

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE SCIENCES

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE
LA NATURE ET DE LA VIE

N° :



FILIERE : BIOTECHNOLOGIE

OPTION : BIOTECHNOLOGIE
VEGETALE

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : Amari Mouna et Nakache Chayma

Intitulé

Les champignons mycorhiziens et les écosystèmes
forestiers

Soutenu devant le jury composé de :

BENDERRADJI Laid	Pr	Université de M'Sila	Président
GHADBANE Mouloud	Pr	Université de M'Sila	Rapporteur
YAHIAOUI Merzouk	MCA	Université de M'Sila	Examineur

Année universitaire : 2020 /2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿وَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا﴾

(طه: ١١٤)

صِدْقَةُ اللَّهِ الْعَظِيمِ

REMERCIEMENTS

*Louange à Dieu qui nous a aidés et nous a donné force
Et patience pour accomplir cette humble œuvre
Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde
gratitude et nos remerciements au **Professeur Ghadbane
Mouloud** pour avoir accepté de nous encadrer dans cette étude
et pour la qualité de son suivi tout au long de la période de ce
travail.*

*Nous adressons également nos sincères remerciements et notre
appréciation aux membres respectés du jury pour leur accord
pour juger nos actions.*

*Enfin, nous adressons également nos
Sincères*

*Remerciements à tous les membres du corps
Professoral et administratif de la Faculté des sciences naturelles
et de la vie de l'Université de Msila, ainsi qu'aux parents et
amis, qui nous ont toujours encouragés lors de la préparation de
cette mémoire.*



Dédicace

*Louange à Dieu et prière et paix sur le Messager d'Allah
Louange à Dieu qui a réussi à accomplir cette humble œuvre que
je dédie :*

*À une dame avec amour, gentillesse et loyauté envers **ma mère***

*À qui était la raison de mon succès avec ses conseils et ses
sacrifices, que Dieu le protège et prolonge sa vie, **mon père***

*Parmi toutes les familles, Dieu Tout-Puissant a choisi le frère
pour serrer le haut du bras. Je remercie tous mes frères, mon
soutien et la source de ma force : **Sameh, Akram, Saddam, Bilal,**
Siradj et ma sœur **Aya.***

*À mes neveux : **Assil, Rim, Djoud, Rami, alaa, Mouhammed ali.***

*À mes amis qui ont partagé avec eux la douceur de l'année :
chayma, sahwa.*

*À tous ceux qui m'ont appris des lettres de l'élémentaire à
aujourd'hui*

*À tous ceux qui sont tombés par inadvertance de ma plume, je
dédie ce travail.*

Amari Mouna

Dédicace

Gloire à « *ALLA* » le tout puissant et le miséricordieux, qui a exaucé mon rêve et m'a donné force et patience d'accomplir ce modeste travail.

Je dédie ce travail

À qui je le préfère à moi-même, ma chère, tendre, lumière de ma vie, **ma mère**

Pour ceux qui ont sacrifié leur vie, leurs efforts et leur argent pour mon éducation et mon éducation, jusqu'à ce que j'atteigne ce qu'est **mon père**

Pour ceux dont l'amour coule dans mes veines et se réjouit du souvenir de mon cœur **mes frères** « Mereime, Soumya, Abed

assamed, Souhaïbe, Nour, Takwa »

À tous famille de **Nakache**

À qui le destin m'a connu les meilleures

copines « Manel, Mouna, Amira, Amina, Akila,

Yassamine, zahra »

À tous **mes professeurs**

♥ chayma ♥

Liste des figures

Figure 01 : les sept principaux embranchements de champignons	05
Figure 02 : Phylogénie et classification des champignons	05
Figure 03 : Cycle de vie de <i>Rhizopus</i>	06
Figure 04 : Les modes de vie des champignons	07
Figure 05 : Représentation schématique des différents types des mycorhizes	11
Figure 06 : Une vue de la colonisation des racines par des champignons MA dans certaines plantes hôtes. Entre les deux, il y a quelques spores mycorhiziennes que l'on trouve habituellement dans le sol	12
Figure 07 : diversité des associations mycorhiziennes chez les Angiospermes	16

Liste des Tableaux

Tableau 01 : les différents type des champignons mycorhizes et ses partenaires.....**14**

Liste des abréviations

CMA : Champignons mycorhiziens à arbuscules

MA :Mycorhize à arbuscule

VAM : Mycorhizes à vésicules et arbuscules

ADN : L'acide désoxyribonucléique

Résumé

Notre étude vise à présenter les informations les plus importantes sur un type de champignon appelé les mycorhizes en raison de son importance dans plusieurs domaines, notamment au niveau environnemental et agricole. C'est l'organisme le plus symbiotique de la surface de la terre et l'essentiel de son interaction avec les plantes. Son importance dans la formation de l'écosystème productif, l'étude de ces champignons et leurs relations symbiotiques sont devenues un champ fertile dans les domaines de la recherche scientifique à l'heure actuelle, et notre pays a travaillé ces dernières années sur cette question en tant qu'investissement dans des projets de revégétalisation et d'instauration de la désertification, qui est un avenir prometteur.

Les mots clés : mycorhizes, relations symbiotiques, l'écosystème, revégétalisation, désertification.

Abstract

Our study aims to present the most important information on a type of fungus called mycorrhizas due to its importance in several fields especially on the environmental and agricultural level. It is the most symbiotic organism on the face of the earth and most of its interaction with plants. Its importance in shaping the productive ecosystem, the study of these fungi and their symbiotic relationships have become a fertile field within the fields of scientific research at the present time, and our country has been working in recent years on this issue as an investment in projects to revegetation and establish desertification, which is a promising future.

Key words: mycorrhizae, symbiotic relationships, ecosystem, Revegetation, desertification.

ملخص

تهدف دراستنا إلى عرض أهم المعلومات على نوع من الفطريات المسمى بالجزريات نظرا لأهميته في عدة ميادين خاصة على مستوى الجانب البيئي والزراعي إذ أنها أكثر الكائنات التكافلية على وجه الأرض وأغلب تفاعلها مع النبات ويعتبر هذا التكافل مهما للنباتات وتعتمد عليه في الصمود خصوصا في البيئات القاسية وبسبب أهميتها في تشكيل النظام البيئي الإنتاجي، أصبحت دراسة هذه الفطريات، وعلاقتها التكافلية، مجالاً خصباً ضمن مجالات البحث العلمي في الوقت الحالي. وتعمل بلادنا في السنوات الأخيرة على هذا الموضوع واستثماره في مشاريع إعادة الغطاء النباتي ومقامة التصحر فهو مستقبلي واعد.

الكلمات المفتاحية: الفطريات الجذرية، العلاقات التكافلية، النظام البيئي، إعادة الغطاء النباتي، التصحر.

Table des Matières

Remerciements

Dédicace

Liste des figures

Liste des Tableaux

Liste des abréviations

Résumé

Introduction **1**

Chapitre I

I.	1. Les caractères généraux des champignons	4
I.	2. Le système de classification et d'identification des champignons	4
I.	2.1. Classification classique	4
I.	2.2. Classification phylogénétique	4
I.	3. La reproduction chez les champignons	6
I.	3.1. Reproduction asexuée	6
I.	3.2. Reproduction sexuée	6
I.	4. La mode de vie	7
I.	4.1. Saprophytisme	7
I.	4.2. Parasitisme et pathogénie	7
I.	4.3. Symbiose	7
I.	5. L'importance des champignon mycorhizes	8
I.	5.1. L'importance en domaine médecine	8
I.	5.2. L'importance en domaine alimentaire	8
I.	5.3. L'importance en domaine économique	8
I.	5.4. L'importance dans écosystème	8
I.	5.5. L'importance dans agrosystème	8
I.	6. Généralités sur les mycorhizes	8
I.	7. Historique	9
I.	8. La définition des mycorhizes	10
I.	9. Les différents types de mycorhizes	11
I.	9.1. Les mycorhizes à arbuscule	11
I.	9.1.1. Mycorhizes éricoïdes	12

I.	9.1.2. Mycorhizes orchidoïdes.....	13
I.	9.2. Ectendomycorhizes.....	13
I.	9.3. Ectomycorhizes.....	13
I.	10. Partenaires.....	14

Chapitre II

II.	1. Diversité typologique des champignons mycorhiziennes	16
II.	2. Les déterminants de la biodiversité fongique d'un écosystème forestier :	17
II.	3. Les rôles des CMA dans la réhabilitation des sols dégradés	17
II.	4. Le rôle des mycorhizes	17
II.	4.1. Le rôle des mycorhizes dans la nutrition phosphatée des arbres forestier	17
II.	4.2. La stabilité structurale des sols.....	18
II.	4.3. Alimentation en eau.....	18
II.	4.4. Activités hormonales.....	18
II.	4.5. Protection contre les organismes pathogènes.....	18
II.	4.6. Autres fonctions des mycorhizes.....	19
II.	4.7. Efficacité des champignons mycorhizes.....	19
II.	4.8. Mycorhizes et pépinières forestiers.....	19
	Conclusion.....	21

Références bibliographiques

Introduction

Introduction

Introduction

Dans la nature, la majorité des végétaux terrestres vit en symbiose avec des champignons. Cette étroite relation entre les plantes supérieures et les micro-organismes que sont les champignons s'élabore au niveau des racines. Les organes résultants de cette association sont appelés mycorhizes (**Brundrett, 1991**). Le terme « mycorhize » a été proposé par Frank, 1885. Il vient de la combinaison de deux mots, l'un grec *mukes* (champignon) et l'autre latin *rhiza* (racine), il désigne donc essentiellement l'association symbiotique entre des champignons et les racines des plantes. (**Mohammedi, 2018**)

Les associations mycorhiziennes jouent également un rôle clef dans le fonctionnement et la stabilité des écosystèmes terrestres en intervenant fortement dans les relations plante – plante. Améliorant ainsi la productivité et la biodiversité végétales dans ces écosystèmes. La restauration et la préservation de la biodiversité (« la diversité de la vie sur terre ») constituent des priorités dans l'élaboration des stratégies de lutte contre la pauvreté et de développement durable au niveau planétaire. En effet (**Duponnois et al., 2010**) la biodiversité est soumise à des changements draconiens suite aux conditions environnementales et activités humaines. Sa restauration et sa préservation participe sous différentes formes au bien-être de la biosphère et en particulier de l'homme. Cependant il est nécessaire de préserver les ressources naturelles et de les gérer avec précaution et intelligence dans la mesure où il faut les valoriser sans les perdre. (**Bouazza Marouf, 2016**)

