



الجمهورية الديمقراطية الشعبية الجزائرية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



Université Constantine 1 Frères Mentouri
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة قسنطينة 1 الإخوة منتوري
كلية علوم الطبيعة والحياة

Département : Microbiologie

قسم : ميكروبيولوجيا

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : **Mycologie et Biotechnologie Fongique**

N° d'ordre :

N° de série :

Intitulé :

Mise en évidence de l'activité antifongique de l'extrait d'ail (*Allium sativum*) contre deux espèces d'*Aspergillus* phytopathogènes (*Aspergillus flavus* et *Aspergillus niger*)

Présenté par : FOUJIL Karima

Le : 10/06/2024

DIB Amani Ikram

ARRAR Ikhlassa

Jury d'évaluation :

Président : ALMI Hiba (MCB-UFM Constantine 1).

Encadrant : ZAAMOUCHE Ahlem (MAB- UFM Constantine 1).

Examineur(s): DERABLI Besma (MAB.- UFM Constantine 1).

Année universitaire
2023 - 2024

Remerciement

"بسم الله الرحمن الرحيم" الحمد لله الذي بعزته و جلالته تتم الصالحات

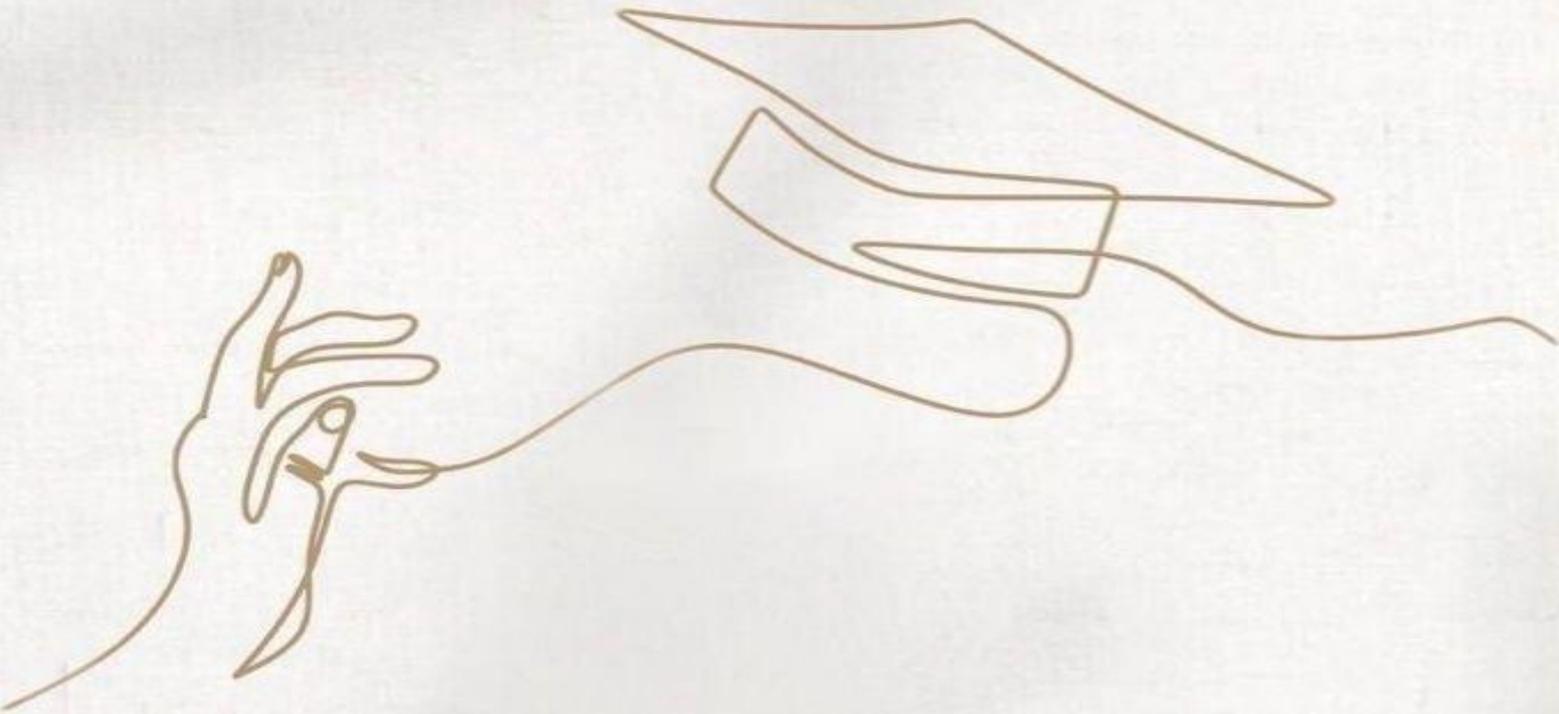
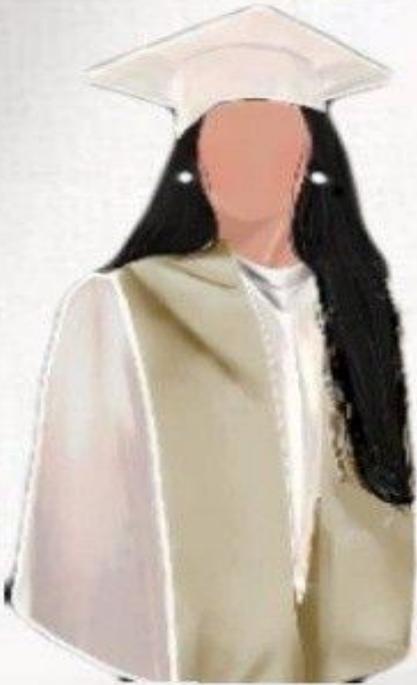
En premier lieu nous tenons à remercier ALLAH précieux pour nous avoir aidés, nous a donné la patience et le courage pour bien mener ce travail.

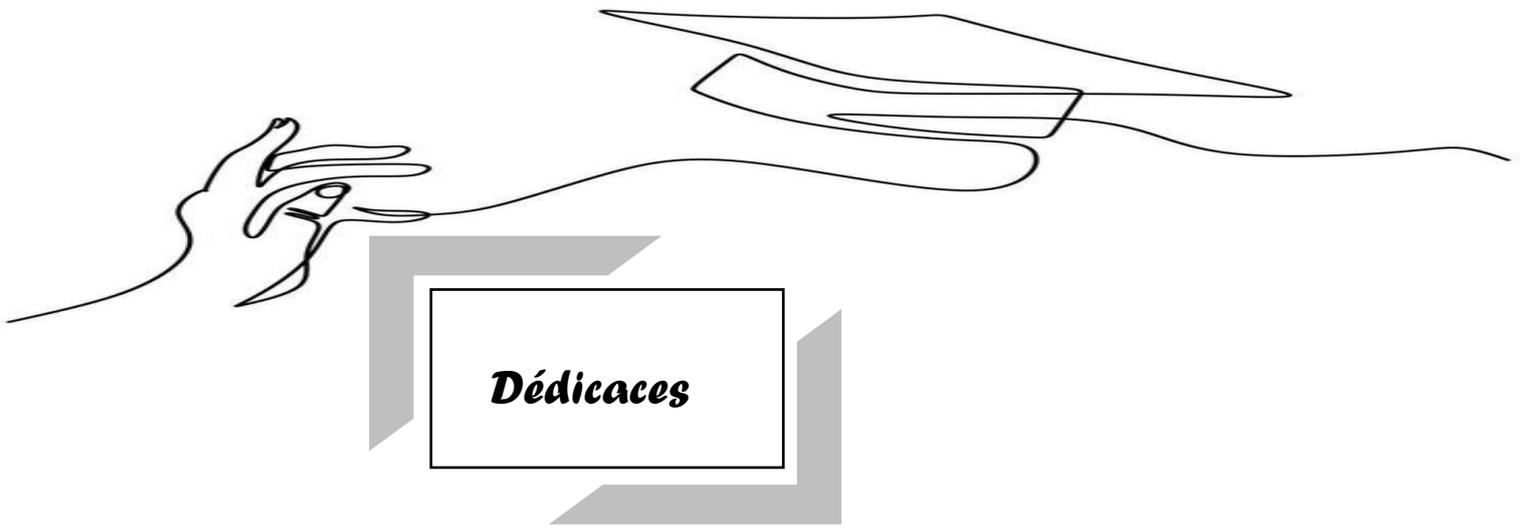
Nous voudrions tout d'abord adresser toute notre reconnaissance à la directrice de ce mémoire, Dr Zaamouchi Ahlem, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

Mes vifs remerciements vont aux membres de jury : Madame Almi Et madame Derbali d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Des remerciements particuliers s'adressent au professeur Mihoubi ilhem pour avoir accepté de nous accueillir aussi chaleureusement dans son laboratoire. *Sans oublier de remercier le directeur du laboratoire Mr KACEM CHAUCHE*

Mes remerciements vont, également à *tous les enseignants de la filière Mycologie et biotechnologie fongique qui ont contribué à notre formation durant notre parcours universitaire.*





Karima

A ma très chère mère Mounira

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon très cher père Rabeih

À celui dont le front était couvert de sueur et à celui qui m'a appris que le succès ne vient qu'avec patience et persévérance, à la lumière qui a éclairé mon chemin et à la lampe dont la lumière ne s'éteint jamais dans mon cœur, aux précieux et précieux sacrifices de dont j'ai tiré ma force et ma fierté dès mes débuts.

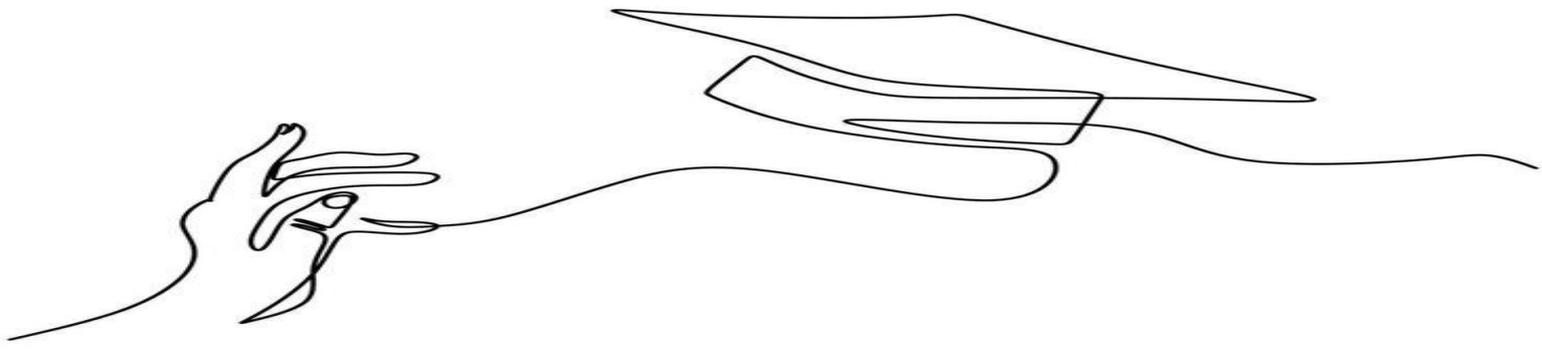
A mes frères : Bilel, Seif et Marouan

A mes sœurs : Malek et Marwa

À mon côté ferme et aux espérances de mes jours, aux moments où j'ai renforcé mon soutien par eux, et c'étaient des sources auxquelles je buvais. En témoignage de la fraternité, avec mes souhaits de bonheur, de santé et de succès.

