

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE Ministère de
l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Saad DAHLAB BLIDA 1 Faculté
de Technologie Département de Génie
des Procédés



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GÉNIE DES PROCÉDES

Spécialité : Génie l'environnement

Intitulé du mémoire

**Valorisation des déchets cellulosiques et
lignocellulosiques par la production de biomasse de
champignon comestible *Pleurotus ostreatus***

Présenté par :

Mr. ARIF Younes

Mr. BEKKARI Younes

Encadré par :

Pr. BADIS Abdelmalek

Doctorante TARED Amina

Promotion 2024/2023
الحمد REMERCIEMENTS

لله رب العالمين

Avant tout, nous remercions **Allah** le tout puissant de nous avoir donné la volonté et nous aidé à réaliser ce modeste travail.

Nous remercions vivement notre promoteur le **Pr. BADIS ABDELMAEK** pour leur gentillesse, patience, disponibilité et leur contribution totale à l'élaboration de ce travail. Du même, nous remercions notre copromoteur **Mme TARED AMINA**, doctorante au sein du laboratoire de recherche sur la chimie des substances naturelles et de biomolécules de l'université de Blida 1, notamment sur la réussite de la culture des spores du champignon sur paille.

Nous remercions également les membres du jury qui ont accepté d'examiner notre travail de recherche et d'application.

Tous les enseignants du Département de Génie des Procédés de l'Université de BLIDA 1 sans exception, sont remerciés.

Nous adressons une reconnaissance envers les laboratoires d'analyse **SABRINEL** ayant confirmé la qualité nutritive de notre champignon.

Enfin, nous exprimons nos vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

الملخص

هذا العمل هو مساهمة في استخلاص اثنين من النفايات الزراعية (قش القمح و ثفل الزيتون) من خلال إنتاج فطر صالح للأكل (*Pleurotus ostreatus*) الذي يستهلك على نطاق واسع كغذاء بشري. أنتجت العملية المستخدمة فطرًا غنيًا بالمواد المغذية (2.05% بروتينات و 3.83% كربوهيدرات) ومستوى كبير من المواد الطبيعية (البوليفينول والفلافونويد). تعتبر زراعة الفطر موثية جدًا على ثفل الزيتون كركيزة غنية بالكربون والنيتروجين والطاقة، مما يسرع من فترات الحضانة والإثمار والنضج إلى 7 و 10 و 12 يومًا على التوالي. ويتحقق ذلك بفضل التهوية القوية عن طريق التعزيز بطبقات متراكبة من تيريليت أغري (كرات طينية ممتدة). تم تطوير وسط استزراع جديد قائم على قشر البطاطس (PPDA) لإنبات البوغ على الوسائط الصلبة والسائلة.

يعد تحسين الظروف الغذائية والبيئية أمرًا ضروريًا لتحقيق إنتاجية أعلى على نطاق صناعي.

الكلمات المفتاحية: فطر صالح للأكل، قش، ثفل الزيتون، بلوروتوس أوستريتوس، جراثيم أبواغ، تيريليت أغري.

Abstract

The present work is a contribution to the valorization of two agro-wastes (wheat straw and olive pomace) through the production of an edible mushroom (*Pleurotus ostreatus*) widely consumed as a human food. The applied process produces a nutrient-rich mushroom (2.05% proteins and 3.83% carbohydrates) with a significant level of natural substances (polyphenols and flavonoids). Mushroom cultivation is highly favorable on olive pomace as a substrate rich in carbon, nitrogen and energy, accelerating incubation, fruiting and ripening periods to 7, 10 and 12 days, respectively. This is achieved through strong aeration by reinforcement with superimposed layers of Terilite Agri (expanded clay beads). A new potato peel-based culture medium (PPDA) has been developed for spore germination on solid and liquid media. Optimization of nutritional and environmental conditions is essential for higher production yields on an industrial scale.

Key words: Edible mushroom, Straw, Olive pomace, *Pleurotus ostreatus*, Spores, Terilite Agri.

Résumé

Le présent travail une contribution à la valorisation de deux agrodéchets (paille de blé et grignons d'olive) par la production d'un champignon comestible (*Pleurotus ostreatus*) largement consommé en alimentation humaine. Le procédé appliqué a permis de produire un champignon riche en éléments nutritifs (2.05% protéines et 3.83% glucides) et un taux appréciable de substances naturelles (polyphénols et flavonoïdes). La culture de champignon est très favorable sur les grignons d'olive comme substrat riche en carbone, azote et énergie en accélérant les périodes d'incubation, de fructification et de maturation, à 7, 10 et 12 jours, respectivement. Ceci est obtenu grâce à une forte aération par renforcement avec des couches superposées de Térilite Agri (billes d'argile expansée). Un nouveau milieu de culture à base de pleure de pomme de terre (PPDA) a été mis au point pour la germination des spores sur milieu solide et liquide.

L'optimisation des conditions nutritionnelles et environnementales sont incontournables pour un meilleur rendement de production à l'échelle industrielle.

Mots clés : Champignon comestible, Paille, Grignons d'olive, *Pleurotus ostreatus*, Spores, Terilite Agri.

Abréviations

% : pourcentage

% N : pourcentage d'azote

(Ca) : le calcium

(K) : le potassium

(Na) : le sodium

(P) : phosphore

Blanc : mycélium

C : concentration

CN : concentration de la solution d'acide

EAG : équivalents acidegallique

EQ : équivalents

F : facteur de conversion protéines/azote (6,25)

G : gramme

L : Litre

M : masse de l'échantillon analysé **MS** : Matière Sèche

P. ostreatus : *Pleurotus ostreatus*

PDA: Potato Dextrose Agar

pH : potentiel Hydrogène

PPDA : Potato Peel Dextrose Agar

VB : volume de la solution d'acide utilisée pour le blanc

VE : volume de la solution d'acide utilisée pour l'échantillon

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre I. Partie bibliographique	4
I.1. Généralités sur les champignons	4
I.2. Classifications des champignons	4
I.2.1. Ascomycètes	5
I.2.2. Basidiomycètes	5
I.2.3. Chytridiomycètes ou Chytridiomycota	5
I.3. Champignons comestibles	5
I.3.1. Production mondiale de champignons comestibles	6
I.3.2. Valeurs nutritives des champignons comestibles	7
I.3.3. Importance médicale des champignons comestibles	8
I.4. Généralités sur <i>Pleurotes ostreatus</i>	9
I.4.1. Définition	9
I.4.2. Morphologie	9
I.4.3. Habitat	9
I.4.4. Classification	9
I.5. facteurs influençant la croissance des Pleurotes	11
I.5.1 facteurs nutritifs	11
I.5.2 facteurs environnementaux	11
I.6. Caractéristiques nutritionnelles et propriétés médicinales	12
I.6.1. Valeur nutritionnelle	12

I.6.2. Propriétés médicinales	12
I.7. La culture de <i>Pleurotus ostreatus</i>	13
I.7.1. Substrats utilisés pour la culture de <i>Pleurotus ostreatus</i>	14
I.7.1.1. Grignons d'olives	14
I.7.1.2. Paille de blé	15
I.8. Avantages économiques et environnement de la production de champignons à partir de déchets	16
I.8.1 Avantages économiques	16
I.8.2 Avantages environnementaux	17
Chapitre II : Matériel et méthodes.....	27
II.1. Matériel utilisé	27
II.1.2. Matériel biologique et agrodéchets	27
II.1.2.2. Agrodéchets utilisés	27
Grignons d'olive	28
II.2. Méthodes opératoires	28
II.2.1. Production de spores de champignon <i>Pleurotus ostreatus</i> sur milieu synthétique à base de pleures de pomme de terre (PPDA)	28
II.2.2. Milieu et conditions de culture	29
II.2.3. Repiquage de spores de <i>Pleurotus ostreatus</i> sur milieu PPDA	29
II.2.4. Purification de champignon sur milieu PPDA	30
II.2.5. Préparation de substrat de culture agrodéchet	30
II.2.5.1. Paille de blé	31
II.2.5.2. Grignons d'olive	31
II.2.5.3. fructification et maturation du champignon	34
II.2.6. Conservation du <i>Pleurotus ostreatus</i>	34
II.2.6.1. La congélation (conservation d'environ 6 mois)	34
II.2.6.2. Le séchage (conservation d'environ 5 ans)	35
II.3. Analyse physicochimique et quantitative de la biomasse du champignon produit	36
II.3.1. Analyses physicochimique sur <i>Pleurotus ostreatus</i> produi	36

II.3.2. Analyse biochimique	36
II.3.2.1. Détermination de protéines	36
II.3.2.3. Taux de lipides	38
II.3.3. Dosage de polyphénols totaux	38
Extraction des polyphénols	38
II.3.4. Dosage des flavonoides	39
Mode opératoire:	39
III.1. Production de spores de champignon <i>Pleurotus ostreatus</i> sur milieu synthétique à base de pleures de pomme de terre (PPDA)	41
III.2. Culture de champignon sur les substrats d'agrodéchets.....	42
III.2.1. Développement de mycélium (période végétative)	42
III.2.2. Fructification et maturation de champignon	44
III.3. Analyse physico-chimique et qualitative (biochimique et substances naturelles)	46
III.3.1. Analyse physico-chimiques	46
III.3.1.1. Détermination du pH	46
III.3.1.2. Taux d'humidité	46
III.3.2. Analyses qualitatives	47
III.3.2.1. Analyses de biochimiques de champignon <i>Pleurotus ostreatus</i>	47
Teneur en protéines totales	47
Teneur en glucide totales	48
Teneur en polyphénols totaux	49
Références bibliographiques	45
Annexe	50

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure I.1 : Différentes espèces de champignon comestible

Figure I.2 : Production mondiale de champignons comestibles cultivés pendant la période 2017 à 2021

FIGURE II.1 : Paille de blé utilisée comme milieu pour cultiver le champignon

Figure II.2 : Les étapes de préparation de milieu PPDA

Figure II.3 : trempage de la paille dans l'eau bouillante (photo originale)

Figure II.4 : Photographie montrant le séchage du substrat des grignons d'Olive

Figure II.5 : Remplissage des sachets par les substrats, couche de blanc et de latérite agri

Figure II.6 : Latérite Agri (billes d'argile expansée)

Figure III 1 : Aspect macroscopique de *Pleurotes ostreatus* après une croissance abondante

Figure IV.1 : Résultats d'analyses biochimiques (laboratoire de contrôle de qualité SABRILNNEL)

Figure IV.2 : Résultats d'analyses biochimiques (laboratoire de contrôle de qualité SABRILNNEL)

Figure IV.3 : courbe d'étalonnage des flavoindes

Figure IV.4 : courbes d'étalonnage des polyphénols totaux

Figure IV.5 : résultats final de champignon **Tableau**

I.1 : Classification du genre *Pleurotus*

Tableau II.1 : classification du genre.

Tableau III.1 : Différence de développement de mycélium de *Pleurotus* sur les deux substrats de déchets (paille et grignons d'olive).

Tableau III.2 : Photographies montrant le développement du fruit de champignon *Pleurotus ostreatus*.

INTRODUCTION GENERALE

La protection de l'environnement est une approche d'action et d'intervention pour préserver la qualité de l'environnement et prévenir sa dégradation, en adire à garantir la santé humaine, le bien-être des animaux et la conservation des ressources naturelles pour les générations actuelles et futures. Il est d'importance capitale pour l'environnement, biodiversité, ressources naturelles et le changement climatique [1].

La production agricole mondiale génère un nombre de déchets lignocellulosiques et celluloses, appelés agrodéchets, qui sont un défi environnemental majeur en raison de leur accumulation excessive et leur impact négatif sur les écosystèmes. Une gestion durable de ces agrodéchets est une nécessité pour préserver l'environnement et promouvoir une agriculture plus respectueuse des ressources naturelles [2].

Les agrodéchets entraînent graves conséquences environnementales, telles que la décomposition des agrodéchets dans les décharges ou les sols contaminant les sols et les eaux souterraines, affectant la qualité de l'eau potable et menaçant la biodiversité. Les décompositions anaérobies également produzièrent méthane, un puissant gaz à effet de serre qui contribue au changement climatique [3].