Parmi les composantes de la biosphère, les formations végétales sont particulièrement sensibles à ces changements. Leur dégradation engendre des dysfonctionnements dans le biofonctionnement et la stabilité des écosystèmes terrestres. (**Tilman et Downing 1994**) Ce dysfonctionnement écologique ne permet plus au couvert végétal d'assurer sa pérennisation et son développement. La capacité d'un écosystème à supporter diverses perturbations et à adopter différentes stratégies pour recouvrir certaines de ses propriétés originelles a été nommée « capacité de résilience ». Cette capacité est fortement dépendante du degré d'établissement et de fonctionnement des symbioses mycorhiziennes. (**Duponnois et al., 2010**)

Les symbioses mycorhiziennes constituent un élément clé dans la dynamique et la productivité de l'écosystème mais également les processus assurant la coexistence des plantes (**Janos, 1980**). Les champignons mycorhiziens exercent également une pression sélective sur les microorganismes saprophytes du sol tant au niveau de leur diversité génétique que de leur diversité fonctionnelle et constituent ainsi un complexe trophique associant le symbiote, la microflore mycorhizosphérique et la plante. Ils ont aussi un rôle significatif dans l'organisation spatiale et temporelle de l'évolution et de l'écosystème. En conséquence, les champignons mycorhiziens, peuvent être considérés comme des

Introduction

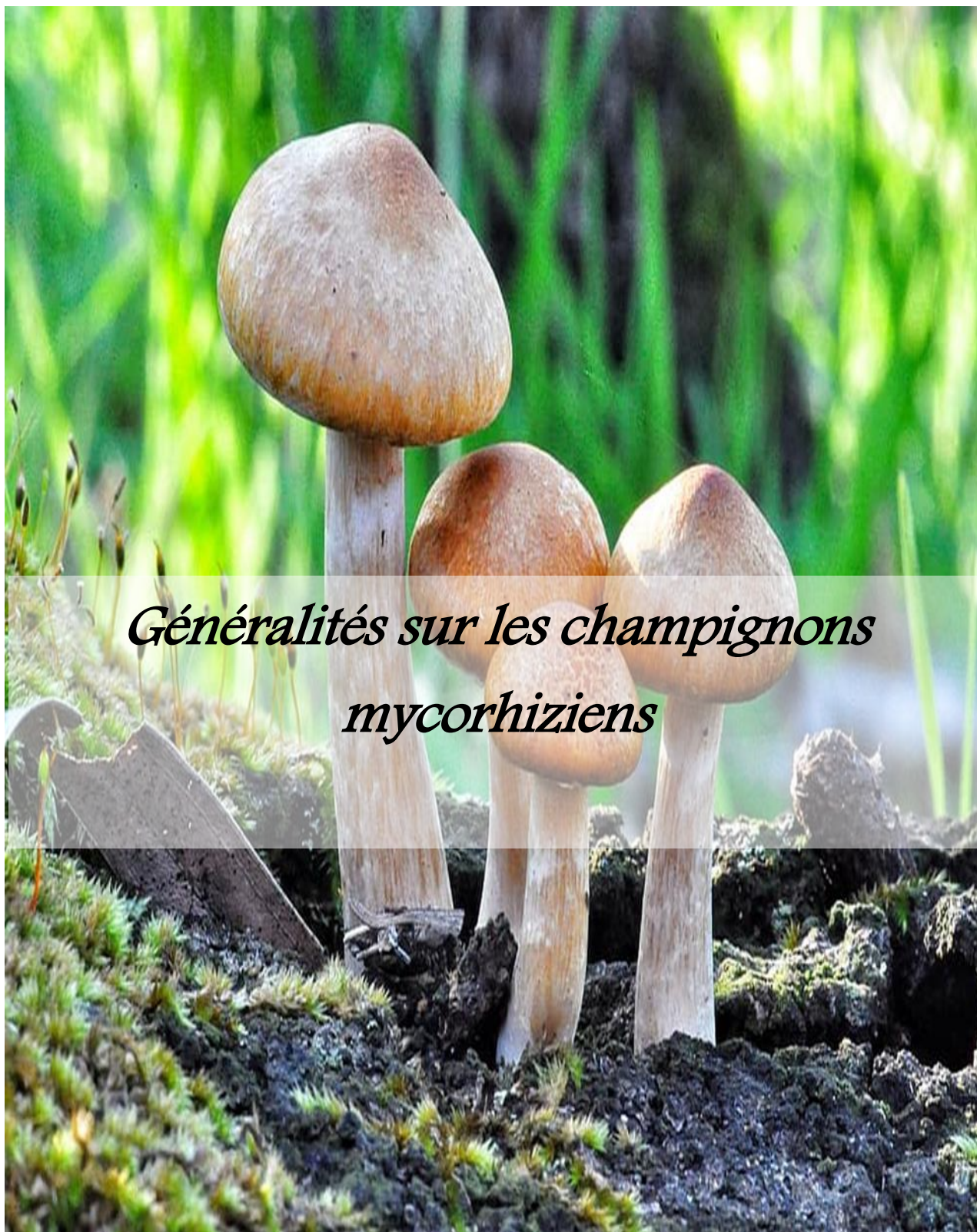
composantes clés dans les mécanismes biologiques assurant la capacité de résilience d'un écosystème et doivent être considérés au même titre que le choix de la plante dans les stratégies de réhabilitation des sols dégradés. (**Bouazza Marouf, 2016**)

Il existe plusieurs études en Algérie sur ce sujet afin de protéger la richesse forestière et de lutter contre la désertification.

Notre travail se compose des trois chapitres :

- ❖ **Le premier chapitre** : présente des généralités sur les mycorhizes.
- ❖ **Le deuxième chapitre** : présente les rôles des mycorhizes dans l'écosystème forestier.

Chapitre I



Généralités sur les champignons mycorrhiziens

1. Les caractères généraux des champignons

Les champignons encore appelés mycètes ou fungi, sont classés dans le règne Fongique (**Bouchet et al., 2005**). Ils représentent l'un des plus importants groupes d'organismes sur Terre et jouent un rôle clé dans un grand nombre d'écosystèmes. (**Mueller et Schmit, 2007**)

Ce sont des organismes eucaryotes sont dépourvus de chlorophylle et sont tous hétérotrophes (**Lemoine et Claustres, 2002**) ; le glycogène est le polysaccharide de réserve principale et caractérisés par une paroi cellulaire contenant la chitine constituée de résidus N-acétylglucosamine, polysaccharide présent surtout chez les insectes (**Deacon, 2005; Mesfek, 2014**).

D'un point de vue structural, on trouve une grande variété de champignons. Ils sont classés en deux grandes catégories : la forme levure unicellulaire et la forme mycélienne pluricellulaire constituée d'hyphes. Certaines espèces ont la capacité d'adopter les deux formes. (**Calvez, 2009; Dufrense, 2018**)

I. 2. Le système de classification et d'identification des champignons

I. 2.1. Classification classique :

La classification des champignons a été constamment remaniée. Les champignons ont été classés sur la base de leur morphologie, selon leurs caractères phénotypiques (morphologiques et/ou biochimiques) et également selon leurs habitats, leurs localisations géographiques et leurs modes de vie (**Mesfek, 2014**).

I. 2.2. Classification phylogénétique :

L'avantage des analyses phylogénétiques est d'étudier les champignons à l'échelle de la spore mais aussi sur de très petites quantités d'ADN (**Taylor, 2000**). La classification des champignons adoptée par des nombreux mycologues et la plus couramment utilisée est celle de **Hibbett et al., (2007)** dans laquelle le règne fongique peut être réparti en 8 embranchements : Microsporidies, Chytridiomycètes, Blastocladiomycètes, Néocallimastigomycètes, Zygomycètes, Gloméromycètes, Ascomycètes et Basidiomycètes. Tous ces embranchements sont monophylétiques à l'exception des zygomycètes qui sont polyphylétiques caractérisant par un taux de mutation très élevés.

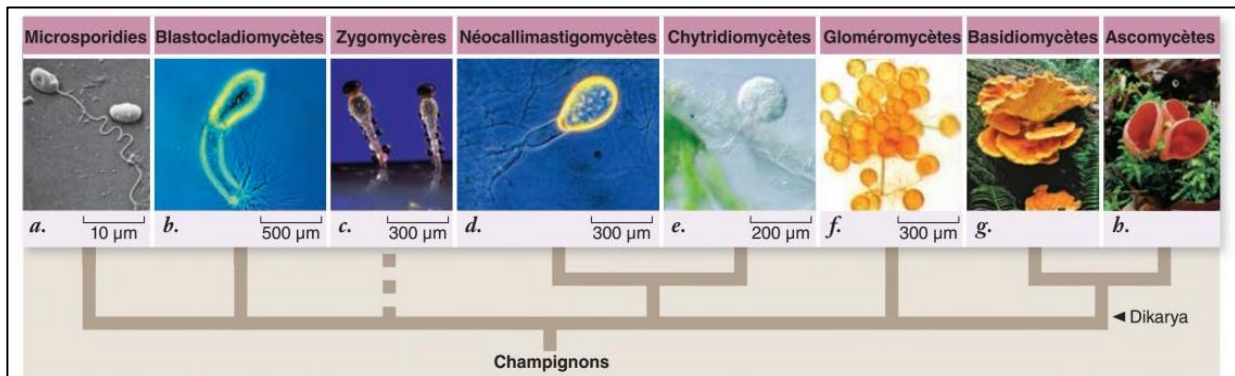


Figure 01 : Les sept principaux embranchements de champignons (Raven *et al.*, 2011).