À ma famille ce qui m'a été une aide et un soutien sur ce chemin, notamment à mon oncle Mohamad et sa fille Anfel, à mes tantes Fatiha, Laila, Rachida.

A mes Binômes et cher amis, à qui je souhaite bonne chance pour son prochain projet



Ikram

À ma douce maman Malika et mon cher papa Hamid

À travers chaque étape de ma vie, vous avez été mes guides, mes confidents et mes plus grands supporteurs. Votre dévouement et votre amour inconditionnel ont été la pierre angulaire de ma réussite. Je vous suis infiniment reconnaissante pour tout ce que vous avez sacrifié pour moi, pour votre soutien indéfectible et vos encouragements constants.

Et je dédie mes chers "Hakima et Nacer"

Je vous remercie pour vos judicieux conseils et votre amour

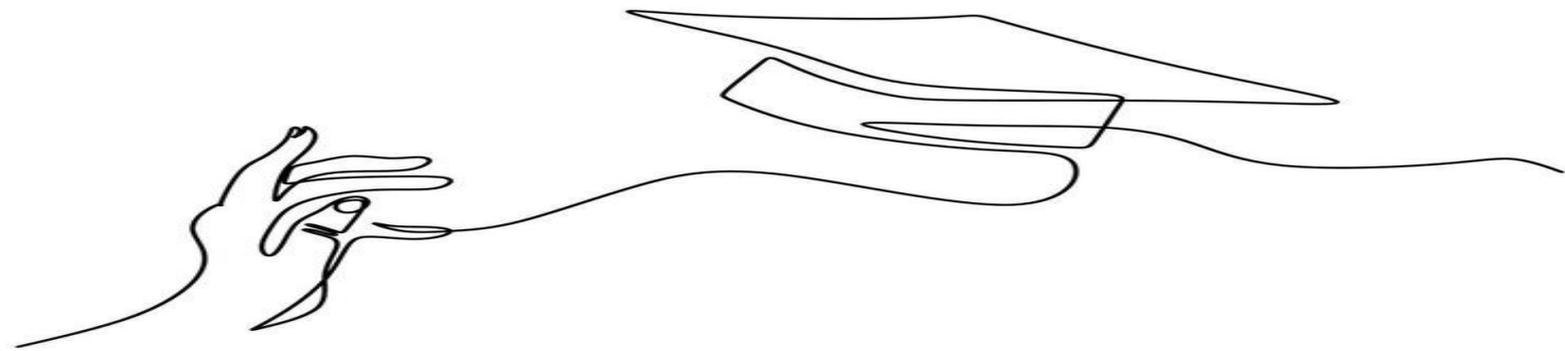
Mes chers frères "Oussama, Zizou, Souhail, et mon petit ange Nidal"

Vous avez été mes compagnons de route, mes partenaires dans les bons moments comme dans les mauvais. Votre présence et votre soutien ont rendu ce voyage non seulement plus agréable, mais également plus significatif. Merci pour les rires partagés, les conseils avisés et les épaules sur lesquelles je pouvais toujours compter

À mes précieuses copines "Souha, Nesrine, Zarga" et ma cousine Lina

Votre amitié est un trésor que je chérirai toujours. Vos encouragements, vos mots de réconfort et vos sourires ont illuminé les jours sombres et ont rendu les moments joyeux encore plus mémorables. Merci d'avoir été mes anges gardiens, mes complices et mes piliers de soutien.

Ce mémoire est dédié à vous, mes chers parents, frères et sœurs, et amies, car sans votre amour, votre soutien et votre amitié, je n'aurais jamais pu atteindre ce moment crucial de ma vie. Avec tout mon amour et ma gratitude éternelle



Ikhlasse

Je remercie mes très chers parents, Mourad et Ghania, qui ont toujours été là pour moi.

Je remercie mes sœurs Imen, Manel, Warda et Chourouk, et mes frères Ayoub et Mido pour leurs encouragements. Les enfants de mes sœurs Iyade, Isehak, Khaled, Khoulode, Batoul et Bisane.

Et surtout pour la personne qui a beaucoup sacrifié pour moi et que je remercie énormément, mon mari Mohamed. Ma tante paternelle Samia et à toute ma famille Source d'espoir et de motivation.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

TO CLASS OF
2024



Résumé

L'objectif de ce mémoire est d'évaluer l'activité antifongique de l'extrait d'ail (*Allium sativum*) contre deux espèces d'*Aspergillus* phytopathogènes, à savoir *Aspergillus flavus* et *Aspergillus niger*. Ces deux champignons sont connus pour leur impact négatif sur les cultures agricoles, provoquant des pertes économiques significatives et posant des risques pour la santé humaine à cause de leur production de mycotoxines. Deux extraits d'ail ont été préparés (aqueux et brut), et leur activité antifongique a été testée à l'aide des techniques de diffusion par puits et par des disques sur gélose. Les résultats ont montré que les extraits d'ail possèdent une activité antifongique significative contre les deux espèces d'*Aspergillus*, avec une inhibition remarquable pour *Aspergillus flavus*. Les zones d'inhibition observées autour des puits et des disques imprégnés par les deux extraits d'ail indiquent leur efficacité contre les deux souches testées. Ces résultats suggèrent que l'extrait d'ail peut être utilisé comme une alternative naturelle et écologique aux fongicides chimiques dans la lutte contre les phytopathogènes fongiques.

Mots clés : *Allium sativum*, Extrait d'ail, Activité antifongique, champignons phytopathogènes, zone d'inhibition.

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم النشاط المضاد للفطريات لمستخلص الثوم (*Allium sativum*) ضد نوعين من فطر الرشاشيات المسببة للأمراض النباتية، وهما *Aspergillus* و *Aspergillus flavus* و *niger*. ومن المعروف أن هذين الفطرين يؤثران سلباً على المحاصيل الزراعية، مما يسبب خسائر اقتصادية كبيرة ويشكلان مخاطر على صحة الإنسان من خلال إنتاجهما للسموم الفطرية. تم تحضير مستخلصين من الثوم (مائي وخام)، وتم اختبار نشاطهما المضاد للفطريات باستخدام تقنيات الانتشار الجيد وقرص الأجار. أظهرت النتائج أن مستخلصات الثوم تمتلك نشاطاً مضاداً للفطريات بشكل كبير ضد كلا النوعين من الرشاشيات، مع تثبيط ملحوظ لفطر *Aspergillus flavus*. تشير مناطق التثبيط التي لوحظت حول الآبار والأقراص المشربة بمستخلصي الثوم إلى فعاليتها ضد السلالتين المختبرتين. تشير هذه النتائج إلى أنه يمكن استخدام مستخلص الثوم كبديل طبيعي وصادق للبيئة لمبيدات الفطريات الكيميائية في مكافحة مسببات الأمراض النباتية الفطرية.

الكلمات المفتاحية : الأليوم ساتيفوم، مستخلص الثوم، النشاط المضاد للفطريات، الفطريات المسببة للأمراض النباتية، منطقة التثبيط

Abstract

The objective of this dissertation is to evaluate the antifungal activity of garlic extract (*Allium sativum*) against two species of phytopathogenic *Aspergillus*, namely *Aspergillus flavus* and *Aspergillus niger*. These two fungi are known to negatively impact agricultural crops, causing significant economic losses and posing risks to human health due to their mycotoxin production. Two garlic extracts were prepared (aqueous and crude), and their antifungal activity was tested using well diffusion and agar disk techniques. The results showed that garlic extracts possess significant antifungal activity against both *Aspergillus* species, with more marked inhibition for *Aspergillus flavus*. The zones of inhibition observed around the wells and the disks impregnated with the two garlic extracts indicate their effectiveness against the two strains tested. These results suggest that garlic extract can be used as a natural and environmentally friendly alternative to chemical fungicides in the fight against fungal plant pathogens.

Keywords : *Allium sativum*, Garlic extract, Antifungal activity, phytopathogenic fungi, zone of inhibition

Table de matières

Résumé

ملخص

Abstrat

Liste des abréviationsI

Liste des tableauxII

Liste des figuresIII

Introduction 1

Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Présentation de la plante *Allium sativum*

1.1. Généralités sur la plante *Allium sativum*3

1.2. Historique3

1.3. Répartition géographique3

1.3.1. Production de l'ail dans le monde3

1.3.2. La production d'ail en Algérie4

1.3.2.1. Zone et production d'ail en Algérie 20195

1.2. Etude botanique d'*Allium sativum*5

1.2.1. Description5

1.2.1.1. Appareil végétatif6

1.2.1.1.1 Le bulbe.....6

1.2.1.1.2 Racines, tiges et feuilles6

1.2.1.1.2.1 Racines6

| | |
|--|----|
| 1.2.1.1.1.2 Tiges..... | 7 |
| 1.2.1.1.2.3 Feuilles..... | 7 |
| 1.2.1.2. Appareil reproducteur | 7 |
| 1.2.1.2.1 Les fleurs | 7 |
| 1.2.1.2.2. Le fruit | 8 |
| 1.2.2. Classification | 8 |
| 1.2.2.1. Classification selon Saci et <i>al.</i> , 2021 | 8 |
| 1.3. Les différents composant de l'ail | 9 |
| 1.3.1. Compositions nutritives | 9 |
| 1.3.2. Compositions chimiques | 9 |
| 1.4. La commercialisation de l'ail | 10 |
| 1.4.1. L'huile essentielle d'ail | 10 |
| 1.4.2. La poudre d'ail | 10 |
| 1.4.3. Le macérât | 10 |
| 1.4.4. L'extrait d'ail vieilli | 10 |
| Chapitre 2 : Etude de l'Activité antimicrobienne de l'ail | |
| 2.1. Activité antibactérienne | 11 |
| 2.1.1. Spectre d'action..... | 11 |
| 2.1.2. Mécanisme d'action | 11 |
| 2.2. Activité antivirale | 11 |
| 2.2.1. Spectre et mécanisme d'action | 11 |
| 2.3. Activité antiparasitaire et protozoaire | 12 |
| 2.4. Activité antifongique | 12 |

| | |
|---|----|
| 2.4.1. Spectre d'action et Mécanisme d'action | 12 |
|---|----|

Chapitre 3 : les champignons phytopathogènes

| | |
|--|----|
| 3.1. Généralités sur les champignons phytopathogènes | 13 |
| 3.2. L'espèce <i>Aspergillus flavus</i> | 13 |
| 3.2.1. Taxonomie | 13 |
| 3.2.2. Potentiel toxinogène | 14 |
| 3.2.3. Pouvoir pathogène | 14 |
| 3.3. L'espèce <i>Aspergillus niger</i> | 14 |
| 3.3.1. Taxonomie | 15 |
| 3.3.2. Potentiel toxinogène | 15 |
| 3.3.3. Pouvoir pathogène | 15 |