La culture de champignons comestibles, tels que *Pleurotus ostreatus* (pleurote huître), offre une solution prometteuse pour la valorisation des agrodéchets celluloses et lignocellulosiques. Ces champignons possèdent la capacité de décomposer efficacement la cellulose et la lignine, transformant ces déchets en une biomasse fongique riche en nutriments. Cette biomasse peut ensuite être utilisée à diverses fins, notamment comme aliment, complément alimentaire, source de protéines, ou encore comme matériau biodégradable [4].

Cette étude a développé une méthode de culture des champignons *Pleurotus ostreatus* en utilisant des graines d'olive et de blé comme substrats. L'objectif est d'évaluer le potentiel de valorisation des déchets celluloses et lignocellulosiques en produisant une biomasse de champignons de haute qualité et en générant des propagules de champignons pour des applications futures. Cette approche permet de réduire l'impact environnemental lié à l'élimination des résidus et de générer des sources alimentaires durables et pérennes. Elle s'inscrit dans une approche de développement bioéconomique visant à convertir les déchets en ressources précieuses. L'étude contribue au développement de la bioéconomie circulaire [5].

Chapitre I : Partie bibliographique

Chapitre I : Partie bibliographique

I.1. Généralités sur les champignons

Les champignons représentent l'un des plus importants groupes d'organismes sur terre et jouent un rôle clé dans un grand nombre d'écosystème [6]. Ils appartiennent au règne des *Fungi*, un groupe qui se distingue nettement des végétaux, des animaux et des bactéries. Ils sont non photosynthétiques, ils doivent donc assurer leur alimentation via d'autres modes (saprophytes et parasites).

L'organisme vivant des champignons est un mycélium constitué d'un fin réseau de filaments appelés hyphes. Sous certaines conditions, les hyphes sexuellement compatibles fusionnent et forment des spores. Les structures les plus grandes (supérieures à 1 mm) produisant des spores sont appelées champignons [7].

D'après Jean-Jacques Paul [7], les champignons sont classés en 2 groupes principaux :

- Les champignons microscopiques dits inférieurs appelés micromycètes notamment mildiou, rouille, moles etc.
- Les champignons supérieurs appelés macromycètes notamment le bolet, amanite, pleurotes, etc. Cela étant, le champignon dont il est question dans cette étude appartient à la sous-classe de macromycètes ou champignon supérieure.

I.2. Classifications des champignons

Les champignons peuvent être subdivisés en champignons inférieurs et champignon supérieurs.

Les champignons inférieurs ou les micromycètes sont unicellulaires et constituent un groupe hétérogène dont les classes nous pouvons citer [8].

I.2.1. Ascomycètes : Les ascomycètes regroupent 45 000 espèces dont 75% sont connues ; ils constituent la quasi-totalité des champignons capables de former des associations lichéneuses [9].

I.2.2. Basidiomycètes : Les basidiomycètes sont les plus évolués des mycètes, ils regroupent 22000 espèces macroscopiques comprenant des champignons à chapeau comestibles ou vénéneux [9].

I.2.3. Chytridiomycètes ou Chytridiomycota : sont des saprotrophes. Ils possèdent des parois cellulaires en chitine et un flagellum fouet postérieur. Leur reproduction se fait par l'intermédiaire de zoospores, capables de mouvement actif en milieu aqueux. Chez la plupart des membres de ce groupe, la reproduction asexuée se produit par la libération de ces [9].

Les champignons supérieurs ou les macromycètes sont divisés en deux groupes, nous spécifions les champignons comestibles notre objet d'étude.

I.3. Champignons comestibles : Figure I.1

Les champignons comestibles sont des champignons destinés à la consommation, car contrairement aux champignons toxiques, leur consommation ne présente aucun risque pour la santé [11].

Il existe des milliers de variétés de champignons : sur plus de 16000 espèces répertoriées, on estime qu'environ 1400 sont comestibles.

Le choix est donc vaste ; Voici quelques champignons cultivables :

- Les pleurotes : C'est l'espèce la plus facile à cultiver. Il en existe différentes variétés.
 - Le champignon de Paris.
- Le shiitake : C'est le deuxième champignon le plus cultivé après le champignon de Paris.



Figure I.1 : Différentes espèces de champignons comestibles [12].

I.3.1. Production mondiale de champignons comestibles

La culture à petite échelle a lieu partout dans le monde, notamment en Chine et en Europe et pourrait fournir un modèle approprié pour le transfert de technologie. La production annuelle est > 2,2 milliard de kg, soit un marché \approx 1 milliard de dollars [13]

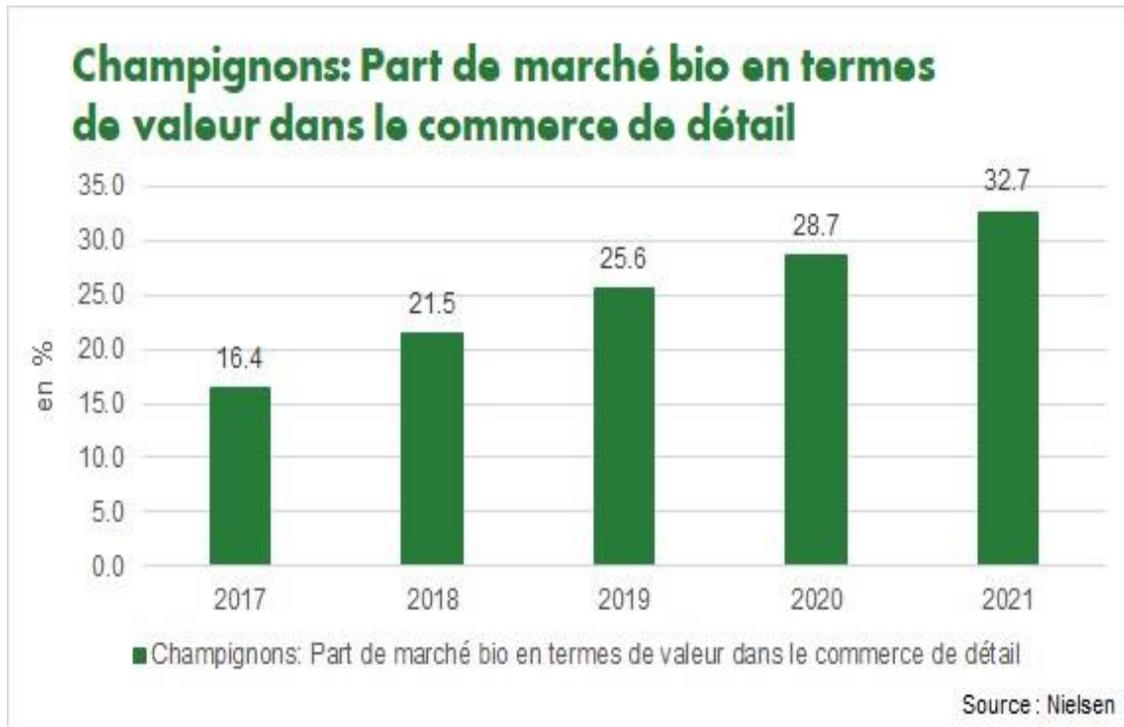


Figure I.2 : Production mondiale de champignons comestibles cultivés pendant la période 2017 à 2021 [14]

I.3.2. Valeurs nutritives des champignons comestibles

Les champignons ont connu un intérêt remarquable au cours des dernières décennies vu qu'ils présentent une bonne source nutritive à intérêt médicinales élevé.

En effet, ils possèdent des caractéristiques uniques en termes de couleur, de goût, d'arôme et de texture, ce qui les rend attrayants pour la consommation humaine. Les différentes compositions nutritives sont détaillées on se qui suit :

Les protéines : Les valeurs de la teneur en protéines pour quelques (4) champignons comestibles populaires (*Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes*, *Pleurotus sp.*, et

Volvariella volvacea), commercialisées dans différents pays, varient de 1,75 à 3,63% de leur poids frais et peut atteindre 5,9% [15]. Cependant, la valeur moyenne de 3,5 à 4% est la moyenne représentative de cette valeur. De ce fait, la teneur en protéines des champignons comestibles, en général, est environ deux fois supérieure à celle des Asperges et des Choux, et de quatre et douze fois de celles des Oranges et des Pommes, respectivement.

Aminoacides essentiels : Les champignons comestibles sont riches en acides aminés essentiels car le corps humain peut convertir certains acides aminés en d'autres. Pour cela, la connaissance de la composition des protéines en acides aminés est très essentielle. Les acides aminés dont le corps humain a plus besoin sont : Lysine, Méthionine, Tryptophane, Thréonine, Valine, Leucine, Isoleucine, Histidine et Phénylalanine [15].

Vitamines : Les champignons comestibles forment une bonne source de vitamines, en particuliers : la thiamine (vitamine B1), la riboflavine (vitamine B2), la niacine, la biotine et l'acide ascorbique (vitamine C) [16].

Minéraux : Les champignons comestibles sont une bonne source de minéraux. Les minéraux présents dans le substrat de culture sont absorbés par le mycélium croissant et déplacés vers les sporophores. Les constituants minéraux majeurs sont : le potassium (K) qui occupe la première position avec la plus grande teneur, suivi par le phosphore (P), le sodium (Na), le calcium (Ca) et le magnésium (Mg). Tandis que, les éléments minéraux mineurs (sont présentés par le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le fer (Fe), le manganèse (Mn), le molybdène (Mo) et le cadmium (Cd) [16].

Acides nucléiques : Les microorganismes sont caractérisés par une forte teneur en acide nucléique. Viikari et Linko [15] ont rapporté que la teneur en acide nucléique des champignons est de 3,2 à 4,7% (poids sec). En diminuant le taux d'absorption du glucose et / ou en retardant la vidange gastrique.

I.3.3. Importance médicale des champignons comestibles

L'augmentation de la consommation d'aliments entiers non transformés, tels que les champignons, semble réduire le risque d'obésité, diabète, les maladies cardiaques et la mortalité globale. Les champignons comestibles contiennent beaucoup d'antioxydants. Le

sélénium est un minéral qui n'est pas présent dans la plupart des fruits et des légumes, mais que l'on trouve dans les champignons. Il joue un rôle dans la fonction des enzymes hépatiques et contribue à la détoxification de certains composés cancérigènes dans le corps. De plus, le sélénium prévient l'inflammation et diminue également les taux de croissance de la tumeur. La vitamine D présente dans les champignons comestibles inhibe également la croissance des cellules cancéreuses en contribuant à la régulation du cycle de croissance cellulaire. Le folate dans les champignons joue un rôle important dans la synthèse et la réparation de l'ADN, empêchant ainsi la formation de cellules cancéreuses à partir de mutations dans l'ADN [16].

I.4. Généralités sur *Pleurotes ostreatus*

I.4.1. Définition : Les Pleurotes sont des organismes eucaryotes, thallophytes, non chlorophylliens, à corps généralement filamenteux appelé mycélium ; cette dernière forme des hyphes, de couleur blanche en période de fructification, le mycélium se condense pour former des sporophores ou carpophores ou encore basidiocarpes appelés communément champignons [17].

Le Pleurote en huître, de son nom scientifique, *Pleurotus ostreatus*, est un champignon comestible, lignicole, cosmopolite, à mode de vie saprophyte qui a fait encore l'objet de nombreux travaux de recherche dans différents domaines. Dans la nature, il apparaît en automne et en hiver sous forme de touffes, sur des arbres feuillus en états de faiblesse, abattus ou blessés. Il est très cultivé en Asie. Sa culture remonte à des temps très anciens (> 900 ans) au Japon et en chine [18].

I.4.2. Morphologie : Les pleurotes en huître ont une forme caractéristique en forme d'oreille ou de coquille, d'où leur nom commun. Leur chapeau est généralement en forme d'éventail, mesurant de 5 à 25 centimètres de diamètre. La couleur du chapeau varie du blanc au gris foncé ou au brun. La face inférieure du chapeau présente des lamelles blanches, qui sont les structures portant les spores. La chair du champignon est blanche et épaisse. [19]

I.4.3. Habitat : *Pleurotus ostreatus* est un champignon saprophyte, ce qui signifie qu'il se nourrit de matière organique en décomposition. Il est souvent trouvé sur les troncs d'arbres

morts ou mourants, ainsi que sur les souches et les branches. Il peut également pousser sur des substrats déchets tels que la paille, la sciure de bois et les débris agricoles [19].