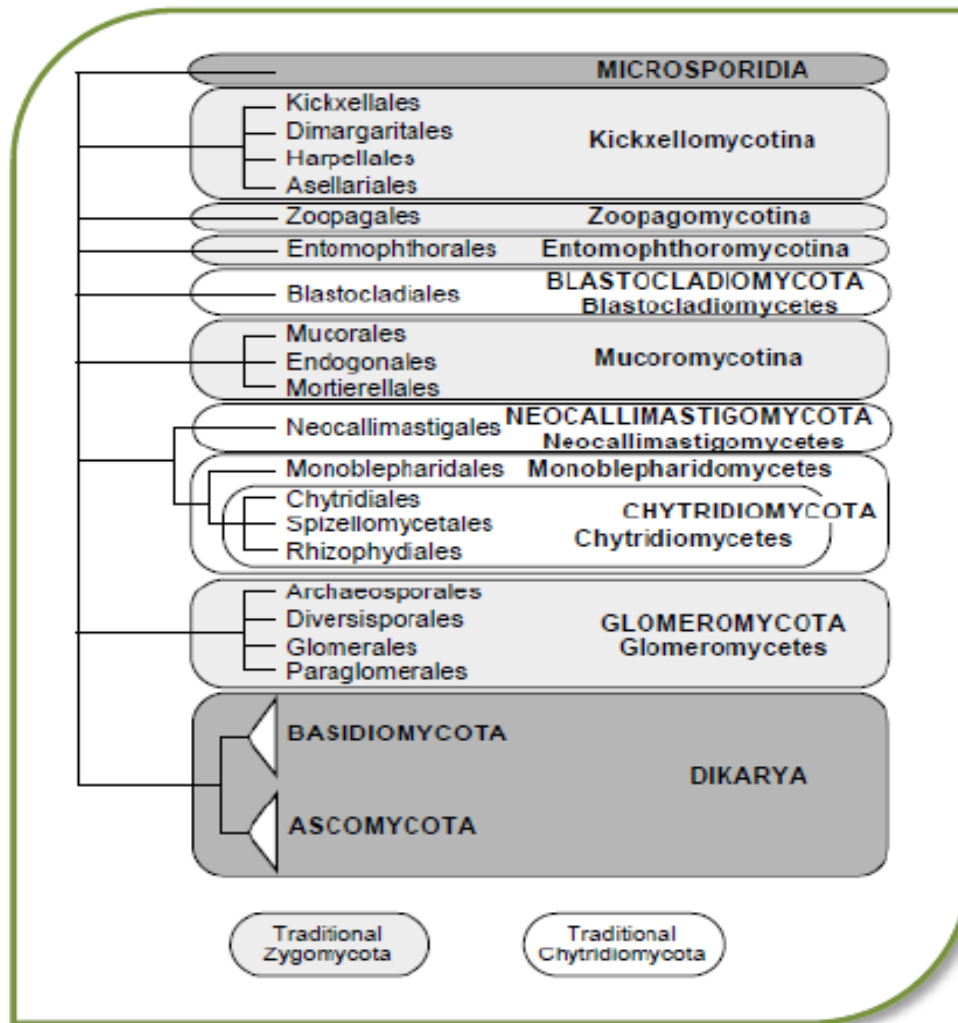


Figure 02 : Phylogénie et classification des champignons (Hibbett *et al.*, 2007).

I. 3. La reproduction chez les champignons

La reproduction des champignons est complexe, reflétant ainsi l'hétérogénéité de leur mode de vie. Elle peut être sexuée ou asexuée, bien que certains champignons alternent entre les deux types de reproduction. (Clémence Momo Dongmo, 2009)

I. 3.1. Reproduction asexuée :

La reproduction asexuée est la production non sexuée des spores (sans fécondation). Les méthodes de reproduction asexuée communément rencontrées chez les champignons peuvent être :

- fragmentation d'une partie du thalle en fragments
- scission ou bourgeonnement du thalle en cellules-filles
- bourgeonnement *de novo* de spores mitotiques "vraies" à partir du thalle. (Nasraoui, 2015)

I. 3.2. Reproduction sexuée :

la reproduction sexuée chez les champignons implique la copulation et la fécondation aboutissant à l'union de deux noyaux compatibles. Le processus de la reproduction sexuée consiste en trois phases : la phase plasmogamie, ensuite la phase la caryogamie puis la phase dicaryon. (Nasraoui, 2015)

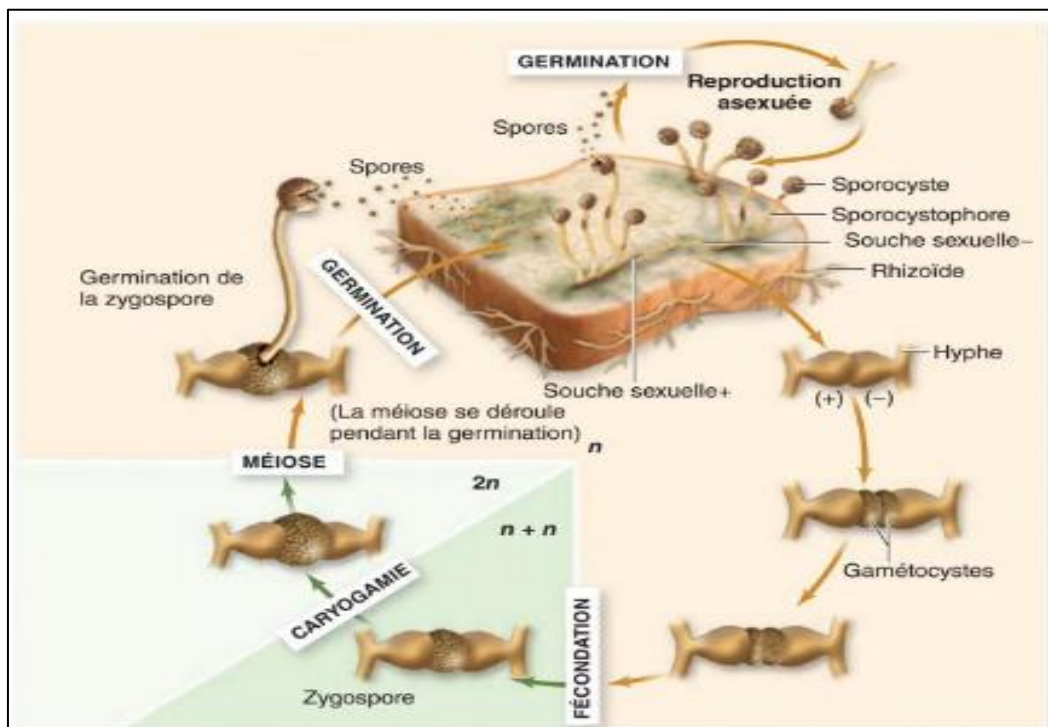


Figure 03 : Cycle de vie de *Rhizopus*. (Raven *et al.*, 2011)

I. 4. Mode de vie

Les champignons sont des organismes hétérotrophes, ils sont répartis en 3 catégories selon leur mode de nutrition: les saprophytes, les parasites et les symbiotiques:

- I. 4.1. **Saprophytisme** : ils prélèvent leurs nutriments à partir de matières organiques en décomposition. Ils sont très importants en tant que décomposeurs et recycleurs de matières mortes. (Despés, 2012)
- I. 4.2. **Parasitisme et pathogénie** : Environ 20% des espèces de champignons connues sont capables de parasitisme. On trouvera des parasites obligatoires, facultatifs ou opportunistes. (Lutzoni *et al.*, 2004; Calvez, 2009)
- I. 4.3. **Symbiose**: ces mycètes obtiennent leurs nutriments grâce à un autre organisme, leur procurant en retour certains bénéfices (Pillot, 2007).

Ce type d'association est essentiel pour les végétaux, 95% des plantes seraient en symbiose avec ces champignons. Ces champignons sont appelés mycorhizes (Senequier-Crozet et Canard, 2016). D'autres mycètes vivent en relation avec une algue. Ils ne peuvent survivre l'un sans l'autre. Ce sont les lichens (Mesfek, 2014).

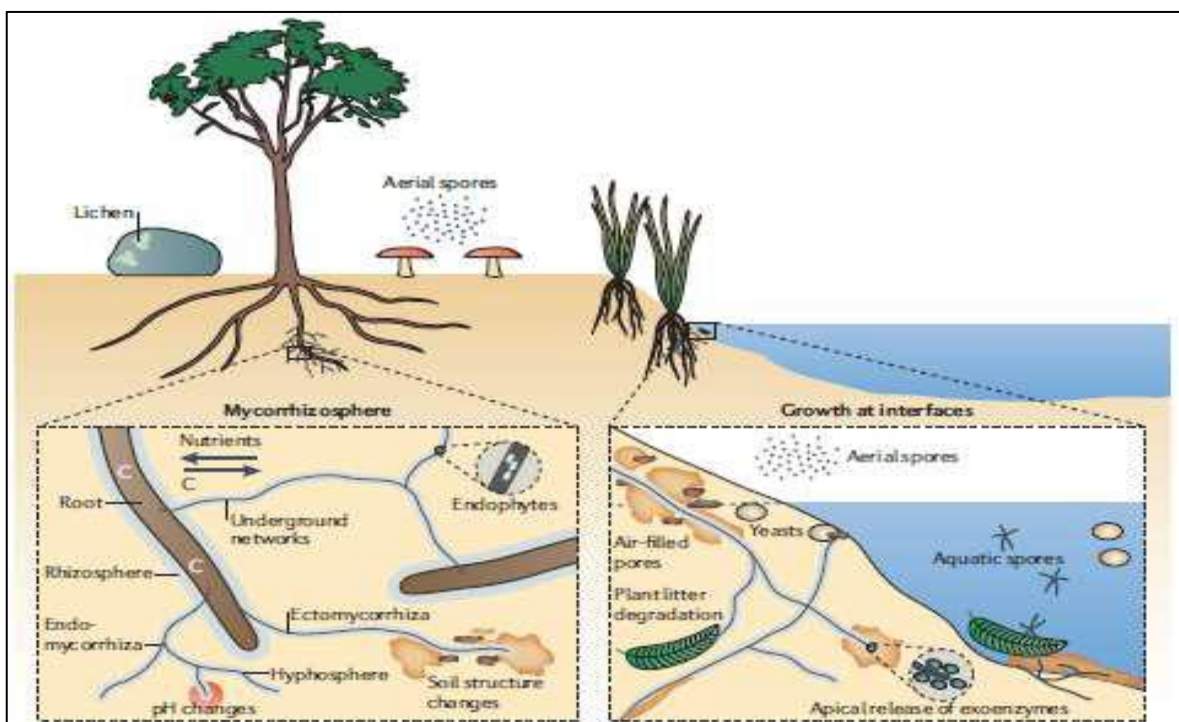


Figure 04 : Les modes de vie des champignons (Senequier-Crozet et Canard, 2016).

