

DEMOCRATIC AND POPULAR ALGERIAN REPUBLIC

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH

جامعة الشاذلي بن جديد - الطارف

CHADLI BENDJEDID EL TARG UNIVERSITY

كلية علوم الطبيعة والحياة

FACULTY OF NATURE AND LIFE SCIENCES

قسم



Mémoire de Fin d'Études

Présenté en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master en

« **Biodiversité et Environnement** »

Thème

Valorisation écologique et médico-économique d'un champignon sélectionné dans le parc national d'El Kala

Présentées Par : **Boualam Touba et Bouherame Bouthaina**

Soutenue publiquement le : 17 / 06 /2026

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Dr. RIZI Hadia	MCA	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Présidente
Dr. BABA AHMED Fedia	MCA	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Directrice de thèse
Mr. KAHLI Djamel		Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Co-encadreur
Dr. KACHOUR Lila	MCA	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Examinatrice

Année universitaire : 2025/2026

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous devons remercier tout d'abord dieu qui nous a donné la force et le courage de suivre nos études et d'arriver à ce stade et à nos parents qui nous ont beaucoup soutenus pendant tous le long de notre parcours.

*Un grand merci à mon encadreur **Dr. Baba ahmed fedia***

Qui nous a beaucoup aidé, soutenu et nous a permis d'arriver à ce niveau-là et pour ses excellents conseils et surtout pour son temps passé avec nous et sa patience, sans elle on n'aurait pas pu réaliser ce modeste travail et pour sa confiance en nous.

*Nous tenons aussi à remercier les membres de jury **Mme Kachour Lila, Mme Rizi hedia** qui nous ont fait honneur d'examiner ce travail.*

Enfin, nous renouvelons nos remerciements à ceux qui nous ont

Aidés de près ou de loin pour réaliser ce travail sans oublier les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Boutheina et Touba

DÉDICACE

Avant toute chose je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné la santé, la patience et le courage pour réaliser ce travail que je dédie

A l'homme de ma vie, celui qui s'est sacrifié pour me voir réussir: mon cher père. Tu as su m'inculquer le sens de la responsabilité et de la confiance en soi, je te dois ce que je suis aujourd'hui, et ce que je serai demain, je ferais de mon mieux de ne jamais te décevoir que dieu t'accorde une bonne santé et une vie longue et heureuse

A la lumière de mes jours qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a ménagé aucun effort afin de me rendre heureuse, mon adorable mère. Tu m'as comblé avec ta tendresse et ton affection, tu m'as accompagné par tes prières tout au long de mon parcours, tu n'as cessé de me soutenir et m'encourager durant toutes les années de mes études tu as toujours été présente à mes côtés pour me consolé quand il fallait, puisse le tout puissant te donne la santé, bonheur et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour

A mon très cher frère Ayoub , les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement et l'affection que je porte pour toi.

Présent dans les moments les plus délicats, en particulier les

moments d'examens, tu m'as toujours soutenus, réconforté et encouragé.

Puisse Dieu éclairer ta route et t'aider à réaliser tes vœux les plus chers.

*« À mes chères sœurs, Nour et Marwa, Merci d'avoir toujours été présentes
dans mes moments les plus difficiles, Vous êtes mon refuge, mon soutien et ma
force. Aucun mot ne peut exprimer
l'étendue de l'amour que je vous porte. Que Dieu vous garde toujours
près de moi et vous protège. »*

A toute ma famille : Boualam, Redjile

Touba

DÉDICACE

Merci mon dieu de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, La patience d'aller jusqu'au bout du rêve

Je dédie mon travail :

*À la mémoire de **mon cher père**,*

Tu nous as quittés, mais ton amour, tes valeurs et tes enseignements demeurent à jamais gravés dans mon cœur.

Ce travail est le fruit de tes sacrifices, de ton soutien et de tous les efforts que tu as consentis pour mon éducation et ma réussite.

J'aurais tant aimé partager avec toi ce moment, mais je sais que tu veilles sur moi de là-haut.

Que Dieu t'accorde Sa miséricorde et t'accueille dans Son vaste paradis.

À mon père bien-aimé, je dédie humblement ce mémoire.

*A **ma mère** celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite.*

A mes chers frères, nourelhouda, maysoon, kikou » et mes fideles compagnons narjes, lamia, zaid, aymen, riad , je vous souhaite un avenir plein de joie de bonheur de réussite et de sérénités, je vous exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.

A tous les membres de ma famille paternelle et maternelle , grand et petit et sur tout mon oncle préféré hacene

A mes chers amies

*A mon encadreur **Dr baba ahmed fedia***

Boutheina

Liste des Figures

Figure 01 : Règne fongique, de gauche à droite : Levures ; Truffes ; Charbons ; Vesse de loup ; Polypores ; Rouilles ; Champignon toxique : Amanita ; champignon comestible : Pleurote ; Morilles ; Lichen ; Mycorhize ; Moisissures	5
Figure 02 : Caractéristiques du groupe Dikarya: les ascomycètes et les basidiomycètes.....	7
Figure 03 : Présentation morphologique d'un champignon basidiomycète.....	8
Figure 04 : Mode de vie des champignons sauvages.....	9
Figure 05 : Cycle de vie chez les champignons.....	11
Figure 06: Coupe transversale de racine avec manteau fongique.....	12
Figure 07 : Les trois groupes de champignons formant une symbiose mycorhizienne avec les Racines des plantes	13
Figure 08 : champignons de <i>Pisolithus arhizus</i>	24
Figure 09 : Le cycle biologique typique d'un basidiomycète.....	25
Figure 10 : propriété thérapeutique de <i>Pisolithus arhizus</i>	27
Figure 11: Distribution géographique du <i>Pisolithus arhizus</i>	28
Figure 12 : Carte de localisation du Parc National d'El-Kala	29
Figure 13 : Carte de la couverture végétale de la wilaya d'El-Tarf.....	31
Figure 14: Changement des pressions mensuelles de la région d'El Tarf	34
Figure 15 : Situation géographique de la station d'étude Parc d'attraction Ezzana	36
Figure 16 : Les différentes concentrations de la décoction de <i>Pisolithus arhizus</i>	37
Figure 17 : Préparation de la gélose nutritive	38
Figure 18 : préparation de la dilution décimale de la souche d' <i>Escherichia coli</i> 154	39
Figure 19 : Préparation du test de l'activité antibactérienne de l'extrait fongique.....	41

Figure 20: Diamètres des zones d'inhibition obtenus avec l'extrait de <i>Pisolithus arhizus</i> (Solution mère).....	42
Figure 21 : Diamètres des zones d'inhibition obtenus avec l'extrait de <i>Pisolithus arhizus</i> à la dilution 10^{-1}	43
Figure 22 : Diamètres des zones d'inhibition obtenus avec l'extrait de <i>Pisolithus arhizus</i> à la dilution 10^{-2}	44
Figure 23 : Diamètres des zones d'inhibition obtenus avec l'extrait de <i>Pisolithus arhizus</i> à la dilution 10^{-3}	44
Figure 24 : Diamètres des zones d'inhibition obtenus avec l'extrait de <i>Pisolithus arhizus</i> à la dilution 10^{-4}	45

Liste des tableaux

Tableau 01: Principales caractéristiques des embranchements des mycètes	7
Tableau 02 : La classification de <i>Pisolithus arhizus</i>	23
Tableau 3 : Températures moyennes mensuelles et extrêmes (°C) enregistrées dans la zone d'étude (2010-2023)	33
Tableau 4 : Les précipitations moyennes mensuelles (T0 C) de la région d'étude (2010 -2023).....	33

Résumé

Pisolithus arhizus est un champignon ectomycorhizien largement répandu, reconnu pour son importance écologique dans les écosystèmes forestiers ainsi que pour son potentiel biotechnologique et pharmacologique. La présente étude a été menée sur des spécimens récoltés dans le Parc National d'El Kala afin de contribuer à la caractérisation de cette espèce et d'évaluer son activité antibactérienne vis-à-vis d'*Escherichia coli*.

L'évaluation microbiologique a révélé que la suspension bactérienne utilisée présentait une charge de $1,3 \times 10^8$ UFC/mL. L'activité antibactérienne de l'extrait aqueux des spores de *P. arhizus* a été testée à différentes concentrations (5, 10, 20 et 40 g/100 mL) selon la méthode de diffusion sur gélose. Les résultats ont montré une augmentation progressive des diamètres moyens des zones d'inhibition avec l'accroissement de la concentration de l'extrait. Pour la solution mère, les diamètres variaient de 5,33 mm à 49 mm. Aux dilutions 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} et 10^{-4} , les diamètres maximaux observés à la concentration de 40 g/100 mL ont atteint respectivement 32 mm, 40,33 mm, 40,33 mm et 54 mm. Ces résultats mettent en évidence une relation dose-effet positive et démontrent la présence de composés bioactifs capables d'inhiber efficacement la croissance d'*E. coli*. Cette étude souligne ainsi l'intérêt écologique, pharmaceutique et biotechnologique de *Pisolithus arhizus* et ouvre des perspectives prometteuses pour sa valorisation dans différents domaines d'application.

Mots-clés : *Pisolithus arhizus*, ectomycorhize, activité antibactérienne, *Escherichia coli*, spores, Parc National d'El Kala.

Abstract

Pisolithus arhizus is a widely distributed ectomycorrhizal fungus, recognized for its ecological importance in forest ecosystems as well as for its biotechnological and pharmacological potential. The present study was conducted on specimens collected from El Kala National Park in order to contribute to the characterization of this species and to evaluate its antibacterial activity against *Escherichia coli*.

Microbiological analysis revealed that the bacterial suspension used had a concentration of 1.3×10^8 CFU/mL. The antibacterial activity of the aqueous spore extract of *P. arhizus* was tested at different concentrations (5, 10, 20, and 40 g/100 mL) using the agar diffusion method. The results showed a progressive increase in the mean inhibition zone diameters with increasing extract concentration. For the stock solution, inhibition diameters ranged from 5.33 mm to 49 mm. At dilutions of 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , and 10^{-4} , the maximum inhibition diameters observed at the concentration of 40 g/100 mL reached 32 mm, 40.33 mm, 40.33 mm, and 54 mm, respectively. These findings demonstrate a positive dose–response relationship and indicate the presence of bioactive compounds capable of effectively inhibiting the growth of *E. coli*. This study highlights the ecological, pharmaceutical, and biotechnological value of *Pisolithus arhizus* and opens promising perspectives for its utilization in various fields of application.

Keywords: *Pisolithus arhizus*, ectomycorrhiza, antibacterial activity, *Escherichia coli*, spores, El Kala National Park.

الملخص

يُعد *Pisolithus arhizus* فطراً إكتوميكوريزياً واسع الانتشار، يتميز بأهميته البيئية في النظم الغابية، إضافة إلى إمكاناته الواعدة في المجالات البيوتكنولوجية والدوائية. أنجزت هذه الدراسة على عينات جُمعت من الحديقة الوطنية للقالبة بهدف المساهمة في توصيف هذا النوع وتقييم نشاطه المضاد للبكتيريا تجاه *Escherichia coli*.

أظهرت التحاليل الميكروبيولوجية أن المعلق البكتيري المستعمل بلغ تركيزه 1.3×10^8 وحدة مك'ؤنة للمستعمرات/مل. وتم اختبار النشاط المضاد للبكتيريا للمستخلص المائي لأبواغ *P. arhizus* عند تراكيز مختلفة (5، 10، 20 و 40 غ/100 مل) باستعمال طريقة الانتشار على الوسط الأغارى. وأظهرت النتائج زيادة تدريجية في متوسط أقطار تثبيط مع ارتفاع تركيز المستخلص. ففي المحلول الأم تراوحت أقطار التثبيط بين 5.33 مم و 49 مم. أما عند التخفيفات 10^{-1} و 10^{-2} و 10^{-3} و 10^{-4} فقد بلغت أكبر أقطار التثبيط المسجلة عند تركيز 40 غ/100 مل على التوالي 32 مم، 40.33 مم، 40.33 مم و 54 مم. وتبرز هذه النتائج وجود علاقة إيجابية بين الجرعة والتأثير، كما تدل على احتواء الأبواغ على مركبات حيوية فعالة قادرة على تثبيط نمو *E. coli* بكفاءة. وتؤكد هذه الدراسة الأهمية البيئية والدوائية والبيوتكنولوجية لفطر *Pisolithus arhizus*، كما تفتح آفاقاً واعدة لاستثماره في مجالات تطبيقية متعددة.

الكلمات المفتاحية: *Pisolithus arhizus*؛ الإكتوميكوريزا، النشاط المضاد للبكتيريا، *Escherichia coli*، الأبواغ، الحديقة الوطنية للقالبة.

Table des matières

Introduction.....	1
-------------------	---

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

1. Généralité sur les champignons	4
1.1. Définition.....	4
1.2. Classification des champignons.....	5
1.2.1. Critère de classification	7
1.3. Modes de vie des champignons	8
1.3.1. Déversité des cycles de vie	9
1.3.2. Types de mycélium	9
1.3.3. Mode de reproduction.....	10
1.3.4. Stratégies écologique	11
1.4. Role des champignons	14
1.4.1. Role écologique	14
1.4.2. Role Médicinal et Scientifique	14
1.4.3. Role économique	15
1.4.4. Contrubution à la biodiversité	15
1.4.5. Role dans la bioremédiation.....	15
1.5. Diversité fongique	16
1.5.1. La Diversité fongique dans le monde	16
1.5.2. La Diversité fongique dans les forêts Méditerannées	16
1.5.3 La Diversité fongique en l'Algérie	17
1.6. Les facteurs écologique influençant la distribution des champignons.....	18
2. Valorisation des Champignons.....	19

2.1. Concepte de la valorisation écologique	19
2.2. Valorisation médicinal	20
2.3. Valorisation économique.....	20
2.4. Risque de surexploitation.....	21
2.5. Stratégie de gestion durable des ressources fongiques.....	21
3. Aperçu sur l'espèce : <i>Pisolithus arhizus</i>	23
3.1. Définition.....	23
3.2. Classification taxonomique.....	23
3.3. Description morphologique	24
3.4. Cycle de reproduction.....	25
3.5. Habitat et écologie	26
3.6. Intérêt thérapeutique, écologique et économique	26
3.7. Distribution géographique	28

Chapitre II : Matériels et Méthodes

1. Présentation du Parc national d'El-Kala (PNEK).....	29
1.1. Situation géographique	29
1.2. Les objectifs du parc national d'El Kala.....	30
1.3. Hydrographie	30
1.4. Topographie.....	30
1.5. Géomorphologie et hydrologie	31
1.6. Pédologie	32
1.7. Caractéristiques climatiques	32
1.8. Richesse zoologique et botanique.....	34
2. Matériels et Méthodes.....	35
2.1. Méthodologie.....	35
2.1.1. Choix de station d'étude	35

2.1.2. Matériel biologique.....	36
2.2. Préparation de l'extrait fongique	36
2.3. Préparation de la gélose nutritive.....	38
2.4. Préparation de la suspension bactérienne	39
2.5. Dénombrement bactérien.....	40
2.6. Détermination de la charge microbienne.....	40
2.7. Test d'activité antibactérienne	40

Chapitre III : Résultats et interprétations

1. La charge microbienne.....	42
2. Activité antibactérienne de l'extrait aqueux de spores de <i>Pisolithus arhizus</i> contre <i>Escherichia coli</i>	42

Chapitre IV : Discussion

Discussion	46
Conclusion	50

Références Bibliographiques

INTRODUCTION



Introduction

La classification des êtres vivants constitue un élément fondamental pour la compréhension de la biodiversité. Au fil du temps, plusieurs systèmes de classification ont été proposés, aboutissant aujourd'hui à une organisation des organismes en différents règnes, notamment les Bactéries, les Archées, les Protistes, les Champignons, les Végétaux et les Animaux (**Woese et al., 1990; Cavalier-Smith, 2004**). Cette classification repose sur des critères structuraux, fonctionnels et phylogénétiques, permettant de distinguer les organismes selon leur organisation cellulaire, leur mode de nutrition et leur évolution.

Parmi ces règnes, celui des champignons (Fungi) occupe une position particulière. Longtemps considérés comme des végétaux en raison de leur mode de vie fixé, les champignons ont été reconnus comme un groupe distinct en raison de leurs caractéristiques spécifiques, notamment l'absence de chlorophylle, leur mode de nutrition hétérotrophe par absorption et la composition particulière de leur paroi cellulaire riche en chitine (**Carlile et al., 2001**). Cette distinction a permis de mieux comprendre leur rôle unique au sein des écosystèmes et leur importance dans les processus biologiques.

Les champignons, constituent un groupe d'organismes eucaryotes, ils sont représentés un groupe particulièrement important, caractérisés par une diversité morphologique, écologique et fonctionnelle remarquable. Ils incluent des formes microscopiques, telles que les levures, ainsi que des formes macroscopiques visibles à l'œil nu. Les champignons occupent une place fondamentale dans les écosystèmes, où ils interviennent dans de nombreux processus biologiques essentiels.

Sur le plan écologique, jouent un rôle primordial dans la décomposition de la matière organique, contribuant ainsi au recyclage des nutriments et au maintien de la fertilité des sols. En effet, ils assurent la transformation de la matière organique morte en éléments minéraux assimilables par les plantes, participant activement aux cycles biogéochimiques (**Carlile et al., 2001 ; Hawksworth & Lücking, 2017**). Par ailleurs, les champignons établissent des interactions complexes avec d'autres organismes, notamment des relations symbiotiques telles que les mycorhizes, qui améliorent la nutrition minérale des plantes et favorisent leur croissance (**Smith & Read, 2008 ; van der Heijden et al., 2015**).

En outre, présentent un intérêt médico-économique considérable. Depuis plusieurs décennies, ils sont exploités dans différents domaines, notamment dans l'alimentation, la fermentation industrielle et la production de substances pharmaceutiques, telles que les antibiotiques. Par

exemple, la découverte de la pénicilline a marqué un tournant majeur dans l'histoire de la médecine moderne (**Madigan *et al.*, 2012**). Plus récemment, les recherches ont mis en évidence le potentiel des champignons en tant que source de composés bioactifs et d'enzymes d'intérêt biotechnologique (**Corbu *et al.*, 2023**).

Cependant, malgré leur importance écologique et économique, les champignons demeurent insuffisamment étudiés. Le nombre total d'espèces fongiques est estimé entre 2,2 et 3,8 millions, alors que seule une fraction a été décrite jusqu'à présent (**Blackwell, 2011 ; Hawksworth & Lücking, 2017**). Cette insuffisance de connaissances est particulièrement marquée dans les écosystèmes naturels peu explorés, où les inventaires mycologiques restent limités (**Niskanen *et al.*, 2023**).

Les champignons ectomycorhiziens constituent un élément clé du fonctionnement et de la stabilité des écosystèmes forestiers, en particulier dans les régions méditerranéennes caractérisées par des conditions environnementales souvent contraignantes, telles que la pauvreté des sols, les périodes de sécheresse et les perturbations anthropiques. Ces organismes établissent des associations symbiotiques avec les racines des plantes, permettant une amélioration significative de l'absorption des éléments nutritifs, notamment le phosphore et l'azote, tout en renforçant la résistance des végétaux face aux différents stress abiotiques et biotiques (**Smith & Read, 2008 ; Brundrett, 2009**). Parmi ces champignons, *Pisolithus arhizus* se distingue par sa large distribution géographique, sa forte plasticité écologique et sa capacité à coloniser des milieux dégradés ou pauvres en nutriments (**Marx, 1977 ; Cairney & Chambers, 1999**).

Cette espèce est particulièrement reconnue pour son efficacité dans l'établissement d'ectomycorhizes avec plusieurs essences forestières, contribuant ainsi à la croissance, à la survie et à la régénération des plantes hôtes (**Rincón *et al.*, 2005**). Elle joue également un rôle important dans la structuration des sols, la stabilisation des substrats et le maintien de la biodiversité microbienne (**Smith & Read, 2008**). En outre, *Pisolithus arhizus* présente un intérêt croissant dans les programmes de reboisement et de restauration écologique, notamment dans les zones soumises à des pressions environnementales importantes (**Marx, 1977**). Par ailleurs, ses propriétés biochimiques et ses métabolites secondaires suscitent un intérêt particulier dans les domaines médical et biotechnologique, ouvrant des perspectives prometteuses pour son exploitation durable (**Cairney, 2011**).

