

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ahmed zabana de RELIZANE
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : Ecologie et environnement



MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en :

Ecologie

Intitulé

**La culture du champignon *Pleurotus eryngii* au niveau de la région de
Relizane (Ouest algérien)**

Présenté par :

Mr : Mazari Hicham Abde rahmane

Mr : Ouadah Abdelkader Oussama

Devant les membres de jury :

Président : Dr. CHABANE Mahmoud Adel MAB U.Relizane

Encadreur : Dr. BENKADDOUR Benyekhlef MCA U.Relizane

Examineur : Dr. BACHIR BOUIADJRA Mohammed El Amine MCB U.Relizane

Année universitaire : 2024/2025

Remerciements

On remercie ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la force et la patience et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

L'écriture de ce mémoire a été, pour moi, un voyage fascinant qui m'a fait découvrir Certaines vérités. Ce travail a vu le jour grâce au soutien de nombreuses personnes. Je tiens à les remercier et à leur exprimer ma gratitude et ma reconnaissance.

Je tiens à remercier en premier lieu mon encadreur Dr. BENKADDOUR Benyekhlef Maître de conférences « A » A l'Université de Relizane, pour son soutien, ses conseils, ses encouragements et sa patience, qu'elle trouve ici l'expression de ma reconnaissance.

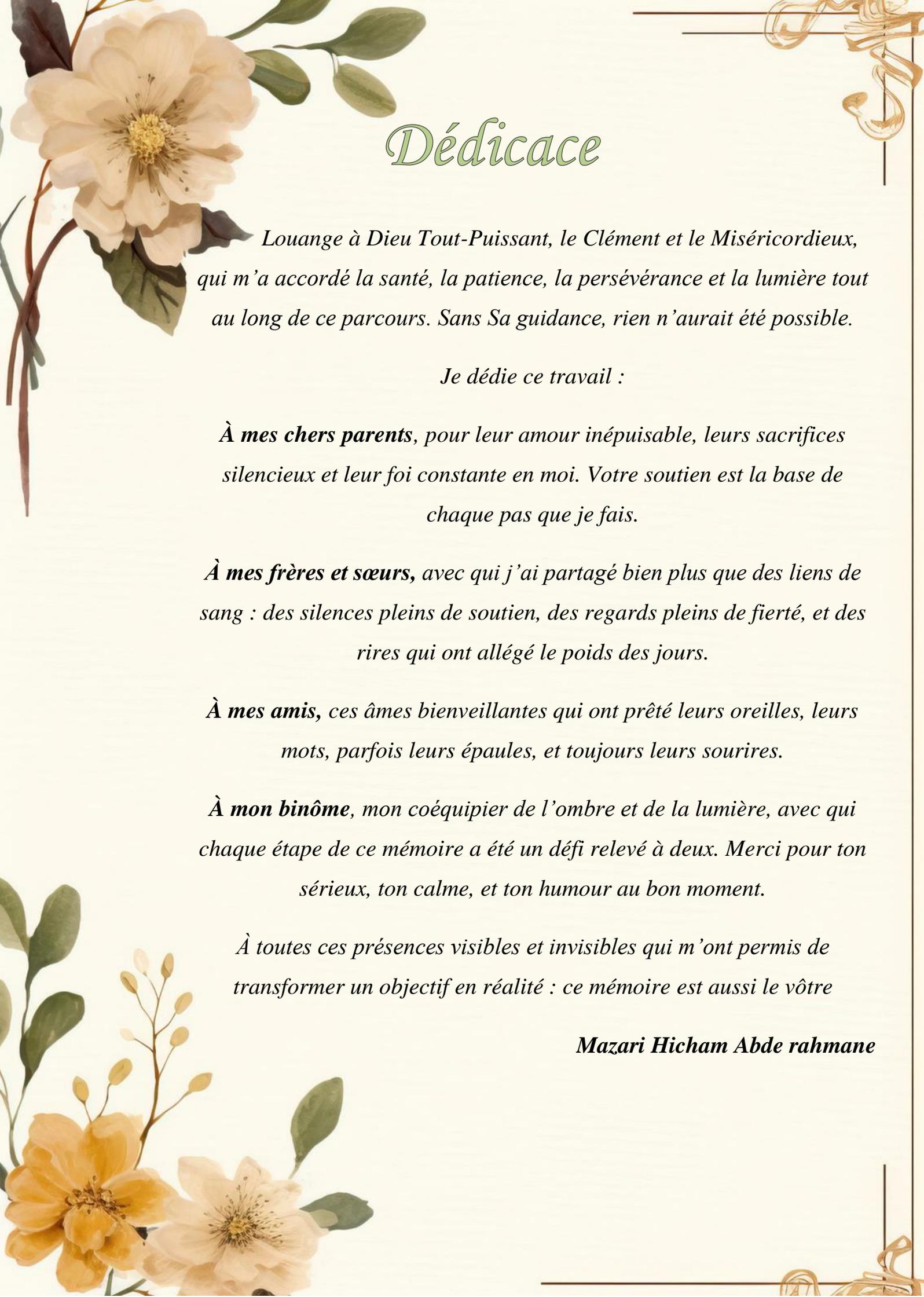
Je suis très sensible et reconnaissant pour l'honneur que me fait Monsieur Dr. CHABANE Mahmoud Adel Maître Assistant « B » à l'université de Relizane de présider le jury de soutenance.

Je suis particulièrement très honoré par la participation à mon jury, de Dr. BACHIR BOUIADJRA Mohammed El Amine, Maître de conférences « B » A l'Université de Relizane pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail et d'avoir aimablement accepté de l'examiner.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements au Directeur de l'Institut National des Sols, de l'Irrigation et du Drainage de Relizane, pour m'avoir accueilli au sein de son établissement. Mes remerciements s'adressent également à Monsieur Youcef, ingénieur au laboratoire, pour son assistance précieuse lors de la réalisation de la partie expérimentale de mon travail.

Grand merci à l'ensemble des enseignants de mon cursus universitaire ainsi qu'à tous ceux, qui de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce travail.

A toutes et à tous je vous dis encore une fois merci infiniment



Dédicace

Louange à Dieu Tout-Puissant, le Clément et le Miséricordieux, qui m'a accordé la santé, la patience, la persévérance et la lumière tout au long de ce parcours. Sans Sa guidance, rien n'aurait été possible.

Je dédie ce travail :

À mes chers parents, pour leur amour inépuisable, leurs sacrifices silencieux et leur foi constante en moi. Votre soutien est la base de chaque pas que je fais.

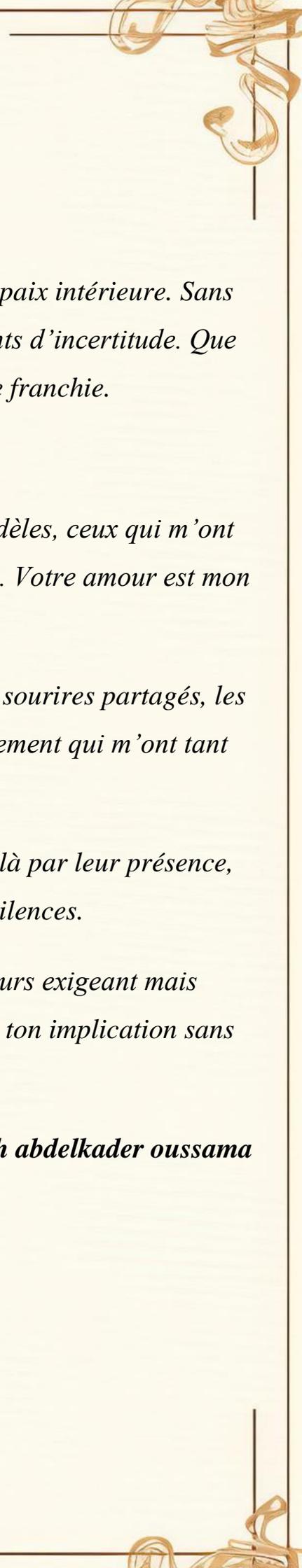
À mes frères et sœurs, avec qui j'ai partagé bien plus que des liens de sang : des silences pleins de soutien, des regards pleins de fierté, et des rires qui ont allégé le poids des jours.

À mes amis, ces âmes bienveillantes qui ont prêté leurs oreilles, leurs mots, parfois leurs épaules, et toujours leurs sourires.

À mon binôme, mon coéquipier de l'ombre et de la lumière, avec qui chaque étape de ce mémoire a été un défi relevé à deux. Merci pour ton sérieux, ton calme, et ton humour au bon moment.

À toutes ces présences visibles et invisibles qui m'ont permis de transformer un objectif en réalité : ce mémoire est aussi le vôtre

Mazari Hicham Abde rahmane



Dédicace

À Dieu, source de lumière, de courage et de paix intérieure. Sans Toi, je n'aurais pas trouvé la force dans les moments d'incertitude. Que Ton nom soit glorifié pour chaque étape franchie.

Ce mémoire, je le dédie :

À mes parents, mes premiers enseignants, mes modèles, ceux qui m'ont appris que l'effort finit toujours par porter ses fruits. Votre amour est mon trésor.

À mes frères et sœurs, Amine, Anes, I.I.N pour les sourires partagés, les mots simples mais justes, et les gestes d'encouragement qui m'ont tant aidé.

À mes amis, compagnons de route, qui ont su être là par leur présence, leurs conseils et parfois même leurs silences.

À mon binôme, Hicham partenaire d'un parcours exigeant mais enrichissant. Merci pour ta rigueur, ton respect, et ton implication sans faille.

Ouadah abdelkader oussama

Résumé

Cette étude vise à optimiser la culture de *Pleurotus eryngii* dans la région de Relizane (ouest algérien) en comparant six substrats : un témoin (100 % paille de blé) et cinq mélanges intégrant marc de café, sciure de bois et avoine selon différents ratios.

La méthodologie combine des analyses physico-chimiques, des dosages élémentaires de potassium et de magnésium par spectrométrie d'absorption atomique, des contrôles micromorphologiques et bactériologiques pour assurer la pureté du mycélium, ainsi qu'une évaluation de la fructification par le suivi du délai de formation des primordia, la mesure du poids frais des carpophores.

Seuls trois substrats ont donné une fructification satisfaisante : le témoin (Paille), le mélange 3 (50 % paille + 50 % sciure) et le mélange 4 (40 % paille + 40 % sciure + 20 % avoine). *Pleurotus eryngii* a provoqué une baisse du pH plus marquée dans les substrats fortement colonisés, traduisant une activité biologique intense. Les taux d'humidité initiaux (62–70 %) se sont révélés optimaux.

Ces résultats démontrent que l'ajout d'une source azotée (avoine) associée à la sciure de bois constitue un substrat performant, adapté aux ressources locales et propice à une production rentable de *P. eryngii*.

Mots clés : Substrat de culture, Sciure de bois, Paille de blé, Avoine, Paramètres physico-chimiques, *Pleurotus eryngii*, champignons comestible.

Abstract

This study aimed to optimize the cultivation of *Pleurotus eryngii* in the Relizane region (western Algeria) by evaluating six substrates: a control (100 % wheat straw) and five mixtures incorporating coffee grounds, wood sawdust, and oats in varying proportions. The methodology comprised physico-chemical analyses (initial and final pH, moisture content, dry and mineral matter), elemental assays of potassium and magnesium via atomic absorption spectrometry, micromorphological and bacteriological checks to ensure mycelial purity, and a fruiting assessment through monitoring primordia development time and measuring fresh carpophore weight.

Only three substrates supported satisfactory fruiting: the control (straw alone), mixture 3 (50 % straw + 50 % sawdust), and mixture 4 (40 % straw + 40 % sawdust + 20 % oats). Heavily colonized substrates showed a more pronounced pH drop, reflecting intense biological activity. Initial moisture levels (62–70 %) proved optimal for mycelial growth.

These findings demonstrate that supplementing wood sawdust with an oat-based nitrogen source yields a highly effective substrate, well suited to local resources and conducive to profitable *P. eryngii* production.

Keywords : Cultivation substrate, Wood sawdust, Wheat straw, Oats, Physico-chemical parameters, *Pleurotus eryngii*, Edible mushrooms.

المخلص

تهدف هذه الدراسة إلى تحسين زراعة فطر *Pleurotus eryngii* في منطقة غليزان (غرب الجزائر)، من خلال مقارنة ستة ركائز زراعية: ركيزة شاهدة (100% قش القمح) وخمسة خلطات مختلفة تحتوي على تفل القهوة، ونشارة الخشب، والشوفان بنسب متفاوتة

اعتمدت المنهجية على تحاليل فيزيائية-كيميائية، وقياسات عنصرية للبتاسيوم والمغنيسيوم باستخدام مطيافية الامتصاص الذري، بالإضافة إلى فحوصات ميكروسكوبية ومراقبة بكتريولوجية لضمان نقاوة الميسيليوم، كما تم تقييم الإثمار من خلال تتبع مدة ظهور البراعم وقياس الوزن الطازج للأجسام الثمرية.

أظهرت النتائج أن ثلاثة ركائز فقط سمحت بإثمار جيد للفطر، وهي: الركيزة الشاهدة (قش القمح فقط)، الخليط 3 (50% قش + 50% نشارة خشب)، والخليط 4 (40% قش + 40% نشارة + 20% شوفان). وقد لوحظ انخفاض أكبر في درجة الحموضة (pH) في الركائز التي شهدت استعمارًا ميسيليومياً كثيفاً، مما يدل على نشاط بيولوجي مرتفع. كما تبين أن نسب الرطوبة الأولية (بين 62% و 70%) كانت مثالية.

تُظهر هذه النتائج أن إضافة مصدر نيتروجيني (الشوفان) مع نشارة الخشب يُنتج ركيزة فعالة، ملائمة للموارد المحلية ومناسبة لإنتاج مربح لفطر *Pleurotus eryngii*

الكلمات المفتاحية :

ركيزة زراعية، نشارة الخشب، قش القمح، الشوفان، معايير فيزيائية-كيميائية، *Pleurotus eryngii*, فطر صالح للأكل.

Liste des abréviations

% : Pourcentage

(MM) : Matière minérale.

(MS) : Matière sèche.

°C : Degré Celsius

AA : Absorption Atomique

ADN : Acide désoxyribonucléique

C : Carbone

ERO : Espèces réactives de l'oxygène

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

g : Grammes

h : Heure

ISO : Organisation Internationale de Normalisation

K : potassium

Kcal : kilocalories

Kg : kilogramme

L : litre

MC : Marc de café.

mg : Milligrammes

Mg : magnésium

min : Minute

ml : Millilitre

mm : Millimètre

P : Paille de blé.

P. eryngii : *Pleurotus eryngii*

P. ostreatus : *Pleurotus ostreatus*

PCA : plate count agar

PH : Potentiel hydrogène.

PPM : parties par million

Liste des figures

Figure 1: Principaux groupes des Eumycètes (Selosse, 2013).....	7
Figure 2 : Mode de vie des champignons sauvages	11
Figure 3 : <i>Lentinus edodes</i>	14
Figure 4 : <i>Pleurotus ostreatus</i>	14
Figure 5 : <i>Pleurotus eryngii</i>	14
Figure 6 : <i>Ganoderma lucidum</i>	15
Figure 7 : <i>Flammulina velutipes</i>	15
Figure 8 : <i>Pleurotus djamor</i>	15
Figure 9: Classification taxonomique de <i>Pleurotus eryngii</i>	18
Figure 10 : Chapeau de <i>Pleurotus eryngii</i>	18
Figure 11 : Lame de <i>Pleurotus eryngii</i>	19
Figure 12 : Pied de <i>Pleurotus eryngii</i>	19
Figure 13 : cycle de vie d'un champignon	20
Figure 14 : Propriétés pharmacologique de <i>Pleurotus</i> (Mazari H. & Ouadah A., 2025).	24
Figure 16 : La sale avant et après le nettoyage et stérilisation (Mazari H. & Ouadah A., 2025).....	33
Figure 17 : La souche de <i>Pleurotus eryngii</i> (Mazari H. & Ouadah A., 2025).	34
Figure 18 : Test de colonisation de la souche de <i>Pleurotus eryngii</i> (Mazari H. & Ouadah A., 2025).....	35
Figure 19 : Préparation du substrat de paille (Mazari H. & Ouadah A., 2025).	36
Figure 20 : Collecte du marc de café (Mazari H. & Ouadah A., 2025).	36
Figure 21 : Préparation du substrat de paille (Mazari H. & Ouadah A., 2025).	37
Figure 22 : Préparation du substrat de paille (Mazari H. & Ouadah A., 2025).	38
Figure 23 : Humidification substrats d'avoine (Mazari H. & Ouadah A., 2025).	39
Figure 24 : Bouillir du marc de café et refroidir (Mazari H. & Ouadah A., 2025).....	39
Figure 25 : La Préparation des mélanges des substrats (Mazari H. & Ouadah A., 2025).....	40
Figure 26 : La méthode de culture	41
Figure 27 : La culture de champignons sur paille (Mazari H. & Ouadah A., 2025).....	42
Figure 28 : Mettre les sacs dans un serre en plastique noir (Mazari H. & Ouadah A., 2025).	43
Figure 29 : Le séchage de champignons récolté (Mazari H. & Ouadah A., 2025).	44
Figure 30 : Préparation de solution pour mesuré PH (Mazari H. & Ouadah A., 2025).....	45
Figure 31 : Appareil Absorption atomique (Mazari H. & Ouadah A., 2025).	47

Figure 32 : Etude bactériologique (Mazari H. & Ouadah A., 2025).....	48
Figure 33 : pH initiaux et finals de <i>Pleurotus eryngii</i> sur les substrats (\pm Ecart-type).....	50
Figure 34 : Taux d'humidité moyens initial et final de <i>P. eryngii</i> dans les substrats (\pm écart type).....	51
Figure 35 : Pourcentages de matière sèche moyenne initiaux et finals dans les substrats (\pm Ecart-type) avant et après culture de <i>Pleurotus eryngii</i>	52
Figure 36 : Taux de la matière minérale dans les substrats avant et fin de culture (\pm Ecarttype).	53
Figure 37 : Observation microscopique de lamelles et de pied du pleurote au grossissement $\times 10$ (Mazari H. & Ouadah A., 2025).....	55
Figure 38 : Observation macroscopique (A) et microscopique (B) de <i>Pleurotus eryngii</i> (Mazari H. & Ouadah A. , Benkaddour B. ,2025).	56
Figure 39 : Les Mélanges 1, 2 et 5	60
Figure 40 : Contamination par <i>Trichoderma</i> sur substrat de <i>Pleurotus eryngii</i>	61

Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition minérale de <i>Pleurotus eryngii</i> (Sardar et al., 2017).....	22
Tableau 2 : Composition proximale de <i>Pleurotus eryngii</i>	22
Tableau 3: Composition chimique du marc de café (Benamar-Mansour, 2016).....	27
Tableau 4 : Composition chimique de la paille de blé (Février & Willequet., 2009).....	28
Tableau 5 : Matériel et équipements utilisés durant l'expérimentation	32
Tableau 6 : Constitutions des mélanges et témoins exprimés en pourcentage	40
Tableau 7 : La concentration de K et Mg par Absorption atomique (Mazari H. & Ouadah A., 2025).....	54
Tableau 8 : L'évolution des pleurotes <i>eryngii</i> en substrat de paille	57

Table des matières

Résumé	1
Liste des abréviations.....	4
Liste des figures	5
Liste des tableaux	7
Table des matières	8
1 Introduction	1
2 Les champignons :.....	5
2.1 Caractères généraux des champignons :	5
2.2 Systématique fongique :	6
2.2.1 Classification :.....	6
2.2.2 Critères de classification :.....	6
2.3 Dynamique de croissance fongique :.....	7
2.4 Stratégie reproductive :	8
2.4.1 Reproduction sexuée :	8
2.4.2 Reproduction asexuée :	8
2.5 Modes de vie des champignons :	9
2.5.1 Diversité des cycles de vie :	9
2.5.2 Types de mycélium :.....	9
2.5.3 Stratégies écologiques :	10
2.6 Importance des champignons :.....	11
2.6.1 Importance nutritionnelle :	11
2.6.2 Intérêt médicinal :	12
2.6.3 Importance socio-économique :.....	12
2.6.4 Intérêt écologique :	12
2.7 Champignons comestibles et champignons toxiques :.....	13
2.8 Principales espèces comestibles cultivées dans le monde :.....	14

3	Aperçus sur l'espèce :	17
3.1	Définition :.....	17
3.2	Origine et répartition dans le monde :	17
3.3	Classification taxonomique :	18
3.4	Description morphologique :.....	18
3.5	Le cycle de reproduction :	19
3.5.1	La phase végétative :	19
3.5.2	La phase fructifère :.....	19
3.6	Habitat et écologie :.....	21
3.6.1	Habitat :.....	21
3.6.2	Exigences écologiques :	21
3.7	Profil biochimique et nutritionnel :	22
3.8	L'intérêt thérapeutique :	23
3.9	Contraintes sanitaires :.....	24
4	Les déchets agricoles de culture :	26
4.1	Le marc de café :	26
4.1.1	Définition :.....	26
4.1.2	La composition chimique du marc de café :.....	26
4.1.3	Valorisation du marc de café.....	27
4.2	Paille :.....	27
4.2.1	Définition :.....	27
4.2.2	Composition chimique :	27
4.2.3	Valorisation de la paille de blé :	28
4.3	Sciure de bois :.....	28
4.3.1	Définition :.....	28
4.3.2	Composition chimique :	28
4.3.3	Valorisation de sciure de bois :.....	29
4.4	L'avoine :	29
4.4.1	Définition de l'avoine :.....	29

4.4.2	Composition chimique de l'avoine :.....	29
4.4.3	Valorisation de l'avoine dans la culture des champignons :.....	29
5	Matériels et méthodes.....	32
5.1	Matériels :	32
5.1.1	Matériels utiliser :.....	32
5.1.2	Matériel mycologique :.....	32
5.1.3	Substrat utilisés :	32
5.2	Méthodes d'études :.....	33
5.2.1	Préparation le champs de culture:.....	33
5.2.2	Préparation la souche de <i>Pleurotus eryngii</i>	33
5.2.3	Préparation du substrat.....	35
5.2.4	La récolte de champignons et les analyse dans laboratoire :.....	44
6	Résultats et discussion :	50
6.1	Mesure des différents paramètres physico-chimiques :.....	50
6.1.1	Mesure de substrat :.....	50
6.1.2	Mesure de <i>Pleurotus eryngii</i> :	54
6.2	Analyse microscopique et bactériologique :.....	55
6.2.1	Microscopique :	55
6.2.2	Bactériologique :.....	56
6.3	Parametres de fructification.....	57
6.3.1	L'évolution de <i>Pleurotus eryngii</i> sur mélange des substrat.....	57
6.4	Discussion générale :	62
7	Conclusion et perspectives :.....	66
8	Références Bibliographiques :.....	69

Introduction



1 Introduction

Les champignons, estimés à près de 140 000 espèces dans le monde, jouent un rôle fondamental dans les écosystèmes en assurant la décomposition de la matière organique et la redistribution des nutriments. Toutefois, seulement 10 % de cette diversité—soit environ 14 000 espèces—sont aujourd’hui décrites. Parmi celles-ci, plus de 2 000 espèces sont reconnues comme comestibles (shiitake, pleurotes, champignon de couche, etc.) et font l’objet d’une production commerciale à grande échelle (**Largeteau, 2007 ; Régulo, 2013**).

Au fil des décennies, l’intérêt pour ces champignons s’est accentué, non seulement pour leur profil nutritionnel (riche en protéines, fibres, vitamines et oligo-éléments), mais aussi pour leurs propriétés médicinales (antioxydantes, immunomodulatrices, antitumorales) (**Belletini et al., 2016**). Leur diversité organoleptique (couleur, goût, arôme, texture) renforce également leur attrait auprès des consommateurs.

La valorisation des déchets agro-industriels pour la culture des champignons comestibles représente une voie à la fois écologique et économique. Différents substrats peuvent être employés : sciure de bois, déchets de papier, paille de céréales, bagasse de canne à sucre, pulpe de café, feuilles de bananier, etc. (**Miranda et al., 2010**). Cette approche permet de transformer des résidus à faible valeur ajoutée en biomasse alimentaire de haute qualité.

En Algérie, où plus de 75 000 tonnes de marc de café sont jetées chaque année et où la sciure de bois est abondante, la culture des pleurotes offre une solution durable pour valoriser ces coproduits. Outre la production de champignons frais, cette filière contribue à la production locale de protéines et à la réduction de l’empreinte environnementale (**Girmay et al., 2016**).

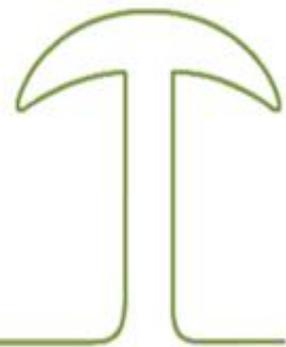
C’est dans ce contexte que s’inscrit la présente étude, qui propose d’évaluer la culture du pleurote sur deux substrats locaux (sciure de bois et marc de café). Nous y réaliserons :

- Des analyses physico-chimiques pour caractériser les substrats avant et après culture.
- Des tests de stabilité et des analyses microbiologiques pour suivre la qualité sanitaire des récoltes.
- Une évaluation des performances de fructification.

Ce mémoire se divise en deux grandes parties :

1. Une revue bibliographique présentant l'état de l'art sur la culture des pleurotes et la valorisation des résidus agro-industriels.
2. L'expérimentation, détaillant le matériel et les méthodes, puis exposant et discutant les résultats obtenus.

Synthèse Bibliographique



Les Champignons

2 Les champignons :

2.1 Caractères généraux des champignons :

Les champignons (Fungi, du latin *fungus*, ou Mycètes, du grec *mukês*) constituent un règne distinct des végétaux, des animaux et des procaryotes, On estime à 2,2 – 3,8 millions le nombre d'espèces fongiques présentes sur Terre, dont environ 150 000 sont actuellement décrites (**Hawksworth & Lücking, 2017**), et parmi celles-ci, environ 300 – 600 espèces sont reconnues comme pathogènes pour l'être humain (**Carlile & Watkinson, 1994 ; Redecker, 2002 ; Courtecuisse, 2011**).

À la fin du XX^e siècle, les études moléculaires et morphologiques ont conduit à séparer les champignons en un règne à part entière, appelé Eumycètes (ou simplement Fungi), distinct des autres organismes eucaryotes (**Després, 2014**).

Cette réorganisation est fondée sur plusieurs critères : l'absence de chlorophylle entraînant une nutrition hétérotrophe, la paroi cellulaire constituée de chitine conférant rigidité et résistance, et un cycle de vie comprenant des stades sexués et asexués avec production de spores. La forme végétative des champignons est le mycélium : un réseau d'hyphes qui peut être septé ou non septé selon le groupe taxonomique. Lorsque deux hyphes compatibles fusionnent, ils forment des structures reproductrices produisant des spores, tandis que les corps fructifères visibles à la surface (carpophore) ne représentent qu'un organe reproducteur éphémère, le mycélium restant la structure pérenne assurant absorption des nutriments et ancrage (**Oei, 2005**).

Sur le plan écologique, tous les champignons sont hétérotrophes, se nourrissant de matière organique selon des stratégies saprotrophes, parasitaires ou symbiotiques (mycorhizes, lichens) (**Carlile & Watkinson, 1994 ; Redecker, 2002**).

Sur le plan commercial, la culture des champignons s'effectue principalement dans des caves, sur des étagères aménagées avec des substrats végétaux (paille, sciure, marc de café...) ou dans des serres à température modérée et hygrométrie contrôlée. Ces champignons présentent une valeur nutritionnelle et médicinale élevée, riches en protéines, en fibres (notamment bêta-glucanes), ainsi qu'en vitamines (B, D) et en minéraux (potassium, phosphore, sélénium) (**Sulman et al., 2011 ; Narayanasamy et al., 2008**).

2.2 Systématique fongique :

Les champignons font partie du règne Fungi, un groupe d'organismes eucaryotes hétérotrophes non chlorophylliens. Historiquement, ils étaient classés parmi les plantes, mais leurs caractéristiques distinctes (paroi cellulaire composée de chitine, absence de chlorophylle) les ont conduits à être classés dans un règne indépendant (**Whittaker, 1969**).

2.2.1 Classification :

La classification des champignons est essentielle en mycologie pour comprendre leur diversité, leur écologie et leur évolution. Grâce aux avancées en biologie moléculaire, cette classification a évolué, permettant une meilleure compréhension de leurs relations phylogénétiques.

Les champignons peuvent être subdivisés en deux grands groupes :

les champignons inférieurs (ou micromycètes), qui comprennent principalement des organismes unicellulaires comme les levures et les moisissures, ainsi que des classes telles que *Chytridiomycota* et *Zygomycota*. Ces champignons ont une structure simple et un cycle de vie souvent plus court et moins complexe.

En revanche, les champignons supérieurs (ou macromycètes), tels que les *Ascomycota* et *Basidiomycota*, sont caractérisés par une structure plus complexe et un cycle de vie plus élaboré. Ils possèdent des organes reproducteurs spécialisés, tels que des basides ou des asques, et sont souvent visibles à l'œil nu sous forme de fructifications (**Atta, 2016**).

2.2.2 Critères 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**).

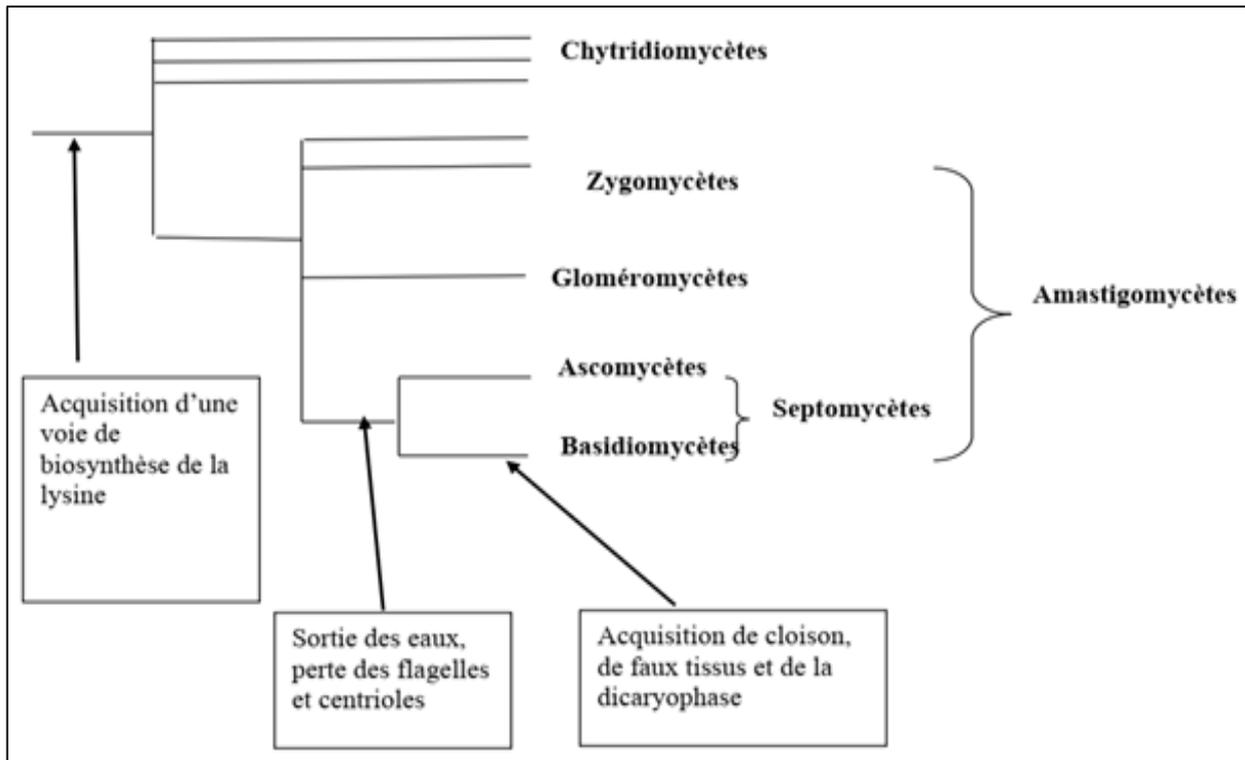


Figure 1: Principaux groupes des Eumycètes (Selosse, 2013).

2.3 Dynamique de croissance fongique :

La croissance du mycélium fongique repose sur des structures filamenteuses appelées hyphes, qui constituent l'unité fondamentale du thalle chez les champignons. Selon les groupes taxonomiques, ces hyphes présentent différentes organisations cellulaires. Chez les *Ascomycota* et les *Basidiomycota*, elles sont généralement hétérocaryotiques, c'est-à-dire qu'elles renferment plusieurs noyaux génétiquement distincts dans un même cytoplasme. À l'inverse, chez les *Zygomycota* et les *Glomeromycota*, les hyphes sont coenocytiques : elles ne possèdent pas de cloisons transversales et forment un cytoplasme continu sur de longues distances (Jennings & Lysek, 1996).

L'élongation des hyphes est apicale, se produisant exclusivement à leur extrémité, où se concentre une activité métabolique intense. Cette croissance ciblée repose sur la synthèse continue de la paroi cellulaire, essentiellement composée de chitine et de glucanes, assurant un allongement progressif de l'hyphe (Carlile & Watkinson, 1994 ; Money, 2004).

Les hyphes se ramifient régulièrement pour former un réseau tridimensionnel complexe appelé mycélium. La morphologie globale du thalle fongique dépend de la fréquence et de

l'angle des ramifications, ainsi que de la vitesse d'extension. Ce réseau permet une exploration rapide et efficace du substrat (**Carlile & Watkinson, 1994**).

Enfin, la croissance des hyphes est intimement liée à leur mode de nutrition. Les cellules apicales libèrent dans le substrat des enzymes hydrolytiques extracellulaires (comme les cellulases, protéases ou ligninases) capables de dégrader les composés organiques complexes en molécules simples, facilement assimilables. Ces nutriments sont ensuite absorbés par les hyphes, assurant à la fois leur développement et leur rôle clé dans le recyclage de la matière organique (**Moore et al., 2011**).

2.4 Stratégie reproductive :

La reproduction des champignons constitue un processus complexe et diversifié, impliquant deux grandes modalités : la reproduction asexuée et la reproduction sexuée. Ces deux voies permettent aux champignons de se multiplier, de coloniser de nouveaux substrats et de s'adapter à des conditions environnementales variées.

2.4.1 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 **zygospores** chez les Zygomycota et les **oospores** chez certains champignons inférieurs apparentés aux Oomycètes (**Moulinier, 2003**).

2.4.2 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.

2.5 Modes de vie des champignons :

Les champignons présentent une grande diversité de modes de vie, qui reflètent leur adaptabilité écologique et leur complexité biologique. Ces modes de vie dépendent à la fois de leur organisation cellulaire, de leur type de mycélium, de leur stratégie de reproduction, mais aussi de leurs relations écologiques avec l'environnement ou avec d'autres organismes vivants.

2.5.1 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**).

2.5.2 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.

2.5.3 Stratégies écologiques :

Les champignons occupent des niches écologiques variées grâce à la diversité de leurs modes de nutrition. On distingue principalement trois stratégies majeures : le saprophytisme, le parasitisme, et la symbiose.