I. 5. L'importance des champignon mycorhiziens

I. 5.1. L'importance en domaine médecine :

De nombreuses espèces sont utilisées pour la fabrication d'antibiotiques (*Penicillium*) ou de médicaments (Claviceps purpurea = Ergot de Seigle, à l'origine de nombreux médicaments utilisés dans le traitement des accidents vasculaires cérébraux) (Rapior et Fons, 2006).

I. 5.2. L'importance en domaine alimentaire :

Les Morilles et les Truffes comptent parmi les espèces comestibles les plus recherchées. Les Levures sont utilisées en diététique (riches en vitamines B1, B2, B5, B6, B9, B12, PP, riches en Mg et en Zn, riches en protéines et en fibres, source de Fer). (Rapior et Fons, 2006)

I. 5.3. L'importance en domaine économique :

La vente des champignons sauvages comestibles sur le marché local est une source importante de revenus pour de nombreuses populations rurales. Ils sont parfois vendus après conservation dans de la saumure. (Mesfek, 2014)

I. 5.4. L'importance dans écosystème :

Les champignons mycorhiziens sont généralement considérés comme des «ingénieurs du sol» particulièrement impliqués dans la productivité et la stabilité des écosystèmes (Duponnois et al., 2013 ; Sahri et Boudaif, 2020). Leur présence peut être considérée comme un indicateur de la qualité des sols (Parat et BlalBiorize, 2002).

I. 5.5. L'importance dans agrosystème :

Les mycorhizes fournit à sa plante hôte, grâce à son mycélium extra racinaire, Ils contribuent également à augmenter la tolérance des plantes à différents stress abiotiques (Adama, 2016). Les hyphes fongiques ont la propriété d'agir sur la macroaggrégation des constituants du sol et donc sur la stabilité du sol. (Redon, 2009)

I. 6. Généralités sur les mycorhizes

De nombreuses espèces de micro-organismes vivent dans le sol aux voisinages des racines des plantes, parmi elles on trouve les champignons mycorhiziens. Un mycorhize est constitué par une racine colonisée par structures fongiques se développant dans le sol rhizosphérique. (Plenchette, 2005)

Les mycorhizes sont des « unions durables » résultant de l'association entre les racines des végétaux et certains champignons du sol. Chaque union est basée sur des échanges réciproques. Les mycorhizes constituent des partenaires essentielles dans la relation sol – plantes – microorganismes.

En effet, certaines espèces végétales ne peuvent croître normalement sans leur symbiote fongique dont elles sont fortement dépendantes et avec qui elles ont co-évoluées. **(Duponnois et al., 2010)**

La fonction du mycorhize est primordiale dans tout ou partie du cycle de la plante hôte, surtout mais non exclusivement pour la nutrition. Le champignon profite des ressources carbonées synthétisées par la plante *via* la photosynthèse et qui sont indispensables à son métabolisme, à son cycle de développement et à sa fructification. En retour, les hyphes fongiques améliorent la nutrition hydrique et minérale de la plante hôte grâce à l'augmentation du volume de sol prospecté et à la production de divers enzymes extracellulaires (phosphatase, phytase) susceptibles de mobiliser du phosphore à partir de composés complexes du sol. **(Duponnois et al., 2010)**

Le nouvel organe mixte est formé de tissus de la plante hôte et du champignon mycorhizien et chaque partenaire optimise son développement grâce à cette symbiose.

Les racines de plus de 80% des espèces de plantes vasculaires présentent ou sont susceptibles de présenter des symbioses mycorhiziennes. La symbiose mycorhizienne est donc un phénomène général chez les plantes à l'exception de quelques familles comme les *Brassicaceae*, les *Caryophyllaceae*, les *Cyperaceae*... **(Duponnois et al., 2010)**

La symbiose mycorhizienne est omniprésente, elle est présente dans presque toutes les espèces de plantes et peut fournir un bénéfice mutuel aux participants. La classification mycorhizienne est basée sur les caractéristiques anatomiques de l'interface racine-champignon et sur la classification taxonomique du champignon et de la plante hôte **(Powell et Klironomos, 2007)**.

I. 7. Historique

Les premières observations sur les mycorhizes datent de 1840 (Unger). Depuis, un grand nombre d'études leur ont été consacrées. Mais, c'est surtout ces dix dernières années que des progrès considérables ont été effectués, d'une part dans la connaissance de leur rôle vis-à-vis de l'arbre, et d'autre part dans les possibilités d'application. **(Le tacon, 1978)**.

Les preuves fossiles du Dévonien (il y a 400 millions d'années (Mya)) indiquent que les premières plantes terrestres ont formé des associations endophytiques avec des champignons ressemblant aux champignons AM modernes qui colonisent les bryophytes modernes. Des fossiles de spores ressemblant à des champignons AM ont été trouvés dans des roches de l'Ordovicien (460 Mya), période pendant laquelle les premières plantes ont colonisé la terre. Les premières plantes terrestres ressemblaient aux bryophytes modernes, avaient un système racinaire peu développé, et auraient beaucoup de choses à voir avec les symbioses mycorhiziennes. **(Powell et Klironomos, 2007)**

La symbiose plante champignon nommée probablement la première fois par Franck (1877) désigne les relations existantes entre les plantes et les champignons sans exclure les relations de

parasitisme. En 1885, Frank introduisit ce terme après avoir observé au niveau des racines des arbres une structure anatomique et morphologique dans laquelle étaient impliqués des mycelia fongiques. Cette observation le conduisit à présager de la nature symbiotique de cette association.

La confirmation de l'hypothèse de Frank fut faite lors d'expériences ultérieures. Celle de **De Bary et Garnsey (1887)** donna une définition plus approfondie et/ou il note l'incidence bénéfique de la co-existence du parasite et de son hôte dans une vie où apparemment les deux organismes s'entraident.

Aujourd'hui, le sens du terme symbiose a évolué pour n'englober que les relations bénéfiques augmentant les performances et la résistance de l'hôte à certaines conditions et circonstances environnementales. Toutefois, il apparaît que cette relation existait, il y a 400 millions d'années (Dévonien) et a été observée sur de fines lames minces de Bryophytes fossilisées rappelant les mycorhizes vésiculaires et arbusculaires.

Toutefois, ce n'est que depuis quelques décennies seulement que les botanistes et mycologues ont réalisé que la majorité des plantes terrestres vivent en symbiose avec des champignons du sol.

Scotland *et al.*, (2003) estiment qu'il y a entre 220 000 et 420 000 espèces de plantes terrestres. **Trappe (1987) et Wang & Qiu (2006)**, signalent que 3617 de ces plantes soit 263 familles étudiées sont entre 80% et 92% mycorhizées. Ce pourcentage varie selon les groupes traditionnels du règne végétal à savoir de 85% à 94% chez les Angiospermes et toutes les Gymnospermes terrestres (84% des espèces chez les Gymnospermes). Les études de **Brundrett (2009) et Tedersoo *et al.* (2010)** révèlent que plus de 10 000 espèces en majorité des Angiospermes a 86 % d'entre elles possèdent des mycorhizes. Un taux de 52% à 93% chez les Ptéridophytes (Fougères, Prèles) et de 46% à 71% des espèces de Bryophytes, ce qui représente 95% des plantes vasculaires. (**Bennane saliha, 2016**)

I. 8. La définition des mycorhizes

Le terme mycorhize, qui résulte de la combinaison de deux mots grecs 'mukès' (champignon) et 'rhiza' (racine), désigne l'association symbiotique entre des champignons bénéfiques du sol et les racines des plantes. Ce terme utilisé pour la première fois par **Frank (1885)**, regroupe aujourd'hui plusieurs types de symbioses mycorhiziennes selon le champignon impliqué et les structures symbiotiques formées. (**Gianinazzi *et al.*, 1996**)

Les mycorhizes sont formées par des champignons microscopiques qui font merveille en travaillant en symbiose avec les racines des plantes. Les champignons aident les plantes à puiser des éléments nutritifs dans le sol et à s'adapter au milieu : en échange, les plantes fournissent aux champignons l'énergie qu'ils sont incapables de tirer eux-mêmes du soleil. (**Fortin *et al.*, 2011**)

I. 9. Les différents types de mycorhizes

Plusieurs types de mycorhizes ; endomycorhizes à arbuscules, ectomycorhizes, ectendo mycorhizes, mycorhizes arbutoïdes, éricoïdes et orchidoïdes, sont classés par leurs caractéristiques morphologiques distinctes (Wang et Qiu, 2006) (Figure 05)

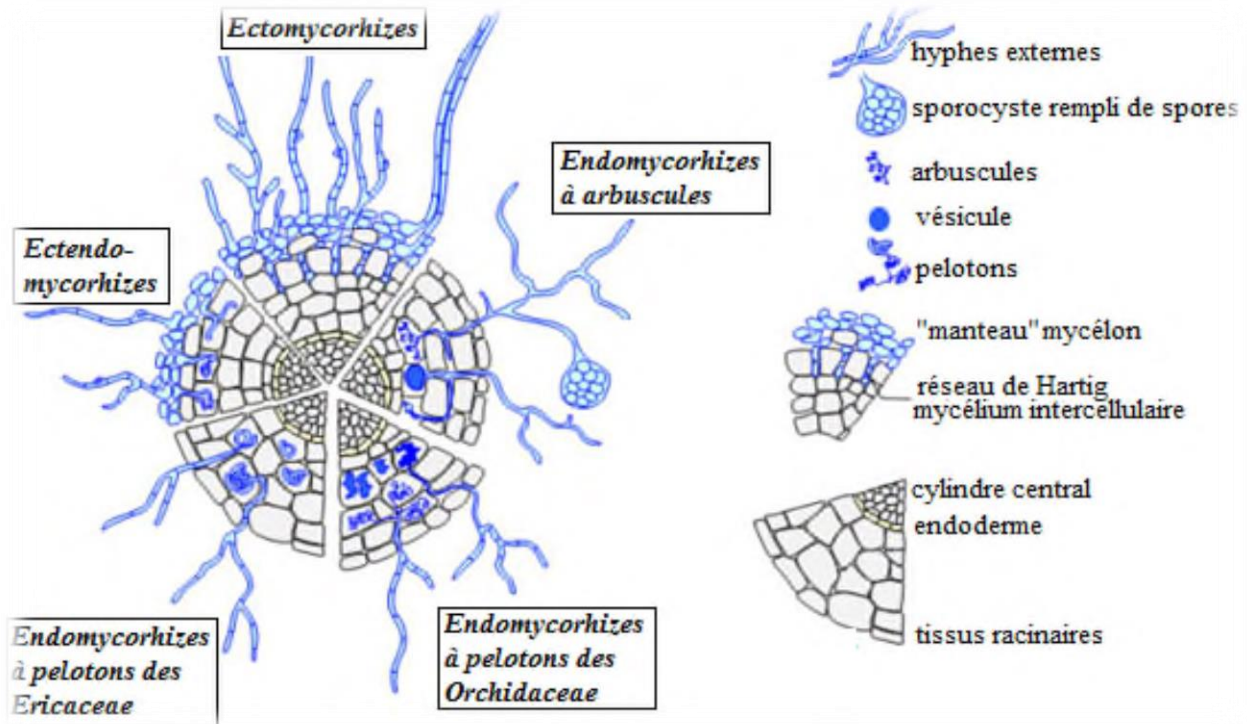


Figure 05 : Représentation schématique des différents types de mycorhizes. (Le Tacon, 1985)