Etude expérimentale

| | |
|--|----|
| 1. Matériel végétal | 17 |
| 2. Microorganismes utilisés | 17 |
| 2.1. Réactivation des souches | 17 |
| 2.2. Mise en évidence de la pureté des souches fongiques | 18 |
| 2.2.1. Etude macroscopique | 18 |
| 2.2.1.1. <i>Aspergillus flavus</i> | 18 |
| 2.2.1.2. <i>Aspergillus niger</i> | 19 |
| 2.2.2. Etude microscopique | 19 |
| 2.2.2.1. <i>Aspergillus flavus</i> | 19 |
| 2.2.2.2. <i>Aspergillus niger</i> | 20 |
| 2.3. Préparation des extraits | 21 |
| 2.3.1. L'extrait brut d'ail | 21 |
| 2.3.2. L'extrait aqueux | 21 |
| 2.3.2.1. Préparation de la poudre d'ail | 21 |

| | |
|--|----|
| 2.3.2.2. Préparation de l'extrait aqueux | 22 |
| 2.4. Préparation de l'inoculum | 22 |
| 2.4.1. Détermination de la concentration de l'inoculum par turbidimétrie | 24 |
| 2.5. Mesure de l'activité antifongique | 24 |
| 2.5.1. Evaluation de l'activité antifongiques de l'extrait brut et aqueux de l'ail sur <i>Aspergillus flavus</i> et <i>Aspergillus niger</i> | 24 |
| 2.5.1.1. Méthode de diffusion par disques | 24 |
| 2.5.1.2. Méthode de diffusion par puits | 25 |
| 3. Résultats | 27 |
| 3.1. Mise en évidence de la pureté des souches fongiques..... | 27 |
| 3.1.1. <i>Aspergillus flavus</i> | 27 |
| 3.1.1.1. Etude macroscopique..... | 27 |
| 3.1.1.2. Etude microscopique..... | 27 |
| 3.1.2. <i>Aspergillus niger</i> | 28 |
| 3.1.2.1. Etude macroscopique..... | 28 |
| 3.1.2.1. Etude microscopique..... | 29 |
| 3.2. Détermination de l'activité antifongique..... | 29 |
| 3.2.1. Activité antifongique estimée par la méthode des disques..... | 30 |
| 3.2.1.1. Activité antifongique contre <i>Aspergillus flavus</i> | 30 |
| 3.2.1.2. Activité antifongique contre <i>Aspergillus niger</i> | 30 |
| 3.2.2. Activité antifongique estimée par la méthode de diffusion par puits..... | 31 |
| 3.2.2.1. Activité antifongique contre <i>Aspergillus flavus</i> | 31 |
| 3.2.2.2. Activité antifongique contre <i>Aspergillus niger</i> | 32 |
| Discussion | 35 |
| Conclusion | 36 |
| Référence bibliographique | |
| Annexe | |

Liste des abréviations

APG : Angiosperm phylogeny group.

ARN : L'acide ribonucléique.

CMF : Concentration minimale fongicide.

C° : Degrés Celsius.

CMV : Cytomegalovirus.

DO : Densité Optique.

DATS : Digital Action Tracking system.

DSA : Département des services agricoles.

FAO : Food and agriculture organisation.

HMP1: Pompe Electro_Hydraulique.

HPLC : Chromatographie à haute performance.

HSV : Herpes Simplex Virus (virus de l'herpès simplex).

MALDI_TOF : Matrix Assisted Laser Desorption Ionization_Time of Flight.

mm : Milimètre.

NaCl : Chlorure de sodium.

ORL : Oto rhino laryngologie.

PCR : Polymerase Chain Reaction.

PDA : Potato Dextrose Agar.

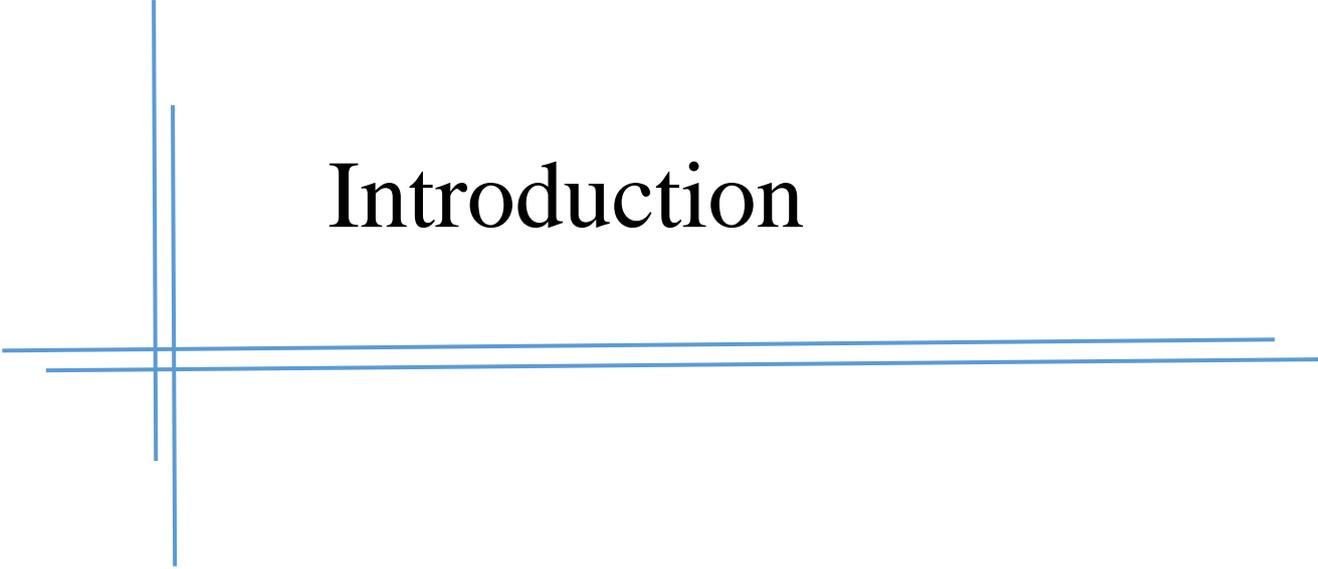
Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Quelques pays producteurs d'ail dans le monde | 4 |
| Tableau 2 : Les principaux États producteurs d'ail en Algérie | 5 |
| Tableau 3 : Zones d'inhibition (mm) | 29 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : La production d'ail dans le monde par continent en 2018 | 4 |
| Figure 2 : La production et le rendement de l'ail en Algérie de 1998 à 2018 | 5 |
| Figure 3 : Schéma général d' <i>Allium sativum</i> (1,2 : Port de la plante, 3 : bulbe, 4) | 6 |
| Figure 4 : Bulbe d' <i>Allium sativum</i> et ses cayeux | 6 |
| Figure 5 : Racines adventives chez <i>Allium sativum</i> | 7 |
| Figure 6 : Tige et feuilles chez l'ail commun | 7 |
| Figure 7 : Fleur d' <i>Allium sativum</i> | 8 |
| Figure 8 : Bulbe d'ail | 17 |
| Figure 9 : Réactivation des souches fongique | 18 |
| Figure 10 : Caractère macroscopique d' <i>Aspergillus flavus</i> | 18 |
| Figure 11 : Aspect macroscopique d' <i>Aspergillus niger</i> | 19 |
| Figure 12 : Aspect microscopique d' <i>Aspergillus flavus</i> | 20 |
| Figure 13 : Aspect microscopique d' <i>Aspergillus niger</i> | 20 |
| Figure 14 : Extrait brut de l'ail | 21 |
| Figure 15 : La poudre d'ail | 21 |
| Figure 16 : Préparation de l'extrait aqueux | 22 |
| Figure 17 : Préparation de l'inoculum | 23 |
| Figure 18 : Illustration de la méthode des disques | 25 |
| Figure 19 : méthode de diffusion sur disque | 25 |
| Figure 20 : Méthode de diffusion par puits. | 26 |
| Figure 21 : Identification macroscopique recto verso d' <i>Aspergillus flavus</i> | 27 |
| Figure 22 : Identification microscopique d' <i>Aspergillus flavus</i> | 28 |
| Figure 23 : Identification macroscopique recto verso d' <i>Aspergillus niger</i> | 28 |
| Figure 24 : Identification microscopique d' <i>Aspergillus niger</i> | 29 |

| | |
|--|----|
| Figures 25 : l'effet inhibiteur de l'extrait aqueux et l'extrait brut de l'ail contre <i>Aspergillus flavus</i> pour la technique des disques | 30 |
| Figure 26 : l'effet inhibiteur de l'extrait aqueux et l'extrait brut de l'ail contre <i>Aspergillus niger</i> pour la technique des disques | 31 |
| Figure 27 : l'effet inhibiteur de l'extrait aqueux et l'extrait brut de l'ail contre <i>Aspergillus flavus</i> pour la technique des puits | 32 |
| Figure 28 : l'effet inhibiteur de l'extrait aqueux et l'extrait brut de l'ail contre <i>Aspergillus niger</i> pour la technique des puits | 33 |
| Figure 29 : étude comparative des diamètres des zones d'inhibition, en présence différentes extraits d'ail sur <i>Aspergillus flavus</i> et sur <i>Aspergillus niger</i> (technique des disques et des puits) | 33 |
| Figure 30 : Le developpement d' <i>Aspergillus flavus</i> pendant 5 jours | 34 |
| Figure 31 : Le developpement d' <i>Aspergillus niger</i> pendant 5 jours | 34 |



Introduction

Pendant une période prolongée, l'humanité a été confortée à une vulnérabilité significative face aux maladies fongiques. Au cours des vingt dernières années, une augmentation notable de ces maladies, touchant un large éventail d'organismes hôtes, a été observée. Ces affections sont déclenchées par un nombre remarquablement élevé d'espèces de champignons, entraînant des dommages substantiels tant chez les espèces végétales.

Les champignons représentent une diversité considérable, avec une estimation d'environ un million d'espèces, bien que ces chiffres soient approximatifs. Cependant, seulement 14 % de cette variété d'organismes ont été identifiés jusqu'à présent (Djazouli, 2020).

Les champignons phytopathogènes sont largement reconnus comme une menace mondiale pour la sécurité alimentaire. En adoptant un mode de vie parasitaire, ces organismes infectent les plantes hôtes pour se nourrir et se reproduire, entraînant des conséquences néfastes pour la santé et la survie des végétaux. Ils sont responsables de la plupart des maladies des plantes, modifiant la dynamique des populations végétales et contribuant potentiellement à l'extinction de certaines espèces (Mercier, 2019).

Les moisissures filamenteuses du genre *Aspergillus* sont des champignons microscopiques, connues pour être des contaminants des produits agricoles en stockage ou en champ et/ou pour leur capacité à produire des métabolites secondaires toxiques. Sous des conditions climatiques propices, certaines souches d'*Aspergillus* sont capables de synthétiser les aflatoxines, des métabolites secondaires connus pour leurs propriétés cancérigènes, immunosuppressives et tératogènes (Zemeili et Soubani, 2007 ; Traore et al., 2011).

Les traitements naturels des plantes contre les maladies phytopathogènes ont démontré leur efficacité en se comparant aux fongicides commerciaux, tout en présentant principalement moins d'effets secondaires.

Les légumes du genre *Allium* sont considérés comme un élément crucial d'une alimentation saine, contribuant à la résistance contre plusieurs maladies. Parmi les espèces de ce genre, *Allium sativum* est la plus largement utilisée à travers le monde. D'autre façon, il est connu sous le nom ail, cette dernière est une plante largement utilisée comme aliment dans toutes les régions du monde. Au cours de la dernière décennie, il y a eu une augmentation significative de la littérature portant sur l'ail et ses propriétés antimicrobiennes. Bien que cet intérêt récent ait émergé au cours des dix dernières années. L'ail est l'un des légumes cultivés

les plus anciens et elle a été utilisée comme épice, légume ou même comme remède pour guérir diverses maladies (Boukeria, 2017 ; Bouhenni *et al.*, 2019).