- **Les champignons saprophytes** jouent un rôle clé dans le recyclage de la matière organique, en dégradant la cellulose, la lignine ou d'autres composés complexes. Grâce à leurs enzymes hydrolytiques et à leur mycélium extensif, ils participent activement au cycle des nutriments, notamment de l'azote, et sont les principaux décomposeurs dans les écosystèmes terrestres (**Galagan et al., 2003 ; Lutzoni et al., 2004**).
- **Les champignons parasites** représentent environ 20 % des espèces fongiques connues. Ils peuvent être obligatoires, facultatifs ou opportunistes, s'attaquant à divers organismes vivants (plantes, animaux, insectes, bactéries). Certains saprophytes deviennent pathogènes lorsque les défenses de l'hôte sont affaiblies (**Lutzoni et al., 2004 ; Rinaldi, 1989**).
- **Les champignons symbiotiques**, appartenant à de nombreuses espèces fongiques, entretiennent des relations étroites avec les plantes, notamment sous forme de mycorhizes (endomycorrhizes à arbuscules ou ectomycorrhizes). Ces associations améliorent l'absorption des nutriments, renforcent la résistance des plantes aux stress environnementaux et influencent positivement la biodiversité végétale (**Smith & Read, 1997 ; Van der Heijden et al., 1998**).

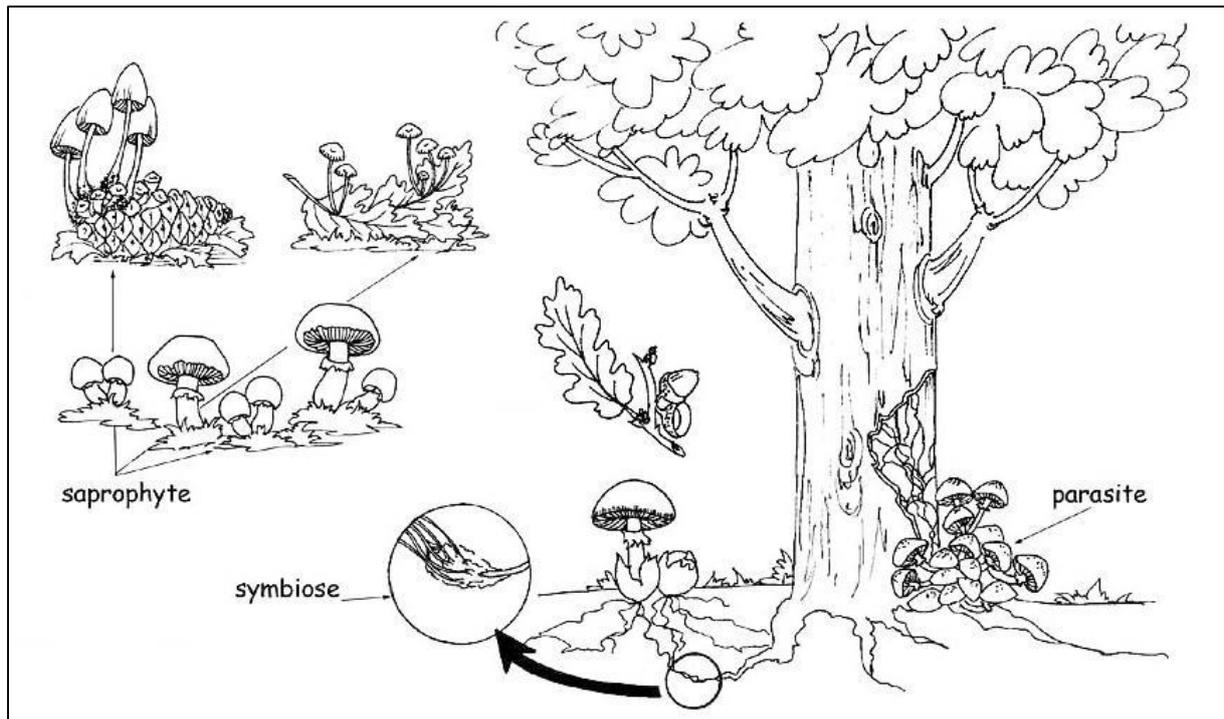


Figure 2 : Mode de vie des champignons sauvages (Mazari H. & Ouadah A., 2025).

2.6 Importance des champignons :

2.6.1 Importance nutritionnelle :

Les champignons comestibles constituent une source précieuse de nutriments. Leur composition chimique révèle une richesse en protéines, vitamines (notamment du groupe B, C et D), fibres alimentaires, minéraux essentiels tels que le sélénium, le zinc, le potassium et le fer, tout en étant pauvres en calories et en matières grasses (Halpern, 2007 ; Birhanu & Zerihun, 2012).

Ces caractéristiques leur confèrent un rôle nutritionnel important, notamment comme alternative végétale à la viande, ce qui leur a valu le surnom de « viande de la forêt » dans certaines cultures (Amos, 2016).

La teneur en glucides des champignons peut atteindre 50 à 65 % du poids sec, et leur faible taux de lipides — composé majoritairement d'acides gras polyinsaturés — en fait un aliment bénéfique pour les régimes hypocaloriques ou destinés à prévenir les maladies cardiovasculaires (Mria Elena et al., 2014).

2.6.2 Intérêt médicinal :

Outre leur intérêt nutritionnel, les champignons sont reconnus pour leurs propriétés thérapeutiques. Plusieurs composés bioactifs tels que les polysaccharides (notamment les β -glucanes), les stérols, les terpènes et les composés phénoliques sont extraits de leur paroi cellulaire. Ces substances démontrent des activités antitumorales, immunomodulatrices, hypocholestérolémiantes, antivirales, antibactériennes, antifongiques, et antioxydantes (**Guillamón et al., 2010 ; Lull et al., 2005**).

2.6.3 Importance socio-économique :

La culture des champignons représente une activité économique à fort potentiel, en particulier dans les zones rurales des pays en développement. Elle offre des opportunités de subsistance rapides, peu exigeantes en ressources, et adaptées aux environnements urbains, périurbains et ruraux (**Marshall Nair, 2009**).

La simplicité de la culture, notamment pour les espèces du genre *Pleurotus*, permet une production locale accessible qui peut être orientée soit vers l'autoconsommation, soit vers la commercialisation.

2.6.4 Intérêt écologique :

Les champignons jouent un rôle écologique fondamental dans les écosystèmes naturels. En tant que décomposeurs, ils assurent la dégradation de la matière organique complexe (bois mort, litière végétale), participant ainsi au **recyclage des nutriments** essentiels comme le carbone, l'azote et le phosphore (**Hawksworth, 2001**). Ce processus favorise la fertilité des sols et soutient la croissance des plantes.

Les champignons comme *Pleurotus* sont aussi étudiés pour leurs capacités de **biorémédiation**, notamment dans la dégradation de polluants organiques tels que les hydrocarbures ou les pesticides, grâce à leurs enzymes ligninolytiques (**Ribeiro et al., 2008**).

2.7 Champignons comestibles et champignons toxiques :

La distinction entre champignons comestibles et toxiques constitue un enjeu majeur en matière de santé publique, mais aussi sur le plan culturel et ethnomycologique. Cette différenciation, souvent transmise par les savoirs traditionnels, varie selon les contextes géographiques, les pratiques culinaires et les connaissances locales. Dans de nombreuses régions rurales, les populations acquièrent une connaissance empirique précise des espèces comestibles, transmise oralement de génération en génération (Oso, 1975 ; Eyi Ndong, 2009).

Cependant, la notion de comestibilité reste relative : une espèce consommée dans une région peut être proscrite ailleurs. Ainsi, la fausse morille (*Gyromitra esculenta*), précuite, est appréciée en Finlande mais considérée comme toxique aux États-Unis (Boa, 2006).

En réalité, seule une minorité des champignons supérieurs est dangereuse. Environ 1 % sont toxiques ou mortels (Romagnesi, 1995 ; Viala & Botta, 2005).

Le risque tient surtout à la ressemblance entre espèces, comme entre l'Amanite phalloïde (mortelle) et des champignons comestibles comme *Agaricus campestris*. Certaines espèces autrefois réputées comestibles sont aujourd'hui classées comme toxiques, notamment si elles sont consommées crues ou en grande quantité. Des études ont mis en évidence des effets néfastes sur le foie, les reins ou le système digestif (Viala & Botta, 2005 ; Brandão et al., 2011).

Les symptômes d'une intoxication varient selon la toxine : ils peuvent apparaître rapidement ou de manière retardée, compliquant le diagnostic. On distingue ainsi deux grands types de syndromes mycotoxiques selon les toxines impliquées et leurs effets.

Enfin, selon la FAO, l'être humain consomme aujourd'hui près de 1 000 espèces de champignons à travers le monde (Gévry et al., 2009). Toutefois, la prudence reste essentielle, notamment dans la cueillette sauvage, où l'identification rigoureuse des espèces est cruciale.

2.8 Principales espèces comestibles cultivées dans le monde :

Shiitake (*Lentinus edodes*)

- Retrouvé dans les forêts de feuillus de la Chine, du Japon et de la Corée
- Toujours reconnu comme un gage de longévité, qui assure la santé et retarde les effets du vieillissement
- Bonne source de protéines, de niacine, de riboflavine et de thiamine
- Contient B2 et B12 (**Demers, 2015**)



Figure 3 : *Lentinus edodes*

Pleurote (*Pleurotus ostreatus*)

- Cultivé sur des substrats agricoles tels que la paille ou la sciure
- Très répandu en Asie, Europe, Afrique et Amérique latine
- Facile à cultiver, cycle court, bon rendement
- Propriétés hypocholestérolémiantes, riches en fibres et en protéines (**Sánchez, 2010**).



Figure 4 : *Pleurotus ostreatus*

Pleurote du panicaut (*Pleurotus eryngii*)

- Originaire du bassin méditerranéen et d'Asie centrale
- Texture ferme et goût umami apprécié, utilisé en cuisine comme substitut de viande
- Riche en protéines, potassium, fer, fibres et β -glucanes
- Cultivable sur sciure, marc de café, paille – valorisation des déchets agricoles (**Barros et al., 2008 ; Sánchez, 2010**).



Figure 5 : *Pleurotus eryngii*

Reishi (*Ganoderma lucidum*)

- Champignon médicinal chinois traditionnel, non consommé pour son goût mais pour ses propriétés thérapeutiques
- Utilisé en infusion ou en extrait (compléments alimentaires)
- Effets immunostimulants, anti-inflammatoires, et antitumoraux
- Contient des polysaccharides et des triterpènes bioactifs (Sanodiya et al., 2009)

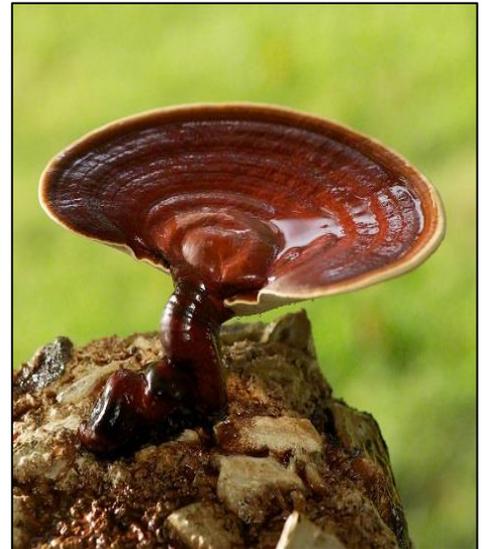


Figure 6 : *Ganoderma lucidum*

Enoki (*Flammulina velutipes*)

- Originaire d'Asie de l'Est, notamment du Japon, de Chine et de Corée
- Texture croquante, goût délicat, souvent utilisé dans les soupes, les sautés et les salades
- Riche en antioxydants, en acides aminés essentiels et en polysaccharides
- Activités antitumorales et immunostimulantes rapportées (Mizuno, 1995 ; Wasser, 2002)



Figure 7 : *Flammulina velutipes*

Pleurote rose (*Pleurotus djamor*)

- Champignon tropical originaire d'Asie du Sud et d'Amérique centrale.
- Goût fruité, texture croquante, utilisé dans les plats sautés.
- Riche en protéines, fibres, vitamines B et antioxydants.
- Propriétés antimicrobiennes, antioxydantes et hypocholestérolémiantes (Reis et al., 2012 ; Barros et al., 2008).



Figure 8 : *Pleurotus djamor*

Aperçus Sur L'espèce

3 Aperçus sur l'espèce :

3.1 Définition :

Le mot *pleurote* désigne le nom générique d'un groupe de champignons caractérisés, en général, par un pied latéral, des lames anastomosées vers le pied formant l'hyménium (tissu fertile), un chapeau charnu et des spores blanchâtres, parfois colorées.

Le genre *Pleurotus* regroupe des champignons basidiomycètes saprotrophes, caractérisés par un pied généralement excentré, des lames décurrentes formant l'hyménium, un chapeau charnu et une sporée généralement blanche à crème. Ces champignons sont connus pour leur capacité à décomposer les matières lignocellulosiques, jouant ainsi un rôle écologique majeur dans la dégradation de la matière organique (**Durrieu, 1993 ; Rajarathnam & Bano, 1989**).

Parmi les espèces les plus remarquables de ce genre figure *Pleurotus eryngii* (**De Candolle : Fr.) Quélet, 1872**, communément appelé pleurote du panicaut ou champignon royal (*King Oyster Mushroom* en anglais). Il se distingue par un pied épais et allongé, un chapeau convexe de couleur brun clair à foncé, et des lames blanches à crème, légèrement décurrentes.

Etant décomposeur primaire (dégradent les substances lignocellulosiques) (**Rajarathnam & Bano, 1989**), il s'attaque naturellement aux souches d'arbres morts ou parfois aux arbres en état de faiblesse, mais jamais aux arbres sains (**Delmas, 1989**).

3.2 Origine et répartition dans le monde :

Cette espèce est originaire des régions méditerranéennes, d'Asie centrale et du Moyen-Orient, où elle pousse naturellement en symbiose avec certaines plantes de la famille des Apiaceae, notamment le panicaut (*Eryngium campestre*), d'où elle tire son nom spécifique

Aujourd'hui, sa culture est largement répandue dans le monde en raison de ses qualités nutritionnelles, sa texture charnue et sa valeur économique élevée. La Chine est de loin le premier producteur mondial, avec une production estimée à plus de 1,7 million de tonnes par an en 2022, représentant environ 85 % de la production mondiale, selon le **China Edible Fungi Association (2023)**.

3.3 Classification taxonomique :

Dans une évaluation taxonomique récente, le genre *Pleurotus* est inclus dans le royaume des champignons, ce genre est l'un des plus grands et des plus diversifiés parmi la classe des basidiomycètes. . La systématique du *Pleurotus eryngii* (figure 09) rapportée par (DeCandolle) Quélet en 1872 est la suivante (DeCandolle Quélet,1872) :

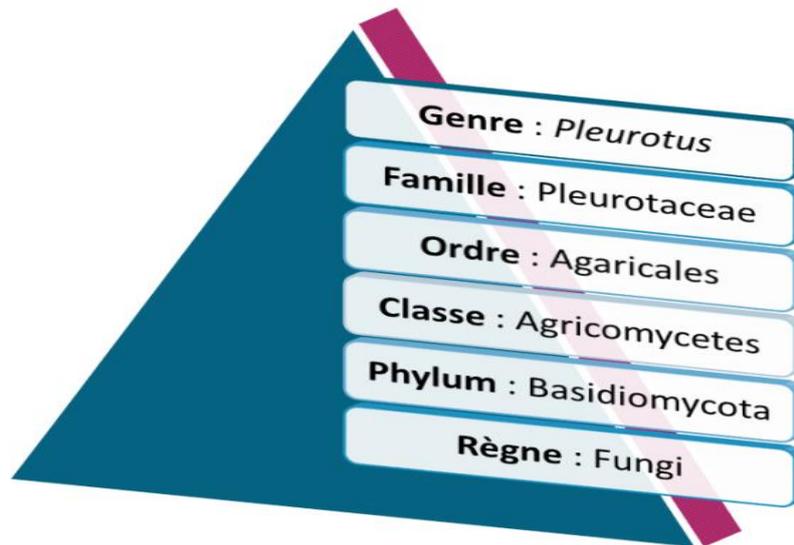


Figure 9: Classification taxonomique de *Pleurotus eryngii*

D'après zervakis et pollemis (2013), le genre comprend environ 30 espèces et taxons sous-spécifiques de champignons comestibles ayant une distribution mondiale.

3.4 Description morphologique :

Pleurotus eryngii est un champignon basidiomycète à lames, réputé pour sa bonne comestibilité (Phillips, 2006). Il est constitué de deux parties principales : le chapeau et le stipe (ou pied).

a. Chapeau :

Le chapeau est charnu, de forme convexe à enfoncée en entonnoir, souvent légèrement excentré. Sa couleur varie du brun clair au brun foncé, avec un diamètre compris entre 4 et 15 cm (Chang & Miles, 2004 ; Pegler, 1999).



Figure 10 : Chapeau de *Pleurotus eryngii*

b. Lames :

Les lames sont fines, assez larges et fortement décurrentes, c'est-à-dire qu'elles descendent le long du pied. Elles sont de couleur blanche à crème et forment l'hyménium, partie fertile du champignon (**Durrieu, 1993**).



Figure 11 : Lame de *Pleurotus eryngii*

c. Stipe (pied) :

Le pied est épais, ferme, généralement centré ou légèrement excentré, de couleur blanche à gris ochracé. Il présente souvent des stries longitudinales. Le champignon peut apparaître isolé ou en groupes soudés à la base, formant des touffes de 2 à 12 individus. Il ne possède pas d'anneau (**Rajarithnam & Bano, 1989 ; Pegler, 1999**).



Figure 12 : Pied de *Pleurotus eryngii*

3.5 Le cycle de reproduction :

Comme chez la majorité des basidiomycètes, le cycle de vie de *Pleurotus eryngii* se divise en deux grandes phases : la phase végétative et la phase fructifère (**Delmas, 1989**).

À titre d'illustration, le biocycle de *Pleurotus eryngii*, très proche de celui de *P. eryngii*, est représenté à la figure 13.

3.5.1 La phase végétative :

Cette phase débute par la germination des basidiospores, qui donne naissance à des mycéliums primaires monocaryotiques (à noyau unique). Ces filaments fongiques se développent dans le substrat en colonisant la matière organique disponible. Chaque spore donne ainsi un filament mycélien indépendant, génétiquement distinct.

3.5.2 La phase fructifère :

Lorsque deux mycéliums primaires compatibles se rencontrent, une plasmogamie (fusion des cytoplasmes) a lieu, donnant naissance à un mycélium secondaire dicaryotique

(contenant deux noyaux par cellule, génétiquement distincts). Ce mycélium entre alors en phase de croissance rapide.