Dans ce contexte, l'étude de cette espèce revêt une importance particulière, tant pour la compréhension de son rôle écologique que pour la valorisation de ses potentialités dans les écosystèmes forestiers naturels.

Le Parc National d'El Kala, caractérisé par une grande diversité d'habitats naturels, notamment des forêts, des zones humides et des sols variés, représente un environnement particulièrement favorable au développement d'une flore fongique riche et diversifiée. Cependant, les connaissances relatives à la diversité des champignons dans cette région restent encore fragmentaires, ce qui justifie la mise en place d'études approfondies.

Dans cette optique, le présent travail s'inscrit dans une démarche visant à valoriser l'espèce fongique *Pisolithus arhizus*, sélectionnée au niveau du Parc National d'El Kala, en mettant en évidence son importance écologique ainsi que son potentiel médico-économique.

À cet effet, cette étude a pour objectif principal de caractériser cette espèce à travers son identification basée sur des critères morphologiques et taxonomiques. Elle vise également à analyser son rôle écologique, notamment dans les interactions symbiotiques avec les végétaux (ectomycorhizes), ainsi que son implication dans le fonctionnement et la stabilité de l'écosystème forestier.

Par ailleurs, ce travail s'intéresse à l'évaluation du potentiel d'intérêt médico-économique de *Pisolithus arhizus*, notamment en termes d'applications biotechnologiques, contribuant ainsi à l'enrichissement des connaissances scientifiques sur cette espèce et à la valorisation durable des ressources fongiques locales.

CHAPITRE I

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE



Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. Généralité sur les champignons

Le règne des Fungi, également appelé Mycota, constitue un taxon regroupant des organismes eucaryotes appelés plus communément « champignons ». Ce règne est très divers et regroupe plusieurs centaines de milliers d'espèces aux morphologies et modes de vie variés, jouant un rôle clé dans un grand nombre d'écosystèmes (Lombardo, 2023).

1.1. Définition

Les champignons, également appelés Fungi (au singulier fungus) (Figure 01), sont principalement multicellulaires, à l'exception des levures (ex : *Saccharomyces cerevisiae* : un champignon unicellulaire important). Ils sont hétérotrophes, ce qui signifie qu'ils tirent leur énergie et leur nourriture d'autres organismes, qu'ils soient vivants ou morts. De plus, les champignons possèdent généralement des cellules avec deux noyaux (multi-nucléés, par opposition à l'état uninucléé plus courant) par cellule. On les retrouve largement répandus dans la nature, que ce soit dans le sol, l'air ou l'eau, où ils se nourrissent en se décomposant en débris organiques provenant de plantes ou d'animaux (Abd El-Ghany & El-Sheikh, 2016).

Certains groupes d'organismes sont regroupés sous le terme "champignons", bien que certains aient été transférés en dehors du royaume des Fungi en raison de différences biochimiques fondamentales dans la composition de leur paroi cellulaire. La plupart des vrais champignons ont une paroi cellulaire principalement composée de chitine et d'autres polysaccharides, sans présence de cellulose. Cependant, certains organismes ressemblant à des champignons peuvent en contenir (Abd El-Ghany & El-Sheikh, 2016)



Figure 01 : Règne fongique, de gauche à droite : Levures ; Truffes ; Charbons ; Vesse de loup ; Polypores ; Rouilles ; Champignon toxique : Amanita ; champignon comestible : Pleurote ; Morilles ; Lichen ; Mycorhize ; Moisissures [site 1]

1.2. Classification des champignons

➤ Classification classique

Les champignons ont été classés sur la base de leur caractères morphologie et leurs caractères phénotypiques ainsi se base sur localisations géographiques et leurs modes de vie et aussi leurs habitats (Fries, 1821 ; Whittaker, 1969), (Guarro *et al.*, 1999 ; Taylor, 2000).

➤ Classification phylogénétique

Le principe de Classification phylogénétique est basé sur l'amplification sélective d'un gène ou un marqueur moléculaire fongique à l'aide d'amorces spécifiques des champignons, puis séquencé. la comparaison des organismes génétiquement proches ou génétiquement distants réalisée grâce aux Les résultats de séquençage. Les séquences des gènes sont des outils qui permet de construire des arbres phylogénétiques sur la base des liens de parenté moléculaire

(Mischler & Brandon, 1987) et d'étudier les champignons à l'échelle de la spore mais aussi sur de très petites quantités d'ADN c est ca l'avantage des analyses phylogénétiques.

Selon Ruggiero *et al.*, (2015), un niveau de classification supérieur de deux empires ou super-royaume avec sept royaumes : Prokaryota (Bacteria et Archaea) et Eukaryota (Protozoa, Chromista (Eucaryotes unicellulaires, généralement appelés protistes), Fungi, Plantae, Animalia (Metazoa), qui est une extension pratique du schéma des six royaumes de Cavalier Smith. Cette classification n'est ni phylogénétique ni évolutive, mais représente plutôt un consensus. Les champignons (Fungi) sont classés en 7 phylums (divisions ou embranchement), basé sur le mode de reproduction. Ces divisions comprennent: Ascomycota, Basidiomycota, Blastocladiomycota, Chytridiomycota, Glomeromycota, Microsporidia et Neocallimastigomycota. Les caractéristiques les plus importants des six embranchements sont résume dans le (Tableau 1).

Tableau 01. Principales caractéristiques des embranchements des mycètes (Raven *et al.*, 2014)

Embranchements	Nature des hyphes	Mode de reproduction	Types de spores sexuées
Microsporidies	Unicellulaires	Spores non mobiles	Spores non mobiles
Chytrides	Non cloisonnées, cénocytiques	Zoospores	Aucune
Zygomycètes	Non cloisonnées, cénocytiques	Spores non mobiles (sporangiospores)	Zygospore (dans un zygosporange)
Glomeromycota	Non cloisonnées, cénocytiques	Spores non mobiles	Aucune
Ascomycota	Cloisonnées ou unicellulaires	Bourgeonnement, conides (spores non mobiles), fragmentation	Ascospores
Basidiomycota	Cloisonnées avec dolipore chez beaucoup d'espèces	Bourgeonnement, conides (spores non mobiles, y compris urédospores), fragmentation	Basidiospores

La classification phylogénique de **Hibbett *et al.*, (2007)** est la plus acceptée (Figure 2). L'état des connaissances actuelles de la phylogénie, donnant un autre aperçu des principaux clades en neuf phylums, peuvent Neocallimastigomycota, être définis Blastocladiomycota, : Opisthosporidia, Zoopagomycota, Chytridiomycota, Mucoromycota, Glomeromycota, Basidiomycota et Ascomycota (**Naranjo-Ortiz & Gabaldón, 2019**).

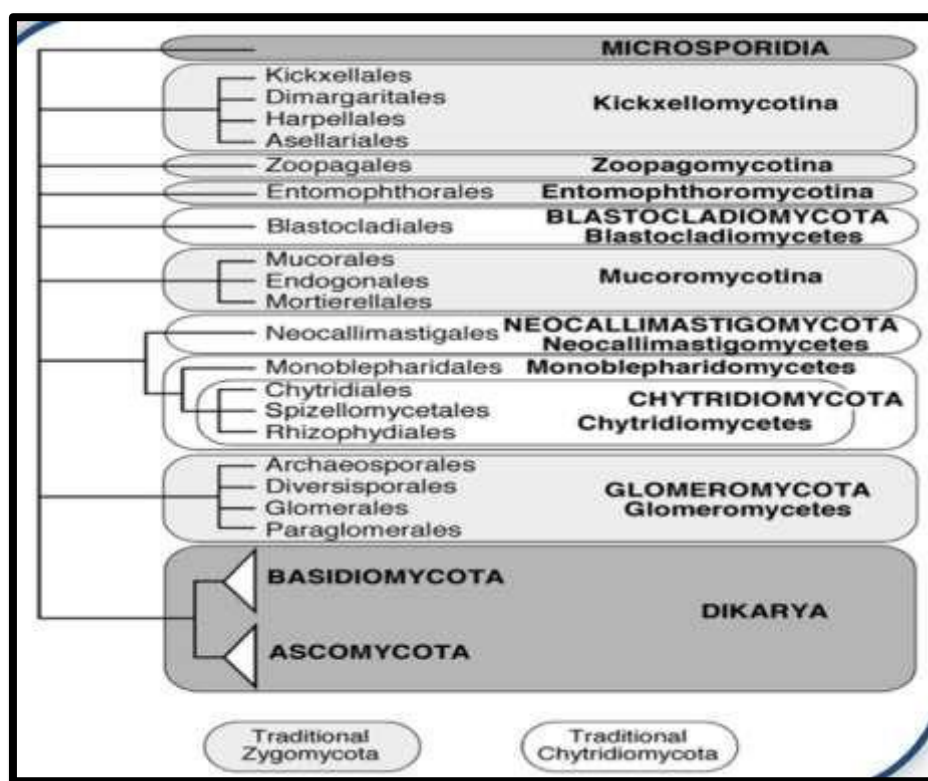


Figure 02 : Caractéristiques du groupe Dikarya: les ascomycètes et les basidiomycètes (**Lüttge *et al.*, 2002 ; Hibbett *et al.*, 2007 ; Breuil, 2009**) .

1.2.1. Critère de classification

La classification des champignons repose sur deux grands types de critères :

➤ Morphologiques

Utilisés traditionnellement, ils se basent sur la forme des spores, la nature du mycélium et la structure des organes reproducteurs. Cependant, ces critères présentent des limites, car ils ne reflètent pas toujours les liens évolutifs réels entre les espèces (**Taylor, 2000**).

➤ Biochimiques et moléculaires

L'analyse de marqueurs moléculaires, comme les séquences d'ADN, permet une classification plus fiable. Des techniques telles que la PCR ont rendu possible l'étude de champignons difficiles à cultiver (Taylor, 2000).

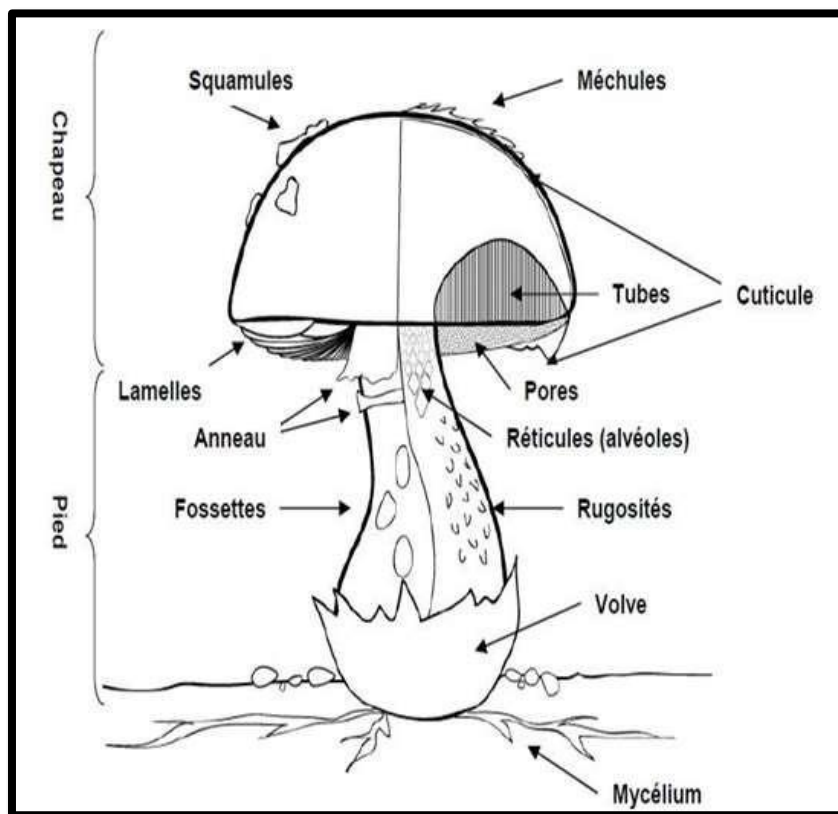


Figure 03 : Présentation morphologique d'un champignon basidiomycète (Gévry, 2008).

1.3. Modes de vie des champignons

Les champignons ne sont pas répandus par hasard dans la nature, ils ont vis-à-vis de leur milieu des exigences tel que le climat (températures, précipitations, vent), de terrain (constituant du substrat, sable, argile, tourbe, acidité, basicité, teneur en calcaire, humus). Dans la nature ils sont des décomposeurs indispensables, ils assurent une valorisation biologique parfaite des déchets. Au plan écologique, l'hétérotrophie a pour conséquence l'occupation de niches particulières et trois grands mode de vie (Ducreux, 2002; Heads *et al.*, 2017; Prasad *et al.*, 2018). Selon ces modes de vie on peut classer les différentes espèces de champignons en trois catégories: les symbiotes, les saprophytes et les parasites (Marouf & Rynaud, 2007).

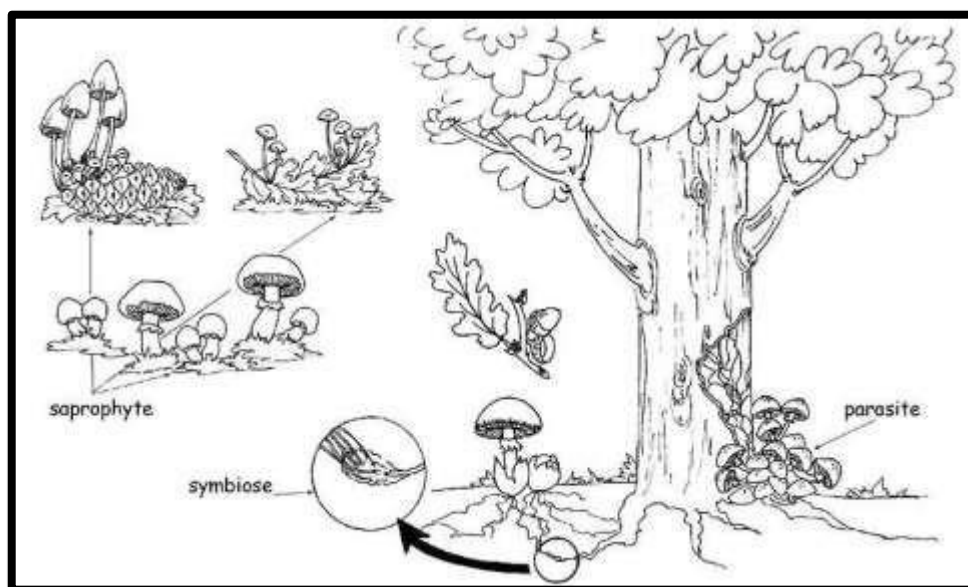


Figure 04 : Mode de vie des champignons sauvages (Mazari & Ouadah , 2025).

1.3.1. Diversité des cycles de vie

Les cycles de vie des champignons varient selon les groupes taxonomiques. On distingue principalement trois types de cycles : Cycle haploïde dominant, Cycle dicaryotique prolongé, Cycle diploïde dominant (Carlile & Watkinson, 1994 ; Jennings & Lysek, 1996).

Certains champignons, notamment les Deutéromycètes, sont qualifiés de champignons imparfaits, car leur cycle sexué est inconnu ou absent. Leur mode de vie repose uniquement sur la reproduction asexuée, par conidies (Carlile & Watkinson, 1994).

1.3.2. Types de mycélium

Le mycélium est l'appareil végétatif des champignons, constitué d'un réseau d'hyphes. On distingue deux grands types selon l'organisation cellulaire des hyphes (Jennings & Lysek, 1996)

- **Mycélium septé** : les hyphes sont cloisonnés par des septa, comme chez les Ascomycota et les Basidiomycota. Chaque cellule peut contenir un ou deux noyaux selon le stade du cycle.
- **Mycélium siphonné (ou coenocytique)** : les hyphes ne sont pas cloisonnés, et le cytoplasme est multinucléé. Ce type est caractéristique des Zygomycota et des Glomeromycota

1.3.3. Mode de reproduction

➤ Reproduction sexuée

Le cycle sexuel des champignons comprend généralement trois étapes successives : la plasmogamie, la caryogamie et la méiose (**Jennings & Lysek, 1996**).

- La plasmogamie correspond à la fusion des cytoplasmes entre deux cellules haploïdes compatibles, donnant naissance à une cellule dicaryotique (ou dicaryon), dans laquelle coexistent deux noyaux haploïdes distincts.
- La caryogamie désigne la fusion de ces deux noyaux, conduisant à la formation d'une cellule diploïde.
- La méiose, qui suit cette fusion nucléaire, permet de générer quatre cellules haploïdes, souvent différenciées en spores sexuelles. Selon les groupes taxonomiques, les spores issues de cette reproduction sont désignées sous différentes appellations : les ascospores chez les Ascomycota, les basidiospores chez les Basidiomycota, les zygosporées chez les Zygomycota et les oospores chez certains champignons inférieurs apparentés aux Oomycètes (**Moulinier, 2003**).

➤ Reproduction asexuée

La reproduction asexuée, également appelée sporulation asexuée, se fait sans fusion de gamètes et repose sur la production de spores par mitose. Ce mode est le plus fréquemment rencontré chez les champignons (**Moulinier, 2003**). Les spores asexuées, aussi appelées conidies ou propagules, sont de petites cellules résistantes, déshydratées et protégées par une paroi épaisse, leur permettant de survivre dans des conditions défavorables. Elles sont produites en grand nombre à partir de structures spécialisées dérivées du mycélium, selon plusieurs modalités.

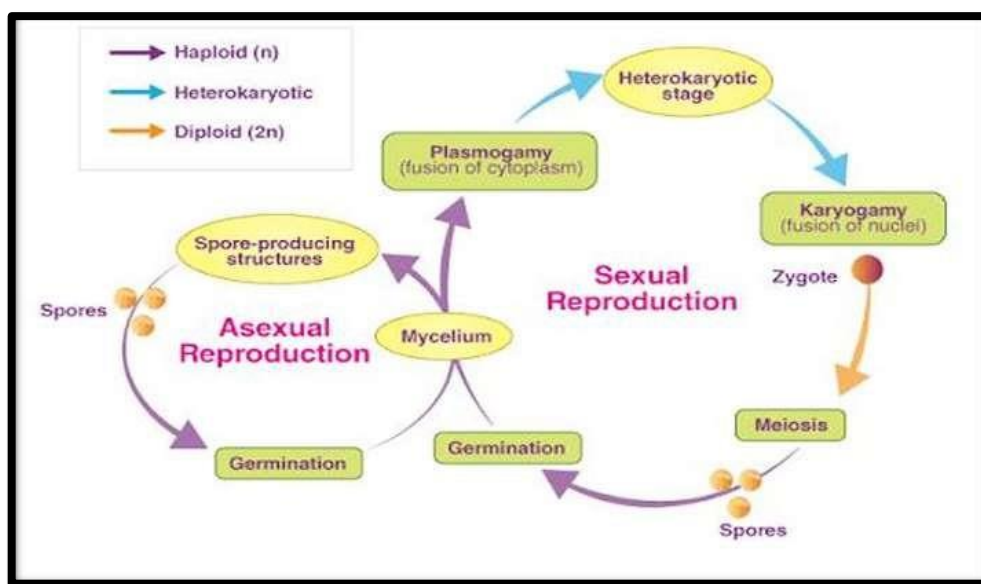


Figure 05 : Cycle de vie chez les champignons [Site 2]

1.3.4. Stratégies écologiques

➤ Le saprophytisme

Les champignons saprophytes se nourrissent à partir de matières mortes d'origine végétale ou animale (cadavre, déjections) et contribuent dans le cycle de régénération des nutriments via la décomposition (Lamaison & Polese, 2005; Lutzoni *et al.*, 2018). Dans les ressources organiques discrètes, les réseaux mycéliens saprotrophes opèrent selon la taille de la ressource et de l'individu (Fricker *et al.*, 2017). Les champignons cultivés et couramment vendus tels que le champignon de couche et le Pleurote, appartiennent à cette catégorie des saprophytes (Sicard & Lamoureux, 2005).

➤ Le parasitisme

Les champignons parasites se nourrissent à partir de la matière vivante, végétale ou animale. Ils sont responsables des maladies, chez les végétaux et provoquent diverses maladies dites cryptogamiques. Ils peuvent occasionner des pertes considérables en agriculture. En milieu naturel, ils ont un rôle épurateur, car ils s'attaquent toujours à des arbres affaiblis. En fait, la distinction entre saprophytisme et parasitisme n'est pas toujours aussi évidente, car beaucoup de champignons relèvent des deux catégories, tel le polypore amadouvier et l'armillaire couleur miel, qui peut attaquer en parasites les parties vivantes de l'arbre puis continuer à vivre en

saprophytes sur l'arbre mort (Lamaison & Polese, 2005; Sipos *et al.*, 2017; Lutzoni *et al.*, 2018).