Le principal constituant antimicrobien de l'ail a été identifié comme étant un composé organosulfuré, appelé allicine. L'allicine ne se trouve pas dans l'ail cru. Il se forme rapidement sous l'action de l'enzyme allinase sur le sulfoxyde de S-allyl-L-cystéine ou alline, et ceci, lorsque l'ail est broyé. L'allicine provoque des dommages au niveau de la cellule et altère la membrane tout en provoquant la mort ou l'arrêt de la croissance cellulaire.

Cette étude avait comme objectif : l'évaluation de l'activité antifongique *in-vitro* de l'extrait d'ail vis-à-vis des isolats phytopathogènes *Aspergillus flavus* et *Aspergillus niger*.

Synthèse bibliographique



Chapitre 1 :

Présentation de la plante *Allium sativum*

1.2. Généralités sur la plante *Allium sativum*

Le terme *Allium sativum* tire son origine du nom latin « l'ail cultivé ». Le mot *Allium* dérive du celtique All qui signifie une saveur brûlante ou âcre, ce qui évoque les propriétés caractéristiques de l'ail en raison de son goût fort et piquant, et *sativum* signifie cultivé, selon Krčmár en France, l'ail est appelé ail, ail commun, ail cultivé, thériaque des pauvres, tandis qu'en arabe est nommé Thum. En anglais, l'ail se traduit sous le nom de garlic (Goetz et Ghédira, 2012 ; Minker, 2012).

1.2.1. Historique

On considère que l'ail est originaire d'Asie centrale, mais il a été introduit très tôt dans de nombreuses civilisations. Il y a environ 10 000 ans, on trouve les premières traces d'usages de l'ail en Chine, au Proche-Orient et dans les régions méditerranéennes avant sa diffusion vers l'Ouest en Europe centrale et méridionale, en Afrique du Nord (Égypte). Par la suite, ce sont les marchands, les marins, les explorateurs qui ont contribué à la propagation de l'ail à travers le monde (Krčmár, 2008 ; Pacurar et Krejci, 2010).

1.3. Répartition géographique

Allium sativum est cultivé dans diverses régions du globe, telles que l'Europe, l'Afrique du Nord, l'Asie, l'Amérique du Nord et l'Afrique de l'Ouest (Edouard, 1991 ; Morrison, 1994).

1.3.1. Production de l'ail dans le monde

D'après les données de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), la production mondiale d'ail, une culture appartenant au genre *Allium*, est estimée à un peu plus de 28 millions de tonnes, plaçant la consommation d'ail au deuxième rang après celle de l'oignon. L'Asie se distingue particulièrement par sa production d'ail, atteignant 26 millions de tonnes en 2018, suivie par l'Europe, l'Amérique, l'Afrique, et enfin l'Océanie (FAO, 2018).

La Chine occupe la première place en tant que principal producteur, représentant 81 % de la production mondiale. Malgré cela, l'Algérie se classe à la 11e place en termes de production et de productivité d'ail. Le tableau suivant présente quelques principaux pays producteurs d'ail dans le monde, basé sur les données statistiques de la FAO pour l'année 2018 (FAO, 2018).

Production d'ail dans le monde par continent en 2018, en tonnes

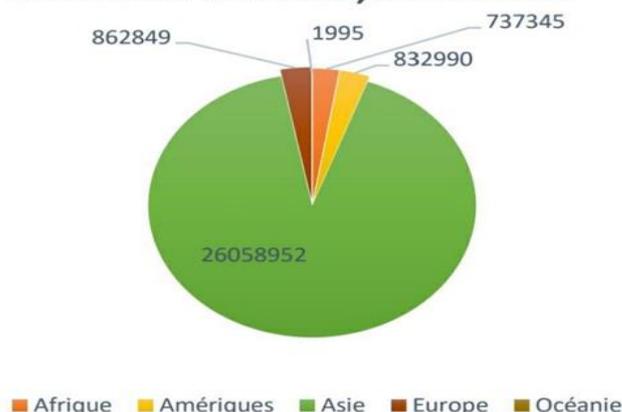


Figure 1 : La production d'ail dans le monde par continent en 2018 (FAO, 2018).

Tableau 1 : Quelques pays producteurs d'ail dans le monde (FAO, 2018).

| N° | Pays | Quantité en tonnes |
|----|---------------------|--------------------|
| 1 | Chine, continentale | 22273802 |
| 2 | Inde | 1721000 |
| 3 | Bangladesh | 461970 |
| 4 | Egypte | 286213 |
| 5 | Algérie | 202201 |

1.3.2. La production en Algérie

La production d'ail en Algérie demeure modeste en comparaison avec celle d'autres légumes en 2018. Cette disparité peut s'expliquer par la nature différente de la consommation de l'ail par rapport à d'autres légumes tels que les oignons et les tomates. En effet, l'ail est principalement utilisé comme assaisonnement dans les plats, servant de condiment et étant largement répandu dans les régions des hauts plateaux Est. Bien que l'ail puisse être cultivé dans diverses régions d'Algérie, il prospère particulièrement dans les sols argilo-sableux, offrant ainsi un rendement optimal. Malgré sa position comme le deuxième *Allium* le plus consommé après l'oignon, sa consommation tend à connaître une légère baisse ces dernières années (FAO, 2018).

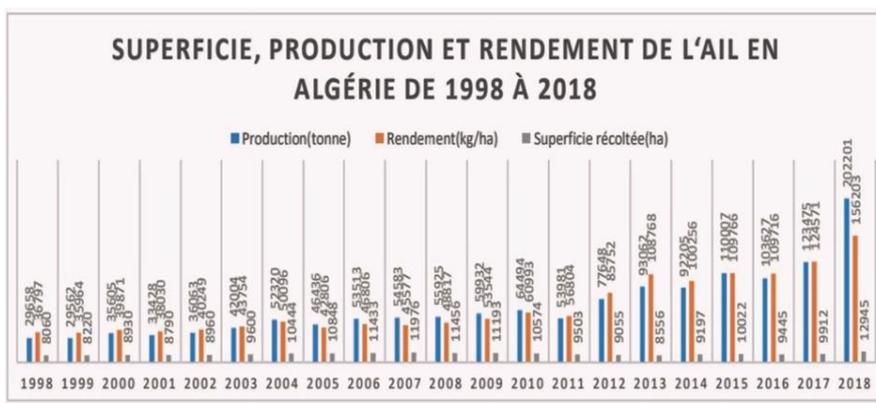


Figure 2 : La production et le rendement de l'ail en Algérie de 1998 à 2018 (FAOSTAT, 2018).

1.3.2. Zone et production d'ail en Algérie 2019

D'après l'évaluation des statistiques horticoles du DSA (département des services agricoles) pour la période 2018-2019.

Tableau 2 : Les principales Wilayas productrices d'ail en Algérie.

| Wilaya | Production |
|--------------------|------------|
| Mila | 1903 ha |
| Médéa | 968 ha |
| Batna | 788 ha |
| Skikda | 620 ha |
| Msila | 495 ha |
| Tizi ouazou | 322 ha |
| Guelma | 290 ha |
| Sétif | 236 ha |

1.2. Etude botanique d'*Allium sativum*

1.2.1. Description

L'ail cultivé est une plante monocotylédone, herbacées, vivaces à bulbes annuels qui peut atteindre 90 cm de hauteur. Constitué d'un plateau dur formé de gousses en nombre de 8 à 20. Ces gousses rassemblent 12 à 16 bulbilles. Elles ont un diamètre de 5 à 10 mm et sont composées d'une enveloppe externe. Ses feuilles sont linéaires, engainantes à limbe allongé plat, étroit, atténué en pointe. Elles mesurant 1 à 2,5 cm de large et 30 à 60 cm de long (Garnier et *al.*, 1961 ; Tescher et *al.*, 2005 ; Deboise, 2001 ; Bernice, 2009 ; Botineau, 2010).

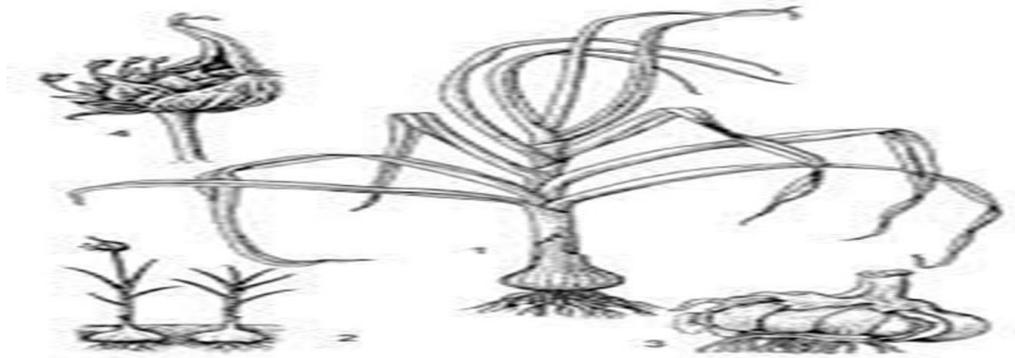


Figure 3 : Schéma général d'*Allium sativum* (1,2 : port de la plante, 3 : bulbe, 4) (Colin, 2016).

1.2.1.1. Appareil végétatif

1.2.1.1.1. Bulbe

L'ail commun est une plante herbacée géophyte, ce qui signifie qu'elle peut survivre pendant la mauvaise saison en se maintenant enfouie dans le sol grâce à son bulbe. Ce bulbe est essentiellement une tige courte et verticale, feuillée, appelée plateau du bulbe. On qualifie le bulbe d'ail de « bulbe tuniqueé ». Cette structure particulière témoigne de l'adaptation de l'ail à son environnement, lui permettant de survivre pendant les périodes défavorables et de prospérer au fil des saisons. Le bulbe de l'ail commun peut varier en couleur, allant du blanc au rosé et même au violacé, selon les sources (Botineau, 2020).



Figure 4 : Bulbe d'*Allium sativum* et ses cayeux (Bechaa, 2021).

1.2.1.1.2. Racines, tiges et feuilles

1.2.1.1.2.1. Racines

Les racines de l'ail commun sont classées comme racines adventives, émergeant spécifiquement sous le bulbe, au niveau du plateau qui correspond à sa tige souterraine (Bechaa, 2021).



Figure 5 : Racines adventives chez *Allium sativum*. (FAO, 2018).

1.2.1.1.2.2. Tiges

La tige de l'ail commun, en moyenne d'une hauteur de 40 cm, mais pouvant s'étendre jusqu'à 150 cm, émerge de la partie supérieure du bulbe. Cette tige est en fait une structure semblable à une tige, formée par l'agencement des gaines foliaires des feuilles provenant du plateau du bulbe (Bechaa, 2021).

1.2.1.1.2.3. Feuilles

Les feuilles de l'ail commun sont disposées de manière alternée et sont lisses. Leur nombre varie généralement entre 2 et 10 par tige. Ces feuilles se caractérisent par leur pétiole réduit à une base élargie en forme de gaine tubulaire, ce qui les rend engainantes à la base. Le limbe des feuilles est linéaire (Maurice, 2014).



