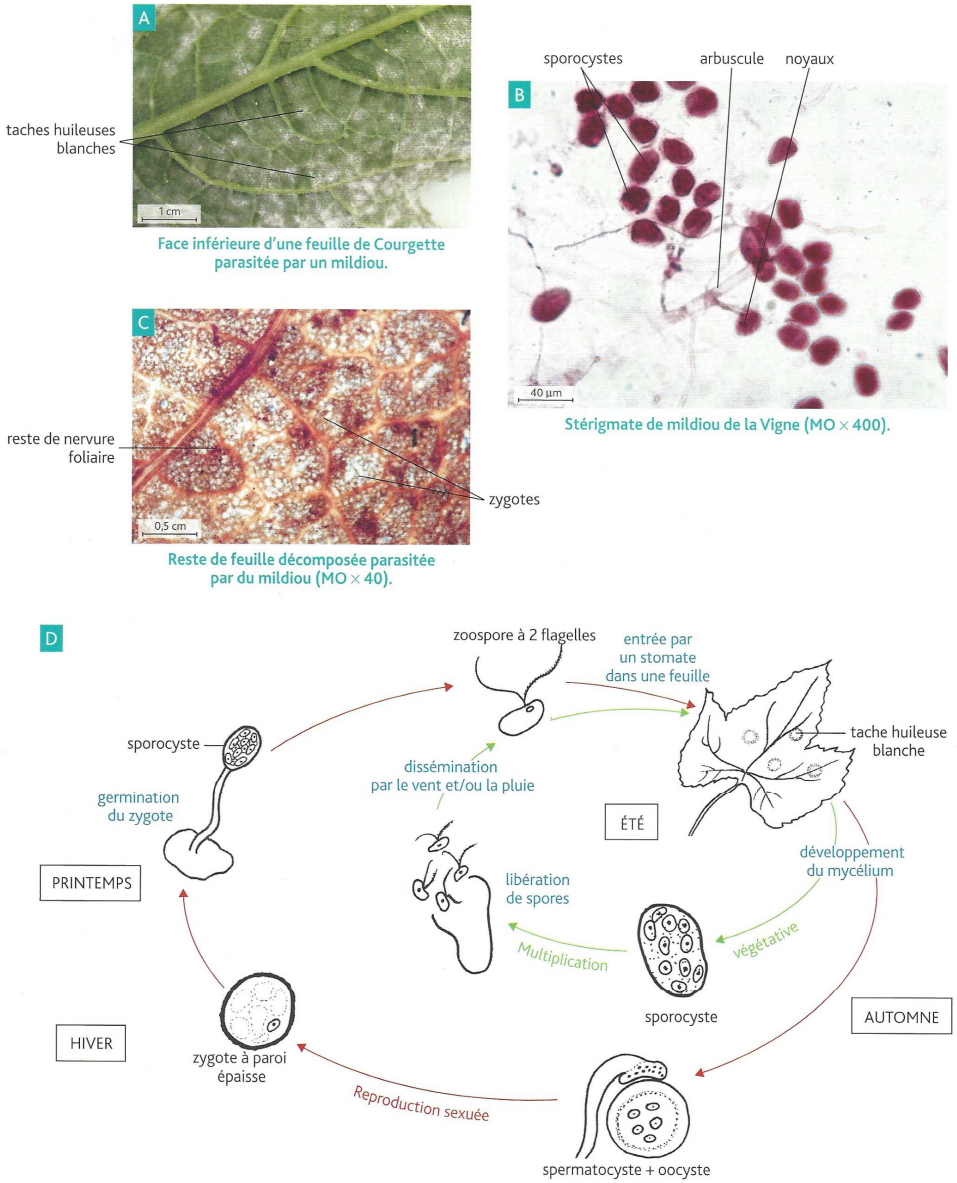
Lichen et type de relation interspécifique

Cette association s'inscrit dans le cadre des **interactions durables**. Sa nature est classiquement considérée comme une **symbiose** : le champignon fournit l'eau, les sels minéraux et assure une protection à l'algue. En échange, celle-ci réalise la photosynthèse et fournit au champignon une partie de sa production de matière organique. Toutefois, cette symbiose est maintenant discutée, certains y voyant plutôt une forme de **parasitisme** du champignon sur l'algue. Les arguments évoqués sont les suivants :

- le photobionte est capable d'une vie libre alors que le mycobionte est dépendant de l'algue ;
- le photobionte a une taille plus petite lorsqu'il est associé au mycobionte que lorsqu'il est libre ;
- le mycobionte produit un haustorium, analogue à celui produit dans le cas d'un parasitisme (fiche 42).

FIGURE 15. Lichens : caractéristiques générales et étude d'échantillons.
D'après BOUTIN *et al.* (2015).

B. L'état parasite ('mycètes' variés) : l'exemple d'un Mildiou (Oomycète)



Le **mildiou** désigne un ensemble de maladies cryptogamiques dues à des champignons parasites. La plus célèbre d'entre elles est le mildiou de la Vigne, dû à *Plasmopara viticola*, espèce appartenant au rang taxonomique des **Oomycètes**. Les Oomycètes sont des **hétérokontes**, proches phylogénétiquement des Algues brunes. *Plasmopara viticola* est qualifié de **pseudo-champignon**.

Forme infectieuse et mode d'infection de l'hôte

Le thalle est sous la forme d'un **mycélium**, ensemble de filaments blanchâtres nommés **siphons**, non cloisonnés transversalement. Ces filaments s'insinuent entre les cellules parenchymateuses de la Vigne, principalement au niveau des feuilles. Ils se nourrissent des composés pectiques de la paroi, mais, ça et là, perforent les parois cellulaires du parenchyme de l'hôte et émettent des suçoirs ou **haustoriums** en direction du cytoplasme des cellules. *Plasmopara* est un **endoparasite obligatoire**.

Reproduction asexuée du parasite en conditions favorables

Peu après l'invasion des tissus de l'hôte par le mycélium, des tâches huileuses blanchâtres apparaissent sur leur face inférieure (photo A). Une observation microscopique montre que des filaments mycéliens font saillie à l'extérieur de la feuille via l'ostiole d'un stomate. Ils forment des sortes d'arbuscules dont les rameaux se terminent par trois pointes appelées **stérigmates** (photo B). Chaque stérigmate porte un petit organe ovoïde, le **sporocyste**, entouré d'une paroi et renfermant un cytoplasme et 5 ou 6 noyaux. Cette formation est très rapide (une nuit), et, dès le matin suivant, les sporocystes se détachent et sont **disséminés**.

Si les conditions sont favorables (temps humide et assez chaud), le développement se poursuit : le cytoplasme des sporocystes se fragmente et se condense autour des noyaux pour former 5 à 8 spores, petites cellules nues. Les spores forment rapidement deux flagelles assez longs, qui leur permettent, après déhiscence du sporocyste, de nager dans l'eau météoritique sur une faible distance, d'où leur nom de **zoospores**. Au bout de quelques minutes, elles perdent leurs flagelles, élaborent une paroi et germent. Le tube germinatif émis subit un chimiotropisme positif de la part de substances foliaires et s'introduit dans l'ostiole d'un stomate. Parvenu dans la feuille, il se ramifie dans les espaces intercellulaires et les envahit.

Les sporocystes et les spores propagent le parasite tout l'été si les conditions météorologiques le permettent. Il s'agit donc d'une **multiplication végétative**.

Reproduction sexuée du parasite en automne

La **reproduction sexuée** intervient en automne. À l'intérieur des tissus parasités, un filament se divise en deux branches. Aux extrémités de cette fourche se forment deux renflements de taille inégale, qui s'isolent du reste du mycélium. Le plus petit est un gamétocyste mâle ou **spermatocyste**, le plus grand, un gamétocyste femelle ou **oocyste.** Suite au contact entre les deux cellules, la paroi du spermatocyste émet un tube copulateur qui perfore la paroi de l'oocyste et permet le passage du noyau entouré d'un peu de cytoplasme. La **plasmogamie** et la **caryogamie** sont immédiates : il y a formation d'un **zygote**. Ce dernier, entouré d'une paroi épaisse et au cytoplasme déshydraté, reste dans les tissus de la feuille parasitée (photo C) jusqu'à sa chute et sa décomposition. C'est donc un **organe de résistance**, capable d'assurer la pérennité de l'espèce pendant la mauvaise saison.