➤ La symbiose

Interactions intimes entre partenaires vivants, consiste en une vie communautaire avec des échanges bénéfiques réciproques (Sipos *et al.*, 2017; Lutzoni *et al.*, 2018).

a) Mycorhize

Les racines de nombreuses plantes supérieures peuvent être infestées par des champignons, certains couvrent la surface des radicelles de leur mycélium, d'autre pénètrent à l'intérieur des tissus de leur hôte (Lamaison & Polese, 2005; Prescott *et al.*, 2013). Ces radicelles infestées de mycélium (Figure 06), ont une configuration particulière appelée mycorhize, à ce niveau s'effectuent les échanges, et les champignons sont dits mycorhiziens. Les hyphes peuvent soit entourer les radicelles (mycorhizes ectotrophes), soit carrément pénétrer entre les cellules de la racine (mycorhizes endotrophes), mais les deux membranes plasmiques des partenaires sont conservées. Le mode de mycorhize peut être classé en six types : à arbuscules, d'orchidées, d'éricacées, monotropoïdes, les plus importants endomycorhizes (les champignons pénètrent dans les cellules de la plante) et ectomycorhizes (extracellulaire et forment une graine de filaments interconnectés, autour des racines) (Ducieux, 2002; Laberche, 2010).

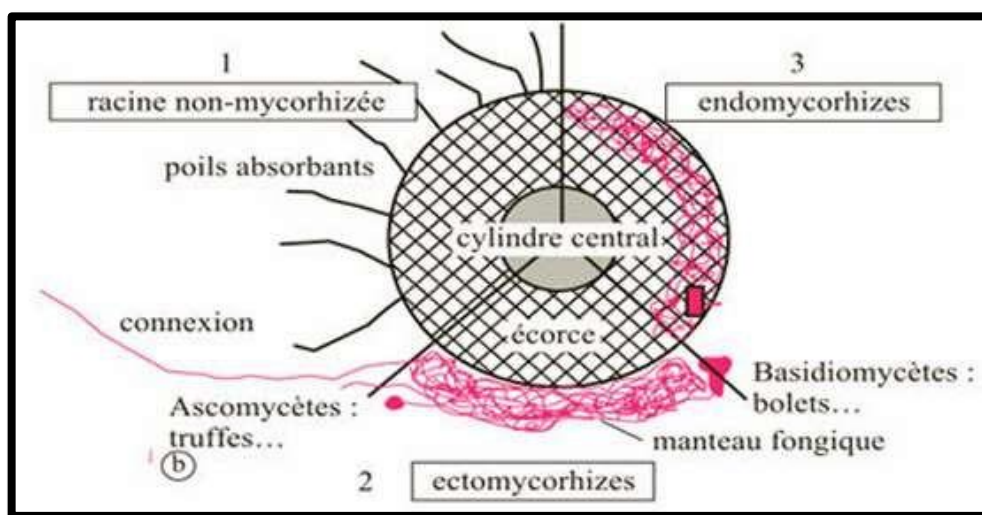


Figure 06: Coupe transversale de racine avec manteau fongique (Roland *et al.*, 2008).

Les champignons mycorhiziens arbusculaires sont limités aux Glomeromycota, et les ectomycorhiziens sont principalement les Agaricomycètes (Lutzoni *et al.*, 2018). Le champignon absorbe des produits carbonés résultants de la photosynthèse assurée par son associé, inversement il favorise l'absorption hydrique, la nutrition minérale et peut produire des

antibiotiques qui renforcent sa résistance aux maladies et des hormones nécessaires à la croissance de son hôte...) (Feau *et al.*, 2011).

Les arbres concernés constituent la quasi-totalité du peuplement des forêts: conifères (pins, sapins, épicéas, mélèzes, cèdres...), feuillus (peupliers, hêtres, chênes, châtaignés...) (Feau *et al.*, 2011). La plupart peuvent s'associer à plusieurs espèces de végétaux, d'autres à une seule telle que le bolet élégant, sous les mélèzes. Les rapports entre la plante et le champignon ne sont pas toujours aussi simples (Lamaison & Polese, 2005).

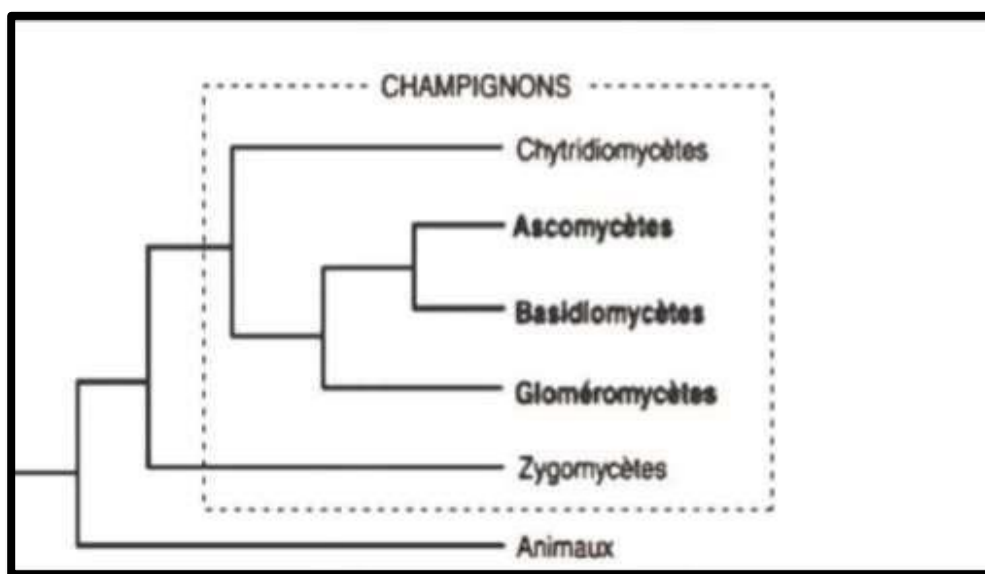


Figure 07 : Les trois groupes de champignons formant une symbiose mycorhizienne avec les racines des plantes (indiqués en caractères gras) (Garbaye, 2013).

b) Lichens

Un être vivant qui résulte d'une association symbiotique entre un champignon et une algue (Cyanophycée ou Chlorophycée). Les algues sont unicellulaires ou filamenteuses, se trouve enserrées dans les filaments d'un mycélium dense. Le champignon donne au thalle du lichen sa forme caractéristique, mais il ne se développe en adoptant cette forme que si l'algue est présente (Raynal-Roques, 1994).

Le lichen est autotrophe grâce à l'algue qui assure la synthèse des hydrates de carbone (photosynthèse). Le champignon contient une réserve d'eau et de sels minéraux, assure en outre une protection contre la dessiccation par le vent et le soleil. Bien que leurs deux constituants, algue et champignon, soient seulement juxtaposés, les lichens sont des êtres présentant des formes caractéristique et fonctionnements, écologique et biochimiques très originaux (Raynal

Roques, 1994). Dans la plupart des lichens, 99% d'entre eux, l'associé champignon fait partie des Ascomycètes, on appelle alors le lichen un ascolichen. Mais on trouve également des Basidiomycètes, on appelle alors le lichen un basidiolichen (**Tiévant, 2001a**).

1.4. Rôle des champignons

1.4.1. Rôle écologique

Les champignons occupent une place centrale dans le fonctionnement des écosystèmes terrestres. Ils agissent principalement comme décomposeurs, capables de dégrader des composés organiques complexes tels que la cellulose et la lignine, contribuant ainsi au recyclage des nutriments essentiels comme le carbone, l'azote et le phosphore. Ce processus est indispensable à la formation de l'humus et au maintien de la fertilité des sols (**Smith & Read, 2008**).

En outre, les champignons établissent des relations symbiotiques avec les plantes sous forme de mycorhizes, où ils facilitent l'absorption de l'eau et des minéraux en échange de composés carbonés. Cette interaction améliore la croissance végétale et renforce la résistance des plantes aux stress environnementaux (**van der Heijden *et al.*, 2015**). Ainsi, les champignons sont des acteurs clés dans la productivité et la stabilité des écosystèmes.

1.4.2. Rôle Médicinal et Scientifique

Les champignons représentent une source majeure de composés bioactifs utilisés en médecine moderne. L'exemple le plus emblématique est la découverte de la pénicilline, qui a révolutionné le traitement des infections bactériennes. Depuis, de nombreux métabolites fongiques ont été identifiés pour leurs propriétés antimicrobiennes, anticancéreuses et immunomodulatrices (**Demain & Sanchez, 2009**).

Les recherches récentes mettent également en évidence leur potentiel dans le développement de nouveaux médicaments, notamment grâce à leur diversité métabolique exceptionnelle (**Hyde *et al.*, 2019**). Par ailleurs, les champignons sont largement utilisés comme organismes modèles en biologie moléculaire et en génétique, notamment *Saccharomyces cerevisiae*, qui a permis des avancées majeures en compréhension cellulaire.

1.4.3. Rôle économique

Les champignons jouent un rôle économique important dans plusieurs secteurs. Dans le domaine alimentaire, ils constituent une source nutritive riche en protéines, vitamines et minéraux, avec une production mondiale en constante augmentation (**Chang & Miles, 2004**).

Dans l'industrie pharmaceutique, ils sont utilisés pour la production d'antibiotiques, d'enzymes et de substances thérapeutiques. De plus, les champignons interviennent dans les biotechnologies industrielles, notamment dans la production d'enzymes pour l'agroalimentaire et les biocarburants (**Grimm & Wösten, 2018**).

Leur utilisation dans une économie circulaire, notamment à travers des biomatériaux issus du mycélium, représente également une innovation prometteuse.

1.4.4. Contribution à la biodiversité

Les champignons constituent un groupe extrêmement diversifié et jouent un rôle fondamental dans le maintien de la biodiversité. Ils participent aux interactions écologiques complexes, notamment avec les plantes, les animaux et les micro-organismes.

Ils contribuent à la structuration des communautés biologiques et à la stabilité des réseaux trophiques. De plus, leur diversité fonctionnelle renforce la résilience des écosystèmes face aux perturbations environnementales telles que le changement climatique (**Peay et al., 2016**).

Malgré leur importance, la biodiversité fongique reste encore largement sous-estimée et insuffisamment étudiée (**Mueller & Schmit, 2007**).

1.4.5. Rôle dans la bioremédiation

Les champignons possèdent une capacité remarquable à dégrader ou transformer des polluants environnementaux, ce qui les rend essentiels dans les processus de bioremédiation. Grâce à leurs enzymes extracellulaires, ils peuvent décomposer des composés toxiques complexes tels que les hydrocarbures, les pesticides et les colorants industriels (**Harms et al., 2011**).

Ce processus, appelé mycorémédiation, permet également l'absorption et la stabilisation des métaux lourds dans les sols contaminés. Il constitue une méthode écologique, efficace et durable pour la dépollution des environnements dégradés (**Singh, 2006**).

1.5. Diversité fongique

1.5.1. La Diversité fongique dans le monde

La diversité fongique à l'échelle mondiale est considérable et représente une composante majeure de la biodiversité terrestre. Les champignons constituent un groupe extrêmement riche, avec des estimations variant entre 2,2 et 3,8 millions d'espèces, bien que seule une fraction, d'environ 120 000 espèces, ait été décrite scientifiquement à ce jour (**Hawksworth & Lücking, 2017**).

Cette diversité se manifeste à travers une grande variété de formes, de structures et de modes de vie, incluant des champignons unicellulaires comme les levures, ainsi que des formes pluricellulaires complexes telles que les moisissures et les macromycètes. Les champignons occupent une large gamme d'habitats à l'échelle mondiale, allant des milieux terrestres aux environnements aquatiques, et présentent une remarquable diversité morphologique et génétique. Les avancées récentes en biologie moléculaire et en séquençage à haut débit ont permis de révéler l'existence d'un grand nombre d'espèces dites « cryptiques », qui ne peuvent être distinguées par des méthodes morphologiques classiques, enrichissant ainsi considérablement l'estimation de la diversité réelle (**Nilsson *et al.*, 2019**).

Par ailleurs, les grandes bases de données moléculaires ont contribué à améliorer la classification phylogénétique des champignons, mettant en évidence des lignées évolutives encore mal connues. Malgré ces progrès, une grande partie de la diversité fongique mondiale demeure inexplorée, ce qui souligne l'importance des recherches futures pour mieux comprendre l'étendue et la complexité de ce groupe biologique.

1.5.2. La Diversité fongique dans les forêts Méditerranées

La région méditerranéenne est reconnue comme un hotspot de biodiversité, y compris pour les champignons, en raison de la diversité de ses écosystèmes et de ses conditions climatiques variées. Bien qu'il n'existe pas d'estimation précise du nombre total d'espèces fongiques dans cette région, les études disponibles indiquent une richesse élevée, avec plusieurs milliers d'espèces recensées localement dans différents pays méditerranéens. Par exemple, environ 3 500 espèces de champignons ont été signalées au Maroc (**Abourouh, 2011**), ce qui donne une idée de la richesse fongique dans le Maghreb. Dans les écosystèmes forestiers méditerranéens, les champignons représentent une composante majeure de la biodiversité du sol, pouvant

constituer jusqu'à 80–90 % de la biomasse microbienne dans certains sols forestiers (**Tedersoo et al., 2014**).

Cette diversité est dominée par les Ascomycota et les Basidiomycota, avec une forte représentation des champignons mycorhiziens associés aux arbres tels que les chênes et les pins. Par ailleurs, les champignons comestibles, notamment les truffes, occupent une place importante dans les régions méditerranéennes, où leur production peut atteindre plusieurs centaines à milliers de tonnes selon les conditions climatiques et les années. Malgré cette richesse, une grande partie de la diversité fongique méditerranéenne reste encore inconnue, notamment en raison de la présence d'espèces cryptiques révélées récemment par les techniques moléculaires (Nilsson et al., 2019). Ainsi, la région méditerranéenne constitue une zone à forte diversité fongique, encore partiellement explorée, nécessitant davantage d'investigations scientifiques.

1.5.3. La Diversité fongique en l'Algérie

La diversité fongique en Algérie est relativement importante, bien qu'elle reste encore insuffisamment valorisée et étudiée. Selon les données disponibles, environ 2 500 espèces de champignons supérieurs ont été recensées sur l'ensemble du territoire national, ce qui témoigne d'une richesse mycologique notable (**Keddad & Bouznad, 2018**). Cette diversité est principalement concentrée dans les régions septentrionales du pays, notamment les zones forestières et montagneuses du centre et de l'est, qui offrent des conditions écologiques favorables au développement des champignons. En revanche, les régions arides et sahariennes abritent une diversité plus limitée, dominée essentiellement par certaines espèces adaptées comme les truffes du désert. Malgré cette richesse, seule une très faible proportion des espèces est bien connue ou utilisée par les populations locales, ce qui reflète le caractère encore fragmentaire des connaissances mycologiques en Algérie. Cette situation s'explique notamment par le faible usage alimentaire et médicinal des champignons dans la tradition locale, contrairement à d'autres régions du monde où ils occupent une place importante (**Lieutaghi, 2017**). Ainsi, la diversité fongique nationale, bien que quantitativement importante, demeure encore partiellement explorée et nécessite des études approfondies pour être mieux caractérisée.

➤ Dans le Parc National d'El Kala

Le Parc National d'El Kala constitue un écosystème riche et favorable au développement des champignons en raison de la diversité de ses habitats et de ses conditions écologiques. Les

études mycologiques réalisées dans cette région ont permis de mettre en évidence une diversité fongique importante.

Selon **Djelloul (2014)**, une étude approfondie menée sur plusieurs stations du parc a permis de recenser 304 espèces de champignons, ce qui témoigne d'une richesse mycologique remarquable à l'échelle nationale.

La diversité fongique du parc est étroitement liée à la variété des habitats. Les subéraies (forêts de chêne-liège) présentent une forte richesse spécifique, tandis que les pinèdes et les aulnaies montrent une composition plus homogène. En revanche, les prairies humides présentent une diversité plus faible mais une répartition plus équilibrée des espèces (**Djelloul, 2014**).

Les champignons occupent différents rôles écologiques dans ces milieux. On distingue notamment les champignons saprophytes, responsables de la décomposition de la matière organique, les champignons mycorhiziens associés aux racines des arbres, ainsi que les champignons lignicoles impliqués dans la dégradation du bois (**Djelloul, 2014**).

La distribution des champignons est fortement influencée par les facteurs écologiques, notamment la végétation, la teneur en matière organique, l'azote du sol et les conditions climatiques. Ces facteurs déterminent l'abondance et la répartition des espèces au sein du parc (**Djelloul, 2014**).

Enfin, la présence et la fructification des champignons varient selon les saisons, en particulier durant les périodes humides, ce qui souligne l'importance des conditions climatiques dans leur développement (**Djelloul, 2014**).

1.6. Les facteurs écologique influençant la distribution des champignons

La distribution des champignons dans les écosystèmes est régulée par un ensemble complexe de facteurs écologiques, incluant des variables abiotiques, biotiques et anthropiques. Parmi les facteurs abiotiques :

➤ la température

joue un rôle fondamental en influençant le métabolisme, la croissance mycélienne et la germination des spores, chaque espèce possédant un optimum thermique spécifique (**Griffin, 1994 ; Deacon, 2006**).

➤ L'humidité

et la disponibilité en eau constituent également des paramètres déterminants, car l'activité fongique dépend fortement de l'activité de l'eau, conditionnant ainsi la survie et la prolifération des champignons (**Dighton, 2003**).

➤ Le pH du sol

agit sur la disponibilité des nutriments et la structure des communautés fongiques, la plupart des espèces préférant des milieux légèrement acides (**Rousk et al., 2010**).

Par ailleurs, la nature du substrat, notamment sa composition en matière organique, cellulose ou lignine, influence directement la diversité et la spécialisation écologique des champignons saprophytes ou lignivores (**Boddy, 2001**).

En ce qui concerne les facteurs biotiques les interactions avec les plantes, en particulier :

- les symbioses mycorhiziennes, jouent un rôle majeur dans la distribution de nombreuses espèces fongiques, tout comme les relations de parasitisme (**Smith & Read, 2008**).
- La compétition avec d'autres micro-organismes, notamment les bactéries, ainsi que l'activité animale contribuent également à moduler la distribution fongique en affectant les ressources disponibles et la dispersion des spores (**Frey-Klett et al., 2011**).

Enfin, les facteurs anthropiques tels que la pollution, les pratiques agricoles et le changement climatique modifient profondément les habitats naturels et influencent la dynamique des communautés fongiques à différentes échelles (**Gadd, 2007**). Ainsi, la distribution des champignons résulte d'une interaction dynamique et multifactorielle entre ces différents éléments écologiques.

2. Valorisation des Champignons

2.1. Concept de la valorisation écologique

La valorisation écologique des champignons désigne l'ensemble des approches visant à exploiter les fonctions naturelles des champignons tout en respectant l'équilibre des écosystèmes. Les champignons jouent un rôle fondamental dans le fonctionnement des milieux naturels, notamment en tant que décomposeurs de la matière organique, contribuant ainsi au recyclage des nutriments tels que le carbone, l'azote et le phosphore. Ils participent également à la formation et à la structuration des sols, améliorant leur fertilité et leur stabilité. Par ailleurs,

les champignons établissent des relations symbiotiques avec de nombreuses plantes, notamment à travers les mycorhizes, favorisant l'absorption de l'eau et des éléments minéraux, et augmentant la résistance des plantes aux stress environnementaux (Smith & Read, 2008).

Dans une perspective de valorisation écologique, les champignons sont également utilisés dans des applications environnementales telles que la bioremédiation, qui consiste à utiliser certaines espèces fongiques pour dégrader ou transformer des polluants organiques et des métaux lourds présents dans les sols et les eaux (Gadd, 2007). De plus, ils peuvent être intégrés dans des pratiques agricoles durables, en réduisant l'utilisation d'engrais chimiques et en améliorant la santé des sols. Ainsi, la valorisation écologique des champignons s'inscrit dans une démarche de développement durable, visant à concilier exploitation des ressources naturelles et préservation de l'environnement.