Figure 6 : Tige et feuilles chez l'ail commun (Colin, 2016)

1.2.1.2. Appareil reproducteur

1.2.1.2.1. Fleurs

Les fleurs sont actinomorphes, ce qui signifie qu'elles présentent une symétrie radiale, et elles sont trimères, ce qui se réfère à leur organisation en trois parties homologues. Leur apparence est régulière et elles peuvent être blanches ou rougeâtres. Elles sont entourées de

spathes caduques, qui sont des enveloppes écailleuses à une seule valve, se terminant en pointes très longues. Le périanthe, qui est la partie de la fleur constituée par le calice et la corolle, présente une conformation en cloche avec les segments connivents, c'est-à-dire fusionnés à leur base.

Les fleurs présentent généralement une teinte allant du blanc au rose. Cependant, des exceptions sont observées, notamment dans le cas de l'ail d'ornement, où les fleurs peuvent arborer une couleur violette ou encore une teinte jaune d'or vif, comme c'est le cas chez *Allium moly* (Colin, 2016 ; Ghesquiere, 2016).



Figure 7 : Fleur d'*Allium sativum*. (Colin, 2016).

1.2.1.2.2. Fruit

Le fruit est une capsule à trois compartiments, chaque compartiment contenant deux graines. Cependant, sa production est très rare au profit des bulbilles, car l'espèce donne la priorité à la multiplication végétative plutôt qu'à la reproduction sexuée pour garantir sa survie (Colin, 2016 ; Ghesquiere, 2016).

1.2.2. Classification

Selon la classification des Angiospermes de Cronquist de 1981, l'Ail appartient à l'ordre des Liliales, à la famille des Liliacées. Des récentes révisions taxonomiques En 1998, le Groupe de phylogénie des angiospermes (APGIII) placent le genre *Allium* dans la famille des Alliacees et en 2009, Lors de la dernière mise à jour, le groupe d'APGIII range l'ail dans la famille des Amaryllidacées et cette famille est divisée en trois sous-famille : les Agapanthoideae, les Allioideae et les Amaryllidacées (Colin, 2016 ; Ekşi et *al.*, 2020).

1.2.2.1. Classification selon Sasi *et al.*, 2021

- **Règne** : Plantae,
- **Sous règne** : Tracheobiota,
- **Embranchement** : Magnoliophyta (=Phanérogrames),
- **Sous-embranchement** : Magnoliophytina (=Angiospermes),
- **Classe** : Liliopsida,
- **Sous-classe** : Liliidae,
- **Ordre** : Liliales (Asparagales),
- **Famille** : Amaryllidaceae,
- **Genre** : *Allium*,
- **Espèce** : *Allium sativum*.

1.3. Différents composés de l'ail

1.3.1. Composition nutritive

Les bulbes d'ail sont composés d'environ 65 % d'eau, 28 % de glucides, 2 % de protéines, 1,2 % d'acides aminés libres et 1,5 % de fibres. Sous sa forme brute, l'ail contient 58,58 g d'eau, 33,06 g de glucides et 6,36 g de protéines pour 100 g. Consommer 100 grammes d'ail apporte 149 kilocalories. Avec la présence de minéraux et d'oligoéléments, y compris les vitamines (A, B1, B2, B6, C, E) et la thiamine (une vitamine à haute biodisponibilité) grâce à des composés spécifiques contenant du soufre se trouve dans l'ail (Hafiz Suleria et *al.*, 2015 ; Ghesquiere, 2016).

1.3.2. Composition chimique

En plus des composants nutritives, les composés de l'ail les plus intéressants sont de loin les composés soufrés volatils et non volatils responsables de sa forte saveur et de ses nombreux effets médicaux (Milner, 2001 ; Ansary et *al.*, 2020 ; Ezeorba et *al.*, 2022).

Ces composés soufrés (ou sulfurés) se forment lors de la coupe du bulbe. Ils ne sont pas présents dans l'ail tant que ses tissus n'ont pas été écrasés. Il faut donc le couper pour profiter pleinement des bienfaits de l'ail. Le composé soufré le plus caractéristique de l'ail est l'allicine, qui provient de l'alliine. Cette substance active agirait comme un antibiotique naturel sur le corps humain (antibactérien et antifongique) (Ankri, Mirelman, 1999 ; Ansary et *al.*, 2020).

1.4. La commercialisation de l'ail

Sur le marché, vous pouvez trouver diverses formes de produits commerciaux à base d'ail pour bénéficier de ses propriétés avantageuses.

1.4.1. L'huile essentielle d'ail

L'huile essentielle d'ail est produite par distillation. Une gousse d'ail renferme généralement entre 0,2 et 0,5 % d'huile essentielle (Feng et *al.*, 2018 ; Gambogou et *al.*, 2019).

1.4.2. La poudre d'ail

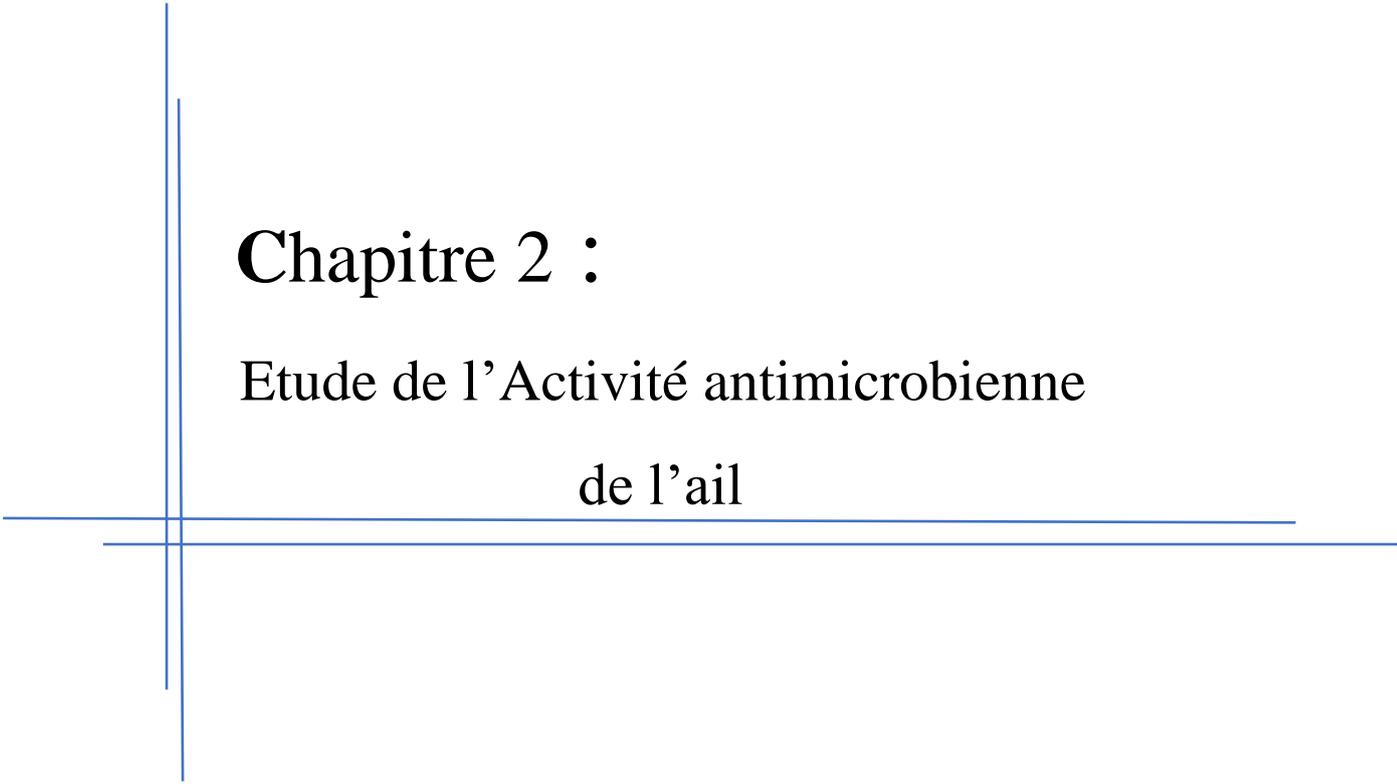
La poudre d'ail déshydratée utilisée dans la cuisine pour ajouter une saveur subtile aux plats tout en bénéficiant de ses vertus. Le principal composé présent dans la poudre d'ail, tout comme dans l'ail frais, est l'alliine (Mercier-Fichaux, 2016 ; Costeplane, 2018).

1.4.3. Le macérât

Le macérât ou l'extrait d'huile d'ail est utilisé comme condiment. Le macérât contient principalement des composés tels que les vinyldithiines et les ajoènes (Joshi et *al.*, 1987).

1.4.4. L'extrait d'ail vieilli

L'extrait d'ail vieilli est obtenu en utilisant une solution d'extraction composée d'eau distillée et diluée dans 15 à 20 % d'éthanol (Costeplane, 2018).



Chapitre 2 :

Etude de l'Activité antimicrobienne
de l'ail

2.1. Activité antibactérienne

2.1.1. Spectre d'action

En 1858, Louis Pasteur fut le premier à prouver que l'ail possède des propriétés antibactériennes. Durant la Seconde Guerre mondiale, en raison de la pénurie de pénicilline, les médecins russes ont utilisé l'ail comme antiseptique et pour traiter diverses infections telles que les diarrhées et les infections ORL. L'activité antibactérienne de l'ail a été largement étudiée au fil des ans, démontrant son efficacité contre un large spectre de bactéries Gram-positives et Gram-négatives. Des études *in vitro* et/ou *in vivo* ont confirmé son action contre plusieurs genres bactériens, y compris ceux résistants aux antibiotiques (Moses et *al.*, 1983 ; Ghesquiere C, 2016).

2.1.2. Mécanisme d'action

Les éléments sulfurés présents dans l'ail, notamment l'allicine, sont responsables de son effet antibactérien. Des études ont démontré que lorsque l'allicine est retirée de l'extrait d'ail, son activité antimicrobienne est annulée. De plus, inhiber l'allinase, l'enzyme qui convertit l'alliine en allicine, supprime également cette activité antibactérienne. Le mécanisme d'action de l'allicine semble être son interaction rapide avec les groupes thiols des enzymes bactériennes, et elle peut également inhiber la synthèse d'ARN bactérien. La composition structurale des bactéries, notamment la quantité de lipides dans leur membrane cellulaire, influence leur sensibilité aux composés sulfurés de l'ail. Les bactéries à Gram négatif, avec une plus grande quantité de lipides dans leur paroi, sont généralement plus sensibles à l'ail que les bactéries à Gram positif (Moses et *al.*, 1983 ; Ghesquiere, 2016).

2.2. Activité antivirale

2.2.1. Spectre et mécanisme

L'ail possède une activité antivirale contre divers virus tels que les herpès simplex virus (HSV) de types 1 et 2, le cytomégalovirus (CMV), le virus de la grippe (virus Influenza B), le rhinovirus de type 2 responsable du rhume, et le Molluscum contagiosum. Une étude *in vitro* a démontré que l'ajoène, dérivé de l'allicine, inhibe la réplication du virus de l'immunodéficience humaine de type 1 (VIH-1) et pourrait protéger les lymphocytes T CD4, essentiels pour l'immunité. Cependant, l'utilisation prolongée de suppléments d'ail pourrait réduire les concentrations plasmatiques du saquinavir, médicament utilisé dans le traitement des patients VIH-1 positifs. Bien que les recherches sur l'activité antivirale de l'ail soient

limitées, l'ajoène et l'allicine semblent être les principaux composés impliqués en agissant sur l'enveloppe (Colin, 2016).