I. 9.1. Les mycorhizes à arbuscule

Parmi les associations endomycorhiziennes, ce sont les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) qui sont de loin les plus répandues à la surface du globe. Ils se sont adaptés à de nombreux environnements et différentes plantes hôtes. Ils peuvent former des associations mutualistes avec les racines fines d'environ 80 % de toutes les plantes terrestres ligneuses, herbacées, les mousses, fougères, gymnospermes et angiospermes plusieurs conifères et la majorité des plantes à fleurs, mono et dicotylédones. (Smith et Read, 1997)

Le terme arbuscule réfère à une structure microscopique unique que développent ces champignons dans les cellules corticales des racines. Chez ce type de mycorhize, le champignon ne cherche pas à envelopper les cellules de l'hôte, comme chez les ectomycorhizes, mais y pénètre de façon subtile sans trop en perturber les structures. A partir de ce point d'ancrage dans la racine, le champignon mycorhizien à arbuscule développe dans le sol une phase dite extraradiculaire, qui s'étend

en un réseau mycélien et envahit le sol adjacent, dans toutes les directions. Ce mycélium de très fine dimension offre une surface considérable de contact avec le sol. On estime que la surface des mycéliums arbusculaires, sous un mètre carré d'un sol de prairie est d'environ 90 m² et que dans un pot d'un litre ou pousse un seul plant de poireau, le mycélium peut atteindre jusqu'à un kilomètre, envahissant les moindres interstices du substrat (Fortin et al., 2008).

Leurs structures morphologiques sont divisées en : arbuscules, vésicules, cellules auxiliaires, hyphes et spores. Ces structures se forment à l'intérieur des racines des plantes (les hyphes et les spores peuvent également se former à l'extérieur des racines, dans la rhizosphère), et créent une surface de contact membranaire massive entre les cellules racinaires des plantes - structures AMF et les ressources du sol - structures AMF (Smith et Read 2008 ; Hodge et Storer 2014 ; Souza, 2015). Les structures de l'association mycorhizienne sont montrées dans la **figure 06**.

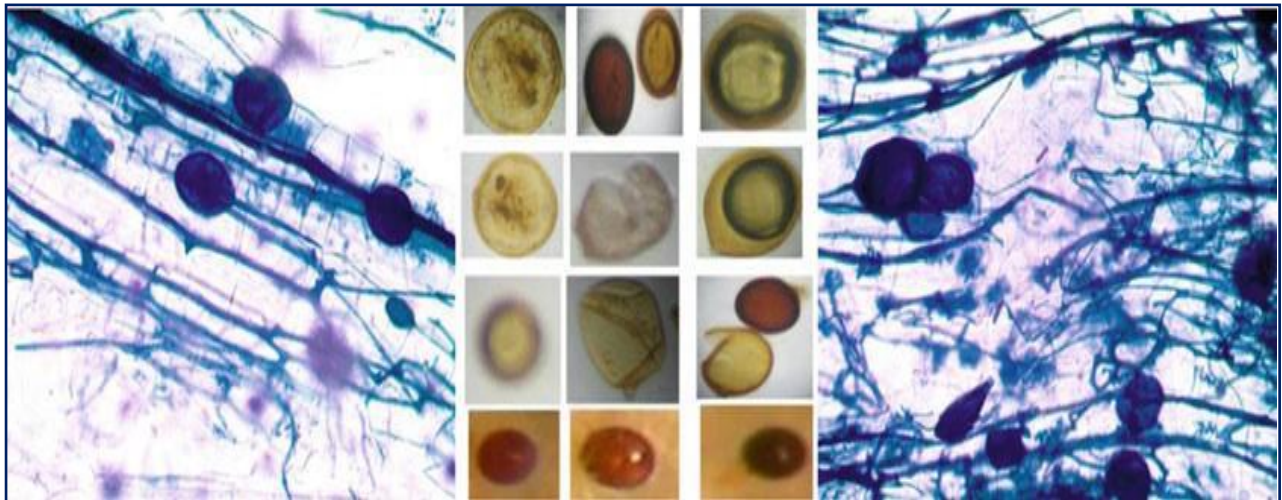


Figure 06 : Une vue de la colonisation des racines par des champignons MA dans certaines plantes hôtes. Entre les deux, il y a quelques spores mycorhiziennes que l'on trouve habituellement dans le sol. (Shah, M. A., 2014)

I. 9.1.1. Mycorhizes éricoïdes

Les mycorhizes éricoïdes sont caractérisés par la pénétration du champignon dans les cellules épidermiques du chevelu racinaire fin. Des pelotons sont formés dans ces cellules et les champignons ne se propagent pas de cellule à cellule (Smith et Read, 2008). Pour autant que nous le savons, seuls les membres de l'ordre des Ericales forme une symbiose de type éricoïde. Les exceptions connues dans l'ordre sont les familles Pyrolacées, Monotropacées et le genre *Arctostaphylus* des Éricacées. Cependant, l'étude des membres de la famille des Éricacées constitue la base de compréhension de mycorhizes éricoïdes. (Smith et Read, 2008)

La plupart des familles de l'ordre Ericales forment souvent une association mycorhizienne typique. D'autres membres de l'ordre ont des associations se rapprochant davantage des ectomycorhizes. La plupart des champignons mycorhiziens éricoïdes appartiennent à un groupe restreint dans les Léotiales. (Smith et Read, 2008)

I. 9.1.2. Mycorhizes orchidoïdes

Les mycorhizes orchidoïdes sont caractérisés par la formation des pelotons d'hyphes dans les cellules corticales du tissu de la racine (**Tableau 1**). De passage, le champignon pénètre dans les cellules exodermiques et les hyphes se ramifient à travers le tissu cortical par pénétration intracellulaire. Les pelotons s'effondrent au fil du temps. Les cellules peuvent être colonisées par plus d'un hyphe plusieurs fois. Tous les membres de la famille des Orchidacées sont censés former ce type de mycorhizes. (Smith et Read, 2008).

I. 9.2. Ectendomycorhizes

La définition d'un ectendomycorhize comprend les taxons fongiques et les espèces hôtes la symbiose et les caractéristiques structurelles résultantes de l'association. Structurellement, Ectendomycorhizes sont caractérisés par un manteau mince (parfois absent), le filet de Hartig, et divers degrés de pénétration de l'hyphe intracellulaire dans les cellules épidermiques et corticales (**Trevor et al., 2001**). Les Ectendomycorhizes ont été définies par d'autres de diverses manières et ont parfois englobé les mycorhizes arbutoides et monotropoïdes (**Peterson et al., 2004**).

I. 9.3. Ectomycorhizes

Ces champignons supérieurs se retrouvent dans le sous-bois parce que, sauf exception, ils ne forment des mycorhizes qu'avec les plantes ligneuses, arbres ou arbustes. Beaucoup de ces champignons produisent des carpophores sur le tapis forestier. La symbiose ectomycorhizienne ne concerne que 3 % des espèces végétales mais elle a été (et est toujours) très étudiée car ces espèces constituent la majorité des ligneux à intérêt économique (**Mousain, 1991**).

Les ectomycorhizes revêtent les racines latérales à structure primaire d'un manteau fongique, le mycélium ne se développe pas dans les cellules de l'hôte, mais plutôt vers l'extérieur des cellules. Les hyphes en s'accolant les uns aux autres forment un manchon autour des racelles et pénètrent aussi dans la racine, mais en se confinant aux espaces intercellulaires, formant dans le cortex un système complexe portant le nom de Hartig, chercheur qui l'a observé et décrit le premier. A partir de cet ancrage, le mycélium peut alors se développer et envahir le sol adjacent. (**Fortin et al., 2008**)

I. 10. Partenaires

Tableau 01 : les différents type des champignons mycorhizes et ses partenaires .(fotin et all, 2011)

Types de mycorhizes	Champignons impliqués	Plantes hôtes	Structures fongiques	Structures de l'hôte
Arbusculaires	Champignons microscopiques Gloméromycètes ≈200 espèces	Angiospermes, Gymnospermes, Ptéridophytes, et Bryophytes (85%) des espèces actuelles ≈200000 espèces	Mycélium et spores, intra/extra racinaires. Arbuscules et vésicules intracellulaires	Peu de changements
Ectomycorhizes	Champignons supérieurs : Basidiomycètes. Ascomycètes : milliers d'espèces	Arbres gymnospermes et angiospermes : 5% des espèces actuelles ≈10000 espèces	Manchon, mycélium intercellulaire, rhizomorphes, sclérotés ; Ascomata, Basidiomata. Absence de pénétration intracellulaire	Hypertrophie corticale, ramifications dichotomiques ou racémeuses
Ectendomycorhizes	Deutéromycètes : quelques espèces	Pins, rares	Manchon mince, mycélium intercellulaire. pénétration intracellulaire. Ascomata	Hypertrophie corticale, ramifications
Arbutoides	Basidiomycètes : quelques Espèces	Ericacées, rares	Manchon mince. Pénétration intracellulaire. Basidiomata	Hypertrophie corticale
Éricoïdes	Ascomycètes : quelques dizaines d'espèces	Ericacées :5% des espèces actuelles ≈1500 espèces	mycélium intracellulaire. Ascomata	Peu de ramifications
Orchidoïdes	Basidiomycètes et mycéliums stériles peu connus	Orchidées : 10% des espèces actuelles ≈25000 espèces	mycélium intracellulaire pelotonné : <i>Basidiomycètes</i>	Peu de modifications