2.2. Valorisation médicinale

Les champignons constituent une source importante de composés bioactifs présentant un intérêt majeur en médecine. De nombreuses espèces produisent des molécules aux propriétés thérapeutiques variées, telles que des antibiotiques, des antioxydants, des immunomodulateurs et des agents anticancéreux. L'exemple le plus connu est celui de la pénicilline, extraite du genre *Penicillium*, qui a marqué une avancée majeure dans le traitement des infections bactériennes. Par ailleurs, plusieurs champignons médicinaux, comme *Ganoderma lucidum* et *Lentinula edodes*, sont utilisés en médecine traditionnelle et font actuellement l'objet de nombreuses études scientifiques pour leurs effets bénéfiques sur le système immunitaire et la prévention de certaines maladies (Wasser, 2014).

2.3. Valorisation économique

La valorisation économique des champignons repose sur leur exploitation dans plusieurs secteurs, notamment l'alimentation, l'agriculture et l'industrie. Les champignons comestibles représentent une ressource économique importante à l'échelle mondiale, avec une production dépassant 10 millions de tonnes par an, dominée par des espèces telles que *Agaricus bisporus*, *Pleurotus spp.* et *Lentinula edodes* (Royse *et al.*, 2017). Dans de nombreuses régions, la cueillette et la commercialisation des champignons sauvages constituent une source de revenus complémentaire pour les populations rurales.

2.4. Risque de surexploitation

La cueillette excessive et non contrôlée des champignons sauvages peut entraîner une diminution des populations locales, voire la disparition de certaines espèces sensibles (**FAO By Boa, 2004**). Ce phénomène est particulièrement préoccupant dans les régions où la récolte constitue une source de revenus pour les populations rurales, ce qui accentue la pression sur les écosystèmes.

La surexploitation peut également perturber le fonctionnement des écosystèmes, étant donné le rôle essentiel des champignons dans la décomposition de la matière organique et le recyclage des nutriments. Une réduction de leur diversité ou de leur abondance peut ainsi affecter la fertilité des sols et les interactions écologiques, notamment les relations symbiotiques avec les plantes. Par ailleurs, certaines pratiques de récolte inappropriées, comme l'arrachage du mycélium, peuvent compromettre la régénération des champignons (**Pilz et al., 2006**).

2.5. Stratégie de gestion durable des ressources fongiques

La gestion durable des ressources fongiques repose sur un ensemble de mesures visant à assurer une exploitation rationnelle des champignons tout en préservant leur rôle écologique et leur diversité. Face à l'augmentation de la demande en champignons sauvages et cultivés, il devient indispensable d'adopter des stratégies permettant de limiter les impacts négatifs liés à leur surexploitation. Parmi ces stratégies, la mise en place d'une réglementation stricte de la cueillette constitue une étape essentielle, incluant la limitation des quantités récoltées, le respect des périodes de fructification et l'interdiction des pratiques destructrices du mycélium (**Pilz et al., 2006**).

Par ailleurs, la sensibilisation des populations locales et des cueilleurs joue un rôle fondamental dans la préservation des ressources fongiques. L'adoption de pratiques respectueuses, telles que la récolte sélective et la protection des habitats naturels, permet de maintenir la capacité de régénération des espèces. En complément, le développement de la culture contrôlée des champignons représente une alternative durable permettant de réduire la pression exercée sur les populations naturelles tout en répondant aux besoins économiques croissants (**FAO By Boa, 2004**).

En outre, la conservation des écosystèmes forestiers apparaît comme un élément clé dans la gestion durable, étant donné que les champignons sont étroitement liés à leur environnement et participent activement aux cycles biogéochimiques et aux interactions écologiques (**Dighton,**

2003 ; Deacon, 2006). Une approche intégrée tenant compte des fonctions écologiques des champignons et de leur importance dans les écosystèmes est donc nécessaire pour assurer une gestion durable à long terme. Ainsi, la valorisation des ressources fongiques doit s'inscrire dans une perspective globale de développement durable conciliant exploitation économique et conservation de la biodiversité (**Moore *et al.*, 2011**).

APERÇU SUR L'ESPECE :

Pisolithus Arhizus



3. Aperçu sur l'espèce : *Pisolithus arhizus*

3.1. Définition

Pisolithus arhizus (Scop.) Rauschert est un champignon basidiomycète appartenant à la famille des Sclerodermataceae. Il s'agit d'une espèce largement répandue, connue principalement pour son rôle écologique en tant que champignon ectomycorhizien, établissant des associations symbiotiques avec de nombreuses espèces végétales, notamment les arbres forestiers tels que les pins (*Pinus* spp.) et les eucalyptus (*Eucalyptus* spp.). Cette symbiose permet d'améliorer l'absorption des nutriments minéraux, en particulier le phosphore, ainsi que la tolérance des plantes aux conditions environnementales défavorables (Smith & Read, 2008).

Ce champignon se caractérise par un sporophore globuleux à piriforme, de couleur brunâtre, contenant une gleba interne composée de structures granulaires ressemblant à des « pois », d'où son nom (*Pisolithus* signifiant « pierre de pois »). *P. arhizus* est également reconnu pour sa capacité à coloniser des sols pauvres, acides ou perturbés, ce qui en fait une espèce pionnière importante dans les processus de restauration écologique et de reboisement (Marx, 1977).

En raison de sa grande adaptabilité et de sa tolérance aux conditions extrêmes, *Pisolithus arhizus* est souvent utilisé dans les programmes de mycorhization contrôlée afin d'améliorer la croissance et la survie des plants forestiers dans des environnements difficiles.

3.2. Classification taxonomique

Cette espèce appartient au groupe des Basidiomycètes, caractérisés par la production de spores sexuées appelées basidiospore (Kirk et al., 2008).

Tableau 02 : La classification de *Pisolithus arhizus*

<i>Rang Taxonomique</i>	<i>Classification</i>
<i>Règne</i>	Fungi
<i>Division (Phylum)</i>	Basidiomycota
<i>Classe</i>	Agaricomycetes
<i>Ordre</i>	Boletales
<i>Famille</i>	Sclerodermataceae
<i>Genre</i>	<i>Pisolithus</i>
<i>Espèce</i>	<i>Pisolithus arhizus</i> (Scopoli) Rauschert (1959)

3.3. Description morphologique

Pisolithus arhizus se caractérise par un sporophore (carpophore) de forme généralement globuleuse à piriforme, pouvant atteindre plusieurs centimètres de diamètre. La surface externe, appelée périidium, est épaisse, rugueuse et de couleur brunâtre à noirâtre à maturité. Le sporophore est souvent partiellement enfoui dans le sol et peut être relié à un pseudo-pied court et robuste.

La structure interne, appelée gleba, est constituée de nombreuses petites loges arrondies contenant les spores, donnant un aspect granuleux caractéristique évoquant des « pois », ce qui explique l'étymologie du genre *Pisolithus*. À maturité, la gleba se désagrège progressivement pour libérer une poudre brun foncé composée de basidiospores. Ces spores sont sphériques à sub-sphériques, à paroi épaisse et ornée, adaptées à la dispersion dans des conditions environnementales variées.

Sur le plan microscopique, *Pisolithus arhizus* présente des basides typiques des Basidiomycètes, portant généralement quatre basidiospores. Cette espèce se distingue également par sa capacité à former des structures ectomycorhiziennes avec les racines des plantes hôtes, contribuant à son adaptation à des milieux pauvres et perturbés (Kirk *et al.*, 2008 ; Smith & Read, 2008).



Figure 08 : champignons de *Pisolithus arhizus* [site 3].

3.4. Cycle de reproduction

Le cycle de reproduction de *Pisolithus arhizus* s'inscrit dans le schéma général des Basidiomycètes ectomycorhiziens, caractérisé par une alternance de phases haploïde, dikaryotique et diploïde. Les basidiospores haploïdes (n), produites au niveau des basides à l'intérieur du sporophore gastéroïde, sont libérées lors de la dégradation du carpophore. Après germination, elles donnent naissance à un mycélium primaire monokaryotique (n). La rencontre de deux mycéliums compatibles conduit à une plasmogamie, formant un mycélium secondaire dikaryotique (n+n), qui constitue la phase végétative dominante. Ce mycélium établit une symbiose ectomycorhizienne avec les racines des plantes hôtes, formant un manteau fongique et un réseau de Hartig favorisant les échanges nutritifs. Sous des conditions environnementales favorables, ce mycélium différencie un sporophore dans lequel se déroulent successivement la caryogamie (fusion des noyaux donnant un état diploïde transitoire, 2n) puis la méiose, aboutissant à la formation de nouvelles basidiospores haploïdes. Ce cycle est typique des Basidiomycota, mais *Pisolithus arhizus* se distingue par son sporophore fermé et son rôle écologique majeur dans les écosystèmes forestiers, notamment en conditions édaphiques défavorables (Smith & Read, 2008 ; Cairney & Chambers, 1999 ; Marx, 1977).

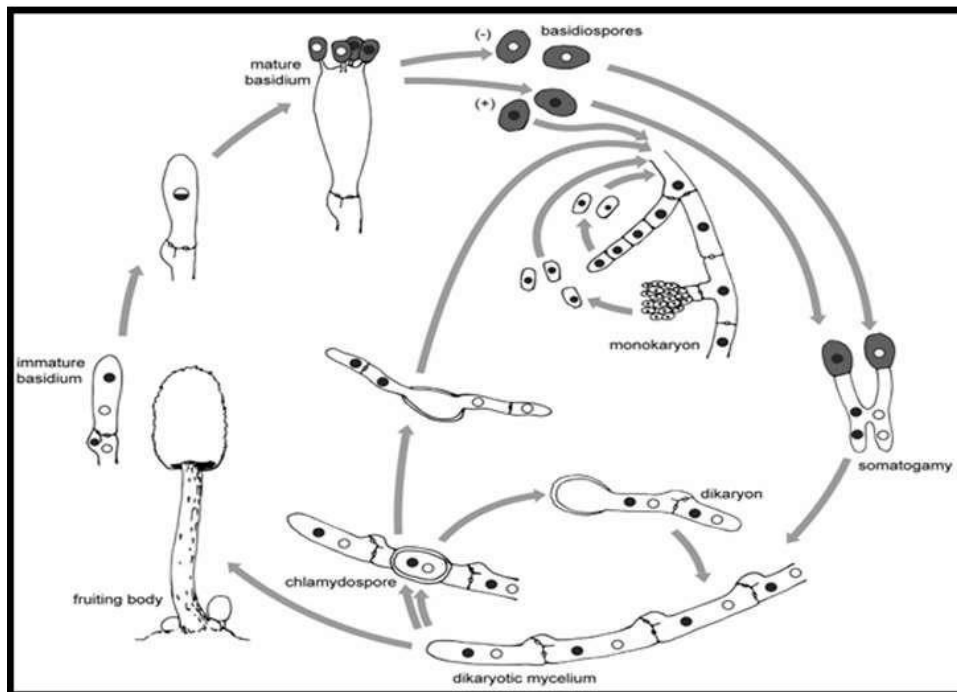


Figure 09 : Le cycle biologique typique d'un basidiomycète (Prescott *et al.*, 2013).

3.5. Habitat et écologie

Pisolithus arhizus est un champignon ectomycorhizien largement distribué dans les écosystèmes forestiers et semi-arides, particulièrement associé aux genres *Pinus*, *Eucalyptus*, *Quercus* et *Betula*. Il se développe préférentiellement dans des sols pauvres, sableux ou dégradés, souvent caractérisés par une faible teneur en nutriments et une forte contrainte hydrique. Cette espèce est reconnue pour sa grande tolérance aux conditions environnementales extrêmes, notamment la sécheresse, les températures élevées et la présence de métaux lourds, ce qui en fait un organisme pionnier dans les sols perturbés ou anthropisés, tels que les sites miniers ou les zones de reboisement. Sur le plan écologique, *Pisolithus arhizus* joue un rôle essentiel dans la nutrition des plantes hôtes en améliorant l'absorption de l'eau et des éléments minéraux, en particulier le phosphore et l'azote, grâce à son réseau mycélien étendu. Il contribue également à la stabilité structurale du sol et à la résilience des écosystèmes forestiers, ce qui explique son utilisation fréquente en inoculation dans les programmes de reforestation et de restauration écologique (Marx, 1977 ; Smith & Read, 2008 ; Cairney, 2012).

3.6. Intérêt thérapeutique, écologique et économique

Pisolithus arhizus présente un intérêt multidimensionnel, à la fois thérapeutique, écologique et économique.

➤ Sur le plan thérapeutique

plusieurs études ont mis en évidence la présence de composés bioactifs, notamment des polysaccharides, des phénols et des composés antioxydants, susceptibles de conférer des propriétés antimicrobiennes, immunomodulatrices et antioxydantes. Bien que son usage médicinal reste encore limité et principalement exploratoire, ces propriétés ouvrent des perspectives en pharmacologie et en biotechnologie (Ríos *et al.*, 1988 ; Wasser, 2014).

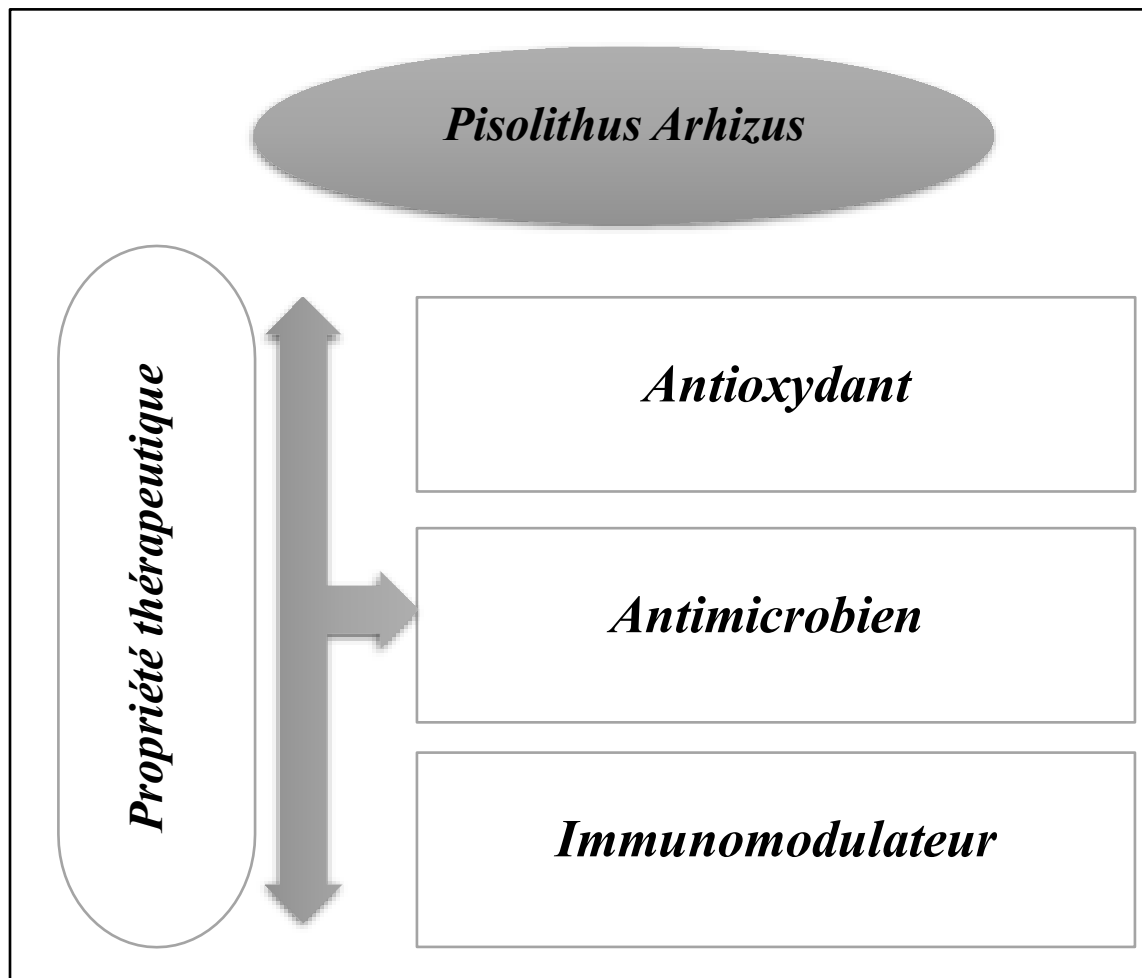


Figure 10 : propriété thérapeutique de *Pisolithus Arhizus*

➤ **Sur le plan écologique**

Pisolithus arhizus joue un rôle clé en tant que champignon ectomycorhizien, améliorant significativement la nutrition hydrominérale des plantes hôtes, notamment en conditions de stress (sécheresse, sols pauvres ou contaminés). Il contribue à la stabilisation des sols, à la restauration des écosystèmes dégradés et à la tolérance des plantes aux métaux lourds, ce qui en fait un outil important en phytoremédiation et en reboisement (Marx, 1977 ; Smith & Read, 2008).

➤ **Sur le plan économique**

cette espèce est largement utilisée dans les programmes de reforestation et de production forestière grâce à son efficacité symbiotique avec des essences commerciales telles que les pins

et les eucalyptus. Elle est également exploitée dans la production d'inoculum mycorhizien à usage sylvicole et horticole, contribuant ainsi à l'amélioration des rendements et à la réduction de l'utilisation d'engrais chimiques (Cairney & Chambers, 1999 ; Chen et al., 2000).

3.7. Distribution géographique

Pisolithus arhizus présente une distribution géographique large, s'étendant sur plusieurs continents, notamment en Europe, en Afrique, en Asie, en Australie et en Amérique. Cette espèce est particulièrement fréquente dans les régions tempérées à méditerranéennes, mais elle est également capable de coloniser des zones subtropicales et semi-arides grâce à sa grande tolérance aux conditions environnementales contraignantes. Elle est souvent associée à des plantations forestières de *Pinus* et d'*Eucalyptus*, ce qui a favorisé sa dissémination à l'échelle mondiale, notamment dans les programmes de reforestation. En Afrique du Nord, y compris en Algérie, *Pisolithus arhizus* est couramment observé dans les sols sableux et pauvres, en association avec les pins, où il joue un rôle important dans l'adaptation des écosystèmes forestiers aux conditions de sécheresse. Sa capacité à s'établir dans des sols dégradés ou perturbés contribue également à son succès écologique et à sa large répartition biogéographique (Marx, 1977 ; Cairney & Chambers, 1999 ; Smith & Read, 2008).

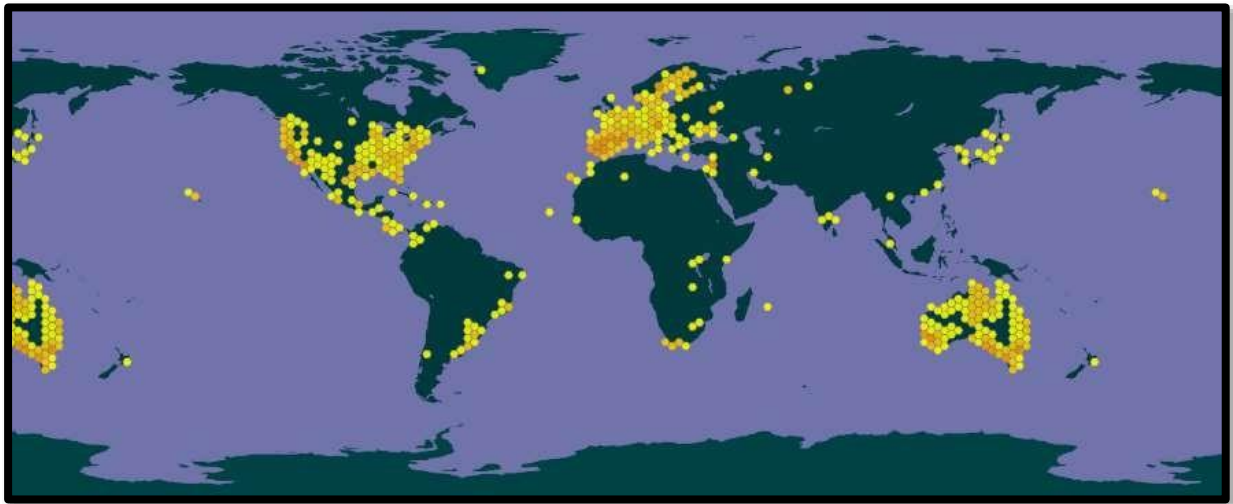


Figure 11: Distribution géographique du *Pisolithus arhizus* [site 3].