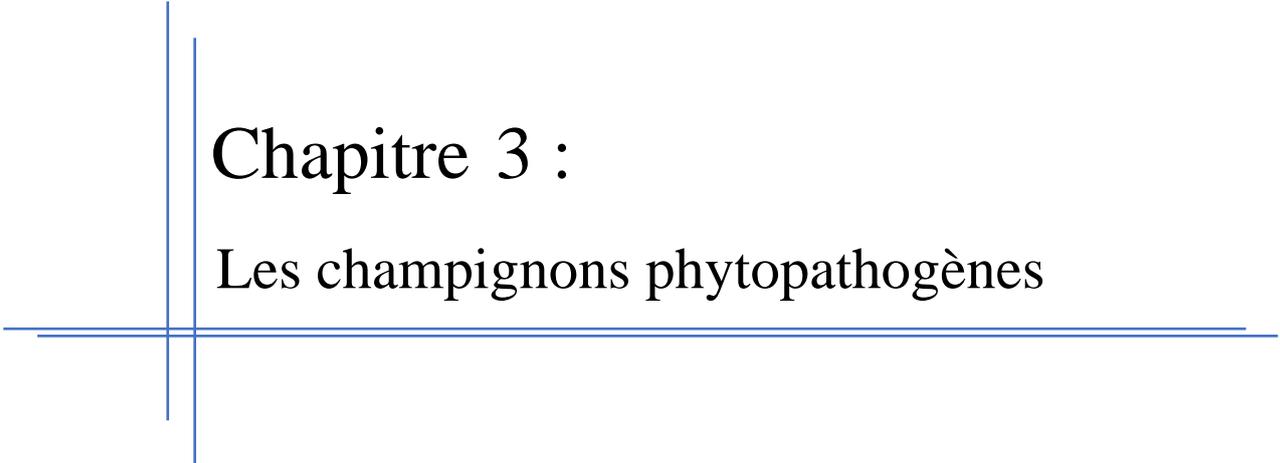
2.3. Activité antiparasitaire et protozoaire

L'usage de l'ail frais broyé comme remède antiparasitaire remonte à longtemps. Albert Schweizer l'a utilisé pour traiter les maladies intestinales, tandis que la médecine chinoise l'a intégré dans des extraits alcooliques de gousses d'ail pulvérisées. De nos jours, l'huile d'ail est également employée contre les parasites et les protozoaires. L'allicine est un composé de l'ail, se révèle très efficace, nécessitant seulement 30 µg/ml pour inhiber la croissance des cultures d'amibes et réduire jusqu'à 90 % de la virulence des trophozoïtes (Ghesquiere, 2016).

2.4. Activité antifongique

2.4.1. Spectre et mécanisme d'action

L'allicine de l'ail démontre une activité antifongique contre diverses espèces, notamment *Candida* (surtout *Candida albicans*), *Cryptococcus*, *Trichophyton*, *Epidermophyton* et *Microsporium*. Des études *in vitro* et *in vivo* sur des souris immunocompétentes infectées ont mis en évidence l'efficacité de l'allicine contre *Aspergillus sp.* Son principal mécanisme d'action est son interaction avec les groupes Thiols des enzymes des microorganismes concernés. En plus de l'allicine, des produits dérivés tels que l'ajoène et le diallyl trisulfide (DATS) ont également démontré des propriétés antifongiques. Des études ont montré un effet synergique significatif entre l'allicine et des médicaments antifongiques comme l'amphotéricine B et le fluconazole, suggérant que l'ail pourrait être utilisé en association pour réduire les doses de ces médicaments et leurs effets secondaires. De plus, l'allicine semble réduire l'expression du gène HWP1, impliqué dans la formation de biofilms par *Candida albicans*, ce qui pourrait être bénéfique dans le traitement des infections fongiques (Moses et al., 1983).



Chapitre 3 :

Les champignons phytopathogènes

3.1. Généralités sur les champignons phytopathogènes

Les champignons phytopathogènes sont des espèces de micromycètes qui provoquent des maladies cryptogamiques chez les plantes (Lepoivre, 2003).

Les maladies phytopathogènes résultent de l'activité d'organismes pathogènes tels que les champignons. Ces microorganismes sont généralement infectieux, se multipliant à l'intérieur de celles-ci et se propageant facilement d'un hôte infecté à un hôte sain (Lepoivre, 2003).

Selon leur interaction avec les plantes, les agents phytopathogènes peuvent être classés en trois catégories :

- ❖ Les biotrophes, qui se nourrissent de cellules vivantes tout en maintenant la viabilité de leur hôte.
- ❖ Les nécrotrophes, qui tuent les cellules hôtes avant de consommer les tissus morts.
- ❖ Les hémibiotrophes, qui présentent une phase biotrophique suivie d'une phase nécrotrophique.

Leur mode de vie est largement déterminé par les effecteurs, qui sont des protéines et des métabolites secondaires élaborées par les agents pathogènes et qui interagissent directement avec les plantes pour augmenter leur virulence. Les pertes agricoles dues à ces agents pathogènes sont considérables chaque année, ce qui nécessite le recours à diverses stratégies de lutte pour y faire face (Collmer et *al.*, 2009 ; Hogenhout et *al.*, 2009).

3.2. L'espèce *Aspergillus Flavus*

Aspergillus flavus est un pathogène opportuniste végétal et animal, connu pour sa production de l'un des cancérigènes naturels les plus puissants (Payne et *al.*, 2006).

3.2.1. Taxonomie

Traditionnellement, la classification d'*Aspergillus flavus* et de ses téléomorphes associés dépendait principalement de caractéristiques distinctives dans leur apparence et leurs modes de croissance (Hedayati et *al.*, 2007).

Selon Hedayati et *al.*, 2007 ; Klich, 2007, la classification d'*Aspergillus flavus*

- **Royaume** : Champignons,
- **Embranchement** : Ascomycota,

- **Ordre** : Eurotiales,
- **Classe** : Eurotiomycètes,
- **Famille** : Trichocomaceae,
- **Genre** : *Aspergillus*,
- **Espèce** : *Aspergillus flavus*.

3.2.2. Potentiel toxigène

Les espèces d'*Aspergillus flavus* et *Aspergillus parasiticus* sont les principaux agents responsables de la contamination des cultures par les aflatoxines avant et après la récolte. Le terme « Aflatoxine » dérive de « toxine d'*Aspergillus flavus* » (Hedayati et al., 2007).

Les mycotoxines sont des substances métaboliques secondaires fongiques potentiellement dangereuses pour les êtres humains et les animaux. Parmi au moins 16 toxines structurellement similaires, les Aflatoxines B1, B2, G1 et G2 sont les plus importantes. L'aflatoxine B1 revêt une importance particulière en tant que cancérogène hépatique naturel le plus toxique et puissant. En plus de ces composés, *Aspergillus flavus* peut également synthétiser d'autres substances toxiques telles que la stérigmatocystine, l'acide cyclopiazonique, l'acide kojique, l'acide β -nitropropionique, l'aspertoxine, l'aflatrem, la gliotoxine et l'acide aspergillique (Hedayati et al., 2007 ; Tabuc, 2007).

3.2.3. Pouvoir pathogène

Pouvoir pathogène d'*Aspergillus flavus* : Bien qu'*Aspergillus flavus* puisse se développer sur une variété de cultures et de produits alimentaires, il pose principalement problème sur le maïs, les graines de coton, les arachides et les fruits à coque. Ce champignon est connu pour sa capacité agressive à causer la pourriture des stocks et à produire de l'aflatoxine dans les graines et les céréales contaminées. Cependant, les infections par *Aspergillus flavus* et la contamination par les aflatoxines surviennent souvent avant la récolte. Les niveaux d'aflatoxines sont rigoureusement surveillés dans les produits alimentaires, et même une petite infection avant la récolte peut entraîner le rejet de toute la récolte. Bien que la contamination avant la récolte ait été observée dans plusieurs produits, la plupart des études sur le processus d'infection ont été menées sur la pourriture de l'épi *Aspergillus flavus* sur le maïs (Scheidegger et Payne, 2003).

3.3. L'espèce *Aspergillus niger*

Ce champignon présente une croissance rapide, se développant en seulement 2 à 3 jours sur des milieux de culture conventionnels tels que les géloses au malt et Sabouraud. Bien qu'il préfère une température de croissance entre 25 et 30 °C, il peut tolérer des températures allant jusqu'à 42 °C. Les colonies d'*Aspergillus niger* commencent par être granuleuses et blanches, puis deviennent jaunes et finalement noires à maturité. Le revers des colonies peut être incolore ou jaune pâle. Sur le milieu Czapek, *Aspergillus niger* produit des colonies avec un mycélium blanc ou jaune et un revers souvent incolore (Tabuc, 2007).

3.3.1. Taxonomie

Selon (Abarca et al., 2003) la classification d'*Aspergillus niger*

- **Royaume** : Champignons,
- **Embranchement** : Ascomycota,
- **Ordre** : Eurotiales,
- **Classe** : Eurotiomycètes,
- **Famille** : Trichocomaceae,
- **Section** : Nigri,
- **Genre** : *Aspergillus*,
- **Espèce** : *Aspergillus niger*.

3.3.2. Potentiel toxinogène

Aspergillus niger est généralement reconnu comme un champignon non pathogène qui se trouve couramment dans la nature. Les humains sont régulièrement exposés à ses spores sans présenter de symptômes de maladie.

Cependant, dans des cas exceptionnels, *Aspergillus niger* peut coloniser le corps humain en tant qu'opportuniste pathogène, généralement chez des patients ayant des antécédents de maladies graves ou de traitement immunosuppresseur (Abarca et al., 2003).

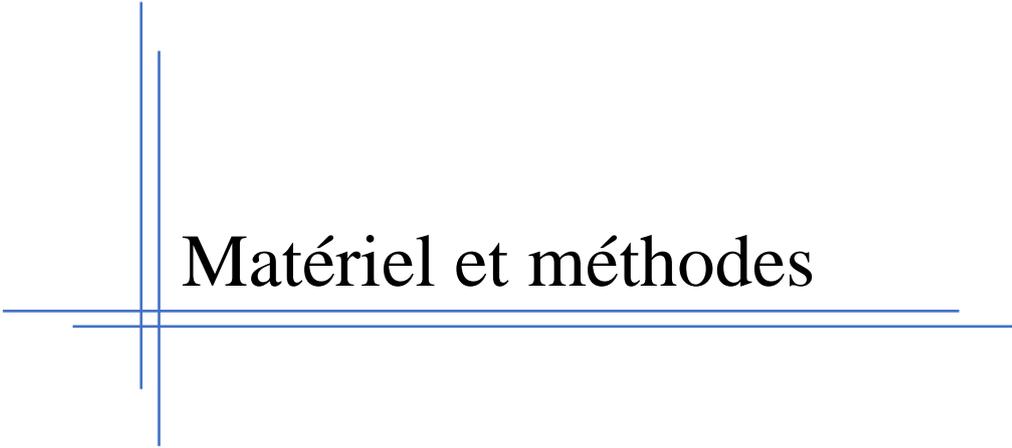
3.3.3. Pouvoir pathogènes

Certains types d'*Aspergillus* peuvent devenir pathogènes dans des circonstances favorables, telles que des conditions locales (comme les cavités tuberculeuses, les cancers bronchopulmonaires, les broncho-pneumopathies chroniques obstructives, les emphysèmes, la mucoviscidose) ou des conditions générales (comme les corticothérapies prolongées, les hémopathies malignes, les chimiothérapies immunosuppressives, le SIDA).