Chapitre II



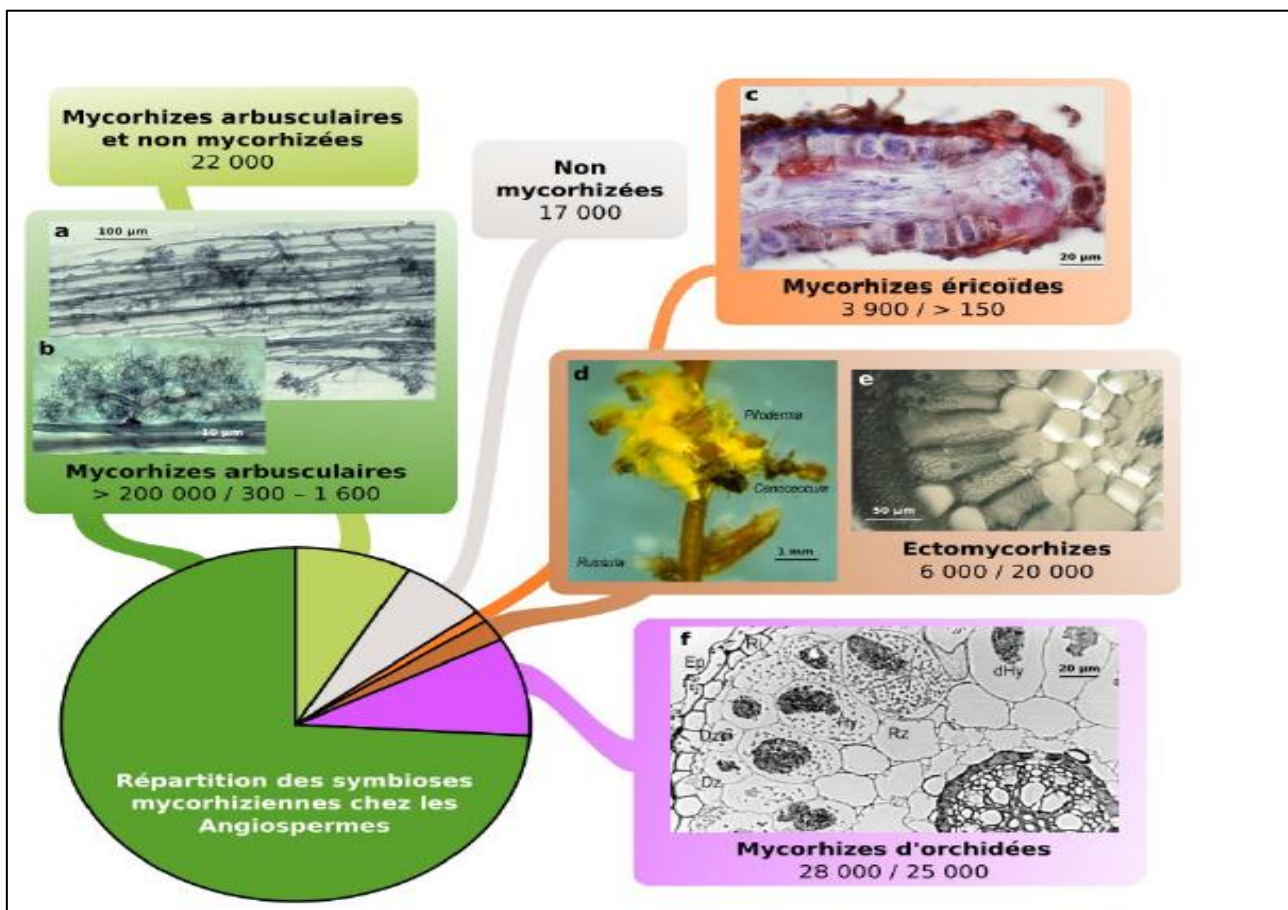
**Les rôles des mycorhizes dans
l'écosystème forestier**

II. 1. Diversité typologique des champignons mycorhiziennes

On doit signaler que toutes les espèces fongiques établissant cette relation symbiotique avec des arbres ne répondent pas au même type de mycorhize. Si la grande majorité constitue des ectomycorhizes, on rencontre également des arbres à endomycorhizes (le Frêne par exemple) et d'autres à Ectendomycorhize (**Guinberteau et Courtecuisse, 1997**).

En fait, et paradoxalement, les ectomycorhizes concernent un petit nombre d'espèces végétales (à l'échelle du règne, les arbres de nos forêts étant cependant presque tous ectomycorhiziens) et un grand nombre d'espèces fongiques. À l'inverse, les VAM (mycorhizes à vésicules et arbuscules) concernent un nombre considérable de plantes (pas forcément des arbres forestiers) mais un nombre beaucoup plus faible de champignons (**Mesfek, 2014**).

Les différents types de mycorhizes et les rapports complexes et dynamiques pouvant exister entre eux sont donc à l'origine d'une complexité fonctionnelle supplémentaire au sein des écosystèmes



forestiers, en relation avec la biodiversité fongique. (**Guinberteau et Courtecuisse, 1997**)

Figure 07 : diversité des associations mycorhiziennes chez les Angiospermes (**Lallemand, 2018**).

II. 2. Les déterminants de la biodiversité fongique d'un écosystème forestier :

La notion de diversité fongique au sein des écosystèmes forestiers se trouve sous la dépendance de plusieurs facteurs.

1. Les formations végétales, principalement par la nature des essences-hôtes, connectées aux symbiotes ectomycorhiziens qui leur sont liés. À ce niveau, le degré de spécificité ou de particularisme du champignon vis-à-vis de l'arbre sera déterminant. **(Kraus et Krumm, 2013)**
2. Le facteur édaphique où la nature du sol, sa composition, sa richesse en bases ou en matière organique, son pH ou son extrême pauvreté trophique peuvent être déterminants pour régler la présence ou l'absence de certaines espèces de champignons et l'expression d'une plus ou moins grande diversité fongique. **(Abbas, 2014)**
3. les facteurs du climat ou du microclimat (qui régissent la répartition chorologique des champignons) peuvent apporter de profondes modifications dans la mycoflore. **(Guinberteau et Courtecuisse, 1997)**

II. 3. Les rôles des CMA dans la réhabilitation des sols dégradés

Lekberg et Koide (2005) ont réalisé une méta-analyse basée sur 290 expériences publiées pour déterminer le rôle de CMA sur la croissance et la productivité des plantes.

Une méta-analyse récente sur 304 articles a également conclu que l'inoculation de CMA augmente la croissance et la productivité des plantes cultivées seules. Un résultat similaire a également été rapporté par **Birhane et al. (2014)**. **Huante et al., (2012)** ont également expérimenté six espèces d'arbres et ont découvert que l'inoculation de CMA a un effet significatif sur la croissance des semis et les espèces d'arbres. **(Derkaoui, 2018)**

La survie des arbres et l'établissement du terrain est un facteur important dans la restauration des terres dégradées. C'est ainsi que, les CMA sont importants car ils peuvent améliorer considérablement la survie et l'établissement des semis dans les champs **(Ouahmane et al., 2006)**. Les effets bénéfiques de ces amendements comprennent la réduction de la densité apparente du sol, l'amélioration de la capacité de rétention d'eau et du taux d'infiltration, la stabilité des agrégats et le développement des activités biochimiques. **(El Mrabet et al., 2013 ; LAKEHAL et CHARIK, 2017 ; DEBBI, et GUERROUCHE, 2019 ; BENBELKHEIR et KASRI, 2020 HAMRIT, et DERRI, 2020).**

II. 4. Le rôle des mycorhizes

II. 4.1. Le rôle des mycorhizes dans la nutrition phosphatée des arbres forestier

Après l'exposé de généralités sur les associations mycorhiziennes des arbres forestiers, les principaux mécanismes de l'effet positif de mycorhizes sur la nutrition phosphatée de ces arbres sont

illustrés. L'accroissement de la taille du pool d'orthophosphate de la rhizosphère, qui résulte de l'utilisation des formes organiques ou minérales du phosphore du sol par les symbiotes, est fréquemment invoqué. Cette capacité est due à l'excrétion d'enzymes (phosphatases) qui dégradent les phosphates organiques ou à une modification des conditions physico-chimiques de la rhizosphère par les symbiotes et à la présence d'une microflore synergique, solubilisatrice de phosphates minéraux. L'augmentation de l'orthophosphate absorbé par les racines mycorhizées est le mécanisme le mieux établi. Elle résulte essentiellement de l'accroissement du volume de sol exploré et du rôle du réseau mycélien extramatriciel dans la translocation du phosphore du sol jusqu'à la racine, ainsi que de la présence de transporteurs d'orthophosphate plus efficaces dans les racines mycorhizées que dans les racines non infectées. La capacité des mycosymbiotes à constituer une réserve de phosphore mobilisable (polyphosphates solubles) et à transférer à la plante-hôte suivant divers processus est également très importante pour la stimulation de la nutrition phosphatée (**Mousain et al., 1997 ; Ghadbane et al., 2021**).

II. 4.2. La stabilité structurale des sols

Lors de son développement et plus particulièrement celui du mycélium extramatriciel, elle influence significativement la stabilité structurale des sols (**Caravaca et al., 2002**) Plusieurs études ont largement mis en évidence le grand rôle des ectomycorhizes dans la respiration des sols notamment dans la zone rhizosphérique qui varie de 17% (**Fahey et al., 2005**).

II. 4.3. Alimentation en eau

Même si la plupart des travaux effectués avec les CMA s'est concentrée sur leurs effets sur la nutrition minérale dans les plantes, il y a aussi un intérêt croissant pour la résistance à la sécheresse des plantes mycorhizées (**Allen et Boosalis, 1983**). Les CMA sont importants dans l'agriculture durable, car ils améliorent les relations avec l'eau des plantes hôtes et augmentent ainsi leur résistance à la sécheresse (**Mekahlia, 2014**).

II. 4.4. Activités hormonales

L'action globale des hormones produites par le champignon affecte le port général de la plante, dont la croissance des parties aériennes est souvent favorisée par rapport à celles des racines. Le champignon pour ainsi dire remplace partiellement les racines et cela à un moindre coût énergétique (**Hamza, 2014**).