I.4.4. Classification : Le Pleurote appartient à la classe des Agaricomycètes, de l'ordre des *Agaricales*, de la famille des *Pleurotaceae* ou *Tricholomataceae*, du genre *Pleurotus*. *Pleurotus* en latin désigne « à côté de l'oreille » [20].

Les Pleurotes comprennent de nombreuses espèces telles que *P. flobellotus*, *P. sojar - caju*, *P. eryngii*, *P. osfreaflies*, *P. floride* et *P. sapidus*, etc.

Il existe plus de 70 espèces de *Pleurotus* pour lesquelles de nouvelles espèces sont encore à découvrir [20]. Toutes les variétés ou espèces de Pleurotes sont comestibles sauf *P. olearius* et *P. nidiformis*.

La classification du genre *Pleurotus* a été effectuée par le mycologue allemand Paul Kummer. Elle est illustrée dans le Tableau II.1.

Tableau I.1 : Classification du genre *Pleurotus* [21].

Règne	<i>Fungi</i>
Division	<i>Basidiomycota</i>
Classe	<i>Agaricomycetes</i>
Sous-classe	<i>Agaricomycetidae</i>
Ordre	<i>Agaricales</i>
Famille	<i>Pleurotaceae</i>
Genre	<i>Pleurotus</i>
Espèces	<i>Pleurotus ostreatus</i> <i>Pleurotus eryngii</i> <i>Pleurotus cornucopiae</i> <i>Pleurotus dryinus</i> <i>Pleurotus pulmonarius</i>

I.5. Facteurs influençant la croissance des Pleurotes

La survie et la multiplication des pleurotes sont liés à un certain nombre de facteurs qui influent sur la croissance mycélienne et la fructification. Les facteurs sont d'ordres, nutritifs et environnementaux :

I.5.1 Facteurs nutritifs

1) **Le carbone** : Le Pleurotes a besoin d'une source de carbone et les meilleures sources sont : l'amidon, le glucose, le fructose, cellulose, lignine et le saccharose [22].

2) **La source d'azote** : L'azote, est un élément essentiel à certaines fonctions cellulaires, comme la synthèse des parois cellulaires, d'enzymes, de protéines, d'acides nucléiques, de bases puriques et pyrimidiques ainsi que de polysaccharides. Il est très important pour la productivité et l'efficacité biologique du mycélium et la fructification et la quantité peut varier selon l'espèce ou la souche en développement [22]. Les céréales sont des sources d'azote organique nécessaire à la croissance de la masse mycélienne

3) **La source en eau** : La teneur élevée en eau entraînera une respiration difficile pour le mycélium, rendant le développement de la fructification impossible. Une faible teneur en eau entraînera la mort des fruits. Selon Chang et Miles. L'humidité englobe une plage entre 50 et 75% permettent la croissance satisfaisante de *Pleurotus* spp. [22].

4) **Les minéraux** : Les ions tels que le soufre, phosphore, potassium, et magnésium stimulent le développement de *Pleurotus* spp. Calcium, zinc, manganèse, fer, cuivre et molybdène sont à l'état de traces [22].

I.5.2 Facteurs environnementaux

1) **L'humidité** : l'humidité appropriée dans l'environnement des pleurotes, pendant la phase mycélienne, varie de 60% et peut aller jusqu'à 97% et en phases de fructification une haute humidité est aussi favorable et doit être maintenue de 80% à 90% [23].

2) **L'aération** : L'aération a différentes fonctions, étant la fourniture d'O₂ pour la croissance et le métabolisme aérobie ; régulation de l'humidité ; ajustement de la température ; élimination de la vapeur d'eau, une forte concentration en CO₂ est favorable

à la croissance mycélienne mais pas à la fructification. Au cours de la fructification, le taux de CO₂ dans le substrat de culture doit être inférieur à 0.1% [24].

3) **pH** : Chaque champignon a sa plage de pH optimale pour le développement [24]. Pour la croissance du mycélium le pH des Pleurotes se situe dans une plage de 5.5 à 6.5.

I.6. Caractéristiques nutritionnelles et propriétés médicinales

I.6.1. Valeur nutritionnelle

De nombreux rapports publiés sur les constituants biochimiques de *P. ostreatus* et les espèces apparentées. Dans la plupart des études, les valeurs nutritionnelles du champignon ont été présentées comme celles des fruits secs [25].

Les pleurotes sont considérés comme une source riche en protéines, fibres, vitamine C, vitamines complexes B (thiamine, riboflavine, acide folique, niacine) et plusieurs types de minéraux (Ca, P, K, Fe, Na) ainsi ils sont pauvres en calories et en graisses [26].

En raison de la teneur considérable en eau et de la faible valeur calorifique, à 105-209 J dans 100 g⁻¹ de matière fraîche, le champignon comestible doit être considéré comme un aliment diététique. L'espèce cultivée de *P. ostreatus* se caractérise par un pouvoir calorifique moyen de 151 J dans 100g.

Les champignons cultivés commercialement ont des teneurs en composants nutritionnels similaires à celles des champignons sauvages. Toutefois, il existe des différences qualitatives et quantitatives dans la composition chimique de *P. ostreatus*, qui dépendent de l'origine, du processus d'extraction et les conditions de culture [27].

I.6.2. Propriétés médicinales

Aujourd'hui, il est très intéressant d'utiliser des aliments fonctionnels, car en plus de fournir les avantages nutritionnels essentiels, ils ont un impact positif sur la santé humaine. Actuellement, on considère également les champignons, y compris les pleurotes et l'huitre, comme des aliments fonctionnels en raison de leur capacité naturelle. Le processus d'accumulation de différentes substances permet d'améliorer leurs propriétés bénéfiques pour la santé et de compléter le régime nutritif.

Nous pouvons citer quelques propriétés médicinales potentielles de *Pleurotus ostreatus* :

- **Activité antioxydante** : *Pleurotus ostreatus* contient des composés antioxydants tels que les phénols, les flavonoïdes et les tocophérols, qui peuvent aider à neutraliser les radicaux libres dans le corps et à réduire les dommages oxydatifs [28].
- **Activité immunomodulatrice** : Certains composés présents dans *Pleurotus ostreatus*, tels que les bêta-glucanes, peuvent stimuler le système immunitaire en augmentant l'activité des cellules immunitaires, telles que les macrophages et les lymphocytes [28].
- **Activité anti-inflammatoire** : Des études *in vitro* et sur des animaux suggèrent que *Pleurotus ostreatus* peut présenter des propriétés anti-inflammatoires, ce qui peut être bénéfique pour réduire l'inflammation dans le corps [29].
- **Activité anticancéreuse** : Des études préliminaires ont montré que certains extraits de *Pleurotus ostreatus* peuvent inhiber la croissance de cellules cancéreuses et induire l'apoptose (mort cellulaire programmée) dans certains types de cancer, mais des recherches supplémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre ces effets [29].

I.7. La culture de *Pleurotus ostreatus*

En termes de culture de champignons comestibles, *Pleurotus ostreatus* se classe deuxième au monde après *Agaricus bisporus* (champignon de Paris). En raison de leurs propriétés probiotiques confirmées et de leur valeur nutritive relativement élevée, leur consommation est conseillée dans de nombreux pays. Les pleurotes sont plus faciles à cultiver, plus rapides et plus rentables que les autres variétés de champignons. En Allemagne, les pleurotes ont été cultivés pour la première fois sur des bûches d'arbres [30].

Le seul processus biotechnologique économiquement viable pour la conversion des résidus végétaux et des rejets industriels est la culture de champignons comestibles, tels que *P. ostreatus*. En raison de leurs mécanismes de détection de différents composants organiques et de leur capacité à produire un spectre beaucoup plus large d'enzymes qui servent à

dégrader efficacement les composants organiques complexes présents dans les substrats de culture, ils sont notoirement agressifs. Un substrat est toute substance qui sert de milieu de croissance où les enzymes peuvent agir et la briser afin de libérer des nutriments pour l'organisme en croissance [31].

La culture des pleurotes peut être réalisée à partir d'une variété de déchets, mais la disponibilité du substrat et son coût détermine les options disponibles. La disponibilité d'un substrat approprié est cruciale pour une meilleure croissance et un meilleur rendement des champignons [32].

I.7.1. Substrats utilisés pour la culture de *Pleurotus ostreatus*

I.7.1.1. Grignons d'olives

Ce sont des déchets solides résultants suite aux extractions d'huile d'olive. Ils comprennent l'épicarpe du fruit (pellicule), le mésocarpe et l'endocarpe [32].

Composition chimique de grignons d'olives : La composition chimique de grignons varie en fonction des variétés d'olives triturée : - Matière sèche : 75-80% - Matières minérales : 3-5% - Matières azotées totales : 5-10% - Cellulose brute : 35-50% - Matières grasses : 815%. [33]

Caractéristiques physico-chimiques des grignons d'olive : Les grignons d'olive sont les résidus solides qui restent après l'extraction de l'huile d'olive. Voici quelques caractéristiques physico-chimiques typiques des grignons d'olive :

- Composition chimique : Les grignons d'olive sont principalement composés de lignocellulose, contenant environ 40-45 % de cellulose, 20-25 % d'hémicellulose et 20-30 % de lignine. Ils contiennent également des quantités variables de lipides, de protéines et de composés phénoliques. [34]
- Teneur en humidité : La teneur en humidité des grignons d'olive peut varier, mais elle est généralement assez faible, autour de 5-10 %. Cela en fait un matériau relativement sec et stable. [35]

- Densité : La densité des grignons d'olive est généralement élevée, allant de 600 à 900 kg/m³. Cela peut varier en fonction de la densité apparente et de la compaction du matériau. [35]
- Pouvoir calorifique : Les grignons d'olive ont un pouvoir calorifique élevé en raison de leur teneur en matières organiques. Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) est généralement compris entre 18 et 20 MJ/kg. [35]
- pH : Le pH des grignons d'olive est généralement légèrement acide, avec une valeur autour de 5-6. [35]
- Granulométrie : Les grignons d'olive peuvent avoir une granulométrie variable, allant de petites particules à des morceaux plus gros. La granulométrie peut influencer les propriétés de combustion et le comportement du matériau lors des processus de traitement. [35]

I.7.1.2. Paille de blé

La « paille » est un sous-produit des cultures de céréales à graines. La paille de blé est constituée par la tige avec les feuilles et l'épi (ou rachis) à son sommet [36].

Les pailles de blé sont principalement composées de cellulose, d'hémicellulose, de lignine et de divers composés mineurs.

- Cellulose : La cellulose représente environ 34-40% de la composition des pailles de blé. Elle est composée de glucides fermentescibles, ce qui permet d'utiliser la fibre de bois pour la production d'énergie renouvelable et de produits chimiques.
- Hémicellulose : L'hémicellulose représente environ 30-35% de la composition des pailles de blé. Elle est composée de divers sucres, tels que le xylane, le glucane, le mannane, le glucomannane et le xyloglucane. L'hémicellulose joue un rôle structurel dans la flexibilité et la plasticité des parois cellulaires.
- Lignine : La lignine représente environ 14-15% de la composition des pailles de blé. Elle est un composant beaucoup plus complexe que la cellulose et

l'hémicellulose, de nature aromatique et amorphe. La lignine est le composant le plus abondant de la biomasse végétale [37-38].

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 [39].

La valorisation des déchets pour la production de champignons offre une solution prometteuse à la fois pour la gestion des déchets et la production d'une source de nourriture nutritive et durable. Les champignons, et notamment les pleurotes, ont la capacité de dégrader une large variété de matières organiques, ce qui en fait des candidats idéaux pour la conversion des déchets en un produit précieux [40].