Au printemps, si les conditions météorologiques sont favorables, le zygote germe, son noyau se divise, le cytoplasme se réhydrate et augmente de volume, ce qui fait éclater la paroi. Il en sort un court siphon dont l'extrémité distale présente un bouquet de sporocystes : le cycle recommence (schéma D).

FIGURE 16. Le Mildiou de la Vigne et autres Milidous.
D'après BOUTIN *et al.* (2015).

C. Le saprophytisme ('mycètes' variés) : la nutrition à partir de matière organique « morte »

- Le **saprophytisme** est un état trophique où ***les organismes décomposent de la matière organique provenant d'organismes « vivants » morts*** (bois, humus déjà décomposé par des 'procaryotes', fruits, cadavres, déjections…). Beaucoup de champignons visibles (Basidiomycètes, Ascomycètes) sont des **saprophytes**.
- Les 'champignons' participent ainsi à l'élimination ou plus exactement au **recyclage de la matière organique** contenue dans les organismes morts.

FIGURE 17. Le Champignon de Paris (*Agaricus bisporus*), un saprophyte célèbre.
Wikipédia (consultation janvier 2018)

D. La mycophagie : la consommation de 'mycètes' (variés)

FIGURE 18. Écureuil (Mammifères) tenant un Basidiomycète qu'il s'apprête à consommer.
Image répandue sur Internet (source exacte inconnue).

- De nombreuses **espèces animales** (Insectes, Nématodes, Mollusques… voire Vertébrés) sont **mycophages**, c'est-à-dire qu'elle ***se nourrissent de 'mycètes'*** (figure 18).

Annexe 1 : organisation et fonctionnement des mycorhizes

A. Une symbiose fréquente et plus ou moins spécifique

- On appelle **mycorhize** une ***association symbiotique entre une racine d'Angiosperme ou de Gymnosperme et un mycélium d'Eumycètes (Basidiomycètes ou Ascomycètes)***.

Un **mycélium** est la ***partie végétative d'un 'champignon' constituée de filaments cellulaires nommés hyphes*** [en théorie, le mot *hyphe* est féminin].

- Ces **associations** concerneraient **90 % des plantes** et sont **quasiment obligatoires** chez les **plantes de grande taille** comme les arbres, l'absorption subapicale de solution hydrominérale au niveau des **poils absorbants** étant **insuffisante** par rapport aux besoins de la plante.

Bien que la **majeure partie des prélèvements hydrominéraux** soient réalisés par des **mycorhizes**, le **modèle** souvent présenté dans les manuels est celui des **poils absorbants**. Cela s'explique par le fait que les **manipulations** sont plus **aisées** sur des **jeunes plantes** que sur des plantes imposantes, plus rarement choisies comme sujet d'étude.

- Il existe des **espèces fongiques inféodées à une espèce donnée d'Angiosperme (ou Gymnosperme)** alors que **d'autres peuvent s'associer à plusieurs espèces différentes**.

Un **mycélium** donné peut être associé à **une seul plante** ou **un seul arbre** ou bien établir des **mycorhizes** avec **plusieurs individus végétaux** (issus ou non de la même espèce), parfois très **nombreux** : il peut alors arriver que **certains nutriments** soient « **prélevés** » **par le champignon** à une **plante** et **donnés** à **une autre plante** avec laquelle il est associé.

1. Deux grands types de modalités d'associations : les mycorhizes ectotrophes et les mycorhizes endotrophes

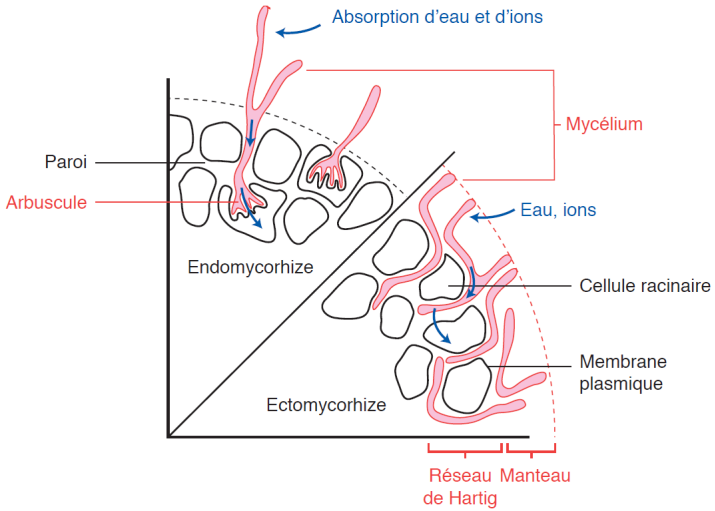
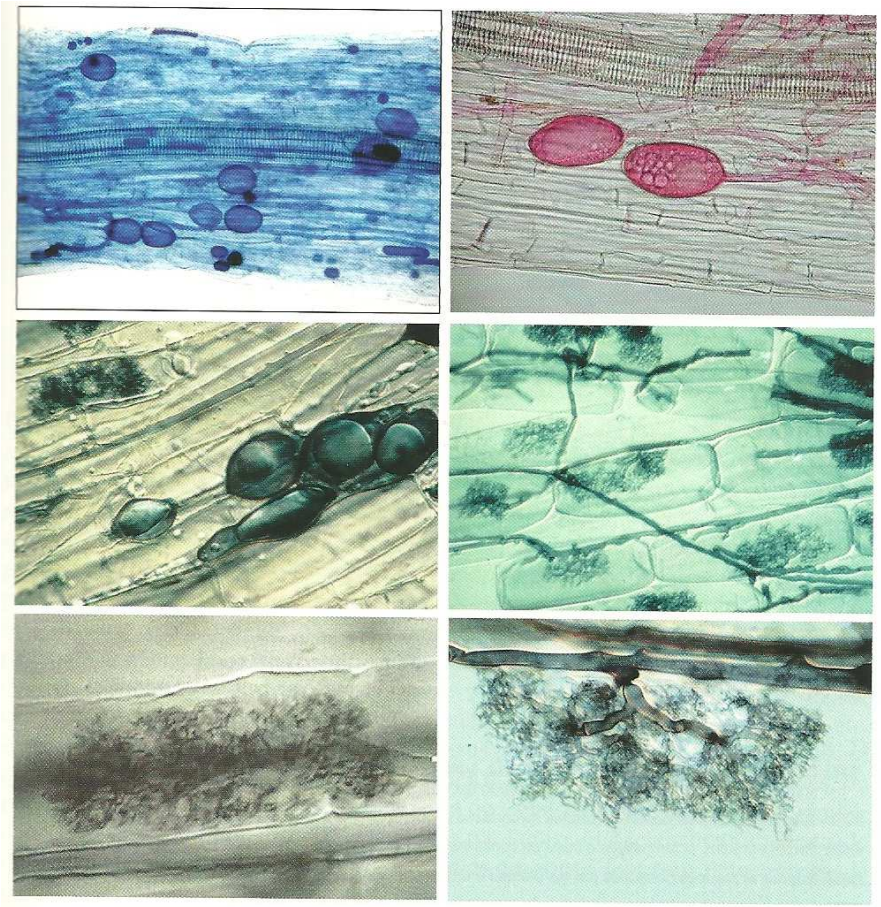


FIGURE 19. Endomycorhize vs. ectomycorhize. D'après SEGARRA *et al.* (2015).



Type *Arum*.