Aspergillus niger est peu fréquent chez les individus immunodéprimés ; cependant, chez les personnes non immunodéprimées, il peut causer des aspergilloses, des otites et des sinusites. De plus, il peut être responsable d'infections cutanées, pulmonaires et systémiques (Tabuc, 2007).

Etude expérimentale





Matériel et méthodes

Afin de mettre en évidence d'éventuelles activités antifongiques de l'extrait d'ail sur *Aspergillus flavus* et *Aspergillus niger*, une étude est effectuée durant la période de 15 janvier à 2 mai. Il est à noter que cette étude a été réalisée au sein de laboratoires de Mycologie, Biotechnologie et de l'activité microbienne (Université des Frères Mentouri, Constantine1, Algérie).

1. Matériel végétal

L'ail choisi provient de la commune de Teleghma, wilaya de Mila sous forme de bulbes frais. L'étude de l'activité antifongique a été effectuée sur l'extrait brut et aqueux des bulbes d'ail.



Figure 8 : Bulbe d'ail (Mignon L, 2022).

2. Microorganismes utilisés

Deux souches phytopathogènes ont été utilisées : il s'agit d'*Aspergillus flavus* (LN482517.1) et *Aspergillus niger* (KY566164.1), fournie par Mme Zaamouchi (laboratoire de Mycologie Biotechnologie et de l'activité microbienne).

Elles y ont été isolées, purifiées et identifiées par PCR et par MALDI-TOF MS préalablement.

2.1. Réactivation des souches

Les souches d'*Aspergillus flavus* et d'*Aspergillus niger* conservées dans des cryobilles sont repiquées sur le milieu PDA (**voir l'annexe**) additionné d'antibiotique afin d'éliminer les bactéries et incubées pendant 7 jours à 30 °C afin de vérifier leur pureté.

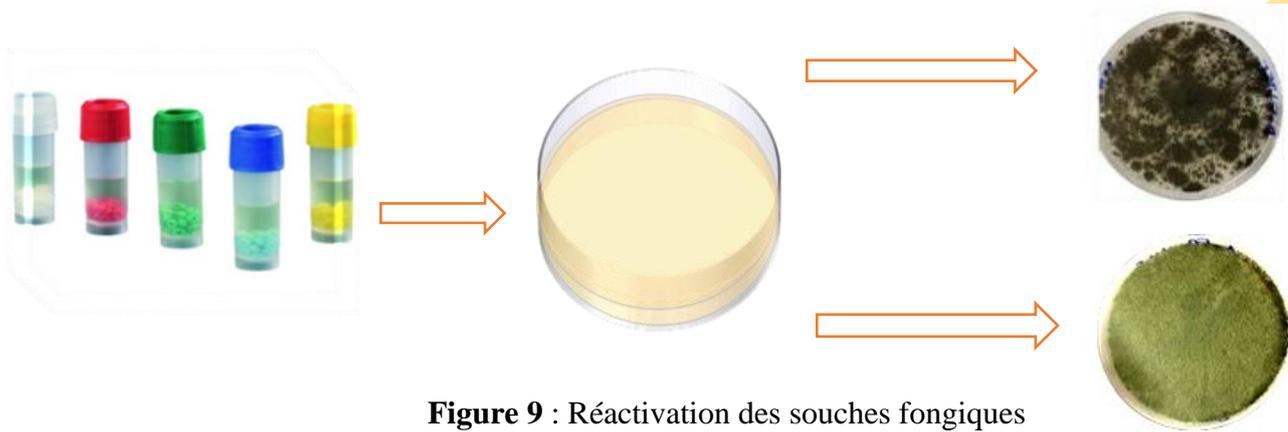


Figure 9 : Réactivation des souches fongiques

2.2. Mise en évidence de la pureté des souches fongiques

Afin de contrôler l'identité de nos deux souches, *Aspergillus flavus* (LN482517.1) et *Aspergillus niger* (KY566164.1), une observation macroscopique des colonies sur milieu de culture et microscopique à l'objectif $\times 40$ ont été effectuées.

2.2.1. Etude macroscopique

Elle est effectuée par observation des caractères culturels sur les différents milieux de culture : vitesse de croissance, couleurs des colonies et variation des couleurs au cours du temps, couleurs du revers des colonies, texture de la surface... etc (Botton *et al.*, 1990).

2.2.1.1. *Aspergillus flavus*

La croissance du champignon est rapide sur les milieux de culture conventionnels tels que les géloses au malt et Sabouraud à des températures comprises entre 22 et 25 °C. La température optimale pour sa croissance est de 37 °C (Tabuc, 2007).

Les colonies présentent une texture duveteuse à poudreuse, initialement blanche, évoluant vers le jaune puis le vert-jaune. Le revers de ces colonies est dépourvu de coloration (Tabuc, 2007 ; Zaamouchi, 2019).



Figure 10 : Caractère macroscopique d'*Aspergillus flavus* (Joya, 2019).

2.2.1.2. *Aspergillus niger*

Elle est effectuée par observation des caractères culturaux sur les différents milieux de culture : vitesse de croissance, couleurs des colonies et variation des couleurs au cours du temps, couleurs du revers des colonies, texture de la surface... etc (Botton *et al.*, 1990).



Figure 11 : Aspect macroscopique d'*Aspergillus niger* (Tabuc, 2007).

2.2.2. Etude microscopique

L'examen microscopique d'une colonie fongique se fait par la technique de scotch qui consiste à adhérer à l'aide d'un bout de scotch une fraction mycélienne à partir d'une culture jeune et à la coller sur une lame contenant quelques gouttes de lactophénol (Chabasse, 2002). Généralement, un examen à l'objectif $\times 40$ est suffisant pour mettre en évidence la plupart des éléments importants de diagnostic (Cahagnier et Richard-Mollard, 1998). L'observation microscopique de moisissures repose sur des caractéristiques telles que : hyphes cloisonnés ou non, type et apparence du système sporal, caractéristiques de la spore asexuée (couleur, taille, septation), etc (Guiraud, 2003).

2.2.2.1. *Aspergillus flavus*

Les têtes aspergillaires radiales d'*Aspergillus flavus* sont présentes. Le mycélium est septé et porte de nombreux conidiophores dressés et non ramifiés qui se terminent par des vésicules. Les vésicules sont sphériques. Les phialides se forment sur les métules et les conidies sont sphériques, de couleur vert pâle (Zaamouchi, 2019).

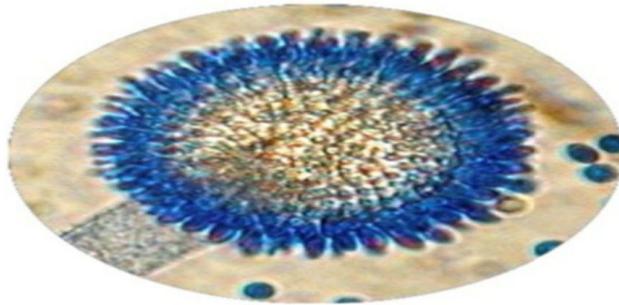


Figure 12 : Aspect microscopique d'*Aspergillus flavus* (Joya, 2019).

2.2.2.2. *Aspergillus niger*

Mycélium cloisonné. Les têtes conidiennes, bisériées, radiées, noires à maturité, les vésicules sont globuleuses. Les conidies sont habituellement globuleuses de couleur brune (Zaamouchi, 2019).

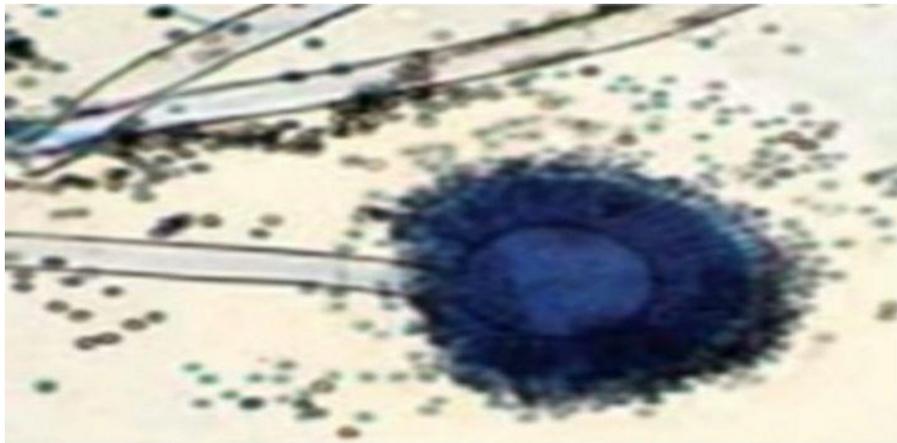


Figure 13 : Aspect microscopique d'*Aspergillus niger*. (Tabuc, 2007).

2.3 Préparation des extraits

2.3.1. L'extrait brut (jus de l'ail)

Pour préparer le jus pur, les bulbes d'ail frais sont découpés en petits morceaux, puis broyés au mixeur ; le broyat obtenu est ensuite soumis à la pression (à la main) puis filtré par papier Wattman n° 4 (Manacer, 2019).



Figure 14 : Extrait brut de l'ail

2.3.2. L'extrait aqueux

2.3.2.1. Préparation de la poudre d'ail

Après nettoyage des bulbes d'Ail, on les débarrassa de toutes leurs enveloppes ; les tranches fines de gousse d'ail ont été étalées sur une assiette en aluminium, puis ont subi un séchage naturel à l'air libre pendant 15 à 20 jours. Après le séchage, le matériel végétal a été broyé à l'aide d'un broyeur électrique afin d'obtenir une poudre fine.



Figure 15 : La poudre d'ail.

2.3.2.2. Préparation de l'extrait aqueux

200 ml d'eau physiologique stérile bouillante à 100 °C ont été ajoutés à 10 g de la poudre d'ail préalablement préparée sous agitation magnétique pendant 30 min. Le mélange est refroidi puis filtré sur un coton hydrophile et papier Wattman n° 4 (Manaceur, 2019).

L'extrait aqueux est préparé le jour même de l'expérience, car il est instable.