I.8. Avantages économiques et environnement de la production de champignons à partir de déchets

L'industrie agroalimentaire génère une quantité importante de déchets organiques, ce qui nécessite des solutions durables pour gérer et atténuer les impacts sur l'environnement. La production de champignons à partir de déchets alimentaires présente des avantages économiques et environnementaux considérables. Voici quelques-uns de ces avantages

I.8.1 Avantages économiques

L'utilisation de déchets comme substrats pour la culture de champignons permet de réduire les coûts associés à leur élimination. Selon une étude publiée dans la revue *Waste Management*, la production de champignons à partir de déchets organiques peut être une solution rentable pour la gestion des déchets, en particulier dans les zones urbaines [40]. La production de champignons à partir de déchets peut ouvrir de nouvelles possibilités commerciales. Les champignons cultivés peuvent être vendus sur les marchés locaux et utilisés dans l'industrie alimentaire, ce qui peut générer des revenus supplémentaires pour les agriculteurs et les producteurs. Une étude publiée dans la revue *Food Security* a souligné le potentiel économique de la culture de champignons à partir de déchets organiques, en particulier dans les pays en développement [40].

I.8.2 Avantages environnementaux

- ✓ Réduction des déchets et des émissions de gaz à effet de serre : La production de champignons à partir de déchets permet de valoriser ces matériaux qui seraient autrement considérés comme des déchets. Cela réduit la quantité de déchets envoyés dans les sites d'enfouissement et contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Une étude publiée dans la revue *Resources, Conservation and Recycling* a montré que la culture de champignons à partir de déchets peut réduire significativement les émissions de gaz à effet de serre par rapport à l'enfouissement des déchets [40].
- ✓ Utilisation durable des ressources : La production de champignons à partir de déchets permet de valoriser des ressources renouvelables et locales. Les déchets organiques, tels que les résidus agricoles et les déchets de l'industrie agroalimentaire, peuvent être transformés en substrats pour la culture de champignons, offrant ainsi une utilisation plus durable de ces ressources. Une étude publiée dans la revue *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [40] a souligné le potentiel de la culture de champignons à partir de déchets agroindustriels pour une production alimentaire durable.

Chapitre II : Matériel et méthodes

Chapitre II : Matériel et méthodes

Notre démarche scientifique repose sur les étapes suivantes :

- Première étape : Purification et repiquage de champignon à l'échelle laboratoire.
- Deuxième étape : Culture de champignon sur substrats agrodéchets.
- Troisième étape : Analyse de la qualité nutritive et présence de substances naturelles de champignon produit.

II.1. Matériel utilisé

Nous avons utilisé deux catégories de matériel

II.1.1. Matériel expérimental et réactifs : Une balance de précision - Boîtes de Petrie de 90 mm - Coton cardé - Papier filtre - Alcool 70% et 98% - Eau distillée - Un bainmarie - Des béchers de 1 et 2 litres - Erlenmeyer de 3 litres - Un récipient métallique de 10 litres pour bouillir la paille - Un autoclave - Un bec Bunsen - Des flacons en verre de 250 mL - Plaque chauffante de laboratoire.

II.1.2. Matériel biologique et agrodéchets

II.1.2.1. Substrat du blanc (mycélium)

Les grains d'orge sont utilisés comme substrat pour préparer le blanc (pour la multiplication des mycéliums). Ces graines contiennent une grande quantité de protéines (2,3g), de glucides (28,2g), de fibres (6,5g) et d'eau (68,8 %).

Ces graines ont servi en tant que milieu de survie pour les spores de champignon que nous utiliserons dans notre cas.

Ces graines ont été achetées chez un producteur de la commune Ain Mlila la wilaya d'Oum El Bouagui (Est d'Algérie). C'est un mycélium de pleurotes gris (*Pleurotes ostreatus*).

II.1.2.2. Agrodéchets utilisés

Deux substrats d'agrodéchets ont été utilisés comme milieux de culture de base pour cultiver le champignon à savoir les grignons d'olive et les pailles de blé.

Paille de blé : La paille de blé (figure II.1), utilisée a été achetée chez un éleveur de bétail à Blida 1. Comme la paille est très riche en matière carbonée qui constitue un excellent source d'énergie pour les pleurotes, on a choisi celle qui est saine et de bonne qualité pour donner un bon rendement, afin d'éviter toute contamination avec des moisissures.



Figure II.1 : Paille de blé utilisée comme milieu pour cultiver le champignon

Grignons d'olive : Le grignon d'olive est obtenus dans un moulin d'olive au niveau du village Azeffoun (wilaya de Tizi Ouzou), transportés avec soin dans des conteneurs à température régulée, ces précieux résidus ont ensuite été nettoyés et minutieusement séchés dans des étuves. Une fois bien sèche, ils ont été passés au tamis de 4 mm afin d'obtenir une mouture fine et homogène et ensuite stérilisé par autoclavage (**Figure II.4**).

II.2. Méthodes opératoires pour la culture de champignon en conditions contrôlées

II.2.1. Production de spores de champignon *Pleurotus ostreatus* sur milieu synthétique à base de pleures de pomme de terre (PPDA)

Notre objectif est de produire des spores de champignons *Pleurotus ostreatus* sur milieu synthétique à base de pleure pomme de terre, toutes les manipulations doivent être faites selon les conditions aseptiques usuelles dans le travail microbiologique, en utilisant un matériel stérilisé à proximité de la flamme d'un bec benzène, en passant à la flamme les orifices des tubes et des flacons et tous les instruments de manipulation (anse, pinces,

spatule) et une stérilisation de tous les milieux de cultures par autoclavage à 120 °C pendant 20 min.

II.2.2. Milieu et conditions de culture

- Préparation de milieu PPDA
- ✓ Pleures de pomme de terre 200g
- ✓ Glucose 20g
- ✓ Agar 20g
- ✓ Eau distillée 1L

Le pH du milieu est ajusté à 5,4 avec une solution de NaOH ou HCl (1 mol/L).

La préparation de milieu PPDA passe par plusieurs étapes :

- le milieu PPDA a été préparé à partir d'un mélange de pleures pommes de terre lavés et découpés en petits morceaux et d'eau distillée. Le mélange est mis à ébullition au bain marie et la bouillie obtenue est filtrée. L'agar (20g) et le glucose (20g), sont ajoutées et la quantité d'eau distillée est complété jusqu'à 1000 mL.
- Agitation magnétique ;
- Ajuster le pH de la solution jusqu'à pH = 5,4 ;
- Fermer hermétiquement les Erlenmeyers avec du coton cardé et l'aluminium ;
- Mettre les flacons dans l'autoclave pendant 20 min à 120 °C.

Après le cycle de stérilisation, le milieu liquide est coulé en boîtes de Pétri sur une hauteur de 4mm et laisser solidifier sur paillasse.

II.2.3. Repiquage de spores de *Pleurotus ostreatus* sur milieu PPDA

Au moyen d'une pince stérile ont été déposées les graines de champignon *Pleurotus ostreatus* sur boîtes de Pétri contenant le milieu solide PPDA. Ensuite les boîtes ensemencées par le champignon sont incubées à 25 °C de 7 à 10 jours (**Figure II.2**).



Figure II.2 : Les étapes de préparation de milieu PPDA

II.2.4. Purification de champignon sur milieu PPDA

La purification est effectuée par la méthode des stries, qui consiste à tracer des stries avec l'anse contenant le champignon sur la surface d'une gélose de PPDA neuve coulée dans des boîtes de Pétri plusieurs fois jusqu'à l'obtention des souches pures.

II.2.5. Préparation de substrat de culture agrodéchet

La préparation de substrat nécessite essentiellement des sachets de polyéthylène, qui sont des sacs utilisés en myciculture. Dans ce travail deux substrats cellulitiques étaient destinés à la fructification de la souche de champignon comestible *Pleurotus ostreatus*, qui sont la paille de blé et grignons d'olive.

II.2.5.1. Paille de blé

La paille a été coupée en petits fragments de 3 à 5 cm, ensuite portée à ébullition pendant une durée d'une heure dans de grandes marmites. En lui ajoutant 4% (g/g) de chaux afin d'équilibrer le pH. Puis les étapes ci-dessous ont été suivies : Figure II.3

- Égouttage de cette paille dans des passoirs jusqu'à épuisement de l'écoulement de l'eau.
- Épandage de la paille par petites quantités sur papier journal.
- Découpage de la paille en longueurs appropriés suivant les sachets contenus.



Figure II.3 : Trempage de la paille dans l'eau bouillante (photo originale. REALME 11 PRO: 12/03/2024 21:18

II.2.5.2. Grignons d'olive

Les grignons d'olive ont été mélangés à 4% (g/g) de chaux et portés à l'ébullition dans des erlenmeyers de grande capacité pendant une durée de 1 heure. Puis les étapes cidessous ont été suivies : **Figure II. 4**

- Égouttage de ces grignons d'olive dans des passoirs en tissu jusqu'à épuisement de l'écoulement de l'eau.

- Épandage des grignons d'olive par petites quantités sur un carton et papier filtre.



Figure II.4 : Photographie montrant le séchage du substrat des grignons d'olive (photo originale REALME 11 PRO : 22/04/2024 : 12h.39)

Le substrat à base d'agrodéchets a été entassé en couche dans des sachets en plastique troués pour assurer l'aération, chaque couche est recouverte d'une quantité importante du mycélium, la quantité de lardage représente environ 10% du poids du substrat (**Figure II.5**).

On ajoute aussi la Térilite Agri (billes d'argile expansée), ce dernier dérive de l'expansion d'argiles naturelles spéciales à des températures élevées et sont affinées pour être chimiquement inertes et à pH neutre avec des caractéristiques chimiques et physiques qui les rendent idéales pour toutes les applications en contact avec les plantes : en plus des billes granulaires d'argile expansée, Laterlite Agri est aussi disponible en version concassé) [41].

Une fois le remplissage et le lardage effectués, les trous ont été fermés avec du coton, les sachets ont été couverts et misent en incubation dans un frigo spécial pour légume et fruits (23 °C).

Le processus d'incubation a été assuré à une température de 23 °C à l'obscurité pendant 12 jours. Une fois les sachets colonisés complètement par le mycélium, ceci indique que la période de l'incubation est terminée, il est temps de préparer et suivre la fructification du champignon.

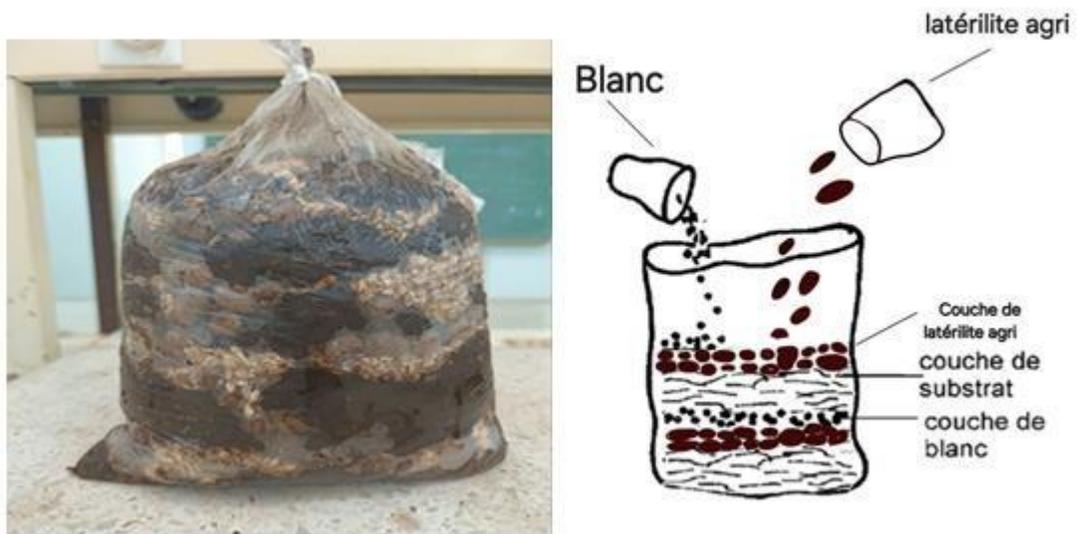


Figure II.5 : Remplissage des sachets par les substrats, couche de blanc et de laterlite agri (photo originale REALME 11 PRO : 23/04/2024 : 12h.39)



Figure II.6 : latérite Agri (billes d'argile expansée)

II.2.5.3. fructification et maturation du champignon

À partir de la colonisation complète des sacs par le mycélium, il sera nécessaire de modifier les conditions, car la fructification nécessitera :

- **Éclairage** : Une lumière légère avec une durée d'éclairage comprise entre 8 et 10 heures par jour. La journée est éclairée par une lumière blanche ou par la lumière naturelle. Les carpophores peuvent être inhibés par un taux de lumière élevé, tandis qu'un taux de lumière bas favorise le développement du pied par rapport au chapeau.
- **Température** : Requête pour la fructification doit être inférieure à celle de la croissance mycélienne (jusqu'à moins de 16 °C) afin de favoriser la fructification. On peut réaliser ce choc en utilisant des sacs de glace. La température idéale pour le développement des carpophores est comprise entre 12 et 20 °C.
- **Humidité** : est maintenue grâce à une pulvérisation continue des sacs afin de maintenir un taux d'humidité de 75 à 80%. Un niveau d'humidité excessif pour favoriser la fructification et va encourager le pied au détriment du chapeau [42].
- **Aération** : est assurée par la fixation des sacs qui a pour objectif de maintenir une aération favorable.