En haut à gauche : racine endomycorhizée dans laquelle les structures fongiques symbiotiques ont été colorées en bleu (voir annexe 2) ; on voit des vésicules, de gros hyphes longitudinaux (surtout en bas de la photo) et des arbuscules sous forme de petits nuages flous ; la bande striée au centre de la racine est le faisceau des vaisseaux qui conduisent la sève (photo Yolande Dalpé).

En haut à droite : mycélium de Gloméromycète (coloré en rouge) portant des vésicules terminales qui contiennent des globules lipidiques (photo in Peterson *et al.*, 2006).

Au milieu à gauche : vésicules (en bas à droite de la photo) et un arbuscule (en haut à gauche) ; on voit aussi des hyphes longitidinaux (photo reproduite avec l'aimable autorisation de Mark Brundrett).

Au milieu à droite : hyphes portant des arbuscules ; chaque arbuscule occupe une cellule du cortex racinaire (photo Mark Brundrett).

Photos du bas : vue à fort grossissement de deux arbuscules de forme différente (photo à gauche : Paola Bonfante, in Bonfante, Perroto, 1995, à droite : photo reproduite avec l'aimable autorisation de Mark Brundrett).

FIGURE 20. Observation microscopique de l'organisation mycorhizienne (endomycorhizes arbusculo-vésiculaires). D'après GARBAYE (2013).

- On peut distinguer (figures 19-21) :
  - Les **mycorhizes ectotrophes** ou **ectomycorhizes** : ***le mycélium forme un manchon mycélien ou manteau mycélien autour des racines et colonise les parois des cellules du cortex racinaire sans pénétrer dans les cellules*** ; ***l'ensemble du mycélium insinué dans le réseau pariétal*** constitue le **réseau de Hartig** (au niveau duquel s'effectuent les **échanges**). Les ectomycorhizes se trouvent plutôt au niveau des **arbres**.
  - Les **mycorhizes endotrophes** ou **endomycorhizes** : ***le mycélium ne forme pas de manchon et pénètre profondément dans les cellules au-delà du cadre délimité par les parois, en repoussant la membrane plasmique de la cellule végétale et en formant un arbuscule digité au niveau duquel s'effectue l'essentiel des échanges***. Ce type de mycorhizes peut aussi présenter d'autres formes (**vésicules**, **pelotons**…) ; les **vésicules** semblent comprendre essentiellement des **réserves lipidiques** (figure 20).
- Dans tous les cas, il n'y **pas de fusion** entre les **cellules** des **deux organismes** qui restent physiquement **séparées par leurs membranes respectives**.

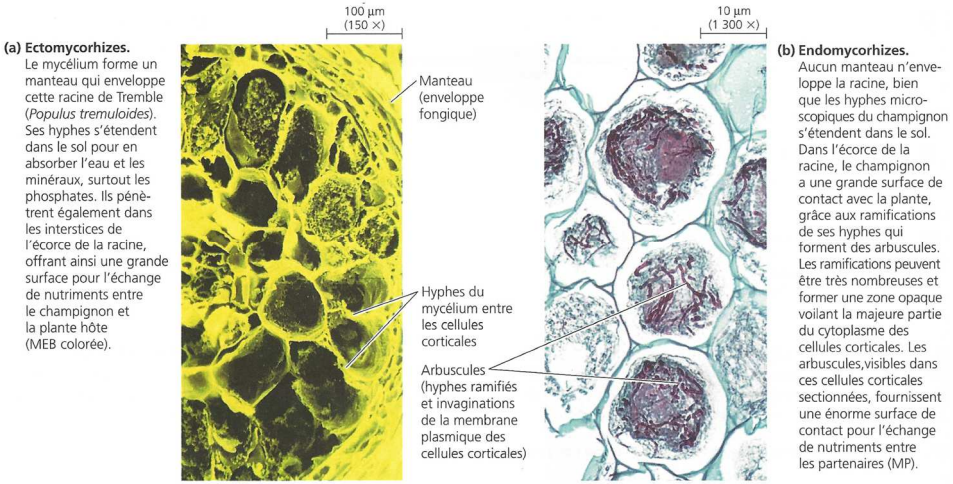


FIGURE 21. Endomycorhize vs. ectomycorhize. D'après CAMPBELL & REECE (2004).
Les « arbuscules » légendés ressemblent davantage à des **pelotons**.

2. Des organismes qui peuvent souvent vivre à l'état libre… quoique

- Les **deux protagonistes** de la symbiose peuvent souvent **vivre séparément**, quoique la **symbiose** devienne **nécessaire pour la plante** quand elle devient **imposante**.
- De l'autre côté, certaines espèces de 'champignons' sont **quasi-exclusivement** voire parfois **exclusivement mycorhiziennes**, ne pouvant subvenir à leurs besoins trophiques sans association.
- Les **'champignons'** qui peuvent vivre **à l'état libre** sont alors généralement **saprophytes**, c'est-à-dire qu'ils ***se nourrissent de matière organique en décomposition***, ce qui peut leur suffire.

B. Une mise en place (mycorhization) associée à un dialogue moléculaire

- On appelle **mycorhization** ***l'ensemble des processus qui permettent la mise en place d'une symbiose mycorhizienne***.
- On a pu mettre en évidence l'existence d'un **dialogue moléculaire** entre plante et champignon dans l'**établissement de la symbiose** (figure 22) :
  - Production de **facteurs Myc**, des ***substances polysaccharidiques ou lipo-polysacccharides***, par le **champignon** ;

Des **recherches agronomiques récentes** montrent qu'on peut **augmenter les rendements agricoles** de certaines espèces cultivées en ajoutant des **facteurs Myc** dans le **sol**, ce qui favorise la mycorhization.

L'objectif serait, à terme, de pouvoir produire à grande échelle, soit par voie synthétique (chimie), soit par voie biologique, de grandes quantités de ces substances.

  - Production d'**exsudats racinaires**, souvent des **métabolites secondaires** tels que des **flavonoïdes,** par la **plante**.
- Ces signaux **modifient l'expression génétique** des deux partenaires et permettent **l'édification de la mycorhize**.

Notons que la symbiose inhibe la mise en place de poils absorbants. Les mycorhizes peuvent du reste être présentes dans les zones subérifiées voire parfois les zones liégeuses.

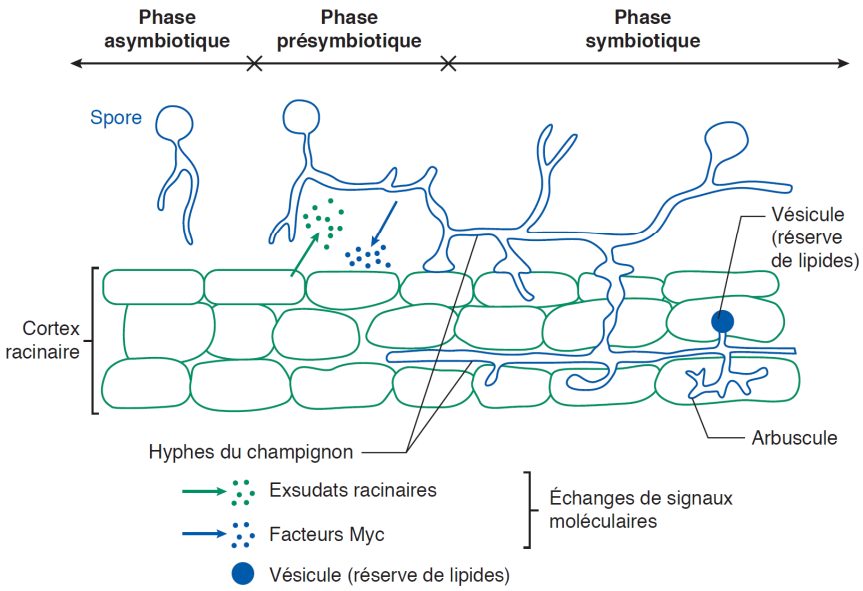


FIGURE 22. Mise en place d'une mycorhize (mycorhization). D'après SEGARRA *et al.* (2015).