II. 4.5. Protection contre les organismes pathogènes

En nature, les plantes sont continuellement soumises à des agressions de la part des bactéries, de champignons, de nématodes, d'insectes et de maladies fongiques. Il a été prouvé expérimentalement que les plantes inoculés avec des champignons mycorhiziens à arbuscules sont plus résistantes aux attaques de champignons pathogènes et l'exposition à des toxines du sol (**Fitter, 1991 ; Moser et**

Haselwandter, 1983 ; Schtiepp et al, 1987). Ces champignons mycorhiziens peuvent intervenir de deux façons et à deux endroits pour protéger les racines contre les champignons pathogènes : dans la rhizosphère et dans les tissus racinaires. A l'échelle de la rhizosphère et surtout de la mycorhizosphère, l'espace entourant immédiatement la mycorhize, les micro-organismes sont confrontés à la compétition et à l'antagonisme, ce qui a pour effet d'établir une flore microbienne diversifiée et équilibrée. Dans cet environnement, les propagules des champignons pathogènes ne parviennent pas à proliférer et leur nombre reste toujours relativement faible.

Le second mécanisme permettant aux plantes mycorhizées de mieux résister aux maladies est lié à des modifications des activités physiologiques dans la racine. Les plantes agressées par un agent pathogène réagissent en produisant des substances antibiotiques contre ces organismes. (**Fortin et al, 2008**)

II. 4.6. Autres fonctions des mycorhizes

Comme nous l'avons déjà mentionné, les mycorhizes favorisent l'absorption par les racines des éléments nutritifs et de l'eau et améliorent la protection de la plante contre les polluants. Par ailleurs, les plantes mycorhizées tolèrent mieux les facteurs stressants d'ordre abiotique et biotique. Le champignon élabore des sucres, comme le mannitol ou l'arabitol, qui rendent les racines plus résistantes au gel. En outre, il synthétise des antibiotiques, induit la formation du tanin et favorise la flore microbienne dans le manteau fongique, ce qui augmente le pouvoir défensif des plantes contre les pathogènes contenus dans le sol. Enfin, les phytohormones formées par les champignons mycorhiziens (p. ex. auxine, gibérelline, cytokynine, éthylène) favorisent la croissance des plantes. (**simon egli et Ivano Brunner, 2002**)

II. 4.7. Efficacité des champignons mycorhizes

Beaucoup plus récemment on s'est aperçu que l'efficacité de la mycorhization était très variable suivant l'espèce de champignon utilisée. Lorsque l'on veut introduire un résineux dans des sols où il n'existe pas de flore fongique adaptée, il semble préférable d'introduire une espèce efficace plutôt qu'un inoculum quelconque. Mais, on peut aller plus loin et tenter d'introduire un champignon efficace dans un milieu où il existe déjà une flore fongique.

Il semble donc possible de sélectionner des symbiotes efficaces, de mycorhizer de jeunes plants avec ces souches, et d'introduire en forêt ces plants associés à des symbiotes efficaces. (**F. Le Tacon, 1978**)

II. 4.8. Mycorhizes et pépinières forestiers

Dans les écosystèmes forestiers, les arbres ne peuvent survivre en l'absence de mycorhizes. Dans les sites de reboisement qui sont dépourvus de propagules comme par exemple les zones sans arbres, les déblais de mines, etc., les plants non mycorhizés ne se développent pas et la plupart du

temps meurent. Dans ces conditions, le succès de la plantation dépend totalement des mycorhizes associées aux semis et provenant donc de la pépinière d'origine. Dans les zones de reboisement où existe déjà une population ectomycorhizienne naturelle, le problème est très différent et les jeunes plants trouveront toujours des associés fongiques. Cependant, même dans ces conditions, les plants non mycorhizés au départ se développent difficilement pendant la première année et parfois la deuxième année suivant la transplantation. La croissance ne redevient normale qu'après établissement d'un système symbiotique fonctionnel. De plus, il a été souvent démontré que l'inoculation de champignons ectomycorhiziens spécifiques pouvait améliorer la survie et la croissance initiale de diverses espèces après plantation.

Il est donc particulièrement important pour les programmes de reboisement de produire en pépinières des semis associés avec des champignons mycorhiziennes efficaces et écologiquement adaptés aux conditions de plantation (**f. le tacon, 1997**).

Conclusion

Conclusion

Conclusion

Nous avons atteint la fin de nos recherches scientifiques, Ce mémoire a été consacré une étude bibliographique concernant les champignons mycorhiziens et leur interaction omniprésente avec les racines des plantes dans les écosystèmes forestiers. C'est ce que nous avons préféré choisir parmi les sujets ; En raison de cela d'une grande importance dans la période actuelle.

Grâce à nos études théoriques nous avons essayé autant que possible de résumer les informations les plus importantes sur les mycorhizes. on parle des champignons structures, sa reproduction et son importance, On découvre les différentes catégories de mycorhizes au niveau morphologiques et structurales et les partenaires de chaque un , ainsi, son fonctionnement et la biodiversité qui jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement et la structuration des communautés végétales, la restauration des sites dégradés et l'augmentation de l'absorption des nutriments du sol. Ils sont essentiels à la germination des graines et à l'établissement des semis.

Nous n'avons traité qu'une petite partie de ce sujet, et il peut y avoir des lacunes dans nos recherches en raison de notre manque de travail pratique en raison de la propagation de la pandémie Corona. En fin de compte, nous sommes des êtres humains à la fin, et je prie Dieu d'accorder à nos chercheurs le succès dans toutes les connaissances qu'ils fournissent qui contribuent à surmonter les négatifs dont nous souffrons, et que les prières et la paix de Dieu soient sur notre Maître Muhammad et sa famille et ses compagnons.

Références bibliographiques

ABBAS Y., (2014), Microorganismes de la rhizosphère des Tétracéales : un outil pour optimiser la régénération assistée du *Tetracelis articulata* Vahl. Master, Thèse de doctorat, Spécialité Ecophysiologie végétale, Université MOHAMMED V, p25.

Adama Z., (2016), Etude comparative de l'effet des champignons mycorhiziens *Glomus aggregatum* et *Rhizophagus irregularis* sur la croissance et la productivité du sésame, *Sesamum indicum* L., au champ dans le village de Soumouso (province du Houet), Diplôme d'ingénieur du développement rural, Option agronomie, Université POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO, p16-18.

BENBELKHEIR, H., & KASRI, F. Z. (2020). Contribution à l'étude de la biodiversité des endomycorhizes dans la région de Boussaada M'sila (Algérie) (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).

Bouazza marouf K., (2016), Les symbioses mycorhiziennes et leur importance dans la réhabilitation des sols dégradés, Thèse de Doctorat, Faculté des sciences, Département de biotechnologie, Université D'ORAN 1, p159.

Bouchet P., Guignard J. L., Pouchus Y. F., Villard J., (2005). Les champignons. Mycologie fondamentale et appliquée. 2ème éd. Ed. Masson, Paris, P1.

Brundrett, Me. (1991), "Mycorrhizas in natural ecosystems". *Advances in ecological research* 21: 171-313.

Caravaca F., Hernandez T., Garcia C., Roldan A. (2002). Improvement of rhizosphere aggregate stability of afforested semiarid plant species subjected to mycorrhizal inoculation and compost addition. *Geoderma*, 108(1), 133-144.

Caravaca, F., Barea, J. M., Palenzuela, J., Figueroa, D., Alguacil, M. M., & Roldán, A. (2003). Establishment of shrub species in a degraded semiarid site after inoculation with native or allochthonous arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied Soil Ecology*, 22(2), 103-111

Deacon J. W., (2013), *Fungal Biology*, Éditeur Masson John Wiley & Sons

DEBBI, A., & GUERROUCHE, I. (2019). Contribution à l'étude des statuts mycorhiziens de quelques plantes de Fabaceae de la région de M'sila (Algérie) (Doctoral dissertation, Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila).

Derkaoui N., (2018), Evaluation du potentiel mycorhizogène sous *Acacia saligna* introduite pour la revégétalisation de la sablière de Terga, Mémoire de Doctorat, Faculté Des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biotechnologie, Université D'ORAN1, p39.

Despés J., (2012), *L'univers des champignons*, Éditeur Les Presses de l'Université de Montréal ,p6.

Dufresne P. et Guy S. G., (2018), Identification des champignons d'importance médicale. Institut National de Santé Publique, p3.

Duponnois R., Bâ A. M., Prin Yves, Baudoin E., Galiana A., Dreyfus B. (2010). Les champignons mycorhiziens : une composante majeure dans les processus biologiques régissant la stabilité et la productivité des écosystèmes forestiers tropicaux. In : Dia A. (ed.), Wade A. (préf.). *Le projet majeur africain de la Grande Muraille Verte : concepts et mise en oeuvre*. Marseille : IRD, p. 421-440.

Duponnois, R., Hafidi, M., Ndoye, I., Ramanankierana, H., & Bâ, A. M. (2013), Des champignons symbiotiques contre la désertification: écosystèmes méditerranéens, tropicaux et insulaires, institut de recherche pour le développement, marseille, p156.

El Mrabet, S., Ouahmane, L., El Mousadik, A., Msanda, F., & Abbas, Y. (2013), L'efficacité de l'inoculation mycorhizienne et de l'addition du bio-compost sur le développement d'*Argania spinosa* sur le champ. Actes du 2e congrès international de l'arganier, Agadir, 9-11.

Fitter AH (1991). Implication for functioning under natural conditions. *Experientia* 47(1991) 350-35.

Fons, F., Morel, S., & Rapior, S., (2018), L'importance des champignons pour l'Homme : intérêts, dangers et perspectives, In *Annales de la Société d'Horticulture et d'Histoire Naturelle de l'Hérault* (Vol. 157, pp. 31-51).

Fortin A, Plenchette C, Piche Y (2011). Les mycorhizes: la nouvelle révolution verte de Editions Multimondes et Editions QUAE.

Fortin JA , Plenchette C, Piche Y (2008), les mycorhizes la nouvelle révolution verte, édition Multi Mondes.

Ghadbane, M., Medjekal, S., Benderradji, L., Belhadj, H., & Daoud, H. (2021) Assessment of arbuscular mycorrhizal fungi status and rhizobium on date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivated in a Pb-contaminated Soil.