La croissance dicaryotique se caractérise par la formation de boucles d'anastomose, témoins de la communication cellulaire et de la redistribution des noyaux. Lorsque les conditions environnementales deviennent contraignantes (température, humidité, lumière, disponibilité en nutriments), ce mycélium s'agrège pour former des primordia (ébauches de fructifications).

Ces primordia évoluent en carpophores (ou sporophores), communément appelés fructifications. À l'intérieur de l'hyménium des carpophores, se forment les basides, cellules spécialisées dans la reproduction sexuée. C'est dans ces basides que se déroule la caryogamie (fusion des noyaux), suivie d'une méiose, aboutissant à la formation de quatre basidiospores haploïdes. Une fois mures, ces spores sont libérées dans l'environnement ; si les conditions sont favorables, elles germent à leur tour et le cycle recommence (**Benamar-Mansour, 2016**).

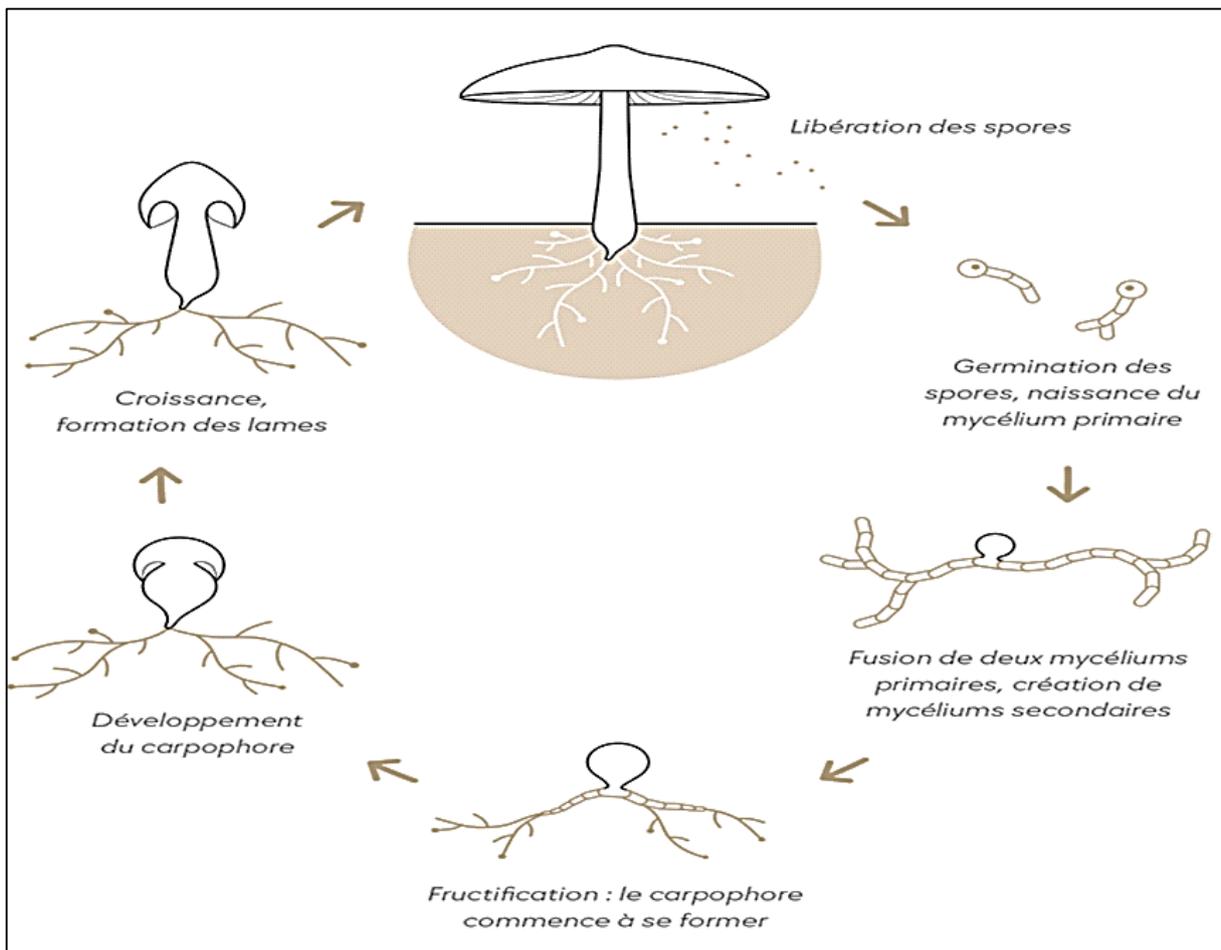


Figure 13 : cycle de vie d'un champignon

3.6 Habitat et écologie :

3.6.1 Habitat :

Pleurotus eryngii est un champignon saprotrophe et nécrotrophe facultatif, qui se développe naturellement dans des milieux ouverts à semi-arides, souvent en zone méditerranéenne, en Asie centrale et dans certaines régions d'Afrique du Nord (**Pegler, 1999 ; Benamar-Mansour, 2016**). Il pousse principalement en association avec des plantes de la famille des Apiaceae, telles que *Eryngium campestre* (panicaut), dont il dégrade les racines mortes ou affaiblies.

Dans son habitat naturel, *P. eryngii* préfère les sols bien drainés, riches en matière organique, mais peu acides. Il colonise les zones où la matière lignocellulosique est abondante.

3.6.2 Exigences écologiques :

Le développement optimal de *Pleurotus eryngii* dépend de plusieurs facteurs environnementaux :

- ✓ **Température** : le mycélium se développe idéalement entre 20 et 28°C, tandis que la formation des primordia nécessite des températures légèrement plus basses, entre 12 et 20°C (**Chang & Miles, 2004**).
- ✓ **Humidité relative** : Humidité relative : Durant la phase d'incubation du mycélium, elle est généralement maintenue entre 70 % et 80 %. En revanche, une humidité plus élevée, comprise entre 85 % et 95 %, est indispensable pendant la phase de fructification afin de favoriser le développement optimal des carpophores.
- ✓ **Oxygène et CO₂** : comme tout champignon aérobie, *P. eryngii* a besoin d'un apport en oxygène ; une concentration élevée en CO₂ (>1000 ppm) inhibe la formation des primordia. Une bonne aération est donc indispensable à cette étape (**Olivier et al., 1991**).
- ✓ **Lumière** : bien que non photosynthétique, il nécessite une lumière diffuse (environ 200–500 lux) pour déclencher la fructification et orienter la croissance des carpophores.
- ✓ **Substrat** : dans son habitat naturel, il dégrade les débris racinaires de plantes herbacées. En culture, il est capable de se développer sur une grande variété de substrats lignocellulosiques tels que la paille, la sciure de bois, le marc de café ou les résidus de cultures, ce qui favorise sa culture dans des contextes de valorisation des déchets agricoles (**Benamar-Mansour, 2016**).

3.7 Profil biochimique et nutritionnel :

Depuis plus d'un demi-siècle, la chimie des champignons fait l'objet d'études approfondies, révélant la présence de composés variés : eau, cellulose, substances azotées, lipides, pigments aromatiques et sels minéraux. Dans les pleurotes, des alcaloïdes tels que l'agaricine, la géine et la bulbosine ont été isolés (**Leuba, 1890**).

Sardar et al. (2017) ont analysé la composition minérale du pleurote royal ; le tableau ci-dessous reprend leurs données principales :

Tableau 1 : Composition minérale de *Pleurotus eryngii* (**Sardar et al., 2017**)

Élément	Teneur	Unité
Sodium (Na)	887,03	mg/kg
Potassium (K)	2 340,90	mg/100 g
Calcium (Ca)	354,81	mg/kg
Magnésium (Mg)	1 245,83	mg/kg
Phosphore (P)	654,00	mg/100 g
Fer (Fe)	184,38	mg/kg
Zinc (Zn)	77,83	mg/kg
Manganèse (Mn)	8,97	mg/kg

Tableau 2 : Composition proximale de *Pleurotus eryngii*

Composé	Teneur	Unité	Source
Eau	80–92 %	poids frais	Chang & Miles (2004)
Fibres alimentaires	8–12 %	matière sèche	Synytsya & Novák (2014)
Glucides totaux	64,9 g	/100 g sec	Kalač (2013)
Protéines	16,2 g	/100 g sec	Rodrigues et al. (2015)
Lipides	3,4 g	/100 g sec	

3.8 L'intérêt thérapeutique :

✓ **Pouvoir antibactérienne :**

D'après **Schillaci et al. (2013)**, les extraits méthanoliques de *Pleurotus eryngii* var. *elacoselini* présentent une activité antibactérienne, avec des concentrations minimales inhibitrices (CMI) de 0,005 mg/mL pour *Pseudomonas aeruginosa* et *Staphylococcus epidermidis*, et de 0,10 mg/mL pour *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli*.

✓ **Pouvoir antioxydant :**

Les champignons, notamment les Agaricomycètes comme *Lentinula edodes*, *Boletus edulis* et *Pleurotus eryngii*, sont de puissants antioxydants grâce à divers métabolites secondaires (**Vamanu & Niță, 2013**).

✓ **Propriétés anticancéreuses :**

Pleurotus eryngii contient des polysaccharides et glycoprotéines qui, in vitro, inhibent la prolifération de lignées tumorales (**Lemieszek et al., 2013**). In vivo, les extraits de ce champignon montrent une capacité à freiner l'angiogenèse tumorale (**Chihara et al., 1987**). Ces résultats précliniques suggèrent que *P.eryngii* est un candidat prometteur pour le développement d'agents anticancéreux.

✓ **L'effet hypo-cholestéromique :**

Pleurotus eryngii est riche en fibres solubles, notamment en β -glucanes, et contient de la lovastatine, deux composés reconnus pour leurs effets hypocholestérolémiant.

✓ **Améliorer l'immunité :**

La protéine de *Pleurotus* est le nutriment le plus important pour le maintien de la fonction immunitaire et constitue le composant principal des globules blancs et des anticorps.

✓ **Digestion :**

Le champignon *Pleurotus* favorise la sécrétion d'acide gastrique et facilite la digestion des aliments. Il est également bénéfique dans le traitement du syndrome de stagnation alimentaire, en contribuant à réguler le transit intestinal et à soulager les troubles digestifs.

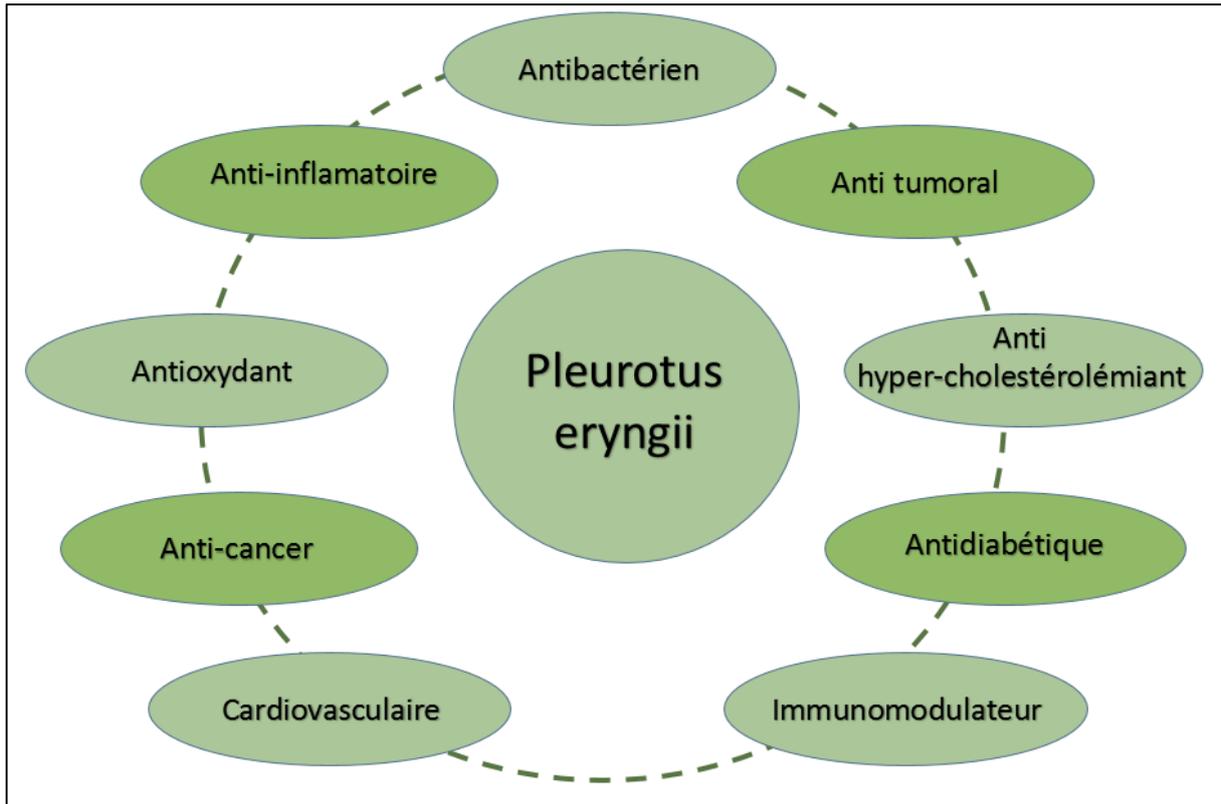


Figure 14 : Propriétés pharmacologique de *Pleurotus* (Mazari H. & Ouadah A., 2025).

3.9 Contraintes sanitaires :

La production de *Pleurotus eryngii* est soumise à des pathogènes fongiques (notamment *Trichoderma spp.*), des moisissures (*Aspergillus*, *Penicillium*) et des bactéries (*Pseudomonas tolaasii*, *Erwinia*), qui altèrent le mycélium et les fructifications (Sánchez, 2010 ; Pardo Giménez et al., 2015 ; Royse, 1996).

Par ailleurs, les contaminations microbiologiques (levures, spores en suspension) et chimiques (résidus de pesticides, métaux lourds, désinfectants mal dosés) représentent des menaces supplémentaires (Vélez et al., 2018 ; Nerva & Varese, 2015). Ces nuisances sont aggravées par des conditions de culture inadaptées : hygrométrie excessive (> 85 %), mauvaise aération (CO₂ > 1000 ppm) et températures hors des plages optimales (Sánchez, 2010 ; Pardo-Giménez et al., 2015).

*Les Déchets Agricoles
De Culture*

4 Les déchets agricoles de culture :

Le substrat est le matériau sur lequel pousse le mycélium. Selon **Oei (1993)**, les propriétés du substrat déterminent quels microorganismes peuvent s’y développer, toutefois, l’environnement joue aussi un rôle important car c’est l’association des conditions internes au substrat et des conditions environnementales qui déterminent la possibilité de croissance du mycélium, quelques champignons peuvent s’adapter à une large gamme de substrats et poussent sur le bois de presque tous les feuillus, c’est le cas du Pleurote, tandis que le Shiitake, par exemple, requiert des arbres plus spécifiques (l’arbre shii) pour se développer.

La sélectivité du substrat aux besoins du champignon cultivé et son inadéquation aux autres organismes sont importantes lors de la culture de champignon. La sélectivité dépend des substances nutritives présentes, du pH, de l’activité microbienne, de l’aération, de la teneur en eau, ou plus exactement de l’activité en eau disponible et de substances assimilables disponibles.

4.1 Le marc de café :

4.1.1 Définition :

Le marc de café est le résidu de la consommation du café soluble obtenu après torréfaction des grains de café marchands, après mouture et extraction à l’eau bouillante ou à la vapeur d’eau. **Mansour-Benamar, M. (2016)**.

4.1.2 La composition chimique du marc de café :

Le marc de café possède des propriétés, physiques et chimiques. La composition du marc de café est essentiellement faite de carbone qui représente l’élément majoritaire, de polysaccharides, de lipides, de protéines, de polyphénols et de minéraux (**Zamora et al., 2015**). Le tableau 04, regroupe les principaux composés du marc de café.

Il est relativement riche en protéines mais sa richesse en lignine peut constituer un facteur limitant pour son exploitation. (**Benamar-Mansour, 2016**).

Tableau 3: Composition chimique du marc de café (Benamar-Mansour, 2016).

Composé chimique	Quantité (g/100g de matière sèche)
Cellulose	12,40
Hémicellulose	39,90
Lignine	23,90
Protéines	17,44
Lipides	2,29
Azotes	2,79
Carbone (C)	47,18
C/N	16,91
Cendres	1,30

4.1.3 Valorisation du marc de café

Au vue des quantités produites chaque année, c'est une nécessité de trouver un moyen de faire du marc de café un produit à valeur ajoutée. La richesse en acides gras, lignine, cellulose, hémicellulose et autres polysaccharides du marc de café est un atout, et offre de nombreuses possibilités de valorisation du marc de café surtout comme un milieu de culture pour les champignons comestibles. (Benamar-Mansour, 2016).

4.2 Paille :

4.2.1 Définition :

Le blé est la culture la plus répandue dans le monde, cultivée dans des conditions environnementales variées dans plus de 115 pays.

La paille de blé est un sous-produit agricole obtenu à partir de différentes parties de la plante de blé telles que les tiges, les feuilles, etc. (Jacquemin., 2012 ; Khan et al.,2012).

4.2.2 Composition chimique :

D'une manière générale, les pailles de céréales sont riches en constituants pariétaux, fort incrustés de lignine, riche également en minéraux dont une partie de silice, mais pauvres en matières azotées et en matières grasses (tableau 05) (Février & Willequet, 2009).

Tableau 4 : Composition chimique de la paille de blé (Février & Willequet., 2009).

Composé	cellulose	Hémicelluloses	lignine	cendres	Protéines
Taux(en % par rapport à la MS)	33,7 à 40	21 à 26	11 à 22,9	7 à 9,9	3,6

4.2.3 Valorisation de la paille de blé :

La paille est bien plus que les restes de la récolte de blé. Ce sous-produit agricole a de nombreuses utilisations. Il peut être utilisé comme litière pour les animaux, il peut également être utilisé comme fourrage pour le bétail, et aussi combustible de chauffage, pour la production d'éthanol et même comme matériau de construction. Loin d'être gaspillée, la paille a beaucoup, de meilleures utilisations que d'être un milieu de culture pour les champignons (Doyle et al., 1988).