C. Une association caractérisée par des échanges trophiques mutuellement profitables et une protection réciproque

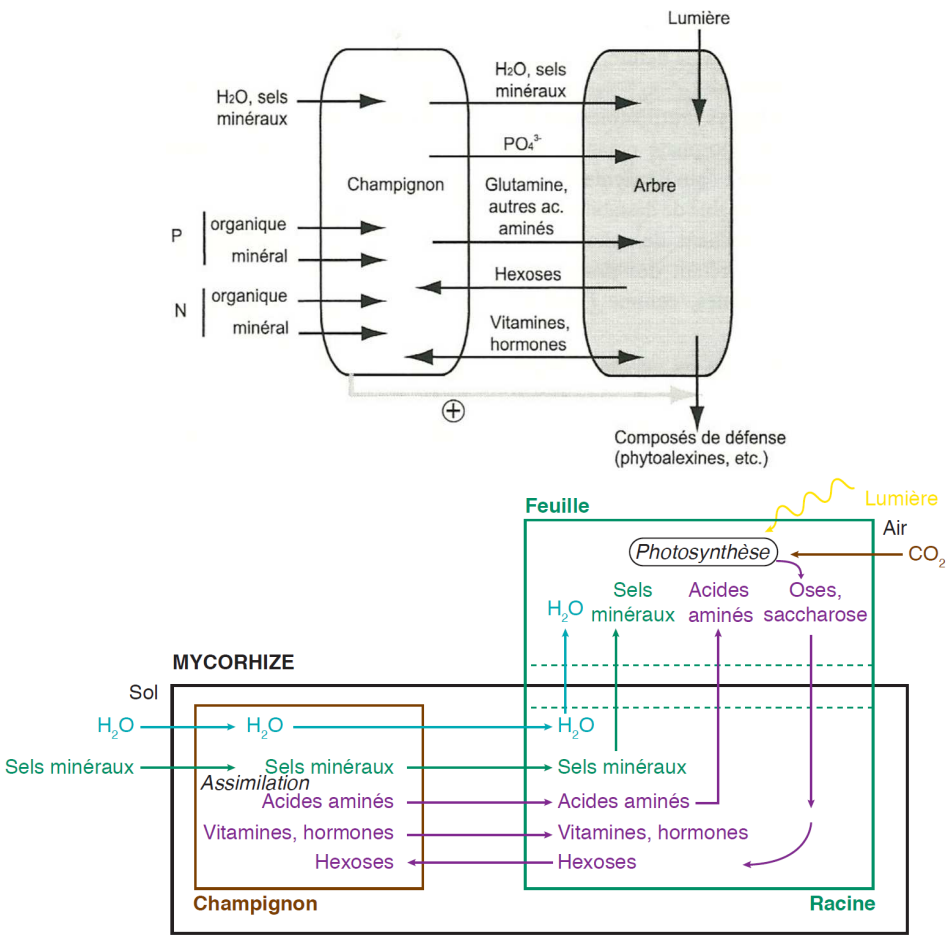
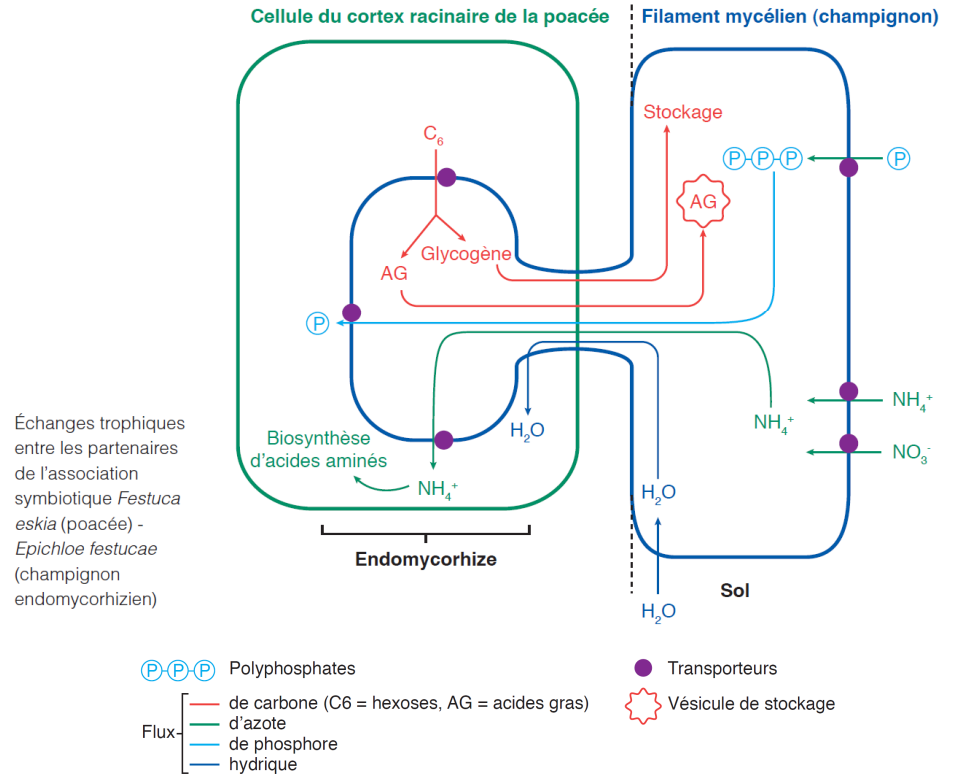


FIGURE 23. Échanges entre protagonistes d'une mycorhize : deux visions.
D'après SELOSSE (2000) et SEGARRA *et al.* (2015).

- La **mycorhize** permet des **échanges de nutriments** entre les protagonistes (figure 23 + encadré B) :
  - **Le champignon fournit à la plante** :
    - de l'**eau**,
    - des **sels minéraux** (notamment des **cations**, des **nitrates** ou encore des **phosphates**, *ces derniers étant assez difficiles à prélever chez une plante non mycorhizée*),
    - des **composés organiques azotés** (dont des **acides aminés**) ou **phosphorés** prélevés dans le milieu ou synthétisés par les cellules fongiques.
  - **La plante fournit au champignon** :
    - Des **photoassimilats** sous forme d'**hexoses** (fructose ou glucose) ; le champignon consomme **20 à 40 % des oses produits par la plante**.
    - Des **vitamines**, des **hormones**…
- La **mycorhize** intervient aussi dans les fonctions de **défense** et de **protection** :
  - Le **champignon** fournit une **protection mécanique** de la plante quand il forme un **manchon** (cas des **ectomycorhizes**)
  - Le **champignon stimule les défenses de la plante** qui produit des **tanins** (parfois accumulés dans des **cellules à tanins** en périphérie de la racine : voir TP B1) ou des **phytoalexines** qui sont des **composés limitant la prédation** des deux protagonistes par les organismes du sol.