Il est à noter que la période de maturation a fluctué entre 2 et 3 semaines.

II.2.6. Conservation du *Pleurotus ostreatus*

Dans l'objectif de conserver de la saveur des Pleurotes le long de l'année plusieurs moyens de conservations ont été testés :

II.2.6.1. La congélation (conservation d'environ 6 mois)

Certains champignons, se réhydratent difficilement et se conservent mieux si on les congèle. Il est déconseillé de congeler les champignons crus. Pour optimiser la conservation, il est préférable de les faire cuire à feu vif dans une casserole quelques minutes. Les égoutter, les faire passer dans une passoire puis de les conserver.

➤ **Pour une conservation optimale** : Le pleurote étant l'un des champignons les plus périssables, il faut le consommer dans les plus brefs délais. On pourra le conserver quelques jours au réfrigérateur, dans un récipient ou un sachet en plastique partiellement ouvert, afin de le laisser respirer [42].

➤ **Une transformation en marinade (conservation d'environ 6 mois à un 1 an) :**

Pour la marinade, il faut d'abord blanchir les champignons dans une eau bouillante, assaisonnée de vinaigre et de sel, durant environ 10 minutes auquel on peut ajouter quelques épices comme le thym, le romarin, les oignons...etc. et faire bouillir pendant quelques minutes, le temps de les ramollir un peu. Enfin, les champignons sont égouttés et déposés dans un bocal préalablement stérilisé et ils sont conservés, soit les fruits sont recouverts avec d'huile d'olive et une cuillère à café de vinaigre et fermez hermétiquement soit es fruits sont recouverts avec le vinaigre et le citron.

II.2.6.2. Le séchage (conservation d'environ 5 ans)

Le séchage est sans doute le plus vieux et le plus simple des modes de conservation. Bien séchés, les champignons se gardent durant des années, sans rien perdre de leurs arômes en vieillissant. Les deux étapes aboutissants au séchage des Pleurotes sont les suivant :

➤ **Première étape (préparation des champignons)** : les champignons ont été premièrement nettoyés avec une brosse et coupés ensuite en tranches minces.

➤ **Deuxième étape (séchage)** : les carpophores de champignons ont été séchés à une température constante de 40 à 45 °C, tout en évitant de dépasser 60 °C pour préserver la couleur et éviter le noircissement de tranches.

De même, les températures supérieures à 60 °C sont à éviter, car ils provoquent une modification des cellules des tranches, nuisant à la réhydratation subséquente.

En fin du premier séchage, un second séchage de 30 minutes à une heure à une température de 55 °C a été réalisé, pour éliminer toutes les bactéries ou insectes qui auraient pu survivre.

Les champignons secs ont été conservés dans des bocaux ou des sacs hermétiques, car les champignons peuvent facilement se ré-humidifier.

II.3. Analyse physicochimique et quantitative de la biomasse du champignon produit

II.3.1. Analyses physicochimique sur *Pleurotus ostreatus* produit

II.3.1.1. Détermination de pH : Un pH-mètre de marque HANNA instruments a été employé pour mesurer le pH, qui a été préalablement étalonné avec des solutions tampons de pH 4 et pH 7. Un échantillon de broyat de champignon a été ajouté à 10 mL d'eau distillée standard. Nous avons mesuré la valeur du pH à 24,8 °C [43].

II.3.1.2. Détermination de taux de cendres : Une quantité précise de 1g de champignon a été pesée dans un creuset. Le creuset a été mis au four à moufle pendant environ 5 à 6 heures à une température de 545 °C, puis il a été refroidi dans un réfrigérateur. Afin de garantir la fin de la carbonisation, il est nécessaire que la cendre soit presque blanche ou d'un blanc grisâtre. Par la suite, nous avons calculé les cendres totales de la manière suivante [44] :

$$\text{Teneur en cendres \%} = \text{Poids des cendres/poids de l'échantillon prélevé} \times 100$$

II.3.1.3. Taux d'humidité : Le séchage à l'étuve est une technique thermogravimétrique (perte par dessiccation) qui consiste à sécher l'échantillon à une température constante pendant une période spécifique. L'humidité est calculée en pesant l'échantillon avant et après le séchage, puis en calculant la différence selon la formule suivante [45] :

$$\mathbf{H (\%) = (P_0 - P_1/P_0) \times 100}$$

Avec : H : taux d'humidité

P0 et P1 : le poids de l'échantillon avant et après séchage.

II.3.2. Analyse biochimique

II.3.2.1. Détermination de protéines

C'est une méthode de référence pour la détermination des protéines dans les aliments. Il existe deux versions de la méthode qui utilisent le même principe : la méthode macro-Kjeldahl et la méthode micro-Kjeldahl. Elles diffèrent seulement par l'appareillage utilisé et les quantités d'échantillon.

Principe de Kjeldahl : Les méthodes macro-Kjeldahl et micro-Kjeldahl ne diffèrent que par l'appareil utilisé et la quantité d'échantillon utilisée. La méthode macro-Kjeldahl consiste à extraire une partie de l'échantillon à l'aide d'un appareil de minéralisation à base de blocs, d'un mélange d'acide sulfurique concentré et de sulfate de potassium. La méthode micro-Kjeldahl utilise un catalyseur à base de sulfate de cuivre (II) pour convertir les composés organiques en sulfate d'ammonium. La méthode micro-Kjeldahl utilise un appareil de distillation automatique à la vapeur.

- Calcul du % de protéines dans l'échantillon : Le % de protéines dans l'échantillon est obtenu en multipliant le % d'azote par un facteur F dépendant du type d'aliment analysé.
- Le taux de protéines est ensuite calculé en multipliant la quantité d'azote par un facteur de conversion, généralement de 6,25, car les protéines contiennent en moyenne 16% d'azote.

$$\% \text{ protéines} = \% \text{ N} \times \text{F} = (\text{VE} - \text{VB}) \times \text{CN} \times 14,01 \times \text{F} / \text{M} \text{ (échantillon)}$$

II.3.2.2. Taux de glucides

La méthode pour déterminer le taux de glucides par différence pour le champignon *Pleurotus ostreatus* (pleurote en huître) :

- Déterminer la teneur en matière sèche du champignon en le séchant à l'étuve à 105 °C pendant 24h. Cela permet de calculer les teneurs des différents nutriments sur une base sèche.
- Mesurer les teneurs en cendres par incinération à 550 °C.
- Doser les protéines brutes à partir de l'azote total en utilisant le facteur de conversion $N \times 6,25$.
- Extraire les matières grasses par méthode Soxhlet pendant 8h.

Les glucides totaux sont ensuite calculés par différence :

$$\text{Glucides totaux (g/100g MS)} = 100 - (\text{protéines} + \text{lipides} + \text{cendres})$$

Cette méthode permet de montrer que le champignon *Pleurotus ostreatus* est une excellente source de glucides totaux et de fibres alimentaires, avec des teneurs similaires aux autres

champignons comestibles. Les glucides représentent une part importante de la matière sèche et en font une source d'énergie intéressante [45].

I.3.2.3. Taux de lipides

La méthode de détermination de la teneur en lipides de *Pleurotus ostreatus* consiste à extraire les lipides. Ce processus comprend généralement les étapes suivantes :

- **Préparation de l'échantillon** : Les champignons doivent être séchés et réduits en poudre fine pour faciliter l'extraction des lipides.
- **Extraction des lipides** : Les lipides sont généralement extraits à l'aide de méthanol. Le processus d'extraction permet d'isoler les lipides de l'échantillon de champignon.

- Évaporation : Après l'extraction, le solvant est évaporé pour laisser les lipides extraits.

Pesée : les lipides extraits sont ensuite pesés pour déterminer la teneur en lipides de l'échantillon de *Pleurotus ostreatus*

Nous avons confirmé ces analyses dans le laboratoire de contrôle de qualité SABRINEL.

II.3.3. Dosage de polyphénols totaux

On a effectué une évaluation des polyphénols totaux par spectrophotométrie, en utilisant la méthode colorimétrique avec le réactif de Folin-Ciocalteu. Cette mesure repose sur la mesure de la concentration totale de groupements hydroxyles dans l'échantillon [46].

Extraction des polyphénols :

On a suivi le protocole d'Yılmaz et al. (2016) [47] avec quelques ajustements mineurs pour obtenir les extraits des pleurotes. Le processus repose sur une extraction liquide solide de 10 g de champignon récolté et coupé en petits morceaux, puis placé dans 100 mL de mélange hydro-méthanolique (avec 60 mL de méthanol et 40 mL d'eau distillée). Ensuite, les extraits obtenus ont été filtrés à l'aide d'un papier filtre Whatman et le filtrat a été récupéré. Enfin, on a préparé une variété de dilutions à partir de chaque filtrat, allant du 1/4 jusqu'à 1/4096.

II.3.4. Dosage des flavonoïdes

Le réactif employé pour mesurer les flavonoïdes est le chlorure d'aluminium (AlCl_3 , 2 %). La technique repose sur l'oxydation des flavonoïdes par ce réactif, ce qui entraîne la création d'un complexe jaune qui absorbe à une longueur d'onde de 430 nm.

L'absorbance observée est comparée à celle obtenue par un étalon de quercitrine à concentration connue, ce qui permet d'évaluer la concentration totale en flavonoïdes.

Mode opératoire :

- 1mL de l'extrait dilué est prélevé à 1/10 et 1mL d' AlCl_3 (2% méthanol) est ajouté.
- Pendant 30 minutes, on observe l'absorbance à 430 nm.
- On exprime la quantité de flavonoïdes en mg EQ/g de champignon frais en utilisant une courbe d'étalonnage.

Chapitre III : Résultats et discussions

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1. Production de spores de champignon *Pleurotus ostreatus* sur milieu synthétique à base de pleures de pomme de terre (PPDA)

Les résultats obtenus suite au repiquage des spores de *P. ostreatus* sur PPDA ont montré un bon développement du champignon sur la gélose. En effet, le champignon a pu couvrir totalement la boîte de Pétri après 9 jours d'incubation.

L'aspect macroscopique (Figure III.1) a révélé un mycélium de couleur blanchâtre et un aspect cotonneux.



Figure III 1 : Aspect macroscopique de *Pleurotes ostreatus* après une croissance abondante sur milieu PPDA

Il est à noter que ce milieu à base d'un déchet est la première fois que nous avons pu mettre en place pour la croissance de ce champignon et par voie de conséquence nous pouvons le recommander pour remplacer le milieu synthétique PDA.

La composition de ce milieu est la suivante (g/L) : Pleures de pomme de terre 200g - Glucose 20g - Agar 20g.

III.2. Culture de champignon sur les substrats d'agrodéchets

III.2.1. Développement de mycélium (période végétative)

Après incubation dans l'obscurité à une température d'environ 23 °C, le mycélium de *Pleurotus* a couvert complètement le substrat dans lequel il a été inoculé. Le mycélium avait la même apparence (coton) qu'avec le développement de la culture mère.