4.3 Sciure de bois :

4.3.1 Définition :

La sciure est le résidu généré par les dents de scie lorsque le bois est coupé. Dans le passé, il a été utilisé de manière limitée par l'industrie des pâtes et papiers.

La sciure de bois est un déchet de l'industrie du bois et du bois. Comme il possède une capacité de cuisson, il est normalement utilisé comme source de combustible dans les processus thermiques (biomasse). Il est également utilisé comme matériau isolant (Demir, 2008).

4.3.2 Composition chimique :

Le bois est principalement composé de trois constituants chimiques majeurs : cellulose, hémicellulose et lignine et cela diffère entre les deux types d'arbres (feuillu et résineux) selon Avat 1993. (Horisawa et al., 1999).

4.3.3 Valorisation de sciure de bois :

la sciure de bois est un résidu lignocellulosique largement utilisé comme substrat de culture pour les champignons comestibles, notamment les *Pleurotus spp.* et le *Lentinula edodes*. Elle est appréciée pour sa richesse en cellulose, lignine et hémicellulose, qui fournissent l'énergie nécessaire à la croissance du mycélium. Toutefois, sa faible teneur en azote nécessite l'ajout de compléments comme le son de blé. Bien préparée (pasteurisation ou stérilisation), la sciure favorise la rétention d'eau, l'aération et une bonne structure du substrat. Son utilisation permet de valoriser les déchets de l'industrie du bois tout en **réduisant les coûts de production** dans une logique d'économie circulaire (Stamets, 2000 ; Philippoussis et al., 2001 ; Zied et al., 2011 ; Hoa et al., 2015).

4.4 L'avoine :

4.4.1 Définition de l'avoine :

L'avoine (*Avena sativa* L.) est une céréale de la famille des Poacées, principalement cultivée dans les régions tempérées pour ses grains riches en nutriments. Elle est utilisée à des fins alimentaires humaines et animales, mais trouve également des applications dans les domaines pharmaceutique, cosmétique et agricole. Dans le contexte de la culture des champignons, elle peut être utilisée comme substrat nutritif ou comme complément pour enrichir d'autres substrats lignocellulosiques. (FAO, 1995 ; Welch, 2011).

4.4.2 Composition chimique de l'avoine :

L'avoine est riche en glucides complexes (notamment l'amidon), protéines (10 à 17 %), fibres alimentaires (dont les bêta-glucanes), lipides (4 à 7 %), vitamines B, et minéraux tels que le fer, le magnésium et le zinc. Sa richesse en bêta-glucanes lui confère des propriétés bénéfiques pour la santé et un rôle fonctionnel dans les substrats de culture, notamment en améliorant l'hydratation et la structure. (Peterson, 2001 ; Butt et al., 2008 ; Rasane et al., 2015).

4.4.3 Valorisation de l'avoine dans la culture des champignons :

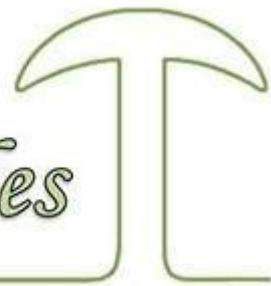
Dans la fongiculture, l'avoine est utilisée principalement sous forme de grains entiers, de son ou de farine. Elle peut servir à deux niveaux :

- **En tant que substrat nutritif dans la production de mycélium sur grain**, où elle est stérilisée puisensemencée pour produire un inoculum.

- **En complément d'autres substrats lignocellulosiques** (comme la paille ou la sciure), pour enrichir leur teneur en azote, en protéines et en glucides, favorisant ainsi une meilleure croissance du mycélium et un rendement supérieur en corps fructifères.

Grâce à sa richesse nutritionnelle, sa structure cellulaire favorable et sa disponibilité, l'avoine constitue un excellent substrat ou additif pour la culture des champignons. Elle permet une valorisation économique et écologique d'un sous-produit agricole dans la filière fongicole. (Stamets, 2000 ; Atri et *al.*, 2013 ; Kalac, 2016).

Matériel et méthodes



5 Matériels et méthodes

5.1 Matériels :

5.1.1 Matériels utiliser :

Tableau 5 : Matériel et équipements utilisés durant l'expérimentation

Dans le champ de culture	Dans laboratoire	
<ul style="list-style-type: none"> - Le champ de culture. - Thermomètre et hygromètre. - Un source de lumière indirecte. - Pulvérisateur. - Les sacs plastiques. 	<ul style="list-style-type: none"> - Four à moufle. - Mortier et pilon. - Balance électronique. - Bain marie. - Agitateur, Baro magnétique. - Microscope. - Spectrophotomètre. 	<ul style="list-style-type: none"> - Réfrigérateur. - Ph mètre. - Autoclave. - Absorptions atomique. - Étuve

5.1.2 Matériel mycologique :

Au cours de cette étude, nous avons utilisé une souche de *Pleurotus eryngii* achetée auprès d'un laboratoire spécialisé situé à Tlemcen (Tlemcen, Algérie).

5.1.3 Substrat utilisés :

- **La paille de blé :**

La paille utilisée a été achetée au marché de paille à Mendes (Relizane, Algérie).

- **Le marc de café :**

Le marc de café, collecté dans des cafés publics de la ville de Bermadia, (Relizane, Algérie).

- **La Sciure de bois :**

La sciure de bois utilisée provient d'une menuiserie artisanale située à 15 km de la ville de oued rhiou, en bordure de la route nationale reliant Relizane à Oued Rhiou (Relizane, Algérie), collectée durant le premier trimestre de l'année 2025.

- **L'avoine :**

L'avoine utilisée a été achetée au marché de paille à Mendes (Relizane, Algérie).

5.2 Méthodes d'études :

5.2.1 Préparation le champs de culture:

Dans le cadre de notre projet, nous avons sollicité l'attribution d'une salle faiblement éclairée auprès de l'administration. Une fois la demande acceptée, une pièce située à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie nous a été attribuée. Cette pièce contenait initialement divers objets inutilisés.

Après un nettoyage approfondi et une stérilisation complète de l'espace, nous y avons aménagé les équipements nécessaires : une table en bois servant de plan de travail, ainsi qu'une petite serre en plastique pour la culture des champignons, équipée d'un support permettant de suspendre les sacs de culture après l'ensemencement, afin de contrôler l'humidité et la température.



Figure 15 : La sale avant et après le nettoyage et stérilisation (Mazari H. & Ouadah A., 2025).

5.2.2 Préparation la souche de *Pleurotus eryngii*

La souche de *Pleurotus eryngii* ainsi que les sacs de culture ont été acquis auprès d'un laboratoire spécialisé (Mycelium) situé dans la wilaya de Tlemcen. À réception au bureau de livraison de Yalidin, dans la wilaya de Relizane, Immédiatement après, la souche a été conservée au réfrigérateur à une température variant entre 4 et 10 °C afin de préserver la viabilité mycélienne jusqu'à l'ensemencement.



Figure 16 : La souche de *Pleurotus eryngii* (Mazari H. & Ouadah A., 2025).

5.2.2.1 Évaluation de la qualité du mycélium :

Avant de planter des graines de *Pleurotus eryngii*, il est important de les inspecter pour s'assurer qu'elles sont exemptes de tout défaut ou contamination pouvant affecter leur croissance.

Avant toute inoculation de la souche de *Pleurotus Eryngii*, il convient de procéder à une inspection minutieuse afin de s'assurer de l'absence de tout défaut ou contamination susceptible d'entraver son développement.

Voici quelques étapes à suivre :

✓ **Inspection visuelle :**

Les graines se présentaient sèches, fermes et d'une teinte blanche uniforme, sans aucune tache ni signe de dégradation. Aucun insecte ou organisme fongique nuisible n'a été détecté.

✓ **Test olfactif :**

En approchant les graines, nous avons constaté une odeur fraîche et caractéristique, signe de leur bon état sanitaire.

✓ **Test de colonisation:**

Afin de confirmer leur viabilité, nous avons placé quelques graines dans une boîte de Pétri humidifiée. Après quelques jours, l'apparition de premiers germes a attesté de leur pouvoir germinatif satisfaisant.



Figure 17 : Test de colonisation de la souche de *Pleurotus eryngii* (Mazari H. & Ouadah A., 2025).

5.2.3 Préparation du substrat

Pour la préparation des substrats et la culture de *Pleurotus eryngii* nous avons adopté la technique de **Mansour-Benamar et al (2010)** qui se fait en 5 étapes principales :

- ✓ Humidification des substrats de culture
- ✓ Traitement thermique des substrats
- ✓ Préparation des mélanges des substrats
- ✓ Inoculation des substrats
- ✓ Incubation

5.2.3.1 Humidification et traitement thermique des substrats

1. Paille:

- ✓ Humidification

La paille de blé a d'abord été coupée en petits fragments de 4 à 7 cm. Elle a ensuite été trempée dans de l'eau pendant 24 heures, puis égouttée pendant 2 à 3 heures, afin d'éliminer les impuretés et de ramollir la matière végétale.

✓ Traitement thermique

La paille a été transportée sur le site expérimental. Les fragments ont été placés dans une cuve métallique et recouverts d'eau du robinet. L'ensemble a été porté à ébullition pendant deux heures, dans le but de réaliser une pasteurisation : ce traitement permet de réduire la charge microbienne, d'éliminer la majorité des contaminants compétitifs, et de ramollir la paille. Après ébullition, la paille a été étalée, puis laissée à sécher et à refroidir pendant environ 8 heures, jusqu'à obtention d'une humidité résiduelle légère, suffisante pour l'ensemencement tout en éliminant l'excès d'eau.



Figure 18 : Préparation du substrat de paille (Mazari H. & Ouadah A., 2025).

2. Marc de coffee :

✓ Humidification

Le marc de café, collecté après usage alors qu'il était initialement humide.



Figure 19 : Collecte du marc de café (Mazari H. & Ouadah A., 2025).

✓ Traitement thermique

Le marc de café, récupéré sous forme de disques compacts en raison de la pression exercée lors de l'extraction du café, a été légèrement broyé afin de faciliter son utilisation ultérieure comme substrat.

Avant l'inoculation, le marc sec a été soumis à une stérilisation à la vapeur pendant 45 min , destinée à éliminer la charge microbienne résiduelle et à assurer un milieu sain pour le développement du mycélium.

3. Sciure de bois:

✓ Humidification

La sciure de bois brut a d'abord été tamisée pour éliminer les particules trop fines et les débris de bois non désirés. Elle a ensuite été placée dans un grand bac en acier inoxydable, puis recouverte d'eau du robinet. Le mélange a été laissé à tremper pendant 12 heures afin de permettre à la sciure de s'imprégner uniformément d'humidité et d'éliminer une partie des résidus solubles. Après cette période, la sciure a été égouttée pendant 2 heures pour évacuer l'excès d'eau.



Figure 20 : Préparation du substrat de paille (Mazari H. & Ouadah A., 2025).

✓ Traitement thermique

La sciure humidifiée a ensuite été transférée dans une marmite d'acier inoxydable, suffisamment grande pour contenir le volume de substrat sans le tasser. De l'eau a été ajoutée jusqu'à recouvrir entièrement la sciure, puis la marmite a été placée directement sur la source de chaleur. Le mélange a été porté à ébullition et maintenu à ébullition constante pendant deux heures. Ce traitement par ébullition directe permet de réduire drastiquement la charge microbienne et d'éliminer les contaminants compétitifs, tout en ramollissant légèrement la sciure pour créer un milieu de culture favorable.



Figure 21 : Préparation du substrat de paille (Mazari H. & Ouadah A., 2025).

Après ces deux heures, la sciure pasteurisée a été égouttée pendant 4 heures à température ambiante jusqu'à atteindre une humidité résiduelle légère, adaptée à l'ensemencement.

4. Avoine:

✓ Humidification

Les grains d'avoine ont d'abord été triés, rincés, puis trempés dans de l'eau pendant 24 heures. Après un égouttage de 2 à 3 heures pour éliminer l'excès d'eau, ils ont été prêts pour le traitement thermique.



Figure 22 : Humidification substrats d'avoine (Mazari H. & Ouadah A., 2025).

✓ Traitement thermique

Les grains ont ensuite été placés dans une cuve recouverte d'eau et pasteurisés par ébullition douce pendant deux heures. Enfin, ils ont été étalés et laissés à refroidir et à sécher pendant environ huit heures, jusqu'à atteindre une humidité résiduelle légère, adaptée à l'ensemencement du mycélium.



Figure 23 : Bouillir du marc de café et refroidir (Mazari H. & Ouadah A., 2025).

5.2.3.2 Préparation des mélanges des substrats :

Après avoir refroidi et humidifié les 4 substrats, le sciure de bois, le marc de café, l'avoine et la paille de blé.



Figure 24 : La Préparation des mélanges des substrats (Mazari H. & Ouadah A., 2025).

Nous avons procédé à la préparation des mélanges à différents pourcentages comme précisé dans le tableau 5 :

Tableau 6 : Constitutions des mélanges et témoins exprimés en pourcentage

Substrat		Paille de blé	Marc de café	sciure de bois	Avoine
Témoins	Paille	100 %	0 %	0 %	0 %
Mélanges	1	50 %	50 %	0 %	0 %
	2	40 %	40 %	0 %	20 %
	3	50 %	0 %	50 %	0 %
	4	40 %	0 %	40 %	20 %
	5	25 %	25 %	25 %	25 %

Chaque mélange est introduit dans un sachet en polyéthylène à raison de 5 kg de chaque substrat puis fermés.

5.2.3.3 Inoculation des substrats :

Une fois refroidis, les substrats ont été inoculés par le blanc de *P.Eryngii* préparé précédemment en respectant le taux d'inoculation recommandé par **Mansour-Benamar et al (2013)** qui est de 7%.

Après avoir préparé les substrats de culture, nous cultiverons le *pleurote eryngii*. Tout d'abord, il faut bien le stériliser à l'aide de chlore ou d'alcool.

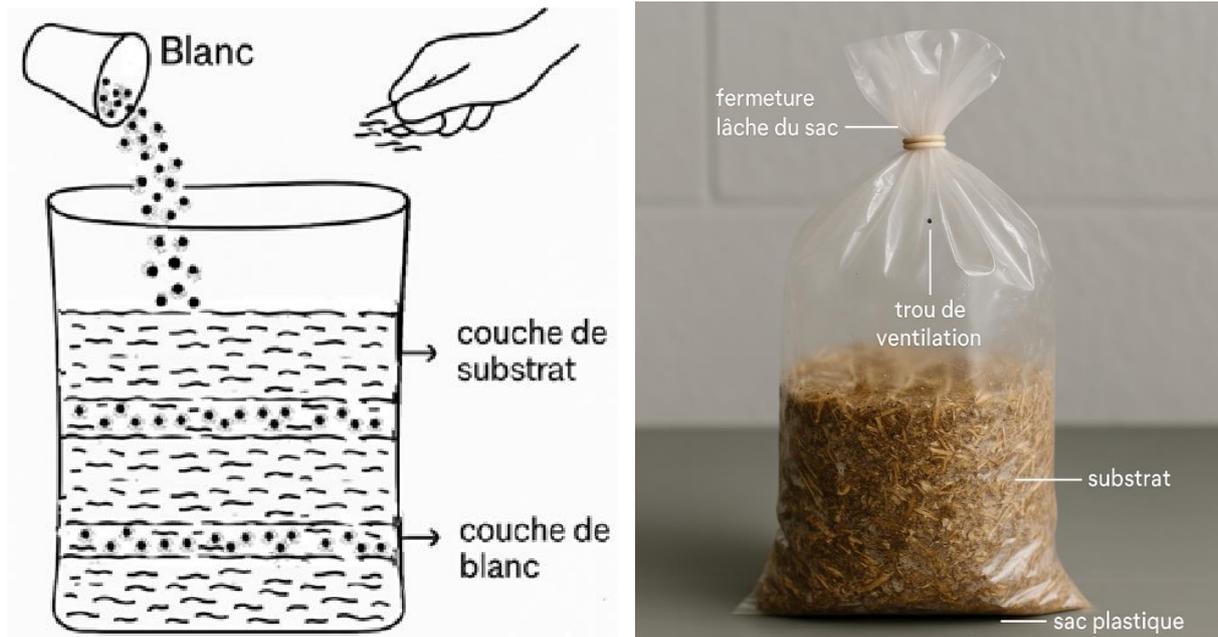


Figure 25 : La méthode de culture

▪ La culture sur paille :

Après traitement thermique, refroidissement et ajustement de l'humidité, la paille pasteurisée a été placée dans des sacs en polypropylène transparents, désinfectés .

Le mycélium grainé de *Pleurotus eryngii* a été incorporé au substrat à raison de 7 % du poids humide de la paille. L'ensemencement a été réalisé en couches alternées : une couche de substrat suivie d'une couche de mycélium, afin d'assurer une colonisation homogène.

Le mélange a été compacté légèrement à la main pour favoriser le contact entre le mycélium et le substrat. Les sacs ont ensuite été fermés hermétiquement à l'aide de colliers plastiques, tout en ménageant quelques orifices d'aération permettant l'échange gazeux.



Figure 26 : La culture de champignons sur paille (Mazari H. & Ouadah A., 2025).

▪ La culture sur les mélange :

Dans le cadre de cette étude, plusieurs substrats lignocellulosiques ont été évalués pour la culture de *Pleurotus eryngii*. Les principaux matériaux utilisés incluent la paille de blé, le marc de café usagé séché et la sciure de bois. Ces substrats ont été utilisés seuls ou combinés dans des proportions variables, en fonction des caractéristiques physiques et nutritionnelles de chaque substrat, afin de créer des formulations optimisées pour le développement du mycélium.