Encadré B Gros plan sur la nature des flux entre protagonistes d'une mycorhize

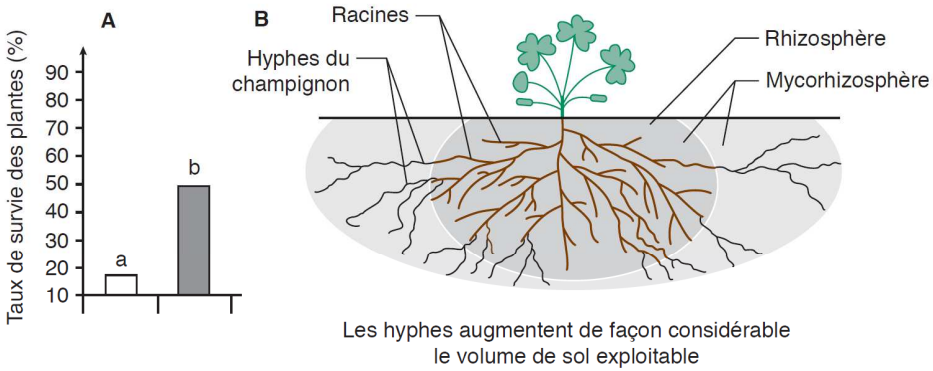
***Pour information** – D'après SEGARRA et al. (2015)*



Échanges trophiques entre les partenaires de l'association symbiotique *Festuca eskia* (poacée) - *Epichloe festucae* (champignon endomycorhizien)

D. Une association qui augmente grandement le volume de sol où la plante peut effectuer des prélèvements (rhizopshère vs. mycorhizosphère)

- On peut appeler **rhizosphère** la ***zone du sol située au voisinage des racines d'une plante et où celle-ci est susceptible de prélever directement et de manière autonome la solution du sol***. Son volume est nettement plus faible que celui de la **mycorhizosphère** qui est ***la zone du sol située au voisinage des racines d'une plante et des hyphes mycéliennes avec lesquelles la plante est impliquée dans une mycorhize*** (figure 24-B).
- Dans certains cas, notamment des situations de **manque d'une substance nécessaire à la plante**, on peut montrer que la **présence d'une mycorhize** favorise nettement la **survie** par rapport à des **plants non mycorhizés** (ex. : figure 24-A dans le cas d'un **stress hydrique**).



A. Taux de survie d'individus de *Festuca eskia* soumises à un stress hydrique
En blanc : Fétuque non mycorhizée ; en noir fétuque mycorhizée
(d'après Gibert A. et Hazard L. (2011) *Journal of Plant Ecology* **4**, 201-208)
B. Hyphes et augmentation du volume de sol exploré

FIGURE 24. Importance de la mycorhization sur l'absorption racinaire.
D'après SEGARRA *et al.* (2015).

E. L'existence de transporteurs dans les associations mycorhiziennes

- L'**absorption mycorhizienne** suppose évidemment des **transporteurs** qui ne sont pas forcément clairement identifiés (figure 25).
- De même, il apparaît que les **échanges entre les deux protagonistes** de l'association sont également permis par des **transporteurs**, là encore mal connus (figure 25).

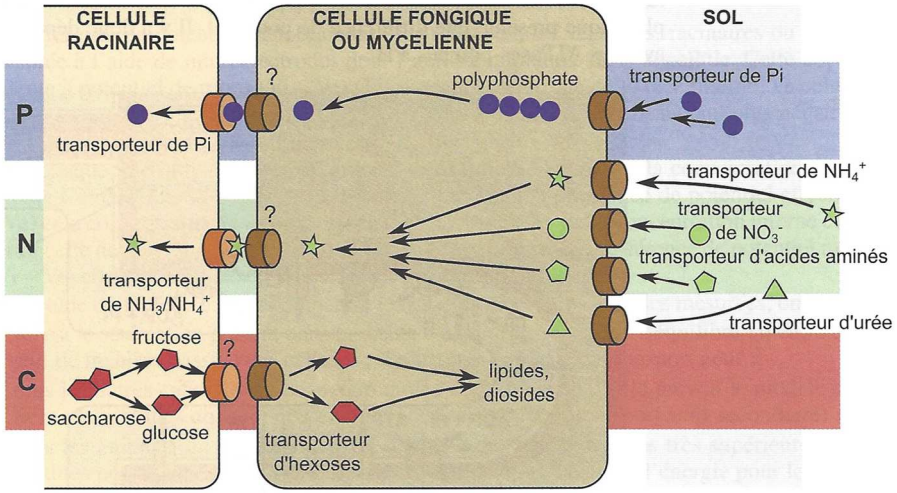


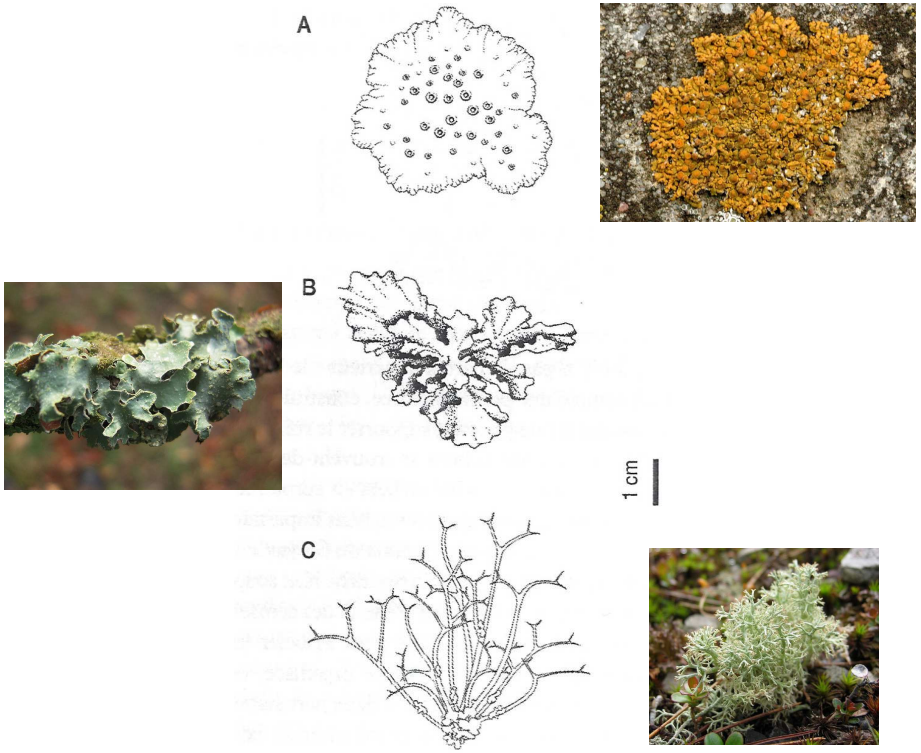
FIGURE 25. Transporteurs impliqués dans les mycorhizes [*pour information*].
D'après PEYCRU *et al.* (2014).

Annexe 2 : organisation et fonctionnement des Lichens

A. Une symbiose entre un 'mycète' (mycobionte) et une 'algue' (photobionte)

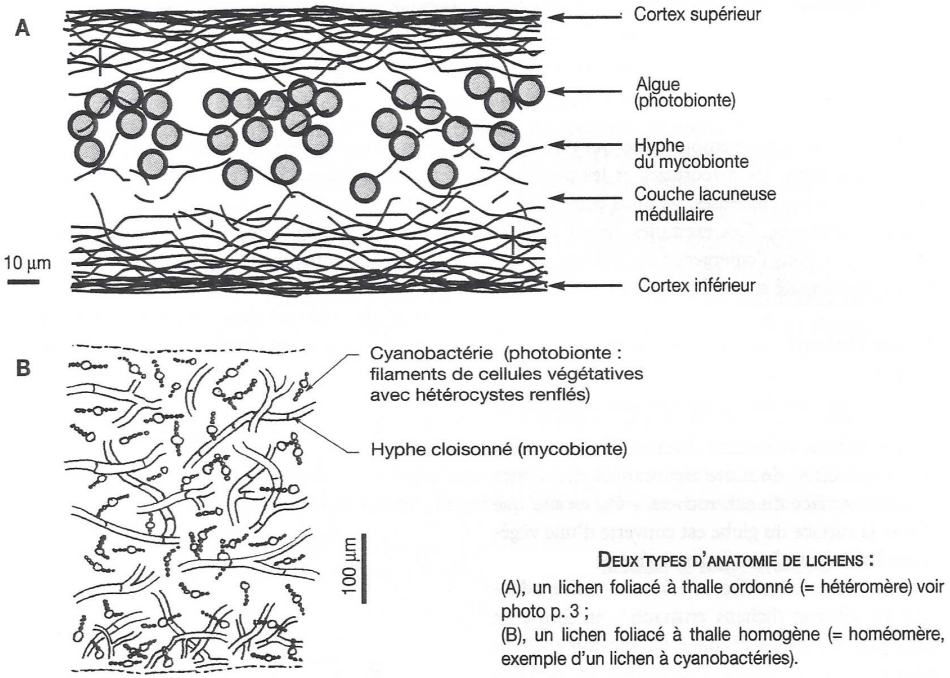
- On appelle **Lichen** une ***association symbiotique entre un 'mycète' (souvent un Ascomycète) et une algue (dans 85 % une Algue verte, 5 % des cas une Cyanobactéries et 5 % autres)***. L'association est le plus souvent **obligatoire pour le champignon** et facultative pour l'algue.
- Les **Lichens** recouvriraient 8 % des **terres émergées du globe**, colonisant notamment les **roches nues**, mais peuvent aussi vivre sur des **substrats biologiques** comme des **troncs d'arbres**.