Les différents résultats correspondants aux différents stades de développement du fruit de champignon par rapport les deux substrats d'agrodéchets sont résumés dans le tableau suivant :

III.2.1.1. Sur la paille de blé

Tableau III.1 : Différence de développement de mycélium de *Pleurotus* sur les deux substrats de déchets (paille et grignons d'olive).

Substrat	paille de blé	Grignons d'olive
Développement de mycélium		
Observation	<ul style="list-style-type: none">➤ Après 7 jours la production des petites colonies blanches➤ après 14 jours le mycélium couvre complètement le sac de la paille de blé.	<ul style="list-style-type: none">➤ Après 5 jours la production des petites colonies blanches➤ après 12 jours le mycélium couvre complètement le sac de la paille de blé

Les résultats de notre culture de *Pleurotus ostreatus* sur la paille de blé correspondent aux observations rapportées dans la littérature scientifique sur la culture de ce champignon.

Selon une étude menée par Salmones et al. [50]. La colonisation complète du substrat de paille de blé par le mycélium de *Pleurotus ostreatus* s'effectue généralement en 2 à 3 semaines, ce qui est similaire à notre observation obtenue après 14 jours.

De plus, une autre étude de Gaitán-Hernández et Salmones [51] a montré que l'apparition des premières fructifications (diffusion complète de mycélium) blanches de *Pleurotus ostreatus* sur paille de blé se produit typiquement dans les 7 à 10 jours suivant l'inoculation, qui en accord avec votre observation (obtenue à 7 jours).

Ces résultats confirment que notre culture de *Pleurotus ostreatus* sur substrat de paille de blé suit le développement attendu pour cette espèce de champignon comestible dans ces conditions de culture.

III.2.1.2. Sur grignon d'olive

Nos observations concernant la culture de *Pleurotus ostreatus* sur grignon d'olive s'alignent avec les résultats rapportés dans la littérature scientifique. Une étude menée par [52] a montré que la colonisation complète du substrat de grignon d'olive par le mycélium de *Pleurotus ostreatus* se produit généralement en 10 à 14 jours, ce qui est comparable à notre constat de 12 jours.

De plus, selon les travaux de Sánchez, C. [53], l'apparition des premières fructifications blanches de *Pleurotus ostreatus* sur grignon d'olive survient typiquement après 5 à 7 jours, similaire à notre observation obtenue à 5 jours.

Ces similitudes indiquent que notre culture de *Pleurotus ostreatus* sur grignon d'olive suit le schéma de développement attendu pour cette espèce de champignon comestible sur ce substrat agro-industriel.

III.2.2. Fructification et maturation de champignon

III.2.2.1. Croissance de champignon

Lorsque le mycélium de *Pleurotus* a couvert totalement le substrat, un choc thermique a été réalisé pour débiter l'étape de fructification du champignon. Les résultats obtenus en fin de fructification sont résumés dans le Tableau III.2.

Tableau III.2 : Photographies montrant le développement du fruit de champignon *Pleurotus ostreatus*.

Substrat	Paille de blé		Grignons d'olive	
Fructification de champignons				
Observations	Après 9 jours, apparition de petits chapeaux noirs.	Après 13 jours, obtention de la taille adulte dont les bords des chapeaux apparaissent en couleur beige.	Après 8 jours, apparition des petits chapeaux de couleur gris.	Après 12 jours obtention de la taille adulte dont les bords des chapeaux sont en couleur beige.

Après l'apparition des petits chapeaux noirs (Carpophore), leurs croissances deviennent rapides avec modification de couleur. À partir du quatrième jour on obtient un champignon adulte

Nos observations concernant la fructification et la cueillette de *Pleurotus ostreatus* sur substrat de paille de blé correspondent aux données rapportées dans la littérature scientifique. Selon une étude menée par Gaitán-Hernández et Salmones [51], les premières fructifications de *Pleurotus ostreatus* sur paille de blé apparaissent généralement entre 9 et 14 jours après l'inoculation, ce qui s'aligne avec votre observation des petits chapeaux noirs à 9 jours. De plus, une autre étude de Sánchez et al. [52] a montré que la taille adulte des carpophores de *Pleurotus ostreatus* sur ce type de substrat se caractérise par des chapeaux de couleur beige sur les bords, similaire à notre constat à 13 jours.

Ces similitudes indiquent que le développement fructifère de notre culture de *Pleurotus ostreatus* sur paille de blé suit le schéma typique pour cette espèce de champignon comestible.

Nos observations concernant la fructification de *Pleurotus ostreatus* sur substrat de grignons d'olive concordent avec les données rapportées dans la littérature scientifique. Selon une étude menée par Poussis et al. [53], les premières fructifications de *Pleurotus ostreatus* sur grignons d'olive apparaissent généralement entre 7 et 10 jours après l'inoculation, ce qui s'aligne avec votre constat des petits chapeaux gris à 8 jours. similaire à notre observation à 9 jours. Ces correspondances indiquent que le développement fructifère de notre culture de *Pleurotus ostreatus* sur grignons d'olive suit le schéma typique pour cette espèce de champignon comestible.

III.2.2.2. Récolte de champignon

Lors de la culture de *Pleurotus ostreatus*, les carpophores sont récoltés avec précaution lorsqu'ils atteignent leur taille adulte, en les détachants délicatement du substrat par un mouvement circulaire afin de préserver leur intégrité.

Les résultats de nos essais de culture sur deux substrats distincts présentent des différences intéressantes.

- **Sur paille de blé**, vous avez obtenu un rendement particulièrement élevé de 35% et une production de 350 grammes de biomasse fraîche par kilogramme de substrat.
- **Sur grignons d'olive** : les rendements sont plus modérés, atteignant 12% pour une production de 120 grammes par 750 grammes de substrat.

Ces écarts illustrent l'influence du type de substrat sur les performances de croissance et de fructification de *Pleurotus ostreatus*. La paille de blé semble ainsi constituer un support plus favorable que les grignons d'olive pour maximiser la valorisation de cette espèce fongique comestible.

Ces données expérimentales enrichissent les connaissances sur l'optimisation des conditions de culture de *Pleurotus ostreatus* en fonction des substrats lignocellulosiques disponibles.

III.3. Analyse physico-chimique et qualitative (biochimique et substances naturelles)

III.3.1. Analyse physico-chimiques

III.3.1.1. Détermination du pH

Le pH joue un rôle crucial en raison de son impact sur les caractéristiques des aliments, comme la texture, la saveur, les arômes, etc. Le pH est essentiel pour empêcher la croissance des microorganismes. Le pH mesuré du champignon *Pleurotes ostreatus* est de 6,54 à température 22.5 °C qui est normale pour la biomasse des champignons comestibles.

Ce champignon est légèrement acide, proche de la neutralité, et donc facilement périssable, et c'est pourquoi qu'il faut le conserver correctement après sa récolte.

III.3.1.2. Taux d'humidité

Le taux d'humidité de *Pleurotus ostreatus* cultivé dans notre cas est de 87,83 % \pm 0,45, ce taux est similaire à celui de Balazs (84,2%) [54] . La teneur en eau des aliments peut affecter de manière significative des facteurs tels que le goût, la texture, l'apparence, la forme et le grammage. Elle a un impact sur les conditions admissibles et nuisibles, les conditions économiques, la durée de conservation des aliments, les mesures de qualité des produits et les opérations de traitement des déchets alimentaires.

L'étude de Luo et Lin Luo, [56] a révélé un taux d'humidité plus élevé de 92,5% pour *Pleurotus ostreatus* cultivé sur de la paille de blé, similaire aux résultats d'OKA et al [57] qui est de 90% l'espèce *Pleurotus geesteranus*.

III.3.2. Analyses qualitatives

III.3.2.1. Analyses de biochimiques de champignon *Pleurotus ostreatus*

Après les analyses de la valeur nutritive (taux de protéine, glucide et lipides) effectuées

Des analyses biochimiques ont été effectuées sur la paille de blé en tant que substrat pour la culture des champignons. Ces analyses ont montré que la paille de blé contient les nutriments nécessaires à la croissance des champignons, tels que le carbone, l'azote, le phosphore et le potassium.

Cependant, il est important de noter que la qualité de la paille de blé peut varier en fonction de sa source et de sa méthode de traitement.

Dans notre étude, nous nous concentrerons sur l'analyse des champignons cultivés dans les grignons d'olive (marc d'olive) et comparerons aussi nos résultats avec les données existantes sur la paille comme substrat déchet pour cultiver ce champignon.

Cette comparaison permettra d'identifier les grignons d'olive comme substrat et qu'ils présentent des avantages ou des inconvénients par rapport à la paille.

En effet, la composition nutritionnelle et les propriétés physiques du marc d'olive peuvent différer de celles de la paille, ce qui peut influencer la croissance et la qualité des champignons.

Notre étude fournira des informations précieuses sur l'utilisation potentielle du marc d'olive pour la culture de champignons, contribuant ainsi à la valorisation de ce sous-produit agricole et à la promotion d'une production fongique durable.

Teneur en protéines totales : Les protéines sont des macromolécules composées d'acides aminés liés par un peptide. Les champignons sont riches en protéines, avec un pourcentage de protéines compris entre 1 et 2 % du poids frais. Ces protéines sont riches en acides

aminés essentiels comme la lysine et la leucine, mais certains, comme le tryptophane, sont déficients.

Un chercheur hongrois a découvert que la moitié des acides aminés des champignons pourraient être essentiels. Les russules ont une valeur protéique de 15 %, tandis que les psalliotes en ont jusqu'à 24 %. [54]

L'analyse de la protéine dans l'échantillon de *Pleurotus ostreatus* cultivé sur grignon d'olive a révélé une teneur de 2,05% pour 10 grammes de champignons

Après analyse, le taux des protéines est de 2,05 grammes pour 10 grammes, et les normes indiquent que la valeur des protéines doit se situer entre 1 et 3 grammes pour 10 grammes.

Sur la base des analyses biochimiques de la valeur nutritive du champignon, les résultats montrent qu'ils sont conformes aux normes internationales.

Teneur en glucide totales : Le taux de glucides dans le champignon cultivé est de 3.83%, un taux faible et qui est en adéquation avec la teneur en glucides des pleurotes en huître relativement faible, avec environ 4 à 10% de champignons frais. Cela les rend relativement compatibles avec les régimes à faible teneur en glucides. [58]

Sur la base des analyses biochimiques de la valeur nutritive du champignon *Pleurotus ostreatus* cultivé sur les grignons d'olive comme substrat déchet, nous pouvons confirmer sa richesse en nutriments de base et que sa qualité nutritive est conforme aux normes internationales [58].

Taux de lipides : L'analyse des lipides dans l'échantillon de *Pleurotus ostreatus* cultivé sur grignon d'olive a révélé une teneur en lipides totaux de 0%. Les analyses ont été réalisées au laboratoire de contrôle de qualité SABRINAL. Les résultats obtenus sont présentés en annexe.

L'analyse a révélé une teneur en lipides de 0% pour 10 grammes de champignons *Pleurotus ostreatus* cultivés sur grignon d'olive. Ce résultat est inférieur aux normes attendues pour les champignons frais, qui indiquent généralement une teneur en lipides comprise entre 1,5 et 5% de la masse sèche.

Cette valeur nulle pourrait s'inscrire dans la variabilité naturelle observée pour cette espèce, en fonction des souches, des conditions de culture, etc. III.3.2.2. Analyses de substances naturelles.

Teneur en polyphénols totaux : Les champignons sont considérés comme une source antioxydante, principalement constitués de composés phénoliques (acides phénoliques, flavonoïdes) [59].

Pleurotus ostreatus, comme les autres champignons, possède une propriété antioxydante due à sa richesse en antioxydants comme l'acide ascorbique, les flavonoïdes, les caroténoïdes et les acides phénoliques, qui aident à réduire les radicaux libres [60].

Notre étude a révélé que la teneur en polyphénols des pleurotes cultivés est de $6,44 \pm 0,30$ mg EAG par gramme de MF. Une autre étude réalisée en 2020 sur d'autres espèces de pleurotes a donné des résultats similaires avec des valeurs de $6,65 \pm 0,94$, $12,55 \pm 2,47$ et $8,59 \pm 0,61$ mg EGA /1g d'ES [60].