L'avoine a été intégrée dans certaines formules, non pas comme substrat principal, mais comme additif nutritionnel, dans le but d'enrichir le milieu en nutriments essentiels, notamment en azote et en sucres solubles.

les substrats ont tous été soumis aux mêmes étapes de préparation : humidification, traitement thermique , égouttage, refroidissement, puis ensemencement avec du mycélium grainé de *Pleurotus eryngii*.

- **La culture sur les mélange des 4 substrats (marc de coffee, sciure de bois, paille, Avoine) :**

Un substrat composite a été préparé en mélangeant à parts égales du marc de café séché, de la sciure de bois, de la paille de blé prétraitée et des grains d'avoine

Le traitement de ce substrat combiné a suivi les mêmes étapes que celles appliquées à la paille seule : humidification, pasteurisation, égouttage, refroidissement, puis ensemencement avec du mycélium grainé.

5.2.3.4 Incubation :

Après inoculation, Les sacs de culture obtenus ont ensuite été suspendus dans la serre en plastique noir, offrant des conditions contrôlées d'incubation (température entre 20 °C et 25 °C, humidité élevée, obscurité). Les résultats seront évalués à l'issue de la colonisation complète du substrat.



Figure 27 : Mettre les sacs dans un serre en plastique noir (Mazari H. & Ouadah A., 2025).

Dès l'apparition des premiers primordia, nous avons modifié les conditions de culture en augmentant le taux d'humidité dans la chambre de culture par arrosage quotidien des blocs de cultures avec de l'eau fraîche (4°C), ce qui a permis de diminuer la température de la salle de culture.

5.2.4 La récolte de champignons et les analyse dans laboratoire :

5.2.4.1 Analyses physico-chimiques :

Les mesures de, pH, taux d'humidité, quantités de matière sèche, cendres et de matière organique dans les substrats de culture du pleurote sont réalisés, selon les techniques utilisées par **Mathieu & Pielain (2003)**. Chaque mesure a été effectuée en triplicata afin d'assurer la fiabilité et la reproductibilité des résultats.

1. Le séchage :

Après la récolte, les champignons ont été transportés au laboratoire. Ils ont d'abord été pesés à l'aide d'une balance électronique, avec une masse initiale enregistrée de 100 grammes. Ensuite, ils ont été enveloppés dans du papier aluminium et placés dans un four réglé à 45 °C pendant 24 heures. À l'issue du séchage, leur masse était de 18,7 grammes.



Figure 28 : Le séchage de champignons récolté (**Mazari H. & Ouadah A., 2025**).

2. Mesure du pH

Nous avons mesuré le potentiel d'hydrogène (pH) initial des substrats (**P, M1, M2, M3, M4, M5**), et le pH à la fin de la culture.

La technique utilisée, consiste à mélanger dans un bécher 20g de substrat à 50ml d'eau distillée. Après 15 min, les mesures du pH ont été relevées et 3 répétitions ont été faites.



Figure 29 : Préparation de solution pour mesuré PH (Mazari H. & Ouadah A., 2025).

3. Matière sèche (MS)

À l'aide d'une balance analytique, 50 g de matière fraîche (MF) sont pesés dans des fonds de boîtes de Pétri tarés. Les échantillons sont ensuite séchés à 60 °C jusqu'à stabilisation du poids.

Le pourcentage de matière sèche est calculé par la formule suivante :

$$MS (\% MF) = (P1 / P0) \times 100$$

- P0 : poids de la matière fraîche (g)
- P1 : poids de la matière sèche (g)

4. Taux d'humidité (H)

Le taux d'humidité est déterminé selon la formule :

$$H (\%) = [(P0 - P1) / P0] \times 100$$

- H : taux d'humidité en %
- P0 : poids de la matière fraîche (g)
- P1 : poids de la matière sèche (g)

5. Teneur en cendres (matière minérale)

Après séchage, les échantillons sont incinérés dans un four à moufle (Nabetherm) à 550 °C pendant 5 heures. Le résidu obtenu correspond à la fraction minérale.

Le pourcentage de cendres est donné par :

$$\text{Cendres (\%)} = (P2 / P1) \times 100$$

- P2 : poids des cendres (résidu après incinération)
- P1 : poids de la matière sèche avant incinération

6. Analyse minérale par absorption atomique

L'analyse des éléments minéraux a été réalisée afin de déterminer les concentrations en magnésium (Mg) et en potassium (K) dans les échantillons de poudre de *pleurotes eryngii*. Pour cela, 5 g de poudre ont été mélangés avec 500 mL d'eau distillée dans un bécher, puis placés sur un agitateur magnétique pendant une heure. Après agitation, le mélange a été filtré à l'aide d'un filtre à papier.

La solution filtrée a ensuite été diluée à trois niveaux : 25 mL, 50 mL et 100 mL, afin d'évaluer l'effet de la concentration sur la précision des mesures.

Les analyses ont été effectuées à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique (modèle AAnalyst-200).



Figure 30 : Appareil Absorption atomique A4-7000 (Mazari H. & Ouadah A., 2025).

5.2.4.2 Analyses microscopiques et microbiologiques :

1. Observation microscopique :

À l'aide d'un couteau de laboratoire stérilisé, une fine section de lamelle ainsi qu'un fragment du pied du champignon ont été soigneusement prélevés. Ces échantillons ont été déposés sur une lame de microscope, puis colorés avec une goutte de bleu de méthylène

Après la pose d'une lamelle couvre-objet, la préparation a été observée au microscope optique à différents grossissements.

2. Etude bactériologique :

L'objectif de cette analyse est de détecter la présence éventuelle de bactéries pathogènes ou altérantes pouvant nuire à la qualité hygiénique du produit ou à la santé du consommateur.

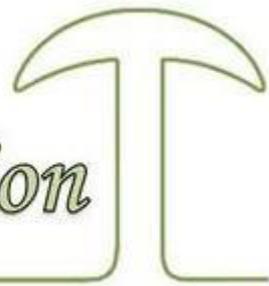
Un fragment stérile de tissu (5×5 mm), prélevé à l'intérieur d'un carpophore sain, a été inoculé sur un milieu PDA (Potato Dextrose Agar) stérilisé, sous hotte à flux laminaire, en conditions d'asepsie stricte. Une boîte témoin, ne contenant aucun tissu, a été préparée simultanément afin de contrôler la stérilité du milieu et de l'environnement de travail.

Les boîtes ont été incubées à 25 °C pendant six jours. L'absence de colonies bactériennes ou fongiques étrangères sur le milieu a été vérifiée par observation macroscopique.



Figure 31 : Etude bactériologique (Mazari H. & Ouadah A., 2025).

Résultats et discussion



6 Résultats et discussion :

6.1 Mesure des différents paramètres physico-chimiques :

6.1.1 Mesure de substrat :

1. PH

Dans la figure 33 sont représentées les valeurs moyennes du pH des différents substrats avec les écarts types au début de culture (pH initial) et a la fin de culture (pH final).

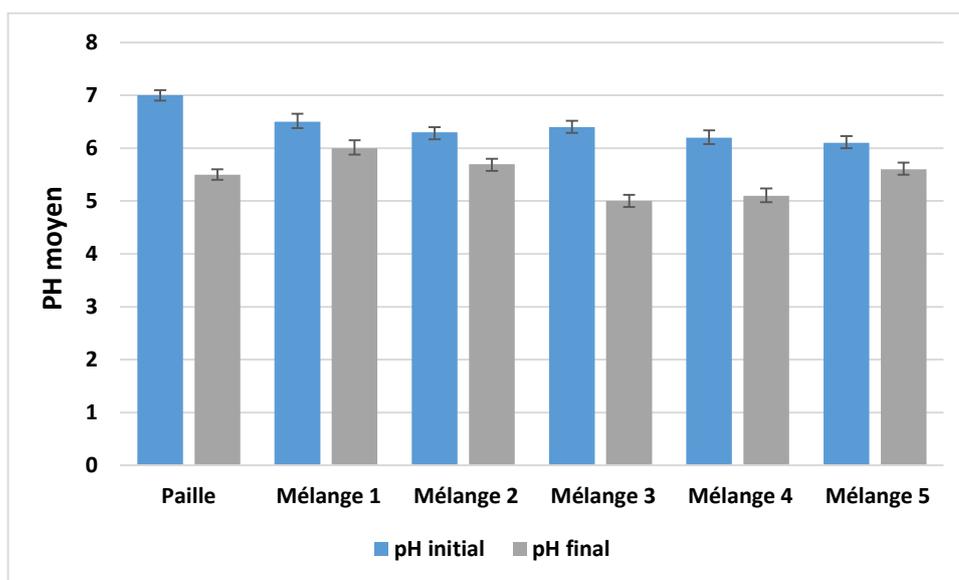


Figure 32 : pH initiaux et finals de *Pleurotus eryngii* sur les substrats (\pm Ecart-type)

La paille (P) présente un pH initial neutre (7,08), tandis que les autres substrats, à savoir le Mélange 1 (M1), le Mélange 2 (M2), le Mélange 3 (M3), le Mélange 4 (M4) et le Mélange 5 (M5), présentent des pH initiaux acides : ($6,50 \pm 0,06$ pour M1, $6,30 \pm 0,09$ pour M2, $6,40 \pm 0,05$ pour M3, $6,20 \pm 0,04$ pour M4 et $6,10 \pm 0,04$ pour M5).

À la fin de la culture, une légère diminution du pH a été observée pour les substrats M1, M2 et M5, avec des valeurs variant entre ($6,00 \pm 0,03$ et $5,60 \pm 0,30$). En revanche, une baisse plus marquée du pH a été enregistrée pour les substrats paille, M3 et M4, avec des valeurs comprises entre ($5,50 \pm 0,03$ et $5,00 \pm 0,30$).

L'activité de *Pleurotus eryngii* a ainsi entraîné une acidification plus prononcée des substrats ayant présenté une colonisation mycélienne importante, ce qui témoigne d'une activité enzymatique et métabolique plus intense dans ces milieux favorables au développement du champignon. Ces résultats sont conforme à ceux de **AOUDIA (2013)** sur MC-P.

2. Taux d'humidité

Dans la figure 34 sont représentés les taux d'humidité moyens dans les substrats au démarrage des cultures (initial) et à leurs fin (final).

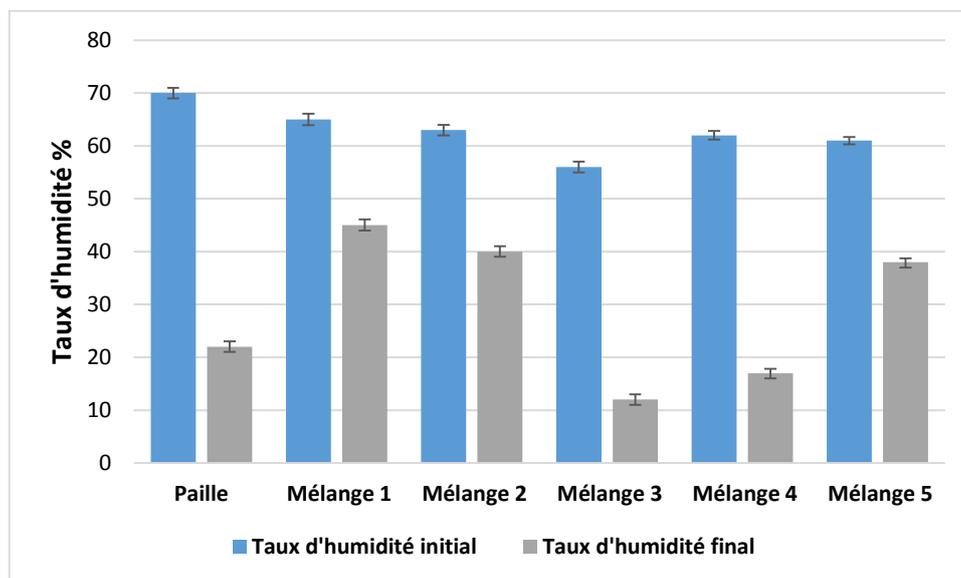


Figure 33 : Taux d'humidité moyens initial et final de *P. eryngii* dans les substrats (\pm écart type).

D'après la figure 34, la paille présente la plus forte capacité de rétention d'eau avec un taux d'humidité initial de 70,00 % \pm 0,43, contre des valeurs inférieures pour les autres substrats, comprises entre (65,00 % \pm 0,21 et 56,03 % \pm 0,67).

À la fin de la culture de *Pleurotus eryngii*, une baisse importante de l'humidité a été observée dans les substrats paille, M3 et M4, avec des taux variant entre (22,01 % \pm 0,03 et 12,00 % \pm 0,30). En revanche, les substrats M1, M2 et M5 ont montré une diminution plus modérée, avec des taux d'humidité résiduels allant de (45,05 % \pm 0,03 à 38,00 % \pm 0,30).

Cette réduction de l'humidité, bien que l'arrosage ait été assuré de manière quotidienne et régulière, traduit une activité métabolique plus intense dans les substrats fortement colonisés. La paille, en particulier, conserve la valeur d'humidité finale la plus élevée (22,01 % \pm 0,43), confirmant à la fois sa capacité de rétention et son rôle favorable dans la croissance du mycélium.

3. Matière sèche

Dans la figure 35 sont représentées les quantités moyennes, en pourcentage, de matière sèche dans les substrats, au début(initial) et à la fin des cultures de POL(final).

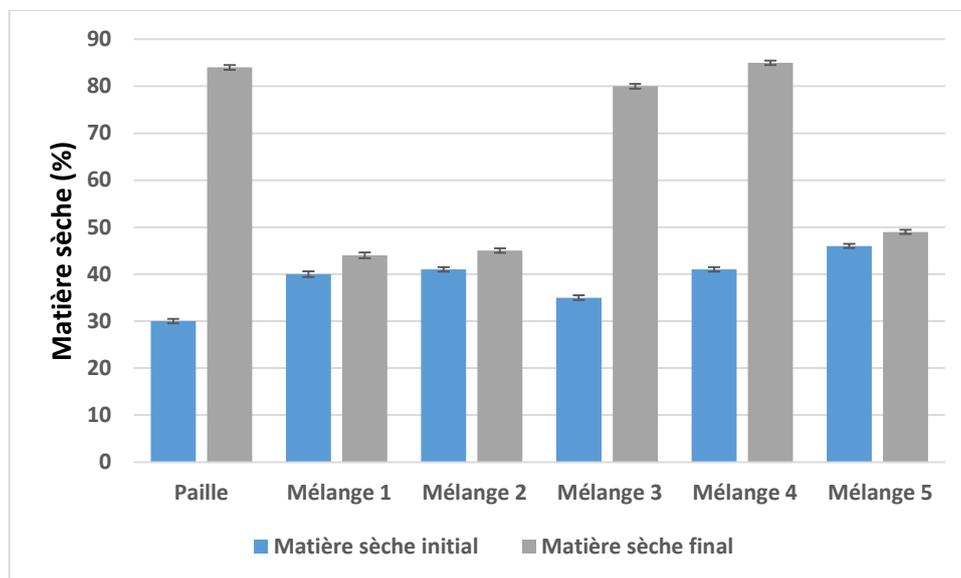


Figure 34 : Pourcentages de matière sèche moyenne initiaux et finals dans les substrats (\pm Ecart-type) avant et après culture de *Pleurotus eryngii*

La figure 35 montre qu'au début de la culture, le taux de matière sèche des substrats varie considérablement, avec des valeurs comprises entre 46,10 % \pm 0,45 et 30,05 % \pm 0,43.

La paille présente le taux de matière sèche le plus faible (30,05 % \pm 0,43) par rapport aux autres substrats.

À la fin de la culture de *Pleurotus eryngii*, une augmentation significative de la matière sèche a été observée dans les substrats paille, M3 et M4, avec des valeurs comprises entre 85,08 % \pm 0,63 et 80,02 % \pm 0,30. En revanche, les substrats M1, M2 et M5 ont montré une augmentation plus faible, avec des taux variant entre 49,00 % \pm 0,53 et 44,05 % \pm 0,32.

Cette évolution reflète une utilisation plus intense de l'eau par le mycélium dans les substrats bien colonisés,

4. Matière minérale

La figure 36 regroupe les taux moyens de matière minérale dans les substrats de culture de *P.eryngii*

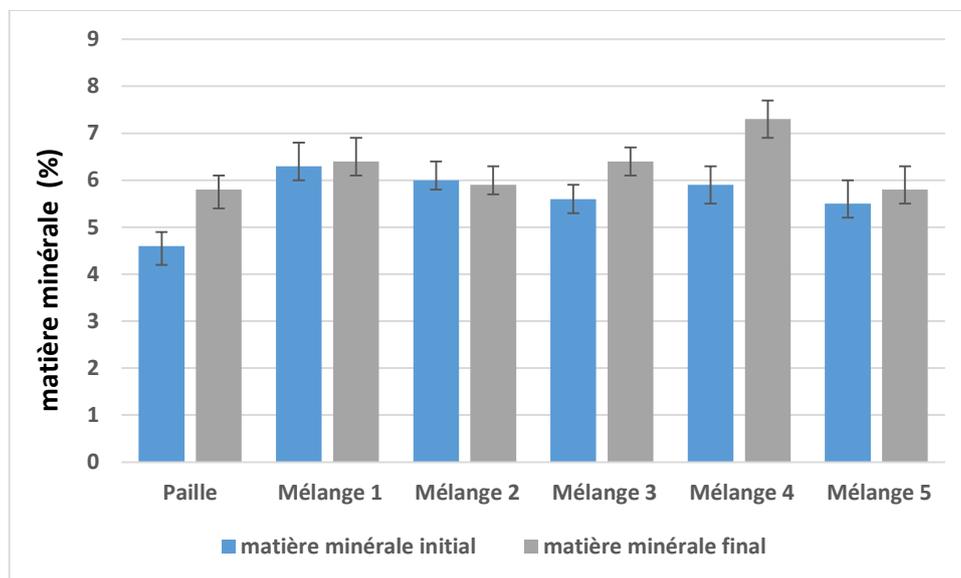


Figure 35 : Taux de la matière minérale dans les substrats avant et fin de culture (\pm Ecarttype).