CHAPITRE II

MATERIELS ET METHODES



1. Présentation du Parc national d'El-Kala (PNEK)

1.1. Situation géographique

Le Parc National d'El-Kala, connu sous le sigle PNEK, se situe au Nord-est de l'Algérie. Sa superficie est d'environ 80.000 hectares, complètement localisée dans la wilaya d'El-Tarf. Il comprend aussi environ 19,300 hectares qui sont classés comme zones périphériques. Ce site a été légalement protégé lorsqu'il a été désigné Parc National par le décret N° 83-462 en date du 23 juillet 1983, et en 1991, il a été reconnu par l'UNESCO comme une zone protégée (De Belair, 1990). (Fig.12)

Le Parc National d'El-Kala ($36^{\circ}52'N$, $8^{\circ}27' E$) a des limites géographiques comme suit :

- Au Nord : la mer Méditerranée
- Au Sud : les montagnes de la Mejerda
- À l'Est : la frontière algéro-tunisienne
- À l'ouest : les plaines d'Annaba.

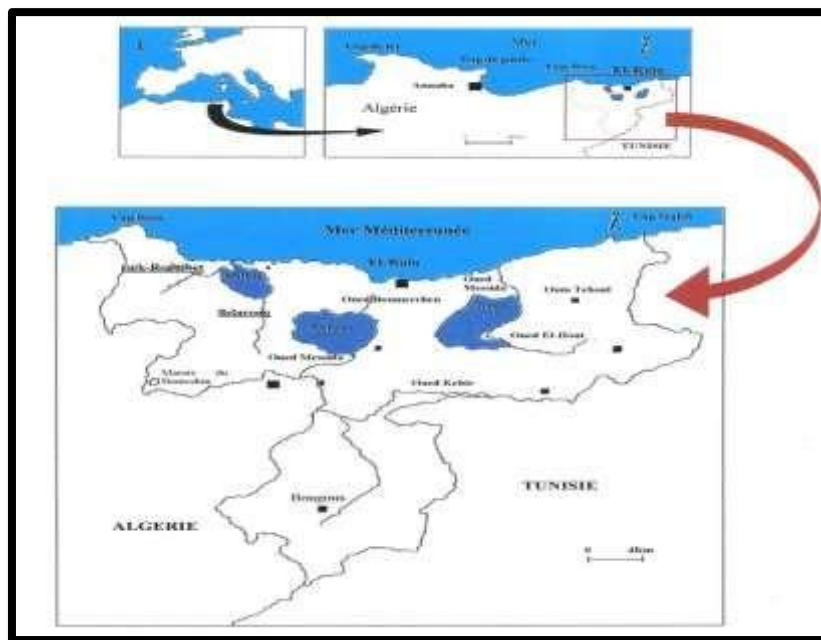


Figure 12 : Carte de localisation du Parc National d'El-Kala (De Belair, 1990)

1.2. Les objectifs du parc national d'El Kala

Les principaux objectifs du PNEK sont triples :

- Conservation environnementale : assurer la préservation de l'ensemble des ressources naturelles du parc
- Protection patrimoniale et paysagère : Maintenir l'intégrité naturelle des paysages, des sites et des monuments historiques, en interdisant toute intervention humaine susceptible de dégrader l'environnement.
- Biodiversité : garantir la reproduction et de développement harmonieux de la faune et de la flore du parc.

1.3. Hydrographie

Le PNEK est caractérisée par la présence d'une multitude d'étendues stagnantes, comme le lac Tonga, le lac Oubeïra, le marais de Bourdim, le lac Bleu, le lac Mellah et d'autres zones d'importance écologique similaire. La zone Est du PNEK présente un manque de drainage. La frontière algéro-tunisienne est drainée par de nombreux cours d'eau qui prennent leur source dans les eaux principales et se terminent au plateau d'Oum Teboul. Le lac Tonga est alimenté par l'affluent de l'oued El-Hout. La nappe phréatique est alimentée par une autre partie qui pénètre. Un certain nombre de marécages et d'argiles de Numidie se manifestent. Au sud, il y a trois cours d'eau : l'oued El-Kebir, l'oued Mellila et l'Oued Bougous (**Joleaud 1936**).

1.4. Topographie

Selon Joleaud (1936), les principaux éléments constitutifs du parc national d'El Kala sont:

- Un reliquat dunaire qui longe la côte sur 40 km et qui s'enfonce au sud jusqu'au pied du djebel Segleb en s'enfonçant jusqu'à 24 km dans les terres ;
- des prairies soutenues par la Medjerda.
- Des reliefs gréseux de faible altitude (180-300 m) se terminant par des collines au nord. L'est et l'ouest de la Medjerda sont situés à une altitude moyenne d'environ 1100 m, dans la partie sud du nord de la Medjerda (**De Bélair 1990**).
- Écosystème forestier La majorité des ressources forestières de la région d'Annaba-El-Kala sont constituées de chêne zeen (2716 ha), de peupliers, d'ormes (621 ha), de chêne

liège (43000 ha), d'aulnaie (3000 ha), de pin maritime (5153 ha), de pin d'Alep (20 ha), de maquis 10 649 hectares, d'Acacia sp (1000 hectares) et de forêts d'eucalyptus (8508 hectares) (Figure) (**Bentouili 2007**).



Figure 13 : Carte de la couverture végétale de la wilaya d'El-Tarf (**Bentouili 2007**).

- **Ecosystème lacustre** Les zones humides constituent les deux tiers de la superficie d'Annaba-El Kala, incluant lacs, marécages, lagunes et ripisylves. La région abrite trois grands lacs d'importance mondiale, dont le lac Mellah (eau salée), relié à la Méditerranée et formant une riche réserve intégrale de 860 hectares. Les lacs Tonga (saumâtre, environ 2600 hectares) et Oubeïra (eau douce, environ 2200 hectares), tous deux peu profonds, sont des étapes cruciales sur la route migratoire de millions d'oiseaux venant d'Europe et d'Asie pour l'hivernage ou la reproduction. La région d'El Kala, avec ses lacs, est reconnue comme un centre international de biodiversité et le plus grand site d'hivernage ornithologique du bassin méditerranéen en particulier durant la traversée du Sahara en hiver (**Draïdi 2014**).
- **Ecosystèmes marin et dunaire** Le littoral entre Cap Segleb (Cap Roux) et le Cap Rosa s'étend sur environ 50 km et est caractérisé par une roche corallienne abritant une riche biodiversité marine. La pêche intensive du corail, interdite par les autorités algériennes pendant dix ans pour favoriser sa régénération, a fortement affecté cet écosystème. L'apport en nutriments des eaux douces des lacs côtiers enrichit les fonds marins, créant un environnement sous-marin unique. Le littoral de la réserve d'El Kala est également marqué par des plages, dunes, falaises, offrant

un habitat de nidification pour de nombreuses espèces d'oiseaux. Les dunes côtières, culminant entre 20 et 120m, sont consolidées par une végétation dense et variée (**Draïdi 2014**).

1.5. Géomorphologie et hydrologie

D'après **De Belair, (1990)**, le relief du PNEK est composé d'une série de dépressions. Certaines sont occupées par des zones lacustres ou marécageuses, d'autres par des collines élevées aux formes variées telles que les dômes, escarpements ou crêtes, généralement recouvertes par une végétation dense. En allant du nord vers le sud du parc, on remarque un ensemble de collines basses, dont la hauteur varie entre 30 et 310 mètres (en moyenne 100 m), comme celle du djebel Ksouri. Il est probable que ces reliefs soient d'origine dunaire, proches des zones littorales ou sablonneuses. Ce système s'étend sur une quinzaine de kilomètres vers le sud et aboutit à la vallée de l'Oued Kébir. Au-delà de cette vallée, le relief devient plus marqué atteignant environ 500mètres d'altitude. On y trouve alors des montagnes plus élevées, principalement constituées de grès, comme les monts de Bougous. Plus au sud, le relief devient encore plus important, culminant 1202 mètres au niveau du djebel Ghora, le point le plus haut de la région. Celle-ci se distingue aussi par sa richesse en ressources hydrologiques, traversée par trois grandes zones de distribution des eaux (**Lakhdara 2017**).

1.6. Pédologie

Le parc se caractérise par la présence de quatre types de sols distincts. On trouve des sols de marais au cœur du lac, tandis que des sols tourbeux prédominent dans les zones d'aulnaie situées au nord de Tonga. Des couvertures alluvionnaires issues des oueds adjacents se sont déposés autour du lac. Enfin, des sols de prairies marécageuses, qui tendent à s'assécher durant la période estivale, sont également présents (**DGF 2003**).

1.7. Caractéristiques climatiques

Le climat exerce une influence majeure sur l'environnement local, impactant directement la faune et la flore. La zone présente un climat méditerranéen caractérisé par des précipitations abondantes durant la saison humide et les mois froids, suivies d'une période de sécheresse estivale (**Ozenda 1975; Samraoui et De Belair 1998**). Cependant, les informations climatiques disponibles sont insuffisantes pour établir une vue d'ensemble exhaustive des conditions météorologiques régionales. Pour pallier ce manque et caractériser le climat de la zone d'étude, nous avons donc analysé les données climatiques enregistrées entre 2010 et 2023.

➤ Les températures mensuelles moyennes

La température de l'air est un facteur déterminant dans la régulation des pertes d'eau dues à l'évapotranspiration. L'étude des températures moyennes mensuelles, est donc cruciale pour estimer les déficits d'écoulement dans les bassins versants (**Ramade 2003**). La température est un élément clé du climat, car ses variations influent directement l'évaporation et l'évapotranspiration, affectant ainsi le niveau de salinité des plans d'eau. **Toubal (1986)** précise que ce paramètre est modulé par l'altitude, la proximité de la mer et les variations saisonnières. Les données de température (**Tableau 3**), révèlent que les mois de juillet et août sont les plus chauds dans la région d'étude, avec une température moyenne maximale de 43,5°C. En contraste, janvier enregistrant une température moyenne minimale de 23,8°C. La moyenne mensuelle des températures enregistrées dans la région d'étude oscille entre 25,7°C pour le mois d'août et 1,1°C pour le mois de février.

Tableau 3 : Températures moyennes mensuelles et extrêmes (°C) enregistrées dans la zone d'étude (2010-2023)

Mois	Janv	Févr	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moyenne
Températures extrêmes	23,8	28,8	36	37,8	37,5	42,4	43,5	43,5	41,8	40,4	31,6	27,8	43,5
Températures maximales	16,1	15,2	18,3	21,1	22,9	27,5	30,3	31,2	28,7	26,2	21,3	17,6	23,1
Températures minimales	8,1	7	9,2	10,8	12,9	15,9	19,5	20,2	18,8	16,3	12,6	9,3	13,4
Températures Moyennes	12,1	11	13,8	15,9	17,9	21,7	24,9	25,7	23,7	21,3	16,8	13,5	18,2

➤ Précipitations mensuelles

Les précipitations jouent un rôle essentiel dans l'écosystème, non seulement pour le bon fonctionnement et la distribution des écosystèmes limniques (**Ramade 2003**), mais aussi pour toute activité, notamment la photosynthèse (**Ozenda 1975**)

Tableau 4 : Les précipitations moyennes mensuelles (T0 C) de la région d'étude (2010 2023)

Mois	Janv	Févr	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Moyenne	6,5	9,1	7,7	5,4	4,5	3,4	3	9,7	7,8	9,4	7,8	7,1

➤ Les vents

Les vents exercent une influence significative sur la région, se distinguant par leur fréquence, leur direction et leur vitesse (**Raachi 2007**). Les vents dominants, particulièrement en hiver, proviennent du nord-est (**Samraoui et de Bélair 1998**). Ces derniers sont associés aux pluies d'équinoxe, apportant les précipitations les plus importantes d'origine atlantique. Inversement en été, le Sirocco, vent du sud-est, assèche l'atmosphère et, combiné aux températures élevées, contribue à l'augmentation des risques d'incendies de forêts (**De Bélair 1990**)

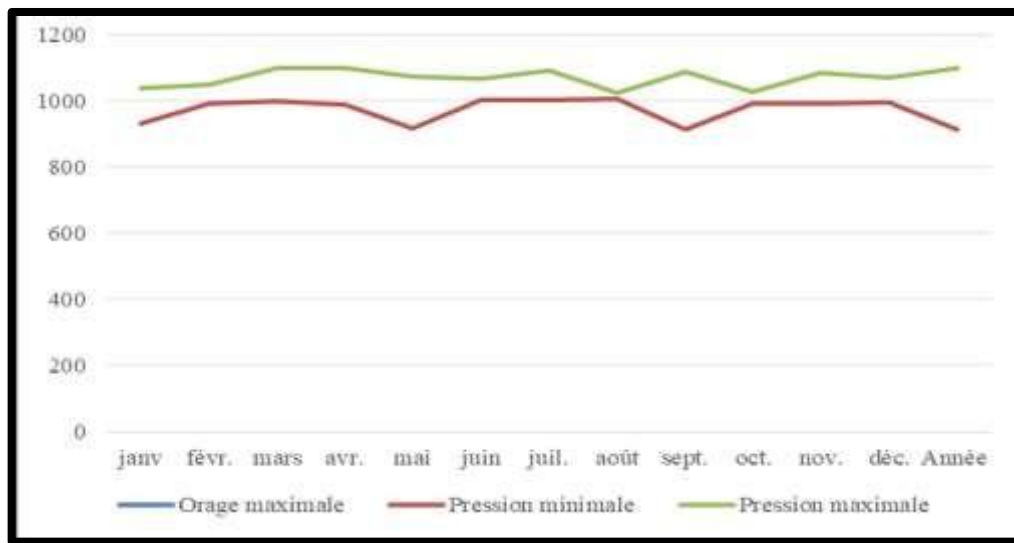


Figure 14. Changement des pressions mensuelles de la région d'El Tarf (2010–2023)

1.8. Richesse zoologique et botanique

➤ Richesse zoologique

La diversité faunistique a été mise en évidence par **Benyacoub et al. (1998)**. En effet, la région compte au moins 37 espèces de mammifères, dont sept sont rares. On y trouve également 214 espèces d'oiseaux, dont 75 hivernantes et 139 nicheuses. Du côté des reptiles, 17 espèces ont été recensées parmi lesquelles six sont peu communes et deux sont rares. Concernant les insectes, on a identifié 40 espèces d'Odonates, 50 espèces de Syrphidés, 45 espèces de Carabidés et 31 espèces de Lépidoptères (**Benyacoub et al., 2007**). La région se caractérise par la présence de nombreux mammifères notamment le renard roux ou doré, le lynx caracal, la mangouste et l'hyène rayée ainsi que le cerf de Barbarie.

➤ La flore et la végétation

Grâce à sa position dans des zones humides et à son climat méditerranéen, la flore du PNEK est riche et diversifiée. On y trouve notamment des plantes médicinales sous forme de poudre, de tisanes ou sous forme de préparations (comme des teintures ou des extraits). Les plantes aromatiques les plus fréquentes sont l'olivier, le lentisque, la menthe, la lavande, le laurier et le thym. Cette région se distingue aussi par une forte présence d'espèces endémiques, rares et très rares, représentant 15 % de la flore rare à l'échelle nationale. Environ un tiers de la flore d'Algérie se trouve dans le PNEK, soit 840 espèces (**De Belair 1990**). On y trouve également 114 espèces de lichens, dont 53 sont protégées, et 165 espèces de champignons. La flore du parc est un véritable mélange biogéographique, dominé par les espèces méditerranéennes (50 % : chêne liège, chêne kermès, myrte...) et des espèces à affinité européenne (20 %), cosmopolite (20 %) et tropicale (10 %) (**Chabi et Benyacoub 2000 ; Draïdi 2014**).

2. Matériels et Méthodes

2.1. Méthodologie

2.1.1. Choix de station d'étude

Le parc d'attraction Ezzana, situé dans la région d'El Kala, constitue un espace récréatif implanté dans un environnement naturel caractérisé par une couverture forestière et des paysages méditerranéens. Il se situe à proximité de l'Oued Djab Allah et s'intègre dans un paysage dominé par les formations forestières méditerranéennes. Sa localisation à proximité des zones forestières et des milieux naturels d'El Kala lui confère également un intérêt paysager et écologique important.

➤ Localisation géographique

Latitude 36°51'28.13''N ; longitude :8°26'26.42'' E Altitude : 1.04 Km



Figure 15 : Situation géographique de la station d'étude Parc d'attraction Ezzana (Google Earth, 2026)

2.1.1. Matériel biologique

Le modèle biologique utilisé dans cette étude est le champignon ectomycorhizien *Pisolithus arhizus*, appartenant au groupe des Basidiomycètes, connu pour son potentiel pharmacologique et la production de métabolites secondaires bioactifs (Lindequist *et al.*, 2005 ; Osińska-Jaroszuk *et al.*, 2014).

Les bactéries utilisées pour l'évaluation de l'activité antibactérienne sont :

- *Escherichia coli* comme bactérie Gram négative.

La souche est fréquemment utilisée dans les études de sensibilité antimicrobienne et les tests de diffusion sur gélose (Rosa *et al.*, 2003 ; CLSI, 2021).

2.2. Préparation de l'extrait fongique

Les spores de *Pisolithus arhizus* ont été récoltées puis broyées afin de préparer des décoctions à différentes concentrations destinées à l'évaluation de l'activité antibactérienne.

➤ Préparation de la décoction

Quatre flacons contenant respectivement 5 g, 10 g, 20 g et 40 g de spores de champignons ont été préparés. À chacun de ces flacons, 100 mL d'eau distillée ont été ajoutés, suivis d'une fermeture immédiate. Les mélanges ont ensuite été chauffés au bain-marie pendant une durée comprise entre 5 et 20 minutes, puis laissés à refroidir à température ambiante.

Après refroidissement, les solutions obtenues ont été récupérées et conservées. Les extraits ont ensuite été filtrés à l'aide d'un papier filtre de 0,45 µm afin d'obtenir un extrait aqueux filtré.



Figure 16 : Les différentes concentrations de la décoction de *Pisolithus arhizus*

2.3. Préparation de la gélose nutritive

La gélose nutritive a été préparée par dissolution de la quantité nécessaire de milieu dans de l'eau distillée. Le mélange a été transféré dans un erlenmeyer puis chauffé sous agitation jusqu'à obtention d'une solution homogène.

La stérilisation a été réalisée à l'autoclave à 121 °C pendant 15 minutes. Après stérilisation, le milieu a été coulé dans des boîtes de Pétri stériles.

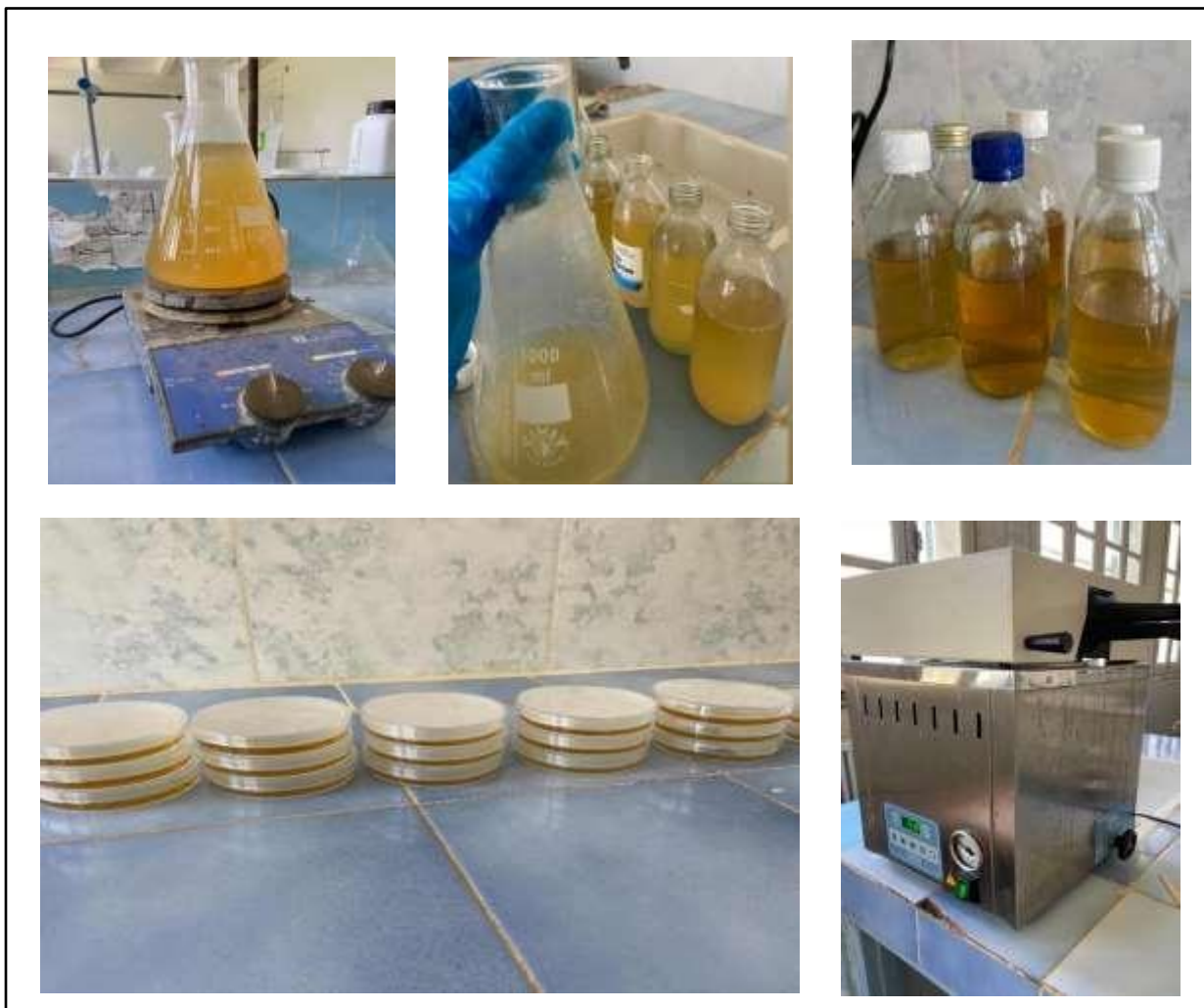


Figure 17 : Préparation de la gélose nutritive

2.4. Préparation de la suspension bactérienne

La souche bactérienne d'*Escherichia coli* 154 B 127 a été préparée par dilution décimale :

Un tube mère contenant 10 mL d'eau physiologique inoculée par la bactérie a été préparé, puis des dilutions successives ont été réalisées dans quatre tubes contenant chacun 9 mL d'eau physiologique stérile.