B. Organisation des Lichens (morphologie et anatomie)



ALLURE DE QUELQUES TYPES DE LICHENS :
(A) lichen crustacé (*Caloplaca* sp.) ;
(B) lichen foliacé (*Parmelia* sp.) ;
(C) lichen arbusculeux (*Cladonia* sp.).

FIGURE 26. Typologie morphologique des Lichens. D'après SELOSSE (2000) et *Wikipédia*

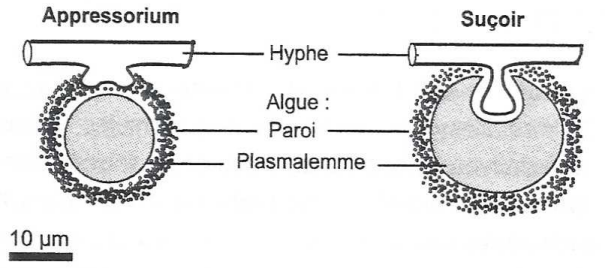


DEUX TYPES D'ANATOMIE DE LICHENS :
(A), un lichen foliacé à thalle ordonné (= hétéromère) voir photo p. 3 ;
(B), un lichen foliacé à thalle homogène (= homéomère, exemple d'un lichen à cyanobactéries).

FIGURE 27. Typologie anatomique des Lichens.
D'après SELOSSE (2000)

- **Morphologiquement**, on distingue trois grands types de Lichens (figure 26) :
  - Les **Lichens crustacés**, ***d'allure croutelleuse et encroûtante***.
  - Les **Lichens foliacés**, ***d'allure foliacée (en forme de feuille)***.
  - Les **Lichens arbusculeux**, ***ressemblant à de petites arborescences***.
- **Anatomiquement**, l'étude d'une coupe transversale typique montre :
  - Des **filaments mycéliens** (**hyphes**).
  - Des **cellules photosynthétiques** parfois nommées **gonidies**.

  On peut alors distinguer schématiquement deux grands types d'organisation (figure 27) :
  - Les **Lichens homéomères**, ***à thalle homogène où les algues sont dispersées aléatoirement et souvent de manière homogène au sein des hyphes***.
  - Les **Lichens hétéromères**, ***à thalle hétérogène où les algues sont concentrées dans un niveau médullaire (couche algale) entre deux niveaux purement mycéliens (cortex supérieur et inférieur)***.
- Les **échanges trophiques** entre hyphes et 'algues' sont favorisés par de possibles **évaginations mycéliennes** : **apressorium** ou **haustorium (= suçoir)**.



DIFFÉRENTS CONTACTS POSSIBLES ENTRE MYCOBIONTE ET PHOTOBIONTE AU SEIN D'UN LICHEN.

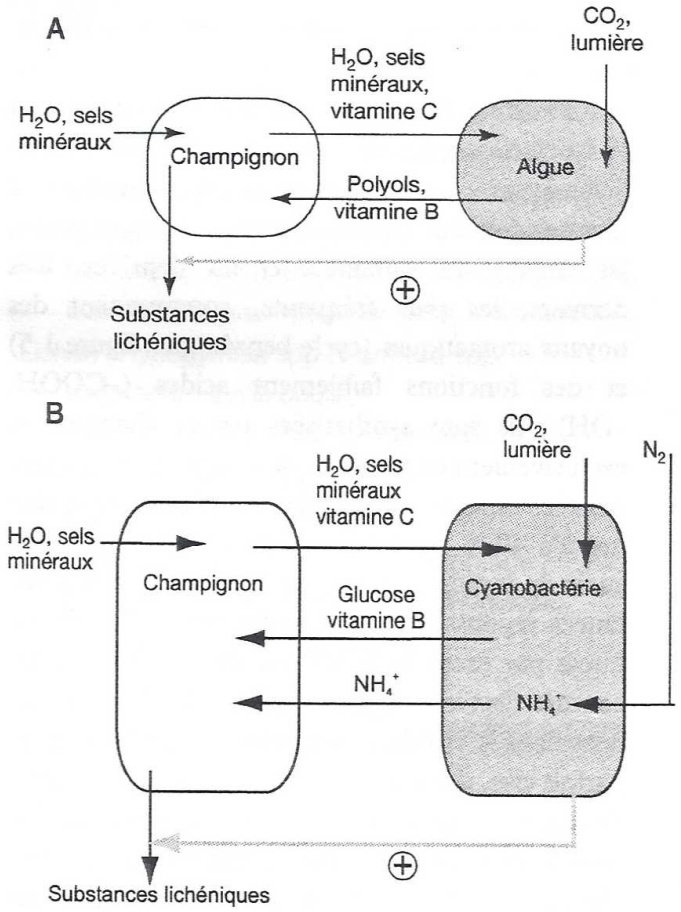
FIGURE 28. Contacts possibles entre protagonistes.
D'après SELOSSE (2000)

C. Des échanges trophiques entre protagonistes (physiologie)

- Voir figure 29.
- On notera l'**apport hydro-minéral**, voire **azoté**, permis par le **champignon** et **l'apport organique**, notamment **carboné**, permis par **l'algue**.

D. Une reproduction sexuée ou asexuée

- L'essentiel de la **reproduction de l'association symbiotique** se fait notamment de manière **asexuée**. Le Lichen émet de ***petites structures souvent sphériques comprenant des hyphes et des algues*** : **sorédies** (***boules de petite taille sans cortex facilement emportées par le vent***) libérées au niveau de **fissures (soralies)** ou des **isidies** (***boules plus volumineuses produites par bourgeonnement et présentant un cortex***) ; voir plus haut (figure 15).
- Il existe aussi une **reproduction sexuée** pour le '**champignon**' : comme la plupart des 'mycètes' impliqués sont des **Ascomycètes**, il y a alors formation d'**ascospores** au sein d'**apothécies** ou de **périthèces**.



ÉCHANGES ENTRE MYCOBIONTE ET PHOTOBIONTE AU SEIN D'UN LICHEN :
(A), cas d'une algue verte ;
(B), cas d'une cyanobactérie.

FIGURE 29. Échanges trophiques entre protagonistes.
D'après SELOSSE (2000)

Pour faire une fiche de révision : quelques pistes

Il est conseillé de maîtriser les **grandes lignes du plan**

*Le **plan** ne doit pas être perçu comme un carcan figé, ou comme un modèle de plan de dissertation à ré-utiliser en devoir, mais bien comme un **outil d'apprentissage et de structuration** des **concepts importants**. Vous pouvez en **recopier les grandes lignes** ou **annexer le plan du polycopié** directement.*

Il est conseillé de réaliser un **lexique des principales définitions**.

Il est conseillé de reproduire les **schémas (et tableaux) majeurs** :

Liste indicative.

- <u>*Organisation des champignons*</u>
° **Mucorale**
° **Ascomycète**
° **Basidiomycète**
[*Avoir compris la reproduction – mais non exigible*]

- <u>*Mycorhizes*</u>
° **Organisation** d'une mycorhize : **endo**- et **ecto**-
° **Fonctionnement** d'une mycorhize (échanges trophiques associés)
° **Dialogue moléculaire** à l'origine d'une **mycorhize** et **mycorhization**

- <u>*Lichen*</u>
° Tous les **schémas**
Bien maîtriser les **coupes transversales** !