D'après la figure 36, la teneur en matière minérale (cendres) des substrats a montré une augmentation après la culture de *Pleurotus eryngii*. Initialement, les substrats présentaient des valeurs comprises entre 4,60 % \pm 0,20 et 5,90 % \pm 0,18 pour la paille, M3 et M4, et entre 5,50 % \pm 0,28 et 6,30 % \pm 0,30 pour les substrats M1, M2 et M5.

À la fin de la culture, une augmentation significative de la teneur en cendres a été observée dans les substrats paille, M3 et M4, atteignant des valeurs comprises entre 5,80 % \pm 0,25 et 7,30 % \pm 0,23. En revanche, les substrats M1, M2 et M5 n'ont montré aucune variation notable, conservant des niveaux de matière minérale similaires à ceux enregistrés initialement.

L'augmentation observée dans certains substrats s'explique par la dégradation des fractions organiques par le mycélium, ce qui entraîne une concentration relative en éléments minéraux. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par **Bonatti et al. (2004)**, **Mshandete et al. (2010)** et **Gąsecka et al. (2020)**, qui ont également noté une hausse de la matière minérale dans les substrats où la colonisation fongique est plus active.

6.1.2 Mesure de *Pleurotus eryngii* :

1. PH

Nous avons trouvé un pH de 7,10, ce qui se situe dans la plage normale du *Pleurotus eryngii*, généralement comprise entre 6,5 et 7,5. Cette valeur indique un environnement favorable à la croissance du champignon et confirme sa comestibilité, sans risque notable pour la santé.

2. Matière sèche

La matière sèche de *Pleurotus eryngii* représente généralement entre 10 % et 20 % du poids frais.

Dans notre étude, elle a été estimée à 19 %, ce qui est conforme aux valeurs habituelles rapportées pour cette espèce.

3. Taux d'humidité

La teneur en eau des champignons *Pleurotus eryngii* varie naturellement selon les conditions de culture, mais elle se situe en général entre 80 % et 92 %.

Dans notre étude, nous avons trouvé une teneur en eau de 81 %, ce qui est en accord avec les valeurs attendues pour cette espèce et indique une bonne qualité physiologique des fructifications récoltées.

4. Teneur en cendres

La teneur en cendres de *Pleurotus eryngii* est un indicateur de sa richesse en éléments minéraux essentiels. Elle a été déterminée après incinération à 550 °C et représente environ 8,2 % de la matière sèche, ce qui confirme le potentiel nutritif élevé de ce champignon comestible.

5. Absorption atomique :

On donne les résultats sur un tableau ci-dessus :

Tableau 7 : La concentration de K et Mg par Absorption atomique (Mazari H. & Ouadah A., 2025).

Dilution (ml)	Potassium (ppm/L)	Magnésium (ppm/L)
25	2.9144	0.5304
50	1.8101	0.2600
100	1.2050	0.0450

Le tableau présente les résultats de l'analyse par absorption atomique (AA) du potassium (K) et du magnésium (Mg) dans des solutions diluées de *Pleurotus eryngii* (25 ml, 50 ml et 100 ml). L'AA est une méthode de référence pour quantifier les éléments métalliques dans divers échantillons.

On observe une diminution systématique des concentrations de K et de Mg lorsque le volume de dilution augmente, ce qui est cohérent avec l'effet de dilution sur la concentration des analytes :

- **Potassium (K)** : la concentration passe de 2.9144 ppm à 1.2050 ppm entre 25 ml et 100 ml, soit une baisse de 58,5 %.
- **Magnésium (Mg)** : la concentration passe de 0.5304 ppm à 0,0450 ppm entre 25 ml et 100 ml, soit une baisse de 91,3 %.

Ces résultats confirment la sensibilité de la technique AA, capable de détecter des teneurs très faibles même dans des échantillons fortement dilués. Toutefois, la précision peut être affectée par des pertes d'éléments, notamment par adsorption sur les parois des récipients ou par volatilisation. Il est donc crucial de choisir judicieusement le facteur de dilution et de mettre en place des précautions (usage de récipients appropriés, stabilisants, etc.) pour minimiser ces pertes.

6.2 Analyse microscopique et bactériologique :

6.2.1 Microscopique :

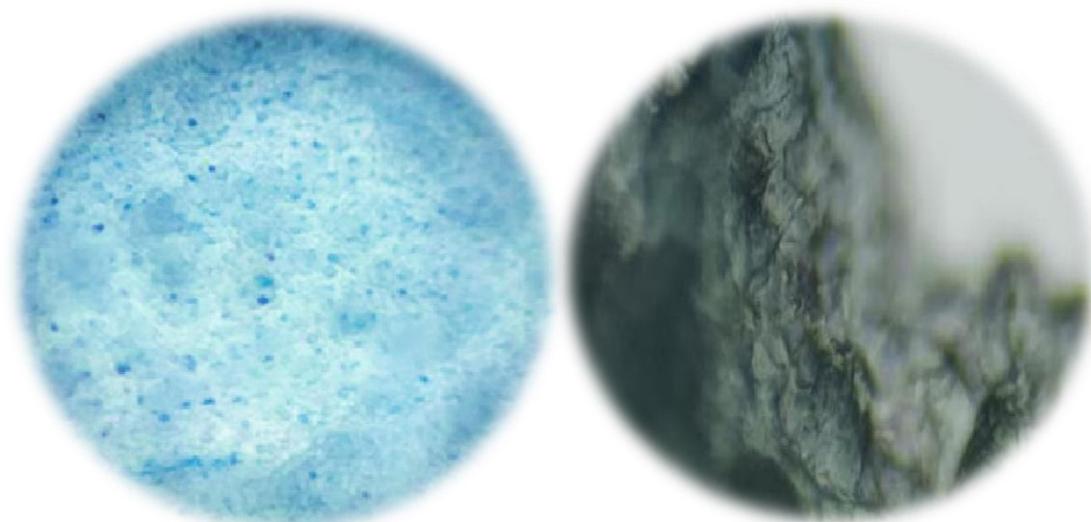


Figure 36 : Observation microscopique de lamelles et de pied du pleurote au grossissement $\times 10$ (Mazari H. & Ouadah A., 2025).

Les lamelles : sont des structures fines et allongées qui s'étendent sous le chapeau du champignon, elles sont disposées de manière radiale, partant du centre du chapeau vers l'extérieur. Sont couvertes de basidiospores, qui sont les spores produites par le champignon. Les basidiospores assurent la reproduction du champignon.

Le pied : est la partie du champignon qui le relie au sol, Il est généralement plus épais que les lamelles et peut être de différentes formes, selon l'espèce de champignon, le pied est composé de fibres qui lui donnent sa solidité, Il contient également des vaisseaux qui transportent l'eau et les nutriments dans le champignon.

6.2.2 Bactériologique :

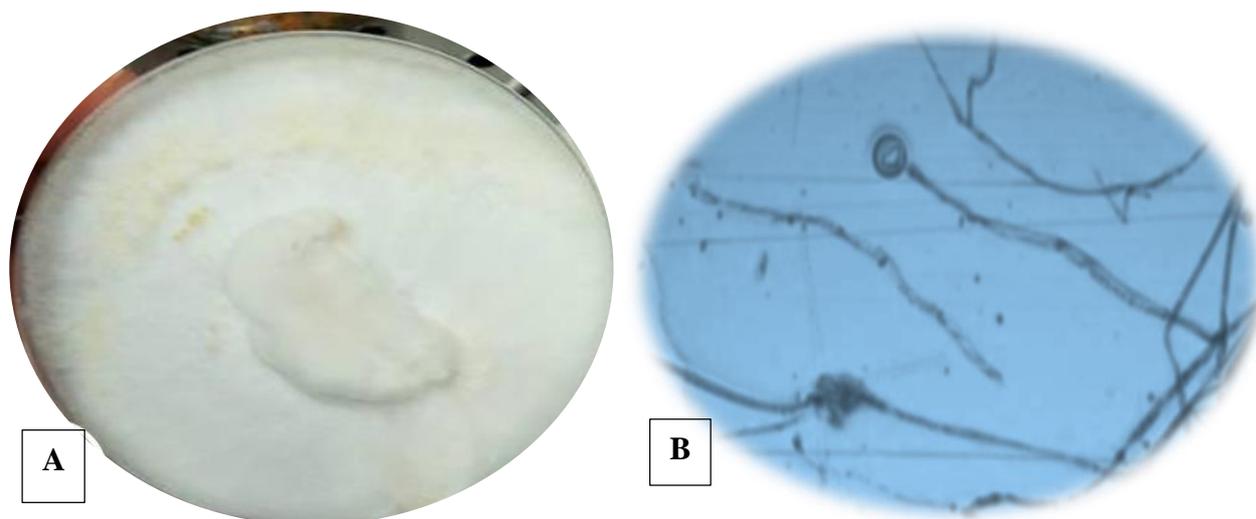


Figure 37 : Observation macroscopique (A) et microscopique (B) de *Pleurotus eryngii* (Mazari H. & Ouadah A. , Benkaddour B. ,2025).

Une parcelle de tissu, prélevée à l'intérieur d'un carpophore de *Pleurotus eryngii*, a été inoculée sur un milieu PDA stérile, en respectant des conditions d'asepsie rigoureuses sous hotte à flux laminaire. Après six jours d'incubation à 25 °C, une croissance mycélienne dense a été observée, couvrant uniformément la surface de l'agar. Aucune contamination ni colonisation bactérienne n'a été détectée, confirmant la stérilité du procédé.

L'observation au microscope optique (objectif $\times 100$) a révélé des hyphes septées, à cloisons bien marquées, avec des ramifications en « Y ». Des clamp connections (boucles

anastomosiques) ont été clairement observées au niveau des sites de division cellulaire, caractérisant les Basidiomycètes. Ces éléments confirment l'identité du mycélium comme étant celui de *Pleurotus eryngii*, et attestent de la réussite de la culture tissulaire pour l'établissement d'une lignée fongique pure.

Les boîtes témoins sont restées négatives, indiquant l'absence de croissance spontanée ou de contamination externe.

6.3 Paramètres de fructification

6.3.1 L'évolution de *Pleurotus eryngii* sur mélange des substrat

6.3.1.1 substrat de paille

Le substrat témoin, composé uniquement de paille de blé, a permis une bonne colonisation mycélienne, suivie par l'apparition des primordia au bout de **22 jours** après l'ensemencement. La fructification a été observée sans apparition de contaminations visibles.

Tableau 8 : L'évolution des *pleurotes eryngii* en substrat de paille

La date	Observation	Description
14/04/2025		Mise en incubation

20/04/2025



Observation du début de la prolifération du mycélium

25/04/2025



On observe une augmentation de la densité de mycélium

05/05/2025



Colonisation complète du substrat



6.3.1.2 Mélange 3 (50 % paille + 50 % sciure de bois) :

Le substrat composé à parts égales de paille de blé et de sciure de bois a permis une colonisation rapide et homogène du mycélium, sans signes de contamination. L'apparition des primordia a été enregistrée au bout de 30 jours, légèrement plus tôt que sur le témoin, indiquant un effet positif de l'ajout de sciure sur l'induction de la fructification.

6.3.1.3 Mélange 4 (40 % paille + 40 % sciure + 20 % avoine) :

Le mélange 4, intégrant de l'avoine en complément de la paille et de la sciure, a donné des résultats particulièrement intéressants. La colonisation mycélienne a été **rapide et uniforme**, avec un mycélium dense et bien réparti. Les primordia sont apparus après **24 jours**, dans un délai comparable à celui du mélange 3, mais avec une **fructification visiblement plus abondante**.

6.3.1.4 Mélanges 1, 2 et 5 :



M1

M2

M5

Figure 38 : Les Mélanges 1, 2 et 5

Les substrats Mélange 1 (50 % paille + 50 % marc de café), Mélange 2 (40 % paille + 40 % marc de café + 20 % sciure), et Mélange 5 (25 % paille + 25 % marc de café + 25 % sciure + 25 % avoine) ont été colonisés par le mycélium dans une mesure variable, mais aucune formation de primordia ni de fructification n'a été observée jusqu'à la fin de l'expérimentation.

Malgré une croissance initiale du mycélium visible en surface, le développement est resté superficiel, lent et hétérogène, notamment pour les substrats contenant des proportions élevées de marc de café.

L'un des principaux facteurs ayant pu conduire à l'échec partiel de la culture de *Pleurotus eryngii* est la contamination par *Trichoderma spp.* (moisissure verte). Cette contamination se manifeste généralement par l'apparition de taches verdâtres accompagnées d'une poudre fine recouvrant le mycélium blanc, entraînant une forte concurrence pour les nutriments et l'oxygène.

La prolifération de *Trichoderma* est souvent favorisée par des conditions d'humidité excessives, une aération insuffisante, ainsi qu'une stérilisation ou pasteurisation incomplète du substrat (temps ou température inadéquats), permettant aux spores du contaminant de survivre.

Afin d'éviter ce type de contamination lors des essais futurs, il est recommandé de maintenir l'humidité relative entre 60 et 65 %, d'assurer une ventilation efficace mais non agressive, et de renforcer le protocole d'assainissement idéalement par autoclavage si les moyens le permettent.



Figure 39 : Contamination par *Trichoderma* sur substrat de *Pleurotus eryngii*

6.4 Discussion générale :

L'étude menée sur la culture de *Pleurotus eryngii* sur différents substrats lignocellulosiques a montré que seuls trois substrats ont permis la fructification du champignon : le témoin composé à 100 % de paille de blé (T0), le mélange 3 (50 % paille de blé + 50 % sciure de bois) et le mélange 4 (40 % paille de blé + 40 % sciure + 20 % avoine). Ces résultats confirment l'importance de la composition du substrat pour le succès de la culture mycélienne.

Selon **Chang & Miles (2004)**, la paille de céréales constitue un substrat de choix pour la culture de nombreuses espèces de *Pleurotus*, en raison de sa structure fibreuse, de sa porosité et de sa capacité à retenir l'humidité. Dans notre étude, le substrat témoin (100 % paille de blé) a effectivement permis une bonne croissance mycélienne, suivie de la formation de primordia et de la fructification, avec un délai de 22 jours après l'inoculation. Le rôle structurant de la paille a favorisé l'aération du substrat, condition indispensable à l'activité aérobie du mycélium. De plus, sa teneur élevée en cellulose et en hémicellulose en fait une source de carbone exploitable par les enzymes lignocellulolytiques produites par *P. eryngii* (**Zadrazil, 1978**).

Le mélange 3 (paille + sciure) a également conduit à la fructification, ce qui corrobore les travaux de **Simon et al. (2010)**, qui ont observé une croissance efficace de *P. eryngii* sur un substrat similaire. La sciure, bien que pauvre en azote, apporte un support structural complémentaire et ralentit la dégradation du substrat, assurant une libération progressive des nutriments. La combinaison équilibrée avec la paille crée un environnement physico-chimique propice au développement du champignon, tant en termes de porosité que de rétention d'eau.

Quant au mélange 4, enrichi de 20 % d'avoine, il a soutenu l'intégralité du cycle de développement de *P. eryngii*. L'ajout d'avoine a vraisemblablement enrichi le substrat en azote et en sucres solubles, favorisant la formation des carpophores. Ce résultat rejoint ceux rapportés par **Sánchez (2010)**, qui souligne que l'enrichissement des substrats avec des céréales peut améliorer significativement le rendement et la qualité des champignons cultivés.

En revanche, les autres mélanges testés notamment ceux contenant du marc de café en forte proportion n'ont pas permis la fructification. Ces substrats présentaient sans doute un déséquilibre nutritionnel, un pH inadéquat ou une teneur excessive en composés phénoliques et en caféine, substances connues pour exercer un effet inhibiteur sur la croissance fongique

(Mansour-Benamar *et al.*, 2010). Des analyses complémentaires du pH, de la température interne et de l'humidité au cours de la colonisation seraient nécessaires pour élucider les causes de ces échecs.

D'un point de vue pratique, nos résultats suggèrent que l'association paille + sciure, éventuellement enrichie d'un faible pourcentage de céréales comme l'avoine, constitue une option simple, économique et efficace pour la culture de *P.eryngii* dans un contexte semi-contrôlé. Ces substrats sont par ailleurs facilement disponibles en milieu rural algérien, favorisant leur valorisation dans une perspective d'économie circulaire.

Par ailleurs, *Trichoderma* spp., identifié visuellement par ses colonies vertes typiques, s'est avéré être l'un des principaux agents responsables de l'échec partiel de la culture. Ce champignon compétiteur colonise rapidement les substrats avant ou pendant la phase de croissance du mycélium de *P.eryngii*, inhibant son développement par sécrétion d'enzymes lytiques et de composés antifongiques. Plusieurs études (Sharma *et al.*, 2018 ; Reyes *et al.*, 2017) confirment que *Trichoderma* est l'un des contaminants les plus fréquents et les plus agressifs dans les systèmes de culture de pleurotes.

Les résultats obtenus dans le cadre de notre travail réalisé à l'Université de Relizane s'inscrivent dans la continuité des recherches antérieures menées au sein de cette même institution notamment en ce qui concerne l'influence déterminante du substrat sur le développement mycélien et la fructification. À l'image de *P. ostreatus*, dont la croissance s'est avérée plus favorable sur de la paille de blé que sur d'autres résidus agricoles, notre étude a mis en évidence que les substrats à base de paille seule ou en mélange avec de la sciure et de l'avoine ont permis une colonisation rapide et une production abondante de carpophores chez *P. eryngii*. Ces résultats soulignent les besoins similaires de ces deux espèces du genre *Pleurotus* en termes de structure, de porosité et d'équilibre nutritif du substrat.

Ces observations soulignent l'importance d'un protocole rigoureux de stérilisation/pasteurisation, d'une hygiène stricte en salle de culture et d'un contrôle régulier de la température, de l'humidité et de la ventilation. L'amélioration de ces paramètres est indispensable pour prévenir la réapparition de ces moisissures compétitrices et garantir le succès de la production.