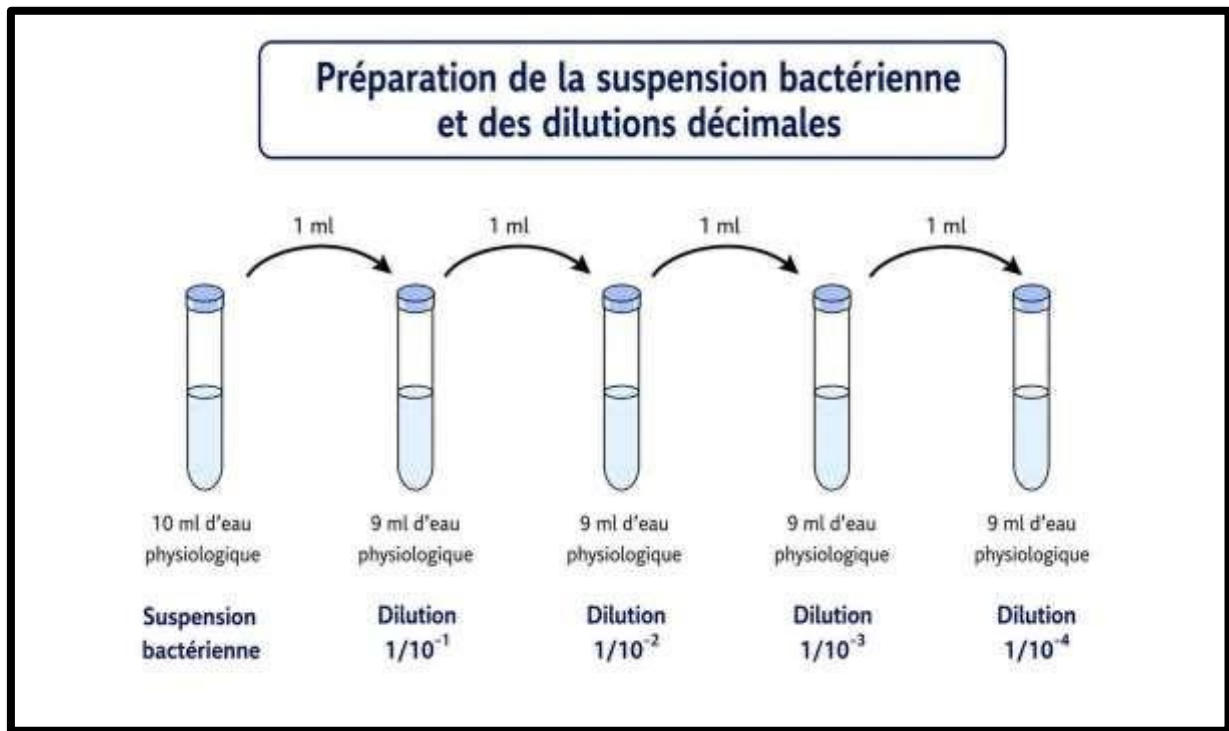


Figure 18 : préparation de la dilution décimale de la souche *d'Escherichia coli* 154 B 127

➤ Ensemencement

L'ensemencement a été effectué sur des boîtes de Pétri stériles. À l'aide d'une pipette Pasteur, deux gouttes de chaque dilution ont été déposées au centre des boîtes correspondantes.

La pipette Pasteur a ensuite été transformée en râteau par chauffage à la flamme du bec Bunsen afin d'étaler uniformément l'inoculum sur toute la surface de la gélose. Les boîtes ont été incubées à 37 °C pendant 24 heures.

2.5. Dénombrement bactérien

Après l'ensemencement et l'incubation vous dénombrer les colonies de bactéries

2.6. Détermination de la charge microbienne

La charge microbienne de la suspension bactérienne d'*Escherichia coli* a été déterminée par la méthode de dénombrement sur gélose nutritive. Des dilutions décimales successives ont été réalisées à partir de la suspension mère, puis un volume déterminé de chaque dilution a été ensemencé sur des boîtes de Pétri contenant le milieu de culture approprié. Après incubation à 37 °C pendant 24 heures, les colonies développées ont été comptées. Le nombre d'unités formant colonies (UFC/mL) a été calculé en tenant compte du nombre de colonies dénombrées, du facteur de dilution et du volume ensemencé selon la formule :

$$\text{UFC/mL} = \frac{N \times F}{V}$$

où **N** représente le nombre de colonies comptées, **F** le facteur de dilution et **V** le volume ensemencé. La charge bactérienne obtenue a servi à standardiser l'inoculum utilisé pour l'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait aqueux de spores de *Pisolithus arhizus*.

2.7. Test d'activité antibactérienne

➤ Principe

Cette méthode repose sur la diffusion des composés actifs présents dans l'extrait fongique à travers la gélose. Une activité antibactérienne se traduit par l'apparition d'une zone d'inhibition autour du disque, indiquant une inhibition de la croissance bactérienne.

➤ Méthode d'Antibiogramme (Disque)

Après préparation de la gélose nutritive et ensemencement des boîtes de Pétri avec la souche bactérienne d'*Escherichia coli*, des disques stériles de papier buvard ont été imprégnés de 20 µL des différentes concentrations de l'extrait fongique : 5 g/100 mL, 10 g/100 mL, 20 g/100 mL, 40 g/100 mL.

Les disques ont ensuite été déposés à la surface des boîtes inoculées.

Chaque essai a été réalisé en trois répétitions.

Les boîtes ont été incubées pendant 24 heures avant l'évaluation de l'activité antibactérienne par l'observation et la mesure des diamètres des zones d'inhibition exprimés en millimètres (mm).

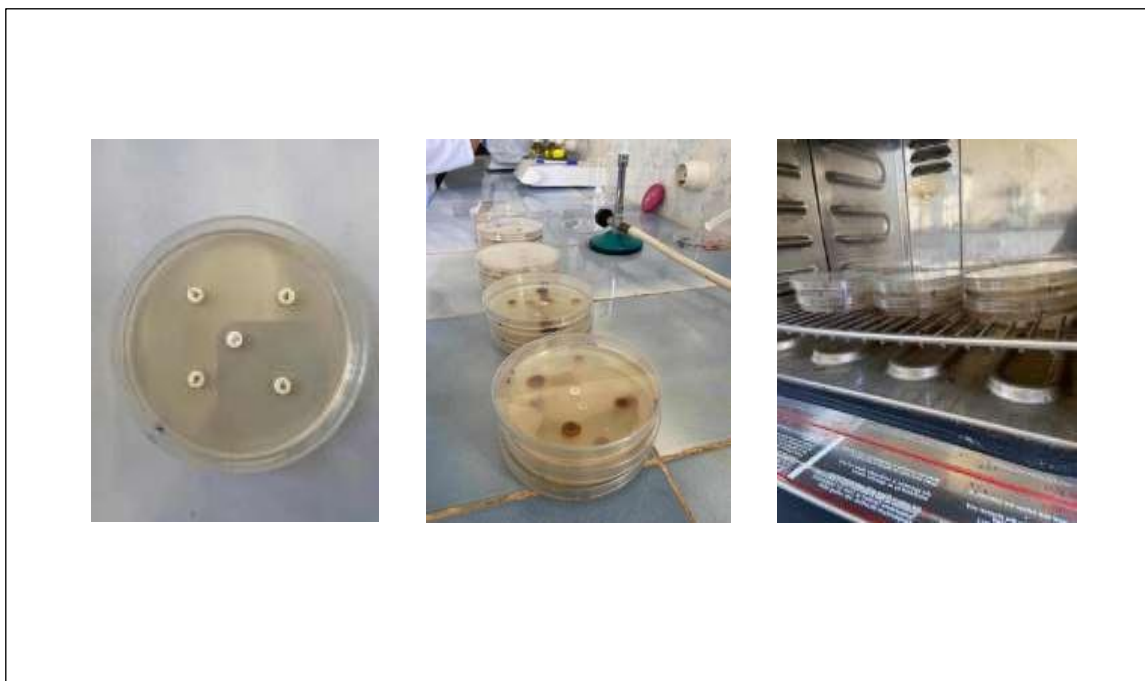


Figure 19 : Préparation du test de l'activité antibactérienne de l'extrait fongique

CHAPITRE III

RESULTATS ET INTERPRETATIONS



1. la charge microbienne

La charge microbienne des échantillons a été déterminée à partir du dénombrement des Colonies obtenues sur les boîtes de pétrie à différentes dilutions

$$- 513 \times 4$$

$$- 177 \times 4$$

$$[(513+177) \times 2] \times (1/10^{-4} \times 100) = 1380$$

$$n = 1/1010^{-4} \times 1010^{-3}$$

Le dénombrement bactérien a montré que la suspension d'*Escherichia coli* utilisée pour les essais présentait une charge microbienne de $1,380 \times 10^4 \times 10^2 = 1,3 \times 10^8$ UFC/mL

2. Activité antibactérienne de l'extrait aqueux de spores de *Pisolithus arhizus* contre *Escherichia coli*

➤ Solution Mère

Les résultats montrent que l'activité antibactérienne augmente avec la concentration de l'extrait. Les diamètres des zones d'inhibition passent de 5,33 mm à 9,33 mm pour des concentrations de 5 g/100 mL et 10 g/100 mL. À 20 g/100 mL, le diamètre atteint 33 mm, tandis qu'à 40 g/100 mL, il est de 49 mm, la concentration la plus efficace. Cela indique une relation positive entre la dose et l'effet, suggérant que l'extrait contient des composés antibactériens puissants, surtout à 40 g/100 mL contre *Escherichia coli*.

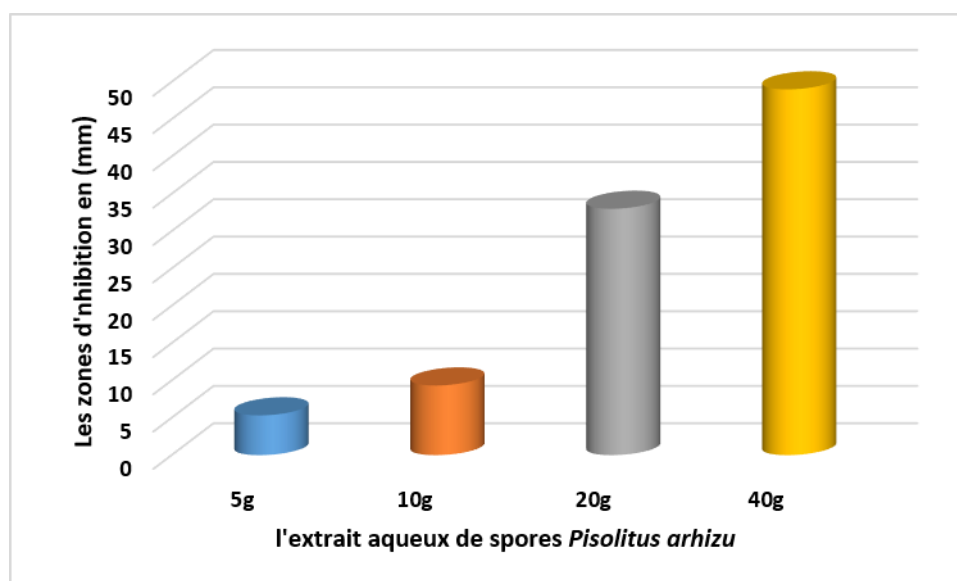


Figure 20: Diamètres des zones d'inhibition obtenus avec l'extrait de *Pisolithus arhizus* (Solution mère)

➤ La dilution 10^{-1}

L'extrait de spores de *Pisolithus arhizus* montre une activité antibactérienne croissante contre *Escherichia coli* avec l'augmentation de sa concentration. À 5 g/100 mL, le diamètre de la zone d'inhibition est de 10,33 mm, ce qui indique une activité modérée. À 10 g/100 mL, il augmente à 15,67 mm, et à 20 g/100 mL, il atteint 22,67 mm. La concentration maximale de 40 g/100 mL donne la plus grande inhibition, soit 32 mm. Cela démontre que plus la concentration est élevée, plus l'extrait inhibe la croissance de la bactérie, suggérant des métabolites bioactifs aux propriétés antibactériennes prometteuses.

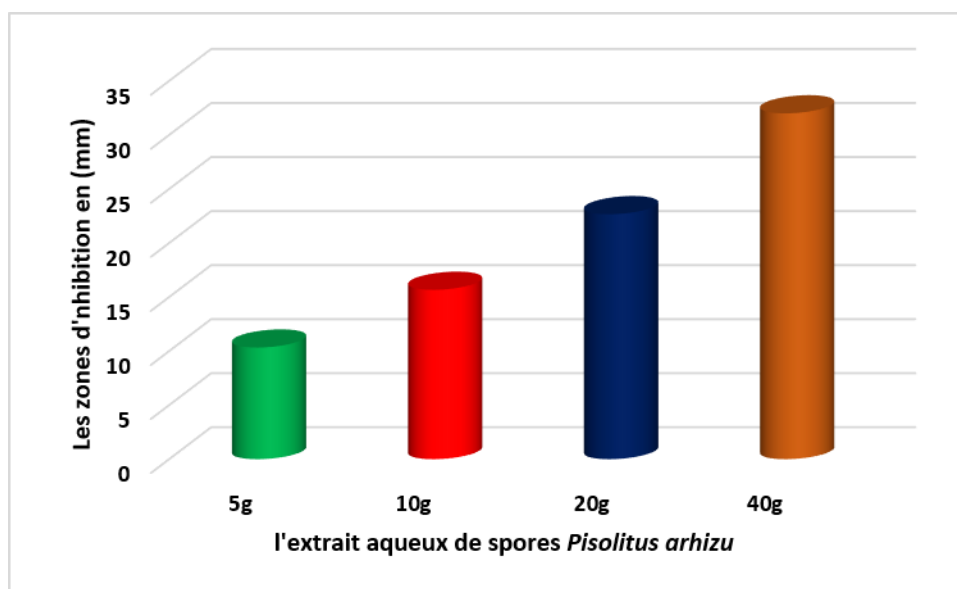


Figure 21 : Diamètres des zones d'inhibition obtenus avec l'extrait de *Pisolithus arhizus* à la dilution 10^{-1}

➤ Pour la dilution 10^{-2}

L'extrait aqueux de spores de *Pisolithus arhizus* a une activité antibactérienne contre *Escherichia coli* dépendante de la concentration. À 5 g/100 mL, le diamètre moyen de la zone d'inhibition est de 12,33 mm, montrant une inhibition modérée. En augmentant à 10 g/100 mL, le diamètre moyen atteint 21,67 mm, et à 20 g/100 mL, il s'élève à 32,33 mm. La concentration la plus élevée, 40 g/100 mL, montre la plus grande inhibition avec un diamètre moyen de 40,33 mm. Cela indique une relation positive entre la concentration et l'activité antibactérienne de l'extrait, mettant en avant son potentiel comme source naturelle de composés bioactifs.

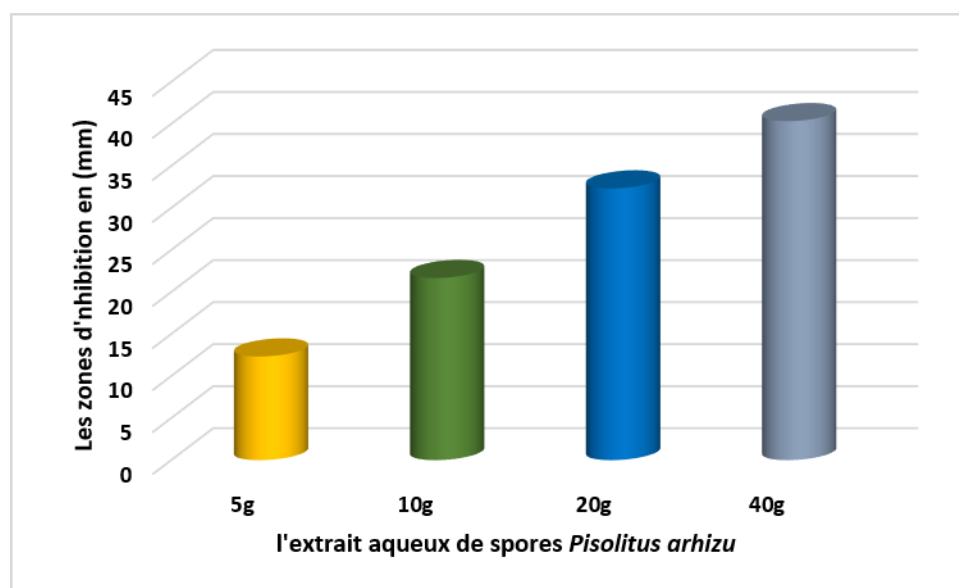


Figure 22 : Diamètres des zones d'inhibition obtenus avec l'extrait de *Pisolithus arhizus* à la dilution 10^{-2}

➤ **Pour la dilution 10^{-3}**

L'extrait aqueux de spores de *Pisolithus arhizus* présente une activité antibactérienne contre *Escherichia coli*, avec des résultats variés selon la concentration utilisée. À 5 g/100 mL, la zone d'inhibition moyenne est de 11,50 mm, montrant une efficacité modérée. À 10 g/100 mL, cette zone passe à 15 mm. À 20 g/100 mL, elle atteint 25,67 mm, et à 40 g/100 mL, le diamètre d'inhibition est de 40,33 mm. Ces résultats montrent une relation positive entre concentration et activité antibactérienne, soulignant le potentiel de cet extrait comme source de composés antimicrobiens naturels.