Vous devez en outre **savoir** / **pouvoir** :
° **Exploiter/reconnaître** des **supports concrets** et **documents** en lien avec les **objets biologiques** présentés
° Pouvoir en faire des **dessins d'observation**

Références

ALBERTS, B., A. JOHNSON, J. LEWIS, M. RAFF, K. ROBERTS & P. WALTER (2004). *Biologie moléculaire de la cellule. Quatrième édition.* Traduction de la quatrième édition américaine (2002) par F. LE SUEUR-ALMOSNI. Flammarion, Paris. Première édition américaine 1983 (1986 1e édition française).

BAUTZ, A.-M. & A. BAUTZ (coll. D. CHARDARD) (2010). *Mini-manuel de Biologie animale.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 2007).

BEAUMONT, A. & P. CASSIER (1998). *Travaux pratiques de biologie animale. Zoologie, embryologie, histologie.* Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 1970).

BEAUMONT, A. & P. CASSIER (1983). *Biologie animale. Des Protozoaires aux Métazoaires épithélioneuriens. Tome **2**.* Dunod, Paris, 3e édition.

BERTHET, J. (2006). *Dictionnaire de Biologie.* De Boeck Université, Bruxelles (Belgique).

BOUJARD, D. (dir). B. ANSELME, C. CULLIN & CÉLINE RAGUÉNÈS-NICOL (2015). *Biologie cellulaire et moléculaire. Tout le cours en fiches. Licence. PACES. CAPES.* 2e édition (1e édition 2012), Dunod, Paris.

BOUTIN, V., J.-F. FOGELGESANG, J.-F. BEAUX & F. RIBOLA (2010). *Atlas de Biologie végétale BCPST 1re et 2e années.* Dunod, Paris.

BOUTIN, V., L. GERAY, Y. KRAUSS & C. VILBERT (2015). *Atlas de biologie BCPST 1re et 2e années.* Dunod, Paris.

BREUIL, M. (2007). *Biologie 1re année BCPST-véto.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

BREUIL, M. (2009). *Biologie 2e année BCPST-véto.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

CAMPBELL, N. A. & J. B. REECE (2004). *Biologie.* De Boeck Université, Bruxelles, 2e édition (1e édition 1995).

[CAMPBELL, N. A.], J. B. REECE, L. A. URY, M. L. CAIN, S. A. WASSERAMN, P. V. MINORSKY, R. B. JACKSON (2012). *Campbell Biologie.* Adaptation française J. FAUCHER & R. LACHAÎNE. Pearson, Paris (4e edition).

CASSIER, P., R. LAFONT, M. DESCHAMPS, M. PORCHET & D. SOYEZ (1998a). *La reproduction des invertébrés. Stratégies, modalités et régulation. Intérêt fondamental et appliqué.* Masson, Paris.

CASSIER, P., G. BRUGEROLLE, C. COMBES, J. GRAIN & A. RAIBAUT (1998b). *Le parasitisme. Un équilibre dynamique.* Masson, Paris.

CHASSANY, V., M. POTAGE & M. RICOU (2012). *Mini manuel de Biologie végétale.* Dunod, Paris.

COMBES, C. (1995). *Interactions durables. Écologie et évolution du parasitisme.* Masson, Paris.

COMBES, C. (2001). *L'Art d'être parasite. Les Associations du vivant.* « Champs », Flammarion, Paris, 362 pages.

DENŒUD, J., T. FERROIR, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2011). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

DENŒUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2013). *Biologie-Géologie BCPST-véto 1e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

DENŒUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2014). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

DUCREUX, G. (2002). *Introduction à la botanique.* Belin, Paris.

DUHOUX, É. & M. NICOLE (2004). *Biologie végétale. Associations et interactions chez les plantes.* Dunod, Paris.

GARBAYE, J. (2013). *La symbiose mycorhizienne. Une association entre les plantes et les champignons.* Quae, Versailles.

GARROUSTE, R. (2015). *Hémiptères de France, de Belgique, du Luxembourg et de Suisse.* Delachaux et Niestlé, Lausanne (CH).

GODINOT, C., H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2010). *Biologie-Géologie 1re année BCPST-véto.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

GORENFLOT, R. & M. GUERN (1989). *Organisation et biologie des Thallophytes.* Doin, Paris.

GRASSÉ, P.-P. & D. DOUMENC (1990). *Abrégé de Zoologie. **1**. Invertébrés.* Masson, Paris, 3e édition (1e édition 1979).

HEUSSER, S. & H.-G. DUPUY (2000). *Biologie animale. 2. Les grandes fonctions.* Dunod, Paris.

HEUSSER, S. & H.-G. DUPUY (2002). *Biologie animale. 1. Les grands plans d'organisation.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 1998).

HEUSSER, S. & H.-G. DUPUY (2015). *Atlas de biologie animale.* Dunod, Paris.

HICKMAN, Jr., C. P. & L. B. KATS (2006). *Laboratory Studies in Integrated Principles of Zoology.* McGraw-Hill, 13e édition.

HICKMAN, Jr., C. P., L. S. ROBERTS, S. L. KEEN, A. LARSON, H. I'ANSON & D. J. EISENHOUR (2008). *Integrated Principles of Zoology.* McGraw-Hill, 14e édition.

JULIARD, R. (2003). *La dicrocoeliose bovine : influence du parasitisme sur l'abuminémie.* Thèse de Doctorat vétérinaire, ENV Lyon – Université Claude Bernard, Lyon I.

LAFON, C. (2003). *La biologie autrement. 100 questions de synthèse.* Ellipses, Paris.

LECOINTRE, G. & H. LE GUYADER (2009). *Classification phylogénétique du vivant.* Illustrations D. VISSET. Belin, Paris, 3e édition (1e édition 2001).

LECOINTRE, G. & H. LE GUYADER (2013). *Classification phylogénétique du vivant. Tome 2. Plantes à fleurs. Cnidaires. Insectes. Squamates. Oiseaux. Téléostéens.* Belin, Paris.