Gianinazzi-Pearson V., Dumas-Gaudot E., Gollotte.A., Tahiri-Al-aoui A., Gianinazzi.S.,(1996). Cellular and molecular defence-related root responses to invasion by arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol* 133 : 45–57.

Guinberteau, J., & Courtecuisse, R. (1997), Diversité des champignons (surtout mycorhiziens) dans les écosystèmes forestiers actuels. *Revue forestière française*, p28-29.

HAMRIT, H., & DERRI, H. (2020). Champignons mycorhiziens chez les plantes: structures et rôles (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).

HAMZA, N. (2014). Application des mycorhizes arbusculaires en culture maraîchère cas de la pastèque (*Citrullus lanatus*). Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas Sétif 1, Algérie, 54P.

Hibbett D. S., Binder M., Bischoff J. F., Blackwell M., Cannon P. F., Eriksson O. E., Huhndorf S., James T. Y., Kirk P. M., Lücking R., Thorsten Lumbsch H., Lutzoni F., Matheny P. B., Mclaughlin D.J., Powell M. J., Redhead S., Schoch C. L., Spatafora J. W., Stalpers J. A., Vilgalys R., Aime M. C., Aptroot A., Bauer R., Begerow D., Benny G. L., Castlebury L. A., Crous P. W., Dai Y-C., Gams W., Geiser D. M., Griffith G. W., Gueidan C., Hawksworth D. L., Hestmark G., Hosaka K., Humber R. A., Hyde K. D., Ironside J. E., Kõljalg U., Kurtzman C. P., Larsson K-H., Lichtwardt R., Longcore J., Miądlikowska J., Miller A., Moncalvo J-M., Mozley-Standridge S., Oberwinkler F., Parmasto E., Reeb V., Rogers J. D., Roux C., Ryvarden L., Sampaio J. P., Schüßler A., Sugiyama J., Thorn R. G., Tibell L., Untereiner W. A., Walker C., Wang Z., Weir A., Weiss M., White M. M., Winka K., Yao Y-J., Zhang N., (2007), A higher-level phylogenetic classification of the Fungi, *Mycol. Res.* (III), 509-547.

Hodge, A., Storer, K. (2014). Arbuscular mycorrhiza and nitrogen: implications for individual plants through to ecosystems. *Plant and soil*, 386(1-2), 1-19. In Souza, T. (2015). *Handbook of arbuscular mycorrhizal fungi*. Cham: Springer, 153P.

Janos DP., (1980), Mycorrhizae influence tropical succession. *Biotropica* 12: 56–64.

Kadi, née,Bennane,s.(2016).les ectomycorhizes du chene liège : Effet des facteurs environnementaux.

Kraus, D., Krumm, F., & Institut européen des forêts, (2013), Les approches intégratives en tant qu'opportunité de conservation de la biodiversité forestière, p 188.

LAKEHAL, A., & CHARIK, N. E. (2017). Diversité des rhizobia nodulant (*Ononis biflora* Desf.) et les champignons mycorrhiziennes de leurs sols rhizosphériques (Doctoral dissertation, Université Mohamed Boudiaf, M'sila).

Lallemand, F., (2018), Evolution des interactions mycorrhiziennes et de la mycohétérotrophie chez les orchidées, Doctoral dissertation, Paris, Muséum national d'histoire naturelle, P18.

Le Calvez, T., (2009), Diversité et fonctions écologiques des champignons en écosystème hydrothermal marin profond, Doctoral dissertation, Université Rennes 1, p9-11.

Le Tacon, F. (1978). La mycorhization contrôlée et ses possibilités d'application. Les progrès réalisés aux Etats-Unis. Revue Forestière Française.

Le Tacon. F (1985). Principaux types mycorrhiziens actuels représentés sur une coupe transversale de racine. INRA Nancy- La Recherche n° 166 mai 1985.

Le Tacon f.. (1997).vers une mielleure prise en compte des champignons mycorrhiziens dans la gestion forestière.

Lekberg Y, Koide RT, (2005), Is plant performance limited by abundance of arbuscular mycorrhizal fungi, a meta-analysis of studies published between 1988 and 2003, *New Phytol* 168, 189–204.

Lemoine C., Claustres G., (2002), Mieux connaître les champignons. Eds. Gisserot J-P, France, p9.

Lutzoni F. et Kauff, F. et Cox, C. J. et McLaughlin, D. et Celio, G. et Dentinger, B. et Vilgalys, R., (2004), Assembling the fungal tree of life: progress, classification, and evolution of subcellular traits. *American journal of botany*, 91(10), 1446-1480.

Mekahlia, M. N. (2014). Dépendance mycorrhizienne de l'olivier (*Olea europaea* L.) dans l'est algérien et mycorhization contrôlée de la variété Ferkeni. Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie, 160p.

Mesfek F., (2014), Étude écologique et taxonomique des champignons forestiers et morphologie des ectomycorhizes du chêne vert dans la wilaya de Relizane, Mémoire de Magister, Faculté des sciences de la nature et de la vie, Département de biotechnologie, Université D'ORAN ES-SENIA, p3-10-27-35.

Mohammedi S., (2018), Biodiversité et aptitude des champignons mycorrhiziens arbusculaires isolés des palmeraies de Ouargla à mycorhizer le blé et l'orge, Mémoire master, Faculté des sciences de la nature et de la vie, Université KASDI MERBAH OUARGLA, p1.

Momo Dongmo C., (2009), Evaluation de l'activité antidermatophytique des extraits au méthanol et fractions d'*acalyphamanniana* (euphorbiacées) et *tristemma hirtum* (mélastomatacées), Mémoire de master en biochimie clinique et pharmacologie, Université de Dschang, p5.

Moser M, Haselwandter K (1983), Ecophysiology of mycorrhizal symbiosis, in: *Encyclopedia of Plant Physiology, New Series*, vol. 12, pp. 392-421. Eds O. L. Lange. P. S. Nobel, C. B. Osmond and H. Ziegler. Springer, Berlin-Heidelberg-NewYork.

Mousain D (1991), Ectomycorhization et tolérance des arbres à la sécheresse. Dans : *Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides*. Groupe d'Etude de l'Arbre, Ed. John Libbey Eurotext, Paris, pp. 167-174

Mousain, D., Matumoto-Pintro, P., & Quiquampoix, H. (1997).Le Rôle des mycorhizes dans la nutrition phosphatée des arbres forestiers. *Revue forestière française*. Multimondes et Editions QUAE.

- Nasraoui, (2015)**, Les champignons et pseudo champignons pathogenes des plantes cultivees Biologie, Nouvelle Systématique, Interaction Pathologique, p35
- Ouahmane L, Hafidi M, Thioulouse J, Ducouso M, Kisa M, Prin Y., (2006)**, Improvement of Cupressus atlantica Gaussen growth by inoculation with native arbuscular mycorrhizal fungi J Appl Microbiol 103, 683–690
- Peterson, R. L., Massicotte, H. B., Melville, L. H. (2004)**. Mycorrhizas: anatomy and cell biology. NRC Research Press, 173P.
- Pillot J., 2007**, Le rôle des champignons dans la forêt, p5.
- Plenchette, C. (2005)**. Mycorhizes et nutrition phosphatée des plantes. France : Dijon Cedex. PP. 217-219.
- Powell, J., Klironomos, J. (2007)**. The ecology of plant–microbial mutualisms. In Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry (pp. 257-281). Academic Press.
- Rapior S , et Fons F , (2006)**, La classification des champignons, Annales de la Société d'Horticulture et d'Histoire Naturelle de l'Hérault, Vol. 146, No. 4, pp. 81-86.
- Raven P. H., Johnson G. J., Mason K. A., Losos J. B., Singer S. S., (2011)**, Biologie. 2ème édition. Ed. De Boeck, Bruxelles, 1406p.
- Redon, P. O., (2009)**, Rôle de champignons mycorhiziens à arbuscules dans le transfert du cadmium (Cd) du sol à la luzerne (Medicago truncatula), Doctoral dissertation, Université Henri Poincaré-Nancy 1, p36.
- Sahri F. Z. et Boudiaf I. et Aliout A. et & BeddiarA., (2020)**, Contribution à l'étude des champignons mycorhiziens arbusculaires de deux subéraies du Parc National d'El Kala (Nord-Est algérien). IOBC-WPRS Bulletin, 152, 196-201.
- Schmit, J. P., & Mueller, G. M., (2007)**, An estimate of the lower limit of global fungal diversity. Biodiversity and conservation, 16(1), 99-111.
- Schtiapp H, Dehn B, Sticher H (1987)**, Interaktionen zwis-chen VA-Mykorrhiza und Schwermetallbelastungen. Angew. Bot. 61 85-96
- Senequier-Crozet A. et B. Canard, (2016)**, Les champignon endophytes : impact sur les écosystèmes et production de molécules d'intérêt thérapeutique, Mémoire de doctorat en pharmacie, Université GRENOBLE ALPES, p18-19.
- Shah, M. A. (2014)**. Mycorrhizas: novel dimensions in the changing world. Springer India, 87P.
- Simon E et Ivano B. (2002)**. Les mycorhizes une fascinante biocénose en forêt. WSL Birmensdorf. Not. prat. 35
- Smith SE, Read DJ (2008)**. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press.
- Souza, F. A., Declerck, S., Smit, E., Kowalchuk, G. A. (2005)**. Morphological, ontogenetic and molecular characterization of Scutellospora reticulata (Glomeromycota). Mycological Research, 109(6), 697-706. In Souza, T. (2015). Handbook of arbuscular mycorrhizal fungi. Cham: Springer.
- Taylor, J. W., Jacobson, D. J., Kroken, S., Kasuga, T., Geiser, D. M., Hibbett, D. S., & Fisher, M. C., (2000)**, Phylogenetic species recognition and species concepts in fungi. Fungal genetics and biology, 31(1), 21-32.
- Tilman D. and Downing J. A., (1994)**, "Biodiversity and stability in grasslands", Nature 367.6461: 363-365.
- Trevor, E. J-C., Yu, T. E., Egger, K. N. Peterson R. L. (2001)**. Ectendomycorrhizal associations – characteristics and functions. Mycorrhiza, 11: 167 - 177.

Viaux P. et Parat J. et Blal B., (2002), Les endomycorhizes, indicateurs de la qualité des sols, Perspectives agricoles n, 277, 50-54.

Wang B, Qiu YL (2006). Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants
Mycorrhiza 16: 299–363.