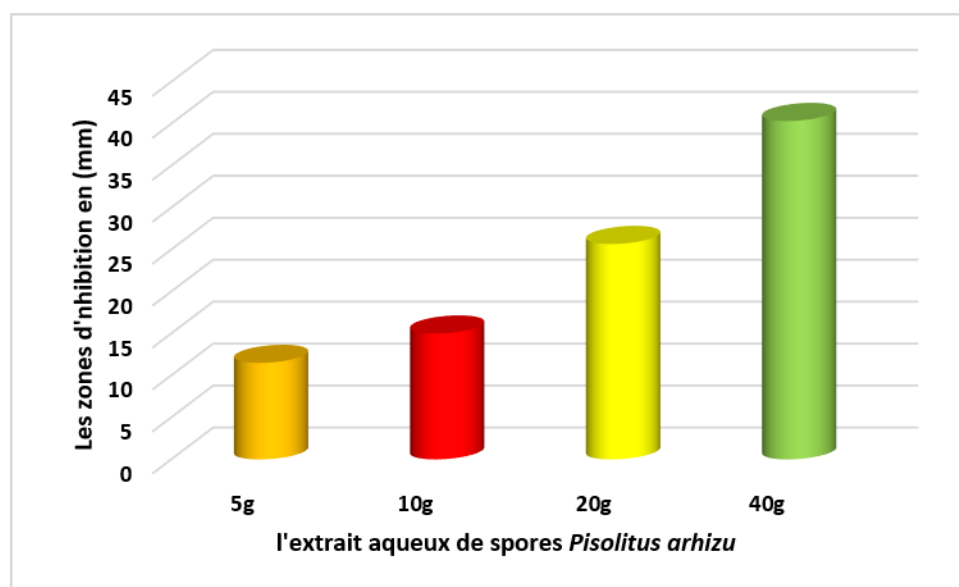


Figure 23 : Diamètres des zones d'inhibition obtenus avec l'extrait de *Pisolithus arhizus* à la dilution 10^{-3}

➤ Pour la dilution 10^{-4}

L'extrait aqueux de spores de *Pisolithus arhizus* a une forte activité antibactérienne contre *Escherichia coli*. À 5 g/100 mL, il présente une inhibition modérée avec un diamètre de 11 mm. À 10 g/100 mL, la zone d'inhibition atteint 23 mm, montrant une amélioration significative. À 20 g/100 mL, elle est de 33,67 mm, ce qui révèle encore plus d'efficacité. La concentration maximale de 40 g/100 mL donne la plus grande inhibition, soit 54 mm. Ces résultats indiquent que l'augmentation de la concentration améliore l'action antibactérienne. L'extrait de *Pisolithus arhizus* démontre un fort potentiel grâce à des métabolites secondaires efficaces contre cette bactérie.

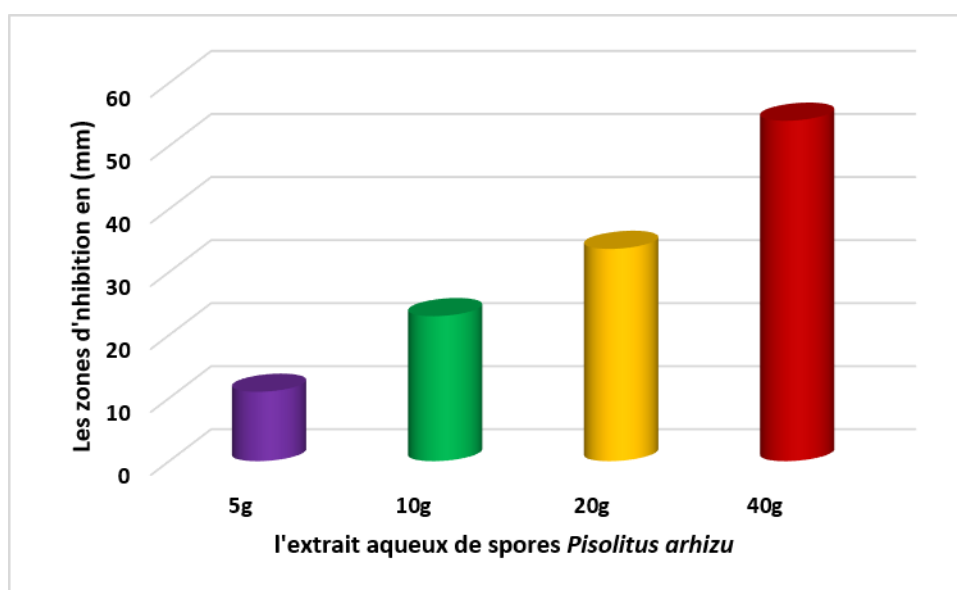


Figure 24 : Diamètres des zones d'inhibition obtenus avec l'extrait de *Pisolithus arhizus* à la dilution 10^{-4} .

CHAPITRE IV

DISCUSSION



Discussion

L'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits naturels constitue une approche prometteuse dans la recherche de nouvelles substances capables de lutter contre les bactéries pathogènes. Les champignons ectomycorhiziens, notamment *Pisolithus arhizus*, sont reconnus pour leur capacité à produire divers métabolites secondaires présentant des propriétés biologiques intéressantes. Dans cette étude, l'activité antibactérienne de l'extrait aqueux de spores de *P. arhizus* a été testée contre *Escherichia coli* par la méthode de diffusion sur gélose. Les résultats obtenus ont été analysés en fonction des différentes concentrations et comparés aux données rapportées dans la littérature afin de mieux comprendre le potentiel antibactérien de cette espèce fongique.

La charge microbienne obtenue dans cette étude est de $1,3 \times 10^8$ UFC/mL, ce qui traduit une forte concentration de cellules viables d'*Escherichia coli* dans la suspension bactérienne utilisée. Cette valeur est comparable à celle recommandée pour la préparation des inoculums destinés aux tests de sensibilité aux agents antimicrobiens, généralement proche du standard **0,5 McFarland (CLSI, 2023)**. Une telle concentration permet d'assurer une croissance bactérienne homogène et reproductible sur le milieu de culture, garantissant ainsi la fiabilité des essais d'activité antibactérienne.

La forte densité bactérienne observée témoigne de la bonne viabilité de la souche d'*E. coli* et de sa capacité à se multiplier rapidement dans des conditions favorables (**Madigan et al., 2021**). Selon **Balouiri et al. (2016)**, la standardisation de l'inoculum est une étape essentielle pour obtenir des résultats précis et comparables lors des tests microbiologiques. En effet, une concentration bactérienne insuffisante ou excessive peut influencer les diamètres des zones d'inhibition et conduire à une mauvaise interprétation de l'activité antimicrobienne. Ainsi, la charge microbienne obtenue dans cette étude est adaptée à l'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait aqueux de spores de *Pisolithus arhizus* et confirme la validité des essais réalisés.

Concernant l'extrait aqueux des spores de *Pisolithus arhizus*, les résultats montrent que l'extrait aqueux des spores possède une activité antibactérienne importante contre *Escherichia coli*, comme en témoignent les diamètres des zones d'inhibition observés pour l'ensemble des concentrations testées. Cette activité augmente progressivement avec la concentration de l'extrait, les plus fortes inhibitions étant enregistrées à **40 g/100 mL**, où les diamètres atteignent respectivement **60 mm, 55 mm et 56 mm** selon les différentes dilutions étudiées. Cette relation

dose-effet positive suggère que l'augmentation de la concentration favorise l'extraction et la diffusion des composés bioactifs présents dans les spores de *P. arhizus*, améliorant ainsi leur efficacité antibactérienne.

Ces résultats concordent avec ceux de **Lindequist et al. (2005)** qui ont rapporté que les macromycètes constituent une source importante de métabolites secondaires présentant des propriétés antimicrobiennes, notamment des composés phénoliques, des terpènes, des stéroïdes et des polysaccharides biologiquement actifs. Selon ces auteurs, plusieurs espèces de Basidiomycètes sont capables de produire des substances inhibant efficacement la croissance des bactéries Gram positives et Gram négatives. De même, **Barros et al. (2008)** ont démontré que les extraits de champignons supérieurs présentent une activité antimicrobienne significative grâce à leur richesse en molécules antioxydantes et phénoliques. Ces composés peuvent provoquer des altérations de la membrane cellulaire bactérienne, entraînant une fuite des constituants intracellulaires et une inhibition de la croissance microbienne.

Les résultats obtenus rejoignent également ceux de **Osińska-Jaroszuk et al. (2014)**, qui ont mis en évidence une activité inhibitrice significative de différents extraits fongiques vis-à-vis de bactéries Gram négatif, dont *Escherichia coli*. Ces auteurs ont montré que l'efficacité des extraits augmente généralement avec leur concentration, ce qui concorde parfaitement avec les observations réalisées dans cette étude. L'importance des zones d'inhibition enregistrées à partir de **20 g/100 mL** et surtout à **40 g/100 mL** témoigne d'une forte concentration en molécules bioactives capables de diffuser efficacement dans la gélose.

Par ailleurs, **Alves et al. (2012)** ont signalé que les extraits aqueux de plusieurs espèces de Basidiomycètes présentent des activités antibactériennes variables selon la concentration utilisée et la souche bactérienne étudiée. Les diamètres d'inhibition obtenus dans notre étude, dépassant fréquemment **30 mm** et atteignant parfois **60 mm**, sont supérieurs à ceux rapportés pour plusieurs espèces fongiques étudiées par ces auteurs, ce qui suggère un potentiel antibactérien particulièrement élevé de *P. arhizus*.

Des études plus récentes confirment également l'intérêt croissant des champignons comme source de nouvelles molécules antimicrobiennes. Ainsi, **Qi et al. (2023)** ont rapporté que les champignons supérieurs produisent de nombreux métabolites secondaires biologiquement actifs, notamment des composés alkynylés présentant des propriétés antibactériennes remarquables. Ces substances participent aux mécanismes de défense naturels des champignons

contre les microorganismes compétiteurs et pourraient expliquer l'activité inhibitrice observée chez *Pisolithus arhizus*.

Dans le même contexte, **Lysakova et al. (2024)** ont souligné que les Basidiomycètes représentent l'un des groupes fongiques les plus prometteurs pour la découverte de nouveaux agents antimicrobiens. Leur étude montre que ces champignons synthétisent une grande diversité de métabolites bioactifs, notamment des terpènes, des polykétides, des peptides et des composés phénoliques capables d'inhiber efficacement plusieurs bactéries pathogènes. Cette richesse métabolique pourrait expliquer les larges zones d'inhibition observées dans la présente étude.

Les polysaccharides fongiques semblent également jouer un rôle important dans l'activité antimicrobienne. Selon **Liang et al. (2024)**, plusieurs polysaccharides extraits de champignons présentent une activité antibactérienne significative grâce à leur capacité à perturber le métabolisme bactérien et à renforcer les mécanismes naturels de défense. Ces composés pourraient agir en synergie avec les autres métabolites présents dans les spores de *P. arhizus*, contribuant ainsi à l'efficacité observée contre *E. coli*.

Par ailleurs, **Gebreyohannes et al. (2024)** ont démontré que plusieurs extraits de champignons sauvages possèdent une activité inhibitrice importante grâce à leur capacité à empêcher la formation des biofilms bactériens. Cette propriété est particulièrement intéressante puisque les biofilms constituent l'un des principaux mécanismes de résistance des bactéries aux agents antimicrobiens. Les fortes zones d'inhibition observées dans notre étude pourraient ainsi être associées à plusieurs mécanismes d'action complémentaires des métabolites fongiques.

La sensibilité observée chez *Escherichia coli* est particulièrement remarquable puisque cette bactérie Gram négatif possède une membrane externe riche en lipopolysaccharides qui limite généralement la pénétration des substances antimicrobiennes (**Nikaido, 2003**). Malgré cette barrière naturelle, les extraits de *P. arhizus* ont généré des zones d'inhibition importantes, ce qui laisse supposer la présence de molécules capables de franchir ou d'altérer cette structure protectrice.

Enfin, les variations observées entre certaines répétitions peuvent être attribuées à la diffusion différentielle des composés actifs dans la gélose, à la quantité d'extrait absorbée par les disques ou encore aux variations physiologiques des populations bactériennes. Toutefois, la tendance générale demeure identique pour l'ensemble des essais, avec une augmentation régulière des diamètres d'inhibition lorsque la concentration de l'extrait augmente. Cette observation est

conforme aux recommandations du **CLSI (2021)** relatives aux méthodes de diffusion sur gélose, selon lesquelles l'intensité de l'activité antimicrobienne est généralement proportionnelle à la concentration de l'agent actif utilisé.

CONCLUSION



Conclusion

Le présent travail a été consacré à l'étude de *Pisolithus arhizus*, un champignon ectomycorhizien sélectionné au niveau du Parc National d'El Kala, dans le but de mieux connaître ses caractéristiques biologiques et de mettre en évidence son potentiel écologique et antibactérien.

L'étude bibliographique a montré que les champignons constituent un groupe d'organismes essentiels au fonctionnement des écosystèmes. Parmi eux, les champignons ectomycorhiziens jouent un rôle primordial dans la nutrition et la protection des végétaux. Grâce à sa capacité à établir des associations symbiotiques avec diverses espèces forestières, *Pisolithus arhizus* contribue à l'amélioration de l'absorption de l'eau et des éléments minéraux, notamment le phosphore et l'azote, tout en augmentant la résistance des plantes aux conditions environnementales défavorables telles que la sécheresse, la pauvreté des sols et certaines formes de pollution.

La caractérisation de cette espèce a permis de confirmer ses principales particularités morphologiques et écologiques. Sa large distribution géographique, sa grande adaptabilité et sa capacité à coloniser des milieux dégradés lui confèrent une importance particulière dans les programmes de reboisement, de restauration écologique et de conservation des ressources forestières. Ces propriétés font de *Pisolithus arhizus* une espèce clé pour le maintien de la biodiversité et l'équilibre des écosystèmes naturels.

Par ailleurs, les essais biologiques réalisés ont permis de mettre en évidence une activité antibactérienne significative de l'extrait aqueux des spores de *Pisolithus arhizus* vis-à-vis d'*Escherichia coli*. Les résultats obtenus montrent une augmentation progressive des diamètres des zones d'inhibition avec l'augmentation de la concentration de l'extrait, traduisant une relation dose-effet positive. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées avec la concentration de 40 g/100 mL, démontrant l'efficacité de l'extrait et suggérant la présence de métabolites secondaires bioactifs possédant des propriétés antimicrobiennes importantes.

Les résultats de cette étude rejoignent ceux rapportés dans la littérature scientifique concernant le potentiel thérapeutique des champignons supérieurs. Ils confirment que les spores de *Pisolithus arhizus* renferment probablement différentes molécules d'intérêt biologique, telles que les composés phénoliques, les polysaccharides, les terpènes et d'autres substances capables d'inhiber la croissance bactérienne. Cette richesse métabolique ouvre des perspectives

CONCLUSION

prometteuses pour la valorisation de cette espèce dans les domaines pharmaceutique, biotechnologique et environnemental.

En conclusion, *Pisolithus arhizus* apparaît comme une espèce fongique d'une grande valeur scientifique et écologique. Son rôle dans le fonctionnement des écosystèmes forestiers, associé à son potentiel antibactérien démontré dans cette étude, souligne l'intérêt de poursuivre les recherches sur cette espèce. Des travaux complémentaires portant sur l'isolement, l'identification et la caractérisation des molécules actives responsables de l'effet antibactérien observé, ainsi que sur l'évaluation de leur efficacité contre d'autres microorganismes pathogènes, permettraient d'approfondir les connaissances acquises et de favoriser une meilleure valorisation de cette ressource naturelle. Ainsi, cette étude contribue à enrichir les connaissances sur la biodiversité fongique algérienne et met en lumière l'importance de préserver et d'exploiter durablement les ressources biologiques du Parc National d'El Kala.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES



Références Bibliographique

- Abd El-Ghany, T. M., & El-Sheikh, H. H. (2016).** Mycology. Al-Azhar University.106 p.
- Abourouh Mohamed, (2011),** Les champignons du Maroc, à leur découverte, Rabat, Centre de Recherche Forestière, 48 p. Disponible sur: https://www.researchgate.net/publication/341272512_Les_champignons_du_Maroc_A_leur_decouverte [accessed Mar 01 2025].
- Alves, M. J., Ferreira, I. C. F. R., Dias, J., Teixeira, V., Martins, A., & Pintado, M. (2012).** A review on antimicrobial activity of mushroom (Basidiomycetes) extracts and isolated compounds. *Planta Medica*, 78(16), 1707–1718. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1315370>
- Alves, M. J., Ferreira, I. C. F. R., Dias, J., Teixeira, V., Martins, A., & Pintado, M. (2012).** A review on antimicrobial activity of mushroom (*Basidiomycetes*) extracts and isolated compounds. *Planta Medica*, 78(16), 1707–1718. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1315370>
- Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibsouda, S. K. (2016).** Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 6(2), 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.jpha.2015.11.005>
- Barros, L., Venturini, B. A., Baptista, P., Estevinho, L. M., & Ferreira, I. C. F. R. (2008).** Chemical composition and biological properties of Portuguese wild mushrooms: A comprehensive study. *Food Chemistry*, 95(1), 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.11.033>
- Behnke, A., Engel, M., Christen, R., Nebel, M., Klein, R.R. et Stoeck, T. (2011),** Représentation plus précise de la complexité des communautés de protistes grâce au pyroséquençage des régions hypervariables du gène de l'ARNr 16S. *Environmental Microbiology*, 13 : 340-349. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2010.02332.x>
- Bentouili, M.Y. 2007.** Inventaire et Qualité des Eaux des Sources du Parc National D'El Kala (N.Est algérien). Mémoire de Magister, Faculté des sciences de la Terre. Université Badji Mokhtar, Annaba. Algérie .134 p.
- Benyacoub et al. 1998.**Plan directeur de gestion du parc National d'El Kala et du complexe des zones humides. Projer GEF (Global Environnement Facility)-Banque Mondial 220 p. +28 cartes. Disponible au Parc National d' El Kala.
- Benyacoub, S & Chabi, Y. 2000.**Diagnostic écologique de l'avifaune du Parc National d'El Kala, synthèse 7,3
- Benyacoub, S., Brahmia, Z., Boulahbal, R. 2007.**Inventaire de l'avifaune, de L'herpétofaune de la région d'annaba-Elkala. Tome 1 : les oiseaux. M.A.T.E. Projet 30507- « Axe 5 » biodiversité. 367.

Blackwell M. (2011). The fungi: 1, 2, 3 ... 5.1 million species?. *American journal of botany*, 98(3), 426–438. <https://doi.org/10.3732/ajb.1000298>

Boddy, L. (2001) : Écologie des communautés fongiques et processus de décomposition du bois chez les angiospermes : de l'arbre sur pied à la décomposition complète des débris ligneux grossiers. *Ecological Bulletins* 49 : 43-56.

Breuil M., 2009. Biologie, 2ème année BCPST-VETO. Eds. TEC et DOC, Lavoisier, Paris, 818 p.

Brundrett, M. C. (2009). Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding global diversity of host plants. *Plant and Soil*, 320, 37–77.

Cairney JWG (2012) Extramatrical mycelia of ectomycorrhizal fungi as moderators of carbon dynamics in forest soil. *Soil Biol Biochem* 47:198–208

Cairney JWG, Chambers SM. 1999 - Pisolithus. In: Cairney JWG, Chambers SM, eds. *Ectomycorrhizal fungi. Key genera in profile*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1-31.

Cairney, J. W. G. (2011). Ectomycorrhizal fungi: the symbiotic route to the root for nutrient acquisition. *Fungal Biology Reviews*, 25(3), 103–110.

Cairney, J. W. G., & Chambers, S. M. (1999). *Ectomycorrhizal fungi: key genera in profile*. Springer.

Carlile, M. J., & Watkinson, S. C. (1994). *The Fungi*. Academic Press, London.

Carlile, MJ, Watkinson, SC et Gooday, GW (2001). *Les champignons*. Gulf Professional Publishing.

Cavalier-Smith, T. (2004). Seulement six règnes du vivant. *Actes de la Royal Society de Londres. Série B : Sciences biologiques*, 271 , 1251-1262.

Chang, S., et Miles, G.P. (2004). Champignons : culture, valeur nutritionnelle, effets médicaux et impact environnemental (p. 436). Boca Raton, Floride : CRC Press. <http://dx.doi.org/10.1201/9780203492086>

Chen, Y. L., M. C. Brundrett, And B. Dell. 2000. Effects of ectomycorrhizas and vesicular-arbuscular mycorrhizas, alone or in competition, on root colonization and growth of *Eucalyptus globulus* and *E. urophylla*. *New Phytol.* 146: 545-556.

Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). (2021). *Performance standards for antimicrobial susceptibility testing* (31st ed.). CLSI.

Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). (2021). *Performance standards for antimicrobial susceptibility testing* (31st ed.). Clinical and Laboratory Standards Institute.

Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). (2023). *Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing* (33rd ed.). CLSI, Wayne, PA.

Corbu VM, Gheorghe-Barbu I, Dumbravă AȘ, Vrâncianu CO, Șesan TE. 2023. Aperçus actuels de l'importance fongique – un examen complet. *Microorganismes*, 11:1384 doi : [10.3390/microorganisms11061384](https://doi.org/10.3390/microorganisms11061384)

De Belair, G. 1990. Structure, fonctionnement et perspectives de gestion de quatre écosystèmes lacustre et marécageux (El-Kala Est Algérien). Thèse de doctorat. Univ Montpellier II. 193.