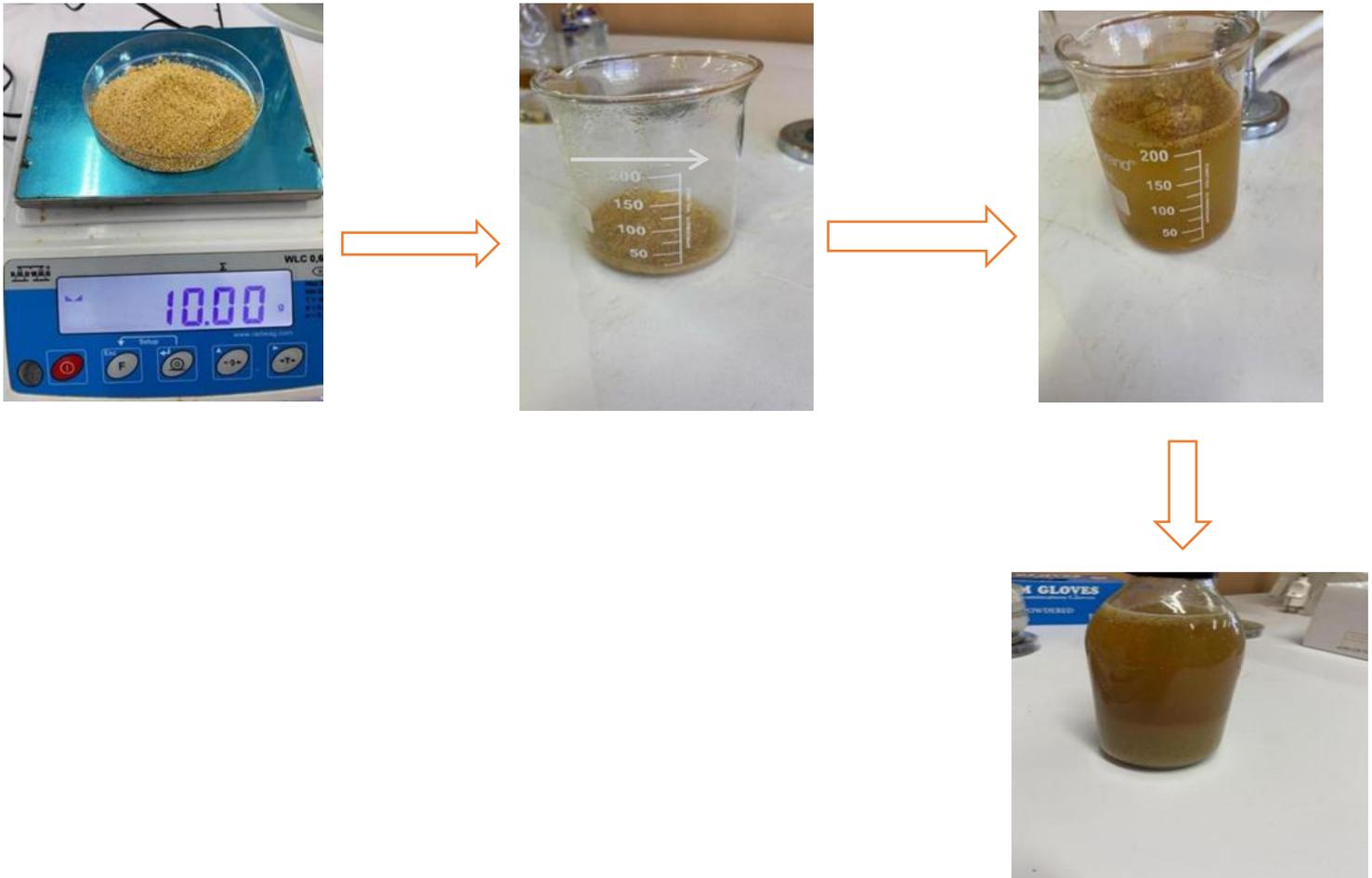


Figure 16 : Préparation de l'extrait aqueux.

2.4. Préparation de l'inoculum

Les souches fongiques d'*Aspergillus flavus* et d'*Aspergillus niger* sont ensemencées sur le milieu de culture PDA (Potato Dextrose Agar) (voir l'annexe) additionné d'antibiotiques et incubées 7 jours à 30 °C afin d'optimiser la croissance des champignons. Une fois la période d'incubation terminée, on procède à la préparation des suspensions sporales par prélèvement des colonies à l'aide d'une pipette Pasteur stérile. On racle délicatement quelques colonies

bien isolées et identiques de chacune des souches fongiques à tester. La pipette Pasteur contenant les colonies est ensuite déchargée dans 9 ml d'eau physiologique à 0.9 % de NaCl stérile (voir l'annexe). Les tubes contenant les colonies des deux souches sont additionnés de 2 à 3 gouttes de Tween 20 comme un agent émulsifiant pour aider les conidies à se disperser. Les suspensions sont alors bien homogénéisées à l'aide d'un vortex pour obtenir une répartition uniforme des cellules fongiques dans le milieu liquide. Les suspensions ainsi préparées sont prêtes à être utilisées pour les tests ultérieurs.



Figure 17 : Préparation de l'inoculum.

2.4.1 Détermination de la concentration de l'inoculum par turbidimétrie

On agite les suspensions sporales préalablement préparées au vortex pendant quelques secondes. On réalise une première lecture de la densité des suspensions à l'aide d'un spectrophotomètre. La DO, lue à 625 nm, doit être comprise entre 0,08 et 0,1 ce qui correspond à 106 UFC/ml. Lorsqu'une des valeurs observées à la première lecture n'est pas comprise dans l'intervalle, elle est ajustée par l'addition de quelques millilitres d'eau physiologique stérile ou de colonies. L'inoculum est utilisé dans les 15 minutes qui suivent sa préparation.

2.5. Mesure de l'activité antifongique

L'évaluation de l'activité antifongique implique généralement des tests *in vitro* pour déterminer l'efficacité d'un agent antifongique contre un champignon spécifique. Ces tests peuvent inclure des méthodes de diffusion en gélose, des tests de dilution en série ou des tests de micro dilution en plaque. Les résultats sont souvent interprétés en fonction de la concentration minimale fongicide (CMF), qui indique la plus faible concentration d'agent antifongique nécessaire pour inhiber ou tuer la croissance fongique.

2.5.1. Évaluation de l'activité antifongique de l'extrait brut et aqueux de l'ail sur *Aspergillus flavus* et *Aspergillus niger*

La méthode de diffusion par disques et par puits sont suivies pour tester l'effet antifongique de l'extrait brut et aqueux de l'ail contre les souches fongiques (*Aspergillus flavus* et *Aspergillus niger*). Ces deux méthodes sont rapportées par plusieurs auteurs (Pal et Platt, 1994).

2.5.1.1. Méthode de diffusion par disque

Cette méthode de diffusion par diffusion, consiste à préparer des disques stériles de 5 mm de diamètre, imbibés avec 5 µl d'extrait. Un disque supplémentaire est réservé pour le témoin négatif (eau distillée stérile) chargé par le même volume. Puis de déposer 3 à 4 disques sur la surface de gélose préalablementensemencée par écouvillonnage. Avec la suspension sporale du microorganisme-test (*Aspergillus flavus* ou *Aspergillus niger*). Pour chaque traitement, trois répétitions ont été effectués. Les boîtes sont fermées et ensuite incubées sept jours à 30 °C. L'antifongique diffuse dans la gélose créant une zone d'inhibition de croissance du germe autour du disque. En fonction du diamètre de cette zone d'inhibition, les souches peuvent être

classées en sensibles (aucune pousse), intermédiaires (pousse dans la cupule faiblement dosée en antifongique) ou résistantes (pousse dans les deux cupules) (Bourouda, 2010).

L'halo clair autour du disque signifie que les microbes n'ont pas pu se développer. Le diamètre de la zone d'inhibition est mesuré en mm et il est proportionnel à la sensibilité de nos souches à l'extrait d'ail. (Benkeblia, 2004 ; Hanif et *al.*, 2011).

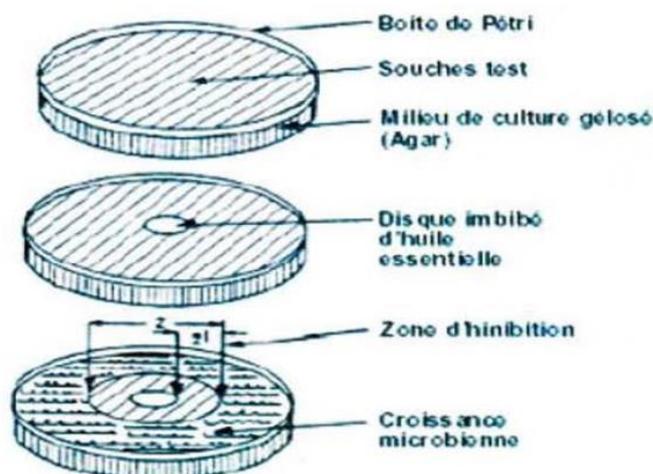


Figure 18 : Illustration de la méthode de diffusion par disques. (EBHE).



Figure 19 : Méthode de diffusion par disques

2.5.1.2. Méthode de diffusion par puits

La technique de diffusion par puits est similaire à la méthode de diffusion par disque, mais cette dernière est remplacée par des puits creusés stérilement sur le milieu ensemencé.

La technique consiste à creuser à l'aide des pipettes pasteur stériles trois à quatre puits à la surface de gélose PDA (voir l'annexe) additionnée d'antibiotique préalablementensemencée par la suspension sporale par écouvillonnage. Ensuite, dans chaque puits, 100 μ L d'extrait d'ail est introduit à l'aide d'une micropipette. Une boîte de Pétri supplémentaire est réservée pour le témoin négatif (puits chargés avec l'eau distillée stérile par le même volume). Pour chaque traitement, trois répétitions ont été effectuées. Les boîtes sont fermées et ensuite incubées 6 jours à 30 °C. L'absence de la croissance mycélienne se traduit par la formation d'un halo clair autour des puits, dont le diamètre est mesuré à l'aide d'une règle en (mm) et dépend de la sensibilité à l'extrait d'ail. (Wan et *al.*, 1998 ; Mnayer, 2014).

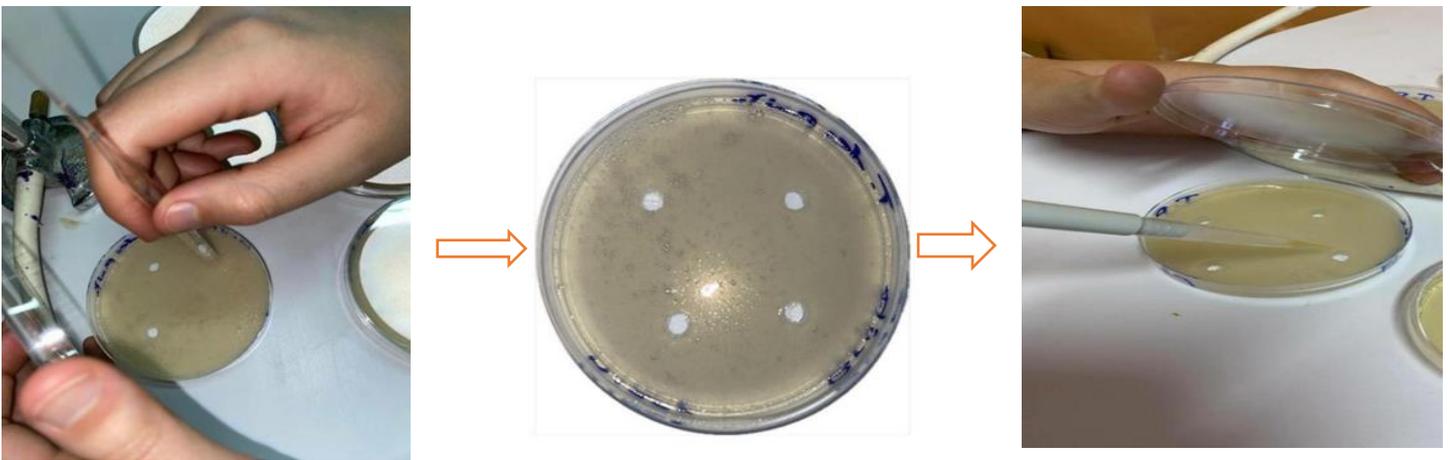