Conclusion et Perspectives



7 Conclusion et perspectives :

La présente étude a confirmé le rôle déterminant de la composition des substrats dans la fructification de *Pleurotus eryngii*. Seuls le témoin (100 % paille de blé), le mélange 3 (50 % paille + 50 % sciure) et le mélange 4 (40 % paille + 40 % sciure + 20 % avoine) ont permis une colonisation rapide et une production soutenue de carpophores. Ces résultats soulignent l'importance d'un rapport C/N équilibré, d'une porosité suffisante favorisant l'oxygénation et la rétention d'eau, ainsi que d'un apport nutritif complémentaire (avoine) stimulant l'induction des primordia. En revanche, l'usage intensif de marc de café s'est révélé défavorable, probablement en raison de son acidité et de la présence de composés antifongiques inhibiteurs.

D'un point de vue agronomique et écologique, cette étude met en évidence la faisabilité d'une valorisation locale de résidus agricoles (paille, sciure) dans des systèmes de culture à faible coût et à faible empreinte énergétique, adaptés aux zones rurales algériennes. Elle rappelle également l'importance d'un protocole rigoureux de stérilisation ou pasteurisation, et d'une hygiène stricte en salle de culture pour éviter les contaminations (notamment par *Trichoderma* sp.) et garantir la reproductibilité des résultats. Des mesures complémentaires, telles que l'enregistrement continu du pH et de la température interne des substrats, ainsi qu'une augmentation du nombre de répétitions expérimentales, seraient nécessaires pour affiner ces recommandations.

Sur le plan pharmacologique et nutritionnel, les champignons du genre *Pleurotus* sont reconnus pour leurs propriétés antioxydantes, immunomodulatrices, hypocholestérolémiantes et antitumorales, démontrées tant *in vitro* qu'*in vivo*. Riches en β -glucanes, ils renforcent les défenses immunitaires et participent à la régulation du métabolisme lipidique. *Pleurotus eryngii* offre également une teneur élevée en protéines (20–30 % sur matière sèche), des fibres alimentaires, des vitamines du groupe B (niacine, riboflavine, folates) et des minéraux essentiels (potassium, phosphore, fer, zinc), tout en étant pauvre en lipides et en calories. Il constitue ainsi un aliment fonctionnel de choix pour une alimentation saine, contribuant à la prévention des maladies chroniques telles que le cancer ou les maladies cardiovasculaires.

Plusieurs perspectives de recherche s'ouvrent : la valorisation des substrats épuisés (compostage, fabrication de briquettes ou de matériaux composites à base de mycélium), l'extraction d'enzymes lignocellulolytiques ou de métabolites secondaires à visée

pharmaceutique ou nutraceutique. Ces axes permettraient de renforcer la durabilité et l'efficacité des systèmes fongicoles, tout en favorisant une économie circulaire.

En Algérie, la culture et la consommation des champignons restent marginales. Le manque de fermes spécialisées, l'offre limitée sur les marchés, et l'absence de programmes de sensibilisation contrastent avec la situation dans d'autres pays du Maghreb, comme le Maroc ou la Tunisie, où la filière mycicole est bien établie. Une stratégie nationale intégrée serait nécessaire pour développer cette filière porteuse, offrant à la fois des opportunités nutritionnelles, économiques et écologiques.

Références Bibliographiques



8 Références Bibliographiques :

A

- **Amos, M. (2016).** *Valeur nutritionnelle et médicinale des champignons comestibles.* Éditions scientifiques africaines.
- **Atri, N. S., Lakhanpal, T. N., & Sharma, S. (2013).** *Cultivation and use of mushrooms.* Scientific Publishers.
- **Avat, A. (1993).** La composition chimique du bois. In Rapport technique, Université de Téhéran (Iran), Département des Sciences Forestières.
- **Atta, A. H. (2016).** Étude de quatre champignons saprophytes comestibles du centre de la Côte d'Ivoire.

B

- **Barros, L., Cruz, T., Baptista, P., Estevinho, L. M., & Ferreira, I. C. F. R. (2008).** Wild and commercial mushrooms as source of nutrients and nutraceuticals. *Food and Chemical Toxicology*, 46(8).
- **Belletini, F. R., Rai, M., Barros, L. et al. (2016).** *Nutritional and medicinal properties of edible mushrooms: A review.* *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 1–12.
- **Benamar, M., et Savoie, J.M., et Chavant, L., et Lebsir, R. (2010).** Valorisation du marc de café brut par la culture d'une souche locale de champignon comestible, *pleurotus ostreatus*. *Science, Technologies. Développement ANDRU* 2:102-116
- **Benamar -Mansour. M.Savoie, J. M & Chavant L. (2013).** Valorization of solid mill wastes by cultivation of a local strain of edible mushrooms. *Comptes Rendues Biologies.*
- **Benamar-Mansour, H. (2016).** *Étude de la production du Pleurotus eryngii sur substrats lignocellulosiques* (Thèse de doctorat). Université de Mostaganem.
- **Birhanu, B., & Zerihun, A. (2012).** Wild edible mushrooms: a promising alternative source of food security and income generation in Ethiopia. *Journal of Food Science and Engineering*, 2, 36–41.
- **Blandeau, A. (2012).** *Les champignons comestibles : propriétés et utilisations* (Thèse). Université d'Angers.
- **Boa, E. (2006).** *Champignons comestibles et toxiques : Guide de terrain à l'usage des agents de vulgarisation.* FAO.

- **Bonatti, M., Karnopp, P., Soares, H. M., & Furlan, S. A. (2004).** Evaluation of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus sajor-caju* nutritional characteristics when cultivated in different lignocellulosic wastes. *Food Chemistry*, 88(3), 425–428.
- **Brandão, E., Vieira, R., & Cardoso, A. (2011).** Mycotoxins and food safety: an overview. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 93(8), 1510–1531.
- **Butt, M. S., Tahir-Nadeem, M., Khan, M. K. I., Shabir, R., & Butt, M. S. (2008).** Oat: unique among the cereals. *European Journal of Nutrition*, 47(2), 68–79. 0698-7

C

- **Carlile, M. J., & Watkinson, S. C. (1994).** *The Fungi*. Academic Press, London.
- **Carlile, M. J., Watkinson, S. C., & Gooday, G. W. (2001).** *The Fungi* (2nd éd.). Academic Press.
- **Chang, S. T., & Miles, P. G. (2004).** *Mushrooms : Cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact* (2e éd.). CRC Press.
- **China Edible Fungi Association. (2023).** *China Edible Mushroom Industry Development Report*. CEFA, Beijing.
- **Courtecuisse, R. (2011).** *Les champignons : Une exploration scientifique*. Delachaux et Niestlé.

D

- **Delmas, J. (1989b).** *Les champignons : classification, biologie, écologie, culture, récolte*. Lavoisier, Paris.
- **Demers, N. (2015).** *La culture des champignons comestibles*. Éditions MultiMondes.
- **Durrieu, G. (1993a).** *Les champignons supérieurs : Morphologie, systématique, description, écologie*. Éditions Doin.
- **De Candolle, A. P., & Quélet, L. (1872).** *Descriptions des espèces de champignons*. Paris: Société Mycologique de France.
- **Després, L. (2014).** Révision du règne fongique à la lumière des données moléculaires. *Revue de Mycologie Appliquée*, 36(2), 101–110.

E

- **Eyi Ndong, H. (2009).** Étude ethnomycologique des champignons supérieurs de la région de l'Estuaire (Gabon). Thèse de doctorat, Université de Montpellier II.

F

- **FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1995).** *Cereal policies review*. Rome : FAO.
- **FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022).** *Small-scale mushroom cultivation: Sustainability and income generation for rural communities*. Rome : FAO.
- **Février, C., & Willequet, P. (2009).** La paille de céréales : composition et valorisation. INRA – Institut National de la Recherche Agronomique.

G

- **Galagan, J. E., Calvo, S. E., Borkovich, K. A., et al. (2003).** The genome sequence of the filamentous fungus *Neurospora crassa*. *Nature*, 422(6934), 859–868.
- **Gąsecka, M., et al. (2020).** Effect of *Thymus vulgaris* post-extraction waste and spent coffee grounds on the quality of cultivated *Pleurotus eryngii*. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(9), e14670.
- **Gévry, M., Dufour, D., & Bellemare, D. (2009).** *Mycologie forestière : identification des champignons comestibles et toxiques du Québec*. Presses de l'Université Laval.
- **Girmay, G., Kauser, H., & Tesfaye, W. (2016).** Valorisation of coffee pulp and wood shaving wastes by *Pleurotus* cultivation in Ethiopia. *African Journal of Biotechnology*, 15(9), 320–328.
- **Guillamón, E., et al. (2010).** Edible mushrooms: role in the prevention of cardiovascular diseases. *Fitoterapia*, 81(7), 715–723.

H

- **Halpern, G. M. (2007).** *Healing mushrooms : The revolutionary new science*. Square One Publishers.
- **Hawksworth, D. L. (2001).** The magnitude of fungal diversity: the 1.5 million species estimate revisited. *Mycological Research*, 105(12), 1422–1432

- **Hawksworth, D. L., & Lücking, R. (2017).** Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species. *Microbiology Spectrum*, 5(4).
- **Ho, H. T., Wang, C. L., & Wang, C. H. (2015).** The effects of different substrates on the growth, yield, and nutritional composition of two oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus cystidiosus*). *Mycobiology*, 43(4), 423–430.
- **Horisawa, S., Ando, K., Arima, T., Sakai, K., & Noda, H. (1999).** Biodegradation of hardwood and softwood sawdust by white-rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*. *Journal of Wood Science*, 45(3), 223–229.

J

- **Jennings, D. H., & Lysek, G. (1996).** *Fungal Biology : Understanding the Fungal Lifestyle*. BIOS Scientific Publishers.
- **Jacquemin, J. M. (2012).** Étude de la valorisation énergétique de la paille de blé en méthanisation. Mémoire de Master, Université de Liège, Belgique.

K

- **Kalač, P. (2013).** A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(2), 209–218.
- **Kalac, P. (2016).** *Edible mushrooms : Chemical composition and nutritional value*. Academic Press.
- **Khan, N. A., Yu, P., Ali, M., Cone, J. W., & Hendriks, W. H. (2012).** Nutritive value of wheat straw and its improvement through treatment and supplementation. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 25(5), 679–688

L

- **Largeteau, I., & Savoie, J.-M. (2007).** *Shiitake and oyster mushrooms: Two industrial models of intensification of production*. *Mycological Research*, 111(11), 1329–1339.
- **Leuba, F. (1890).** Recherches chimiques sur les champignons supérieurs. Librairie F. Rouge et Cie.
- **Lull, C., et al. (2005).** Immunopharmacology of fungal β -glucans. *Medical Mycology*, 43(2), 103–112.

- **Lutzoni, F., Kauff, F., Cox, C. J., et al. (2004).** Assembling the fungal tree of life: progress, classification, and prospects. *Mycologia*, 96(5), 977–1000.

M

- **Marshall, E., & Nair, N. G. (2009).** *Make money by growing mushrooms*. FAO Diversification Booklet 7.
- **Miranda, E. A., Sánchez, J. A., & García, R. S. (2010).** *Use of agro-industrial residues as substrates for the cultivation of edible mushrooms*. *Bioresource Technology*, 101(20), 7880–7885.
- **Mirunalini, S., & Deepalakshmi, K. (2014).** *Pleurotus ostreatus* : an oyster mushroom with nutritional and medicinal properties. *Journal of Biochemistry and Technology*, 5(2), 718–726.
- **Mizuno, T. (1995).** Bioactive biomolecules of mushrooms: Food function and medicinal effect of mushroom fungi. *Food Reviews International*, 11(1), 7–31.
- **Money, N. P. (2004).** *Biology of the Fungal Cell*. Springer.
- **Moore, D., Robson, G. D., & Trinci, A. P. J. (2011).** *21st Century Guidebook to Fungi*. Cambridge University Press.
- **Moulinier, J. (2003a).** *Les champignons dans leur environnement : écologie et biodiversité fongique*. INRA Éditions, Paris.
- **Mria Elena, C., et al. (2014).** Nutritional and medicinal properties of selected mushrooms: an overview. *Journal of Food Research*, 3(4), 17–24.
- **Mshandete, A. M., Cuff, J., Kivaisi, A. K., Mattiasson, B., & Björnsson, L. (2010).** Bioconversion of wheat straw by *Pleurotus sajor-caju* and *P. ostreatus* into digestible animal feed. *African Journal of Biotechnology*, 9(16), 2403–2412.

N

- **Nerva, L., & Varese, G. C. (2015).** Mycovirus–fungus interactions and their role in fungal physiology. *Fungal Biology Reviews*, 29(3–4), 195–205.

O

- **Olivier, J.-M., Guillaumes, J., & Rioussat, L. (1991).** *La culture des pleurotes : biologie et techniques*. INRA Éditions.

- **Oso, B. A. (1975).** Mushrooms and the Yoruba people of Nigeria. *Mycologia*, 67(2), 311–319.
- **Oei, P. (2005).** Small-scale mushroom cultivation: Oyster, shiitake and wood ear mushrooms. CTA – Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation.

P

- **Pardo-Giménez, A., Orozco-Carranza, R. F., & Rodríguez-Rueda, F. (2015).** Contamination in mushroom cultivation: sources, control and management. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17(2), 125–136.
- **Paula, J. (2018).** Fatty acid profile of edible mushrooms: A review. *Mushroom Science*, 27, 45–60.
- **Pegler, D. N. (1999).** Useful fungi of the world: *Pleurotus eryngii*. *Mycologist*, 13(1), 12–13.
- **Peterson, D. M. (2001).** Oat antioxidants. *Journal of Cereal Science*, 33(2), 115–129.
- **Philippoussis, A., Zervakis, G., & Diamantopoulou, P. (2001).** Bioconversion of lignocellulosic wastes through the cultivation of the edible mushrooms *Agrocybe aegerita*, *Volvariella volvacea* and *Pleurotus* spp. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 17(2), 191–200.
- **Phillips, R. (2006).** *Mushrooms : A comprehensive guide to mushroom identification*. Macmillan.

R

- **Radha, R., & Lakshmanan, V. (2013).** *Pleurotus ostreatus* : an oyster mushroom with nutritional and medicinal properties. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*, 4(9), 192.
- **Rajarathnam, S., & Bano, Z. (1989b).** *Pleurotus* mushrooms : Part II– Nutritional value, post-harvest physiology, preservation, and role as human food. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 27(2),
- **Rasane, P., Jha, A., Sabikhi, L., Kumar, A., & Unnikrishnan, V. S. (2015).** Nutritional advantages of oats and opportunities for its processing as value added foods. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 662–675.
- **Redecker, D. (2002).** Molecular identification and phylogeny of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 244, 67–73.

- **Régulo, C. (2013).** *Commercial cultivation of edible mushrooms: Innovations and perspectives.* International Journal of Mushroom Science, 2(3), 45–58.
- **Reis, F. S., Martins, A., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2012).** Antioxidant properties and phenolic profile of the most widely appreciated cultivated mushrooms: a comparative study. *Food and Chemical Toxicology*, 50(2), 191–197.
- **Ribeiro, B., Lopes, R., Andrade, P. B., Seabra, R. M., & Gonçalves, R. F. (2008).** Comparative study of phytochemicals and antioxidant potential of wild edible mushroom caps and stipes. *Food Chemistry*, 110(1), 47–56.
- **Rinaldi, A., Matheis, W., & Wasser, S. P. (1989).** What is edible? A photographic guide to British fungi. Mitchell Beazley.
- **Royse, D. J. (1996).** Biological control of green mould (*Trichoderma*) and cobweb disease (*Dactylium*) in *Agaricus bisporus* growing houses. In *Mushroom Biology and Mushroom Products* .

S

- **Sánchez, C. (2010).** Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms on agro-industrial residue substrates. *Food Technology and Biotechnology*, 48(4), 465–476.
- **Sardar, S., Rahman, M., & Islam, M. (2017).** Mineral composition and calorific value of *Pleurotus eryngii*. *International Journal of Agricultural Research*, 12(2), 101–109.
- **Smith, S. E., & Read, D. J. (1997).** *Mycorrhizal symbiosis* (2nd éd.). Academic Press.
- ISBN 978-0123705266
- **Stamets, P. (2000).** *Growing gourmet and medicinal mushrooms* (3rd éd.). Ten Speed Press.
- **Synytsya, A., & Novák, M. (2014).** Structural diversity of fungal glucans. *Carbohydrate Polymers*, 99, 792–809.
- **Selosse, M. A. (2013).** Les plantes et leurs champignons : une histoire intime. Belin.

T

- **Taylor, J. W. (2000).** Fungal systematics: The impact of molecular approaches on the understanding of fungal evolution. **Mycologia**, 92(1), 1–17.

V

- **Van der Heijden, M. G. A., Klironomos, J. N., Ursic, M., et al. (1998).** Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*, 396(6706), 69–72.
- **Vélez, C. G., et al. (2018).** Heavy metal accumulation in edible mushrooms and its risk to humans. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(6), 332.
- **Viala, J., & Botta, A. (2005).** *Intoxications par les champignons : reconnaissance et conduites à tenir*. Masson.

W

- **Wasser, S. P. (2002).** Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 60(3), 258–274.
- **Welch, R. W. (2011).** *The Oat Crop: Production and Utilization*. Springer Science & Business Media.
- **Whittaker, R. H. (1969).** New concepts of kingdoms of organisms: Evolutionary relations are better represented by new classifications than by the traditional two kingdoms. *Science*, 163(3863), 150–160.

Z

- **Zied, D. C., Pardo-Giménez, A., & Minihoni, M. T. A. (2011).** Use of Brazilian residues for the cultivation of *Agaricus bisporus*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 42(3), 1181–1190.
- **Zamora, R., Delgado, R. M., & Nieto, G. (2015).** Revalorisation du marc de café comme ressource organique. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3(2), 1632–1639.
- **Zervakis, G. I., & Polemis, E. (2013).** Evaluation of the genetic diversity and mating compatibility among *Pleurotus eryngii* isolates from different habitats. *Fungal Biology*, 117(10), 702–713.

Site web :

- <http://champignonscomestibles.com>.
- <https://earth.google.com/web>
- <https://connaitrelanature.com/fr/>
- <https://www.mycoquebec.org/>
- <https://www.gbif.org/fr/>
- <https://www.fao.org/home/fr>