Deacon, JW (2006) Biologie fongique, 4e édition. Blackwell Publishing, Oxford, Royaume-Uni.

Demain, AL et Sanchez, S. (2009) Découverte de médicaments microbiens : 80 ans de progrès. *The Journal of Antibiotics*, 62, 5-16. <http://dx.doi.org/10.1038/ja.2008.16>

Dighton J. 2003. Les champignons dans les processus écosystémiques, vol. 17, Marcel Dekker, New York, NY.

Direction Générale des Forêts. 2003. Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar (La Réserve Naturelle du Lac des Oiseaux, Wilaya d'El Tarf), Algérie.

Djelloul, R. (2014). *Cartographie des champignons au niveau du Parc National d'El Kala (Nord-Est algérien)* (Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba).

Draïdi, K. 2014 Fuligule nyroca (*Aythya nyroca*) dans le lac Tonga (Nord-est de l'Algérie) : Etude du budget temps, stratégie d'hivernage et étude de l'écologie parasitaire. Thèse de Doctorat. Université Badji-Mokhtar Annaba, 10-12.

Ducreux, G. (2002). Introduction à la botanique. Belin.

Elzuhria, A. N., Kaffah, N. S., Nurrahmah, N. R., Hanidah, U., Sari, A. M., Nabilla, F. A., Azkadhafina, F., Hidayat, T. A., Putri, N. F., Zahra, P. A., Setiawan, T., & Buulolo, F. (2023). Antibiotics sensitivity test diffusion and dilution methods. *Journal of Research in Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2(1), 38–47. <https://doi.org/10.33533/jrpps.v2i1.7027>

Feau, N., Decourcelle, T., Husson, C., Desprez-Loustau, M. L., & Dutech, C. (2011). Finding single copy genes out of sequenced genomes for multilocus phylogenetics in non-model fungi. *PLoS ONE*, 6(4 e18803), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018803>

Ferreira, I. C. F. R., Vaz, J. A., Vasconcelos, M. H., & Martins, A. (2010). Compounds from wild mushrooms with antitumor potential. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*, 10(5), 424–436. <https://doi.org/10.2174/187152010791163344>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), “Wild Edible Fungi: A Global Overview of Their Use and Importance to People, by E. Boa,” Non-Wood Forest Products, No. 17, 2004, p. 20.

Fricker, M. D., Heaton, L. L. M., Jones, N. S., & Boddy, L. (2017). The Mycelium as a Network. *Microbiology Spectrum*, 5(3). <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.funk-0033-2017>

Fries E., 1821. Systema mycologicum, sistens, Fungorum, ordines, genera et species, Huc usque cognitae, quas ad normam methodi naturalis determinavit, disposuit atque descripsit. Ed. Gryphiswaldae Vol. I., Sumtribus Ernesti Mauriti, 520 p.

Gadd, GM (2007) Géomycologie : Transformation biogéochimique des roches, minéraux, métaux et radionucléides par les champignons, bioaltération et bioremédiation. *Mycological Research*, 111, 3-49.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.mycres.2006.12.001>

Garbaye J., 2013. La symbiose mycorhizienne, une association entre les plantes et les champignons. Ed. Quae, Versailles .

Gebreyohannes, G., Sbhatu, D. B., & Nyerere, A. K. (2024). Biofilm-inhibitory activity of wild mushroom extracts against pathogenic bacteria. *BioMed Research International*, 2024, Article 7011982. <https://doi.org/10.1155/2024/7011982>

Gévry M-F. 2008. Projet d'intégration de la récolte des champignons forestiers comestibles dans la communauté - Secteur de Mont-Louis : description du projet, résultats des inventaires et perspectives d'avenir locales. Comité de bassin de la rivière Mont-Louis, Mont-Louis, Québec, 77 p.

Griffin, DH (1994) Physiologie fongique. 2e édition, Wiley-Liss, New York.

Grimm, D. & Wösten, H.A.B 2018. Mushroom cultivation in the circular economy. *Applied Microbiology and Biotechnology* 102: 7795–7803. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9226-8>

Harms H, Schlosser D, Wick LY (2011) Potentiel inexploité : l'utilisation des champignons dans la bioremédiation des produits chimiques dangereux. *Nat Rev Microbiol* 9(3):177–192

HawksworthDL. LückingR. 2017. Réexamen de la diversité fongique : de 2,2 à 3,8 millions d'espèces. *Microbiol Spectr* 5:10.1128/microbiolspec.funk-0052-2016.<https://doi.org/10.1128/microbiolspec.funk-0052-2016>

Heads, S. W., Miller, A. N., Crane, J. L., Thomas, M. J., Ruffatto, D. M., Methven, A. S., Raudabaugh, D. B., & Wang, Y. (2017). The oldest fossil mushroom. *PLoS ONE*, 12(6), 6–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178327>

Heleno, S. A., Ferreira, I. C. F. R., Antonio, A. L., Queiroz, M. J. R. P., Barros, L., & Martins, A. (2015). Bioactivity of phenolic acids: Metabolites versus parent compounds: A review. *Food Chemistry*, 173, 501–513. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.057>

Heleno, S. A., Martins, A., Queiroz, M. J. R. P., & Ferreira, I. C. F. R. (2015). Bioactivity of phenolic acids: Metabolites versus parent compounds. *Food Chemistry*, 173, 501–513. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.057>

Hibbett D. S et al., in A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. Mycol. Res. (III), 509-547.

Hyde, K. D., Xu, J., Rapior, S., et al. (2019). *Le potentiel remarquable des champignons : 50 façons d'exploiter les champignons industriellement. Fungal Diversity*, 97, 1–136.

Isola, D., & Prenafeta-Boldú, FX (2025). Diversité et écologie des champignons dans des environnements extrêmes et sous-explorés. *Journal of Fungi* , 11 (5), 343. <https://doi.org/10.3390/jof11050343>

Jennings, D. H., & Lysek, G. (1996). Fungal Biology : Understanding the Fungal Lifestyle. BIOS Scientific Publishers.

Joleaud, L. 1936. Etude géologique de la région de Bône et la Calle. 2PèmeP série, 18

Keddad Abdelaziz, Et Bouznad Zouaoui (2018), Catalogue des champignons d'Algérie, Alger, Arts graphiques, 334 p

Kirk, PM, Cannon, PF, Minter, DW et Stalpers, JA (2008) Dictionnaire des champignons. 10e édition, Wallingford, CABI, 22. <http://www.slideshare.net/fitolima/dictionary-of-fungi-kirk-et-al-2008-10a-edicao>

Kolesnik-Goldmann, N., Seth-Smith, H. M. B., Haldimann, K., Imkamp, F., Roloff, T., Zbinden, R., Hobbie, S. N., Egli, A., & Mancini, S. (2023). Comparison of disk diffusion, E-test, and broth microdilution methods for testing in vitro activity of cefiderocol in *Acinetobacter baumannii*. *Antibiotics*, 12(7), 1212. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12071212>

Laberche, J. (2010). Biologie végétale (3ème édit). Dunod.

Lakhdera, D. 2017.Caractérisation des Macroinvertébrés et les Amphibiens dans différents plans d'eau de l'extrême Nord-est algérien

Lamaison, J.-L., & Polese, J.-M. (2005). Encyclopédie visuelle des champignons. Editions Artemis.

Liang, L., Su, Q., Ma, Y., Zhao, S., Zhang, H., & Gao, X. (2024). Research progress on polysaccharide extraction, structural characterization and antibacterial activity from edible and medicinal mushrooms. *Annals of Microbiology*, 74(1), 17. <https://doi.org/10.1186/s13213-024-01762-x>

Lieutaghi Pierre, (2017), Une ethnobotanique méditerranéenne. Plantes, milieux et sociétés, des témoignages anciens au changement climatique, Arles, Actes Sud, 578 p

Lindequist, U., Niedermeyer, T. H. J., & Jülich, W. D. (2005). The pharmacological potential of mushrooms. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2(3), 285–299. <https://doi.org/10.1093/ecam/neh107>

Lindequist, U., Niedermeyer, T. H. J., & Jülich, W. D. (2005). The pharmacological potential of mushrooms. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2(3), 285–299. <https://doi.org/10.1093/ecam/neh107>

Lombardo, E. (2023). Mycétisme en Provence : Étude officinale et hospitalière.

Lüttge U., Kluge M., Bauer G., 2002. Botanique. 3ème éd. Eds. TEC et DOC, Lavoisier, Paris, 604 p.

Lutzoni, F., Kauff, F., Cox, C. J., et al. (2018). Assembling the fungal tree of life: progress, classification, and prospects. *Mycologia*, 96(5), 977–1000.

Lutzoni, François; Nowak, Michael D.; Alfaro, Michael E. et al. (2018). Données issues de : Radiations contemporaines de champignons et de plantes liées à la symbiose [Jeu de données]. Dryad. <https://doi.org/10.5061/dryad.7bn4001>

Lysakova, V., Krasnopolskaya, L., Yarina, M., & Ziangirova, M. (2024). Antibacterial and antifungal activity of metabolites from Basidiomycetes: A review. *Antibiotics*, 13(11), 1026. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13111026>

Madigan, M. T., Bender, K. S., Buckley, D. H., Sattley, W. M., & Stahl, D. A. (2021). *Brock Biology of Microorganisms* (16th ed.). Pearson Education.

Madigan, M. T., et al. (2012). *Brock biology of microorganisms* (13th ed.). Pearson

Marouf, A., & Rynaud, J. (2007). La Botanique de A à Z. Dunord.

Marx, D. H. (1977). The role of mycorrhizae in forest production. *Tappi Journal*, 60(12), 107–110.

Marx, D. H. (1977). The role of mycorrhizae in forestation of surface mines. *Trees*, 1, 23–33.

Marx, DH (1977) Le rôle des mycorhizes dans la production forestière . Dans : *TAPPI conference papers* , Atlanta, GA , pp. 151 – 161 .

Mischler B.D., Brandon R.N., 1987. Individuality, pluralism, and the phylogenetic species concept. *Biological Philosophy*, 2: 397-414.

Moore, D., Robson, G., & Trinci, APJ (2011). *Guide des champignons du 21e siècle* . (1re éd.) Cambridge University Press.

Moulinier, J. (2003). Les champignons dans leur environnement : écologie et biodiversité fongique. INRA Éditions, Paris.

Mueller, G. M., & Schmit, J. P. (2007). *La biodiversité fongique : que savons-nous ? Que pouvons-nous prédire ? Biodiversity and Conservation*, 16, 1–5.

Nikaido, H. (2003). Molecular basis of bacterial outer membrane permeability revisited. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 67(4), 593–656. <https://doi.org/10.1128/MMBR.67.4.593-656.2003>

Nilsson, R. H., Larsson, K. H., Taylor, A. F. S., Bengtsson-Palme, J., Jeppesen, T. S., Schigel, D., Kennedy, P., Picard, K., Glöckner, F. O., Tedersoo, L., Saar, I., Kõljalg, U., & Abarenkov, K. (2019). The UNITE database for molecular identification of fungi: handling dark taxa and parallel taxonomic classifications. *Nucleic acids research*, 47(D1), D259–D264. <https://doi.org/10.1093/nar/gky1022>

Niskanen Tuula, Robert Lücking, Anders Dahlberg, Ester Gaya, Laura M. Suz, Vladimir Mikryukov, Kare Liimatainen, Irina Druzhinina, James R.S. Westrip, Gregory M. Mueller, Kelmer Martins-Cunha, Paul Kirk, Leho Tedersoo, Alexandre Antonelli. 2023. Pushing the Frontiers of Biodiversity Research: Unveiling the Global Diversity, Distribution, and Conservation of Fungi. *Annual Review Environment and Resources*. 48:149-176. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112621-090937>

Nurhayati, L. S., Yahdiyani, N., & Hidayatulloh, A. (2020). Comparison testing of antibacterial activity of yogurt starter using well diffusion and disc diffusion methods. *Journal of Technology Results of Animal Husbandry*, 1(2), 41. <https://doi.org/10.24198/jthp.v1i2.27537>

Osińska-Jaroszuk, M., Jaszek, M., Mizerska-Dudka, M., Blachowicz, A., Rejczak, T., Janusz, G., & Kandefer-Szerszeń, M. (2014). Bioactive compounds and antimicrobial properties of fungal extracts. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Sectio C – Biologia*, 69(2), 29–40.

Osińska-Jaroszuk, M., Jaszek, M., Mizerska-Dudka, M., Blachowicz, A., Rejczak, T. P., & Janusz, G. (2014). Exopolysaccharide from *Pisolithus arhizus* as a potential source of biologically active compounds. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30, 829–838. <https://doi.org/10.1007/s11274-013-1494-4>

Ozenda, P. 1975. Sur les étages de végétation dans les montagnes du bassin méditerranéen. Document de cartographie écologique, Grenoble 16: 1- 32.

Peay, K. G., Kennedy, P. G., & Talbot, J. M. (2016). *Les dimensions de la biodiversité du mycobiome terrestre*. *Nature Reviews Microbiology*, 14(7), 434–447.

Pilz, D., Molina, R., Mayo, J., 2006. Effects of thinning young forests on chanterelle mushroom production. *J. For.* 104(1), 9-14

Prasad, R., Kumar, V., Kumar, M., & Wang, S. (Eds.). (2018). Fungal nanobionics: Principles and applications. Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-8666-3>

Prescott ; Woolverton C.J ; Sherwood L.M ; Willey J.M (2013). Microbiologie. 4 e édition. p 600-606.

Qi, J. S., Duan, Y., Li, Z. C., Gao, J. M., Qi, J., & Liu, C. (2023). Alkynyl-containing compounds from mushrooms and their biological activities. *Natural Products and Bioprospecting*, 13(1), 50. <https://doi.org/10.1007/s13659-023-00416-w>

Raachi, M.L. 2007. Etude préalable pour une gestion intégrée des ressources du bassin versant du Lac Tonga au Nord-Est Algérien. Mémoire de la maîtrise en géographie. Université Québec, Montréal.

Ramade, F. 2003. Eléments d'écologie, - Ecologie fondamentale. Ed. Dunod, Paris, 690

Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2014). Biologie Végétale: Traduction de la 8 e édition américaine (J. Bouharmon (Trans.); 3e édition). De Boeck supérieur.

Raynal-Roques, A. (1994). La botanique redécouverte. Belin.

Rincón, A., de Felipe, M. R., & Fernández-Pascual, M. (2005). Inoculation with ectomycorrhizal fungi improves seedling growth of Pinus species. *Annals of Forest Science*, 62, 1–8.

Rios, J.L., M.C. et Recio, A. Villar, 1988. Screening Methods for Natural Products with Antimicrobial Activity: A Review for the Literature. *Journal of Ethnopharmacology*, 23: 127-149.

Roland, J., El Maarouf-bouteau, H., & Bouteau, F. (2008). Atlas Biologie végétale (7ème édit, Vol. 1). Dunord.

Rosa, L. H., Machado, K. M. G., Jacob, C. C., Capelari, M., Rosa, C. A., & Zani, C. L. (2003). Screening of Brazilian basidiomycetes for antimicrobial activity. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 98(7), 967–974.

Rousk, J., Baath, E., Brookes, PC, Lauber, CL, Lozupone, C., Caporaso, JG, Knight, R. et Fierer, N. (2010). Communautés bactériennes et fongiques du sol en fonction du pH dans un sol arable. *ISME (International Society of Microbial Ecology) Journal*, 4 (10), 1340-1351. <https://doi.org/10.1038/ismej.2010.58>

Royse, DJ , Baars, JJP et Tan, Q. (2017). Aperçu actuel de la production de champignons dans le monde . Dans DC Zied et A. Pardo-Giménez (dir.), *Champignons comestibles et médicinaux : technologies et applications*, article 2. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119149446.ch2>

Ruggiero, M. A., Gordon, D. P., Orrell, T. M., Bailly, N., Bourgoin, T., Brusca, R. C., Cavalier-smith, T., Guiry, M. D., & Kirk, M. (2015). A Higher Level Classification of All Living Organisms. *PLoS ONE*, 10(4), 1 60. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119248>

Samraoui, B & De Belair, G. 1998. Les zones humides de la Numidie orientale : bilan des connaissances et perspectives de gestion .synthèse, 4, 1-90.

Sicard, M., & Lamoureux, Y. (2005). Connaître, cueillir et cuisiner: les champignons sauvages du Québec (p. 365). Les Editions Fides.

Singh, H. (2006). *Mycorémédiation : bioremédiation par les champignons*. John Wiley & Sons.

Sipos, G., Prasanna, A. N., Walter, M. C., O'Connor, E., Bálint, B., Krizsán, K., Kiss, B., Hess, J., Varga, T., Slot, J., Riley, R., Bóka, B., Rigling, D., Barry, K., Lee, J., Mihaltcheva, S., Labutti, K., Lipzen, A., Waldron, R., ... Nagy, L. G. (2017). Genome expansion and lineage-specific genetic innovations in the forest pathogenic fungi *Armillaria*. *Nature Ecology and Evolution*, 1(12), 1931–1941. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0347-8>

Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis* (3rd ed.). Academic Press.

Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Symbiose mycorhizienne* (3e éd.). Academic Press.

Smith, SE et Read, DJ (2008) Symbiose mycorhizienne. 3e édition, Academic Press, Londres.

Taylor J.W., Jacobson D. J., Kroken S., Kasuga T., Geiser D. M., Hibbet D. S., Fisher M. C., 2000. Phylogenetic species recognition and species concept in fungi. *Fungal Genetics and Biology*, 31: 21-32.

Tedersoo, L., Bahram, M., Pölme, S., Kõljalg, U., Yorou, N. S., Wijesundera, R., Ruiz, L. V., Vasco-Palacios, A. M., Thu, P. Q., Suija, A., Smith, M. E., Sharp, C., Saluveer, E., Saitta, A., Rosas, M., Riit, T., Ratkowsky, D., Pritsch, K., Põldmaa, K., Piepenbring, M., Phosri, C., Peterson, M., Parts, K., Pärtel, K., Otsing, E., Nouhra, E., Njouonkou, A. L., Nilsson, R. H., Morgado, L. N., Mayor, J., May, T. W., Majuakim, L., Lodge, D. J., Lee, S., Larsson, K. H., Kohout, P., Hosaka, K., Hiiesalu, I., Henkel, T. W., Harend, H., Guo, L. D., Greslebin, A., Grelet, G., Geml, J., Gates, G., Dunstan, W., Dunk, C., Drenkhan, R., Dearnaley, J., De Kesel, A., Dang, T., Chen, X., Buegger, F., Brearley, F. Q., Bonito, G., Anslan, S., Abell, S., and Abarenkov, K.: Global diversity and geography of soil fungi, *Science*, 346, 1256688, <https://doi.org/10.1126/science.1256688>, 2014.

Tiévant, P. (2001a). Guide des lichens: 350 espèces de lichens d'Europe. Delachaux et niestlé.

Toubal, O., Boussehaba, A., Toubal, A., Samraoui, B. 2014. « Biodiversité méditerranéenne et changements globaux : cas du complexe de zones humides de Guerbès Senhadja (Algérie) », 8.

van der Heijden, M. G. A., Martin, F. M., Selosse, M. A., & Sanders, I. R. (2015). *Écologie et évolution des mycorhizes*. *New Phytologist*, 205(4), 1406–1423.

van der Heijden, MGA, Martin, FM, Selosse, MA et Sanders, IR (2015) Écologie et évolution des mycorhizes : passé, présent et futur. *New Phytologist*, 205, 1406-1423. <https://doi.org/10.1111/nph.13288>

Wasser, S. P. (2014). Medicinal mushroom science: Current perspectives, advances, evidences, and challenges. *Biomedical Journal*, 37(6), 345–356. <https://doi.org/10.4103/2319-4170.138318>

Whittaker R. H., 1969. New concepts of kingdoms or organisms. Evolutionary relations are better represented by new classifications than by the traditional two kingdoms. *Science*, 163: 150-60.

Widyaningsih, I., Lailuna, I., Sudibyo, A., & Furkani, A. (2026). Comparison of disk and well methods for measuring the inhibition power of *Staphylococcus aureus* using betel leaf extract (*Peperomia pellucida*). *Asian Journal of Healthy and Science*, 5(2), 98–108.

Woese, CR, Kandler, O. et Wheelis, ML (1990). Vers un système naturel d'organismes : proposition pour les domaines archées, bactéries et eucaryotes. *Actes de l'Académie nationale des sciences des États-Unis*, 87, 4576-4579.