MADIGAN, M. & J. MARTINKO (2007). *Brock. Biologie des micro-organismes.* Pearson Education France, Paris, 11e édition américaine (2006) traduite sous la dir. de D. PRIEUR.
MAISSIAT, J., J.-C. BAEHR & J.-L. PICAUD (1998). *Biologie animale. Invertébrés.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 1996).
MADIGAN, M. & J. MARTINKO (2007). *Brock. Biologie des micro-organismes.* Pearson Education France, Paris, 11e édition américaine (2006).
MEYER, S., C. REEB & R. BOSDEVEIX (2008). *Botanique. Biologie et physiologie végétales.* Maloine, Paris, 2e édition (1e édition 2004).
MILLER, S. A. & J. P. HARLEY (2015). *Zoologie.* De Boeck, Bruxelles.
MORÈRE, J.-L., R. PUJOL (coord.), J.-C. CALLEN, L. CHESNOY, J.-P. DUPONT, A.-M. GIBERT-TANGAPREGASSOM, G. RICOU, N. TOUZET (dir.) et colloborateurs (2003). *Dictionnaire raisonné de Biologie.* Frison-Roche, Paris.
MOROT-GAUDRY, J.-F. (1997). Sources et cycle de l'azote. *In* MOROT-GAUDRY, J.-F. (dir.). *Assimilation de l'azote chez les plantes. Aspects physiologique, biochimique et moléculaire.* INRA, Paris.
OTRANTO, D. & D. TRAVERSA (2002). A review of dicrocoeliosis of ruminants including recent advances in the diagnosis and treatment. *Veterinary Parasitology*, **107**: 315-335.
PEYCRU, P. (dir.), J.-F. FOGELGESANG, D. GRANDPERRIN, B. AUGÈRE, J.-C. BAEHR, C. PERRIER, J.-M. DUPIN & C. VAN DER REST (2010*a*). *Biologie tout-en-un BCPST 1re année.* Dunod, Paris, 2e édition (2009), réimpression corrigée (2010) (1e édition 2006).
PEYCRU, P. (dir.), J.-C. BAEHR, F. CARIOU, D. GRANDPERRIN, C. PERRIER, J.-F. FOGELGESANG & J.-M. DUPIN (2010*b*). *Biologie tout-en-un BCPST 2e année.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 2007).
PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER J.-F. FOGELGESANG, & C. VAN DER REST (2013). *Biologie tout-en-un BCPST 1re année.* Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 2006).
PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, J.-F. BEAUX, F. CARIOU, P. CARRÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER, J.-F. FOGELGESANG, S. MAURY, É. QUÉINNEC, E. SALGUEIRO & C. VAN DER REST (2014). *Biologie tout-en-un BCPST 2e année.* Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 2007).
RAVEN, P. H., G. B. JOHNSON, J. B. LOSOS, S. S. SINGER (2007). *Biologie.* De Boeck, Bruxelles.
RICHARD, D. (dir.), P. CHEVALET, S. FOURNEL, N. GIRAUD, F. GROS, P. LAURENTI, F. PRADÈRE & T. SOUBAYA (2012). *Biologie. Tout le cours en fiches. Licence. CAPES. Prépas.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 2010).
RICHARD, D. (dir.), P. CHEVALET, S. FOURNEL, N. GIRAUD, F. GROS, P. LAURENTI, F. PRADÈRE & T. SOUBAYA (2015). *Biologie. Tout le cours en fiches. Licence. CAPES. Prépas.* Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 2010).
RICKLEFS, R. E. & G. L. MILLER (2005). *Écologie.* De Boeck, Bruxelles (B), XXII + 821 pages.
RIDET, J.-M., R. PLATEL & F. J. MEUNIER (1992). *Zoologie. Des Protozoaires aux Échinodermes.* Ellipses, Paris.
ROLAND, J.-C., A. & D. SZÖLLÖSI & J.-C. CALLEN (1993) (4e édition, 1974). *Atlas de biologie cellulaire.* Masson, 124 pages.
ROLAND, J-C., H. EL MAAROUF-BOUTEAU & F. BOUTEAU (2008*a*). *Atlas. Biologie végétale. **1**. Organisation des plantes sans fleurs, algues et champignons.* Dunod, Paris, 7e édition (1e édition 1980).
ROLAND, J-C., F. ROLAND, H. EL MAAROUF-BOUTEAU & F. BOUTEAU (2008*b*). *Atlas. Biologie végétale. **2**. Organisation des plantes à fleurs.* Dunod, Paris, 9e édition (1e édition 1977).
SEGARRA, J. (dir.), É. CHAUVET, C. COLSON-PROCH, M. HUILLE, M. LABROUSSE, F. LOUET, F. METZ & E. PIÈTRE (2014). *Biologie BCPST 1re année.* Ellipses, Paris.
SEGARRA, J. (dir.), G. BAILLY, O. CHASSAING, D. FAVRE, T. JEAN, F. METZ, C. MEUNIER & E. PIÈTRE (2015). *Biologie BCPST 2e année.* Ellipses, Paris.
SELOSSE, M.-A. (2000). *La symbiose. Structures et fonctions, rôle écologique et évolutif.* Vuibert, Paris.
SPERANZA, A. & G. L. CALZONI (2005). *Atlas de la structure des Plantes. Guide de l'anatomie microscopique des Plantes vasculaires en 285 photos.* Belin, Paris.
TIRARD, C., R. BARBAULT, L. ABBADIE & N. LOEUILLE, 2012. *Mini manuel d'Écologie.* Dunod, Paris.
TURQUIER, Y. (1989). *L'organisme dans son milieu. Précis de zoologie fonctionnelle. Tome **1**. Les fonctions de nutrition.* Doin, Paris.
VOISIN, A.-S., P. CELLIER & M.-H. JEUFFOY (2015). Fonctionnement de la symbiose fixatrice de N_2 des légumineuses à graines : impacts agronomiques et environnementaux. *Innovations agronomiques*, **43** : 139-160.

Plan du TP

Objectifs : extraits du programme **1**
Introduction **1**

I. Diversité, reproduction, organisation et composition des 'mycètes' **2**
A. Diversité et classification du groupe **2**
1. Les 'mycètes' au sens traditionnel : un ensemble polyphylétique d'organismes 2
2. Les Eumycètes : un groupe monophylétique diversifié 2
B. Étude de quelques Eumycètes **3**
1. Étude d'une Mucorale ('zygomycètes') 3
a. Caractéristiques et cycle de reproduction 3
b. Étude pratique 4
2. Étude d'un Ascomycète (ex. Morille, Pézize) 5
a. Caractéristiques et cycle de reproduction 5
b. Étude pratique 5
3. Étude d'un Basidiomycète (ex. Champignon de Paris, Coprin) 7
a. Caractéristiques et cycle de reproduction 7
b. Étude pratique 7
C. Quelques remarques transversales sur le cycle de reproduction et la ploïdie chez les Eumycètes **9**
D. Détermination de la composition pariétale et des réserves des Eumycètes **10**

II. Quelques exemples de relations entre les 'mycètes' et les écosystèmes **11**
A. Étude de deux symbioses **11**
1. Les mycorhizes : des interactions entre Eumycètes variés et Embryophytes (surtout Spermaphytes) 11
a. Étude microscopique (et macroscopique) des mycorhizes 12
b. L'importance des mycorhizes dans la mise en relation trophique des peuplements d'Embryophytes 13
c. Le caractère variable des relations interspécifique : cas des plantes mixotrophes 13
2. Les Lichens : une symbiose entre un 'mycète' (souvent Ascomycète) et une 'algue' (Algue vert, Cyanobactérie) 13
B. L'état parasite ('mycètes' variés) : l'exemple d'un Mildiou (Oomycète) **15**
C. Le saprophytisme ('mycètes' variés) : la nutrition à partir de matière organique « morte » **16**
D. La mycophagie : la consommation de 'mycètes' (variés) **16**

Annexe 1 : organisation et fonctionnement des mycorhizes **17**
A. Une symbiose fréquente et plus ou moins spécifique **17**
1. Deux grands types de modalités d'associations : les mycorhizes ectotrophes et les mycorhizes endotrophes 17
2. Des organismes qui peuvent souvent vivre à l'état libre… quoique 18
B. Une mise en place (mycorhization) associée à un dialogue moléculaire **18**
C. Une association caractérisée par des échanges trophiques mutuellement profitables et une protection réciproque **19**
D. Une association qui augmente grandement le volume de sol où la plante peut effectuer des prélèvements (rhizopshère vs. mycorhizosphère) **20**
E. L'existence de transporteurs dans les associations mycorhiziennes **20**

Annexe 2 : organisation et fonctionnement des Lichens **21**
A. Une symbiose entre un 'mycète' (mycobionte) et une 'algue' (photobionte) **21**
B. Organisation des Lichens (morphologie et anatomie) **21**
C. Des échanges trophiques entre protagonistes (physiologie) **22**
D. Une reproduction sexuée ou asexuée **22**
Pour faire une fiche de révision : quelques pistes **23**
Références **23**
Plan du TP **24**

© Tanguy JEAN. Les textes et les figures originales sont la propriété de l'auteur. Les figures extraites d'autres sources restent évidemment la propriété des auteurs ou éditeurs originaux.
Document produit en décembre 2017 • Dernière actualisation : octobre 2019.
Contact : Tanguy.Jean4@gmail.com
Adresse de téléchargement : https://www.svt-tanguy-jean.com/

Ces données sont placées sous licence *Creative Commons Attribution – Pas d'Utilisation commerciale 4.0 CC BY NC* qui autorise la reproduction et la diffusion du document, à condition d'en citer explicitement la source et de ne pas en faire d'utilisation commerciale.