Ces résultats confirment que les pleurotes sont une excellente source de polyphénols, des antioxydants essentiels pour la santé humaine.

Sur le plan nutritionnel, le champignon cultivé dans notre cas sur les grignons d'olive est très riche en nutriments : Un taux de protéines acceptable, une richesse considérable en glucides et dépourvu des lipides. Ce champignon mérite d'être produit à grande échelle en utilisant les grignons d'olive comme matière première de production de bon marché. Cette valorisation est à double intérêt, de récupérer un agrodéchet disponible presque à travers le pays, d'une part et, de produire un aliment très recherché par le secteur économique, d'autre part.

Par ailleurs, et sur le plan médical, ce type de champignon a gagné le terrain en tant que produit noble d'une importance capitale pour la production et l'extraction des produits et substances naturelles fortement recommandés par le secteur industriel et pharmaceutique.

Teneur en flavonoïdes : La quantification des flavonoïdes a été établie en fonction d'une courbe d'étalonnage linéaire ($y=ax$) réalisé par un standard étalon qui est la quercitrine,

Les résultats sont exprimés en microgrammes équivalent de quercitrine par milligramme d'extrait (mg EQ/g ES). La teneur en flavonoïdes du pleurote cultivé est de $4,56 \pm 0,020$ mg EQ/g ES.

Un résultat similaire au notre a été rapporté par Heleno et al [61] sur la même espèce de pleurote avec une teneur de l'ordre de 3,3 mg EQ/g ES.

Les résultats ce diffèrent entre les auteurs pour différent raison, on site par exemples la différence entes les espèces étudiée et des méthodes d'analyse et leurs sensibilités.

CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre de ce projet de recherche appliquée, nous avons exploré le potentiel de valorisation des déchets cellulósiques et lignocellulosiques par la culture d'un champignon comestible de l'espèce *Pleurotes ostreatus* (pleurote huître). Nous avons choisi de valoriser trois types d'agrodéchets abondants : les grignons d'olive (marc d'olive), la paille de blé et les pelures de pomme de terre.

Nos résultats ont démontré que le marc d'olive, la paille de blé et les pelures de pomme de terre peuvent être utilisés efficacement comme substrats de culture pour *Pleurotus ostreatus*. A cet effet, la culture sur ces substrats agrodéchets a permis de produire des champignons de bonne qualité nutritionnelle, riches en protéines, en polyphénols et en flavonoïdes.

En plus de la culture sur substrats solides, nous avons également réussi à produire des spores de *Pleurotus ostreatus* sur un milieu synthétique à base de pelures de pomme de terre. Cette approche présente un intérêt particulier pour la production commerciale de champignons, car elle permet d'obtenir un inoculum de haute qualité à grande échelle.

Notre étude souligne le potentiel de la culture de champignons comestibles pour une valorisation multiple des agrodéchets. Les champignons produits peuvent être consommés frais ou transformés en divers produits alimentaires. Les résidus de culture (après la récolte), riches en matières organiques, peuvent être utilisés comme engrais ou intégrés dans les aliments pour animaux.

La valorisation des agrodéchets par la culture de champignons présente plusieurs avantages environnementaux et économiques. Elle permet de réduire la quantité de déchets envoyés aux décharges et de limiter les émissions de gaz à effet de serre. De plus, elle crée des opportunités économiques en générant des produits alimentaires de qualité et en valorisant des ressources locales.

En conclusion finale, cette étude démontre la faisabilité et les avantages de la valorisation des déchets cellulósiques et lignocellulosiques par la culture de champignons comestibles. Cette approche durable offre une solution prometteuse pour la gestion des agrodéchets et la production d'aliments de qualité.

La poursuite de recherches dans ce domaine permettra d'optimiser les techniques de culture, d'explorer de nouveaux substrats agrodéchets et de développer des applications innovantes pour les produits dérivés de la culture de champignons.

Références bibliographiques

- [1]: Reuel, W. H., & Mackenzie, D. A. (2015). La protection de l'environnement : Actions et mesures pour préserver la qualité de l'environnement. Éditions Écologiques.
- [2] : Maga, J. A. (1988). Utilization of agricultural and food processing wastes. *Food Reviews International*, 4(1), 79-106.
- [3] : Ravindran, R., & Jaiswal, A. K. (2016). Exploitation of food industry waste for high-value products. *Trends in Biotechnology*, 34(1), 58-69
- [4] : Philippoussis, A. N. (2009). Production of mushrooms using agro-industrial residues as substrates. In *Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation* (pp. 163-196). Springer, Dordrecht.
- [5] : Mueller G.M., Schmit J.P. 2007. Fungal biodiversity: what do we know? What can we predict. *Biodiversity and Conservation*. 16: 1-5
- [6]: Peter O., Bram Van N., 2005. La culture des champignons à petite échelle pleurotes shitakes et auriculaires, Edition Fondation Agromisa et CTA, Wageningen.
- [7] : Davet P., 1996. Vie microbienne du sol et production végétale. Ed. INRA, Paris, 383 p.
- [8]: Hawksworth D. L. (2001). The magnitude of fungal diversity: the 1.5 million species estimate revisited. *Mycological Research* 105 :1422-1432.
- [9] : Breuil M., 2009. Biologie, 2ème année BCPST-VETO. Eds. TEC et DOC, Lavoisier, Paris, 818p.
- [10]: Biodiversity of Fungi. (n.d.). Science Direct. Retrieved May 5, 2004
- [11]: Chang. S.T, *Int. J. Med. Mushrooms*, 1, 291-300, 1999
- [12]: Flegg, P.B. and Maw, G.A., 1976. Mushrooms and their possible contribution to world protein needs, *Mushroom J.*, 48, 396-405.
- [13]: Weaver et al., 1977; Ph.D. thesis university of Colorado

- [14]: **Crisan, E.V. and Sands, A., 1978.** Nutritional value, in *The Biology and Cultivation of Edible Mushrooms*, Chang, S.T. and Hayes, W.A., Eds., Academic Press, New York, 137– 168.
- [15]: **Viikari, L. and Linko, M., 1977.** Reduction of nucleic acid content of SCP, *Proc. Biochem*, 12-19
- [16] : **Christian, D., Jean, M. P. (2002).** Champignon – l’encyclopedia.
- [17] : **Maublanc, A., 1976.** Les champignons comestibles et vénéneux.
- [18]: **Jacq_P_Kumm., 1871.** Effets des milieux de culture PDA SDA SPDA sur la productivité in vitro de la souche P969 du *Pleurotes ostreatus*
- [19] : **Olivier J M, Laborde J, Guimberteau J, Poitou N, Houdeau G, Delmas J., 1991.** La culture des champignons. Ed. Armand Colin, p.160.
- [20] : **Stamets, P. (2005).** Mycelium Running: How Mushrooms Can Help Save the World. Ten Speed Press.
- [21]: **Cohen, R., Persky, L., & Hadar, Y. (2002).** Biotechnological applications and potential of wood-degrading mushrooms of the genus *Pleurotus*. In *Applied Microbiology and Biotechnology* 58(5), 5823594.
- [22]: **Philippoussis, A. N. (2009).** Production of mushrooms using agro-industrial residues as substrates. In *Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation* (pp. 163-196). Springer, Dordrecht.
- [23]: **Oei, P, 2003.** Mushroom Cultivation-Appropriate Technology for Mushroom Growers (Third Edition). Backhuys Publishers, Leiden. Netherland, p. 10-50.
- [24]: **Urban, A. F., 2004.** Produção de cogumelos por meio de tecnologia chinesa modificada. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Desenvolvimento.
- [25]: **Khan, M. (2010).** Nutritional composition and hypocholesterolemic effect of mushroom: *Pleurotus sajor-caju* and *Pleurotus florida*: LAP Lambert Academic publishing GmbH. KG: Saarbrucken, Germany, 6(10), 1311.

- [26]: **Regula, J., & Siwulski, M. (2007).** Dried Shiitake (*Lentinula Edodes*) and Oyster (*Pleurotus Ostreatus*) Mushrooms As a Good Source of Nutrient. *ACTA Acta Sci. Pol., Technol. Aliment*, 6(4), 1353142.
- [27]: **Wang, D., Sakoda, A., & Suzuki, M. (2001).** Biological efficiency and nutritional value of *Pleurotus ostreatus* cultivated on spent beer grain. *Bioresource Technology*, 78(3), 2933-300.
- [28]: **Pesti, G. (2014).** *Mushrooms: Cultivation, antioxidant properties and health benefits.* New York: Nova Publisher's.
- [29]; **Bahadur, B., Rajam, M. V., Sahijram, L., & Krishnamurthy, K. V. (2015).** *Plant Biology and Biotechnology: Volume I: Plant Diversity, Organization, Function and Improvement.* Springer.
- [30]: **Wan Mahari, W. A., Peng, W., Nam, W. L., Yang, H., Lee, X. Y., Lee, Y. K., Liew, R. K., Ma, N. L., Mohammad, A., Sonne, C., Van Le, Q., Show, P. L., Chen, W. H., & Lam, S. S. (2020).** A review on valorization of oyster mushroom and waste generated in the mushroom cultivation industry. *Journal of Hazardous Materials*, 400(5), 123156.
- [31]: **Jiskani, M. M. (1999).** A brief outline <The Fungi (cultivation of mushrooms). Izhar Pub. Tandojam, Pakistan, 94.
- [32] : **Argenson C ; Régis S ; Jourdain J.M et Vaysse P., 1999.** *L'olivier.* Ed : centre technique interprofessionnel des fruits et légumes. 204p.
- [33] : **Nefzaoui A., 1983.** Etude de l'utilisation des sous-produits de l'olivier en alimentation animale en Tunisie. Division de la Production et de la Santé animale. Ed. FAO. Rome, pp: 32- 47.
- [34] : **Martínez-García, E., Agudelo, J.R., Clemente, G., & Aracil, J. (2012).** Characterization of Olive Stones for Energy Use. *Applied Energy*, 98, 209-217.
- [35] : **Zeitoun R., 2011.** Procédés de fractionnement de la matière végétale. Application à la production des polysaccharides du son et de la paille de blé. Thèse Doctorat de

l'Université de Toulouse (France), Institut National Polytechnique de Toulouse, Sciences des Agro-ressources : 288.

[36]: Moon R. J., Martini A., Nairn J., Simonsen J., Youngblood J. 2011. Cellulose Nanomaterials. Structure, Properties and Nanocomposites, Chem.

[37] : SaharaDesert. (n.d.). Structure de la cellulose dans la paille de blé 10.1023_B_CELL.0000049346.28276.95. Scribd.

[38] : Février C.A., Willequet F., 2009. Valorisation par l'alimentation animale in Moletta René. Le traitement des déchets. Editions TEC, DOC, Lavoisier.

[39]: Wang, X., et al. (2018). Effects of wheat straw mulching on soil properties and crop yield in dryland farming. *Soil and Tillage Research*, 177, 79-86.

[40]: Ravindran, R., & Jaiswal, A. K. (2016). Exploitation of food industry waste for high-value products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 1909-1921.

[41] : Billes d'argile - plantes et hydroponie: Laterlite Agri. (2020, July 3). Laterlite.

[42] : Klorane (2011). Guide pratique de la culture des champignons. Éditions Klorane, Paris, France.

[43]: AOAC International. (1995). AOAC official methods of analysis (16th ed.). AOAC International.

[44]: Raghuramulu, N., Hussain, M. A., & Reddy, M. S. (2003). Investigation on the nutritional composition of the common edible and medicinal mushrooms cultivated in Bangladesh. *Mycologia*, 95(6), 802-808.

[45]: Institut national de recherche agronomique (INRA). (S.d.). Mesure de l'humidité en agriculture

[46] : Mattila, P., Könkö, K., Eurola, M., Pihlava, J.-M., Astola, J., Vahteristo, L., Hietaniemi, V., Kumpulainen, J., Valtonen, M., & Piironen, V. (2001). Contents of vitamins, mineral elements, and some phenolic compounds in cultivated mushrooms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(5), 2343–2348.

- [47] : Yılmaz, N., Solmaz, C., Erdoğan, I., & Dönmez, M. (2016). Antioxidant activity and phenolic content of the medicinal mushroom *Inonotus obliquus* (Chaga). *Biological Diversity and Conservation*, 9(1), 27–31
- [48]: Chang, C.-C., Yang, M.-H., Wen, H.-M., & Chern, J.-C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3), 178–182
- [49]: ALMJALAWI, Batool Shakir Abed, CHECHAN, Rukaibaa Ali, et AL-HADEDEE, Lamees Thamer. Using food residues (potato peels) as an alternative to potato dextrose agar in the growth of edible food fungi. *Journal of Applied and Natural Science*, 2023, vol. 15, no 1, p. 211-219.
- [50]: Salmones, D., Gaitán-Hernández, R., Pérez, R., & Guzmán, G. (1997). Estudios sobre el género *Pleurotus* VIII. Interacción entre la cepa y el tipo de sustrato en el rendimiento. *Revista Iberoamericana de Micología*, 14(4),
- [51]: Gaitán-Hernández, R., & Salmones, D. (2008). Obtaining and characterizing *Pleurotus ostreatus* strains for commercial cultivation under warm environmental conditions. *Scientia Horticulturae*, 118(2), 106–110.
- [52]: Zervakis et Balis (1996) Zervakis, G., & Balis, C. (1996). A pluralistic approach in the study of *Pleurotus* species with emphasis on compatibility and physiology of the European morphotaxa. *Mycological Research*, 100(6), 717–731.
- [53]: Sánchez et al. (2002) Sánchez, C., Escobar, M. M. T., Monroy, A. A., & Davila, G. (2002). Substrate pretreatment and inoculum development of *Pleurotus* for habitat enhancement. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 60(1-2), 158–162
- [54]: Balazs, S. (1986). Evaluation of the chemical composition of cultivated mushrooms. *Food Chemistry*, 22(4), 281-286
- [55]: Balazs, S. (1986). Evaluation of the chemical composition of cultivated mushrooms. *Food Chemistry*, 22(4), 281-286

- [56]: X., & Lin, Z. (2002). Effects of different substrates on the growth and yield of *Pleurotus ostreatus*. *Edible Fungi of China*, 21(4), 22-23
- [57] : Oka, K., Oka, H., Uno, A., Tsukada, Y., Gomi, S., & Kubota, H. (1988). Studies on the cultivation of *Pleurotus geesteranus*. *Journal of Agricultural Science*, 33(2), 121-127
- [58] : 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.
- [59] : Houis, M. (2011). Evaluation of the antioxidant properties of cultivated mushrooms. *Journal of Food Science*, 76(9), C1279-C1284
- [60] : Laith, A. (2010). Antioxidant activity and phenolic content of wild edible mushrooms. *International Journal of Food Properties*, 13(5), 951-959.
- [61] : Heleno, S. A., Barros, L., Martins, A., Queiroz, M. J., Santos-Buelga, C., & Ferreira, I. C. (2012). Phenolic, polysaccharidic, and lipidic fractions of mushrooms from Northeastern Portugal: Chemical compounds with antioxidant properties. *Industrial Crops and Products*, 37(1), 476-481.

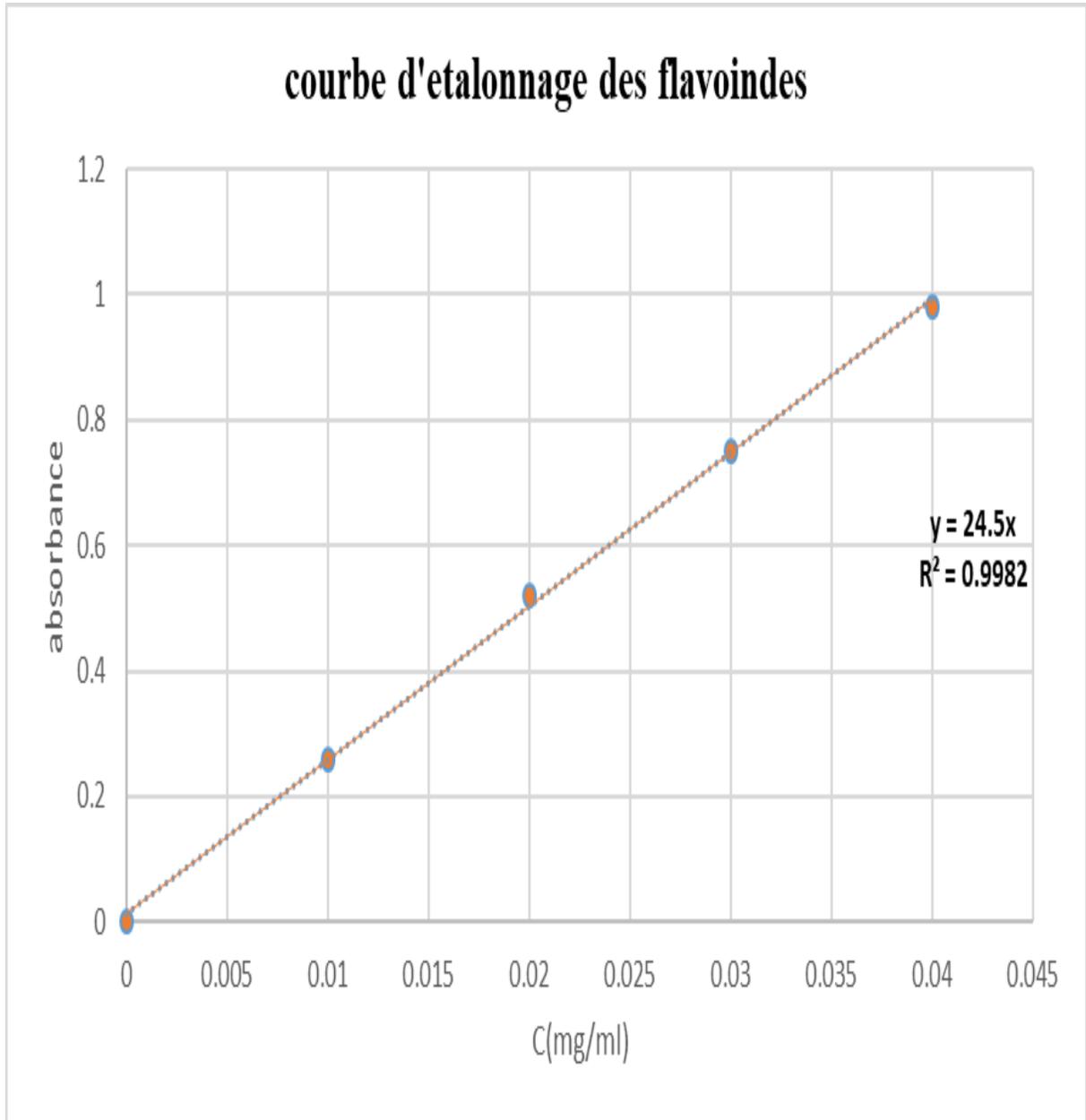
Annexe :

2 Suite des résultats d'analyses biochimiques (laboratoire de contrôle de qualité SABRILNNE)

Paramètre	Données		Résultats	Méthode	
Glucide	Humidité	Prise d'essai	02 g	90.76 %	Par dessiccateur IR
	Cendre	Prise essai (pe)	2.0845 g	0.80 %	Méthode par incinération à 550 °C afin d'en éliminer toute matière organique.
		Poids creuset vide (pv)	47.7787 g		
		Poids creuset final (pf)	47.7954 g		
		Formule de calcul	$Cendres \% = \frac{(pf - pv)}{pe} \times 100$		
	Fibre	Prise essai (pe)	3.2570 g	2.56 %	ISO 5498:1981
		Poids creuset vide (pv)	43.8105 g		
		Poids creuset final (pf)	43.8941 g		
		Formule de calcul	$Fibres \% = \frac{(pf - pv)}{pe} \times 100$		
	Glucide	Formule de calcul	$100 - \Sigma (H_2O + Cendre + Fibre + lipide + proteine)$	3.83 %	Par calcul

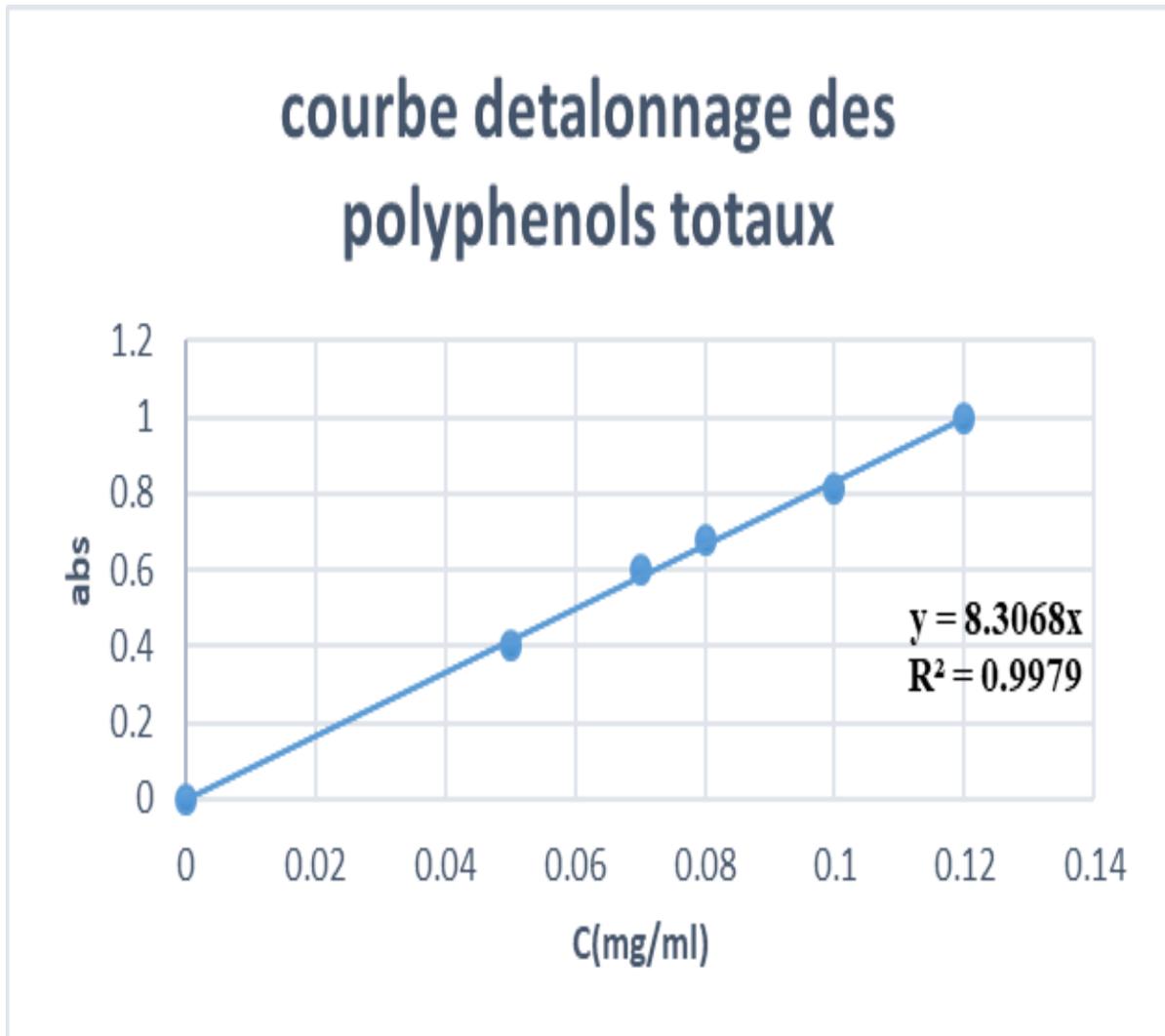
Annexe :

3 courbe d'étalonnage des flavoindes



Annexe :

**4 Courbes d'étalonnage des polyphénols
totaux**



Annexe

5 :Le fruit de champignon comestible produit sur les grignons d'olive comme substrat favorable dans les conditions contrôlées (photos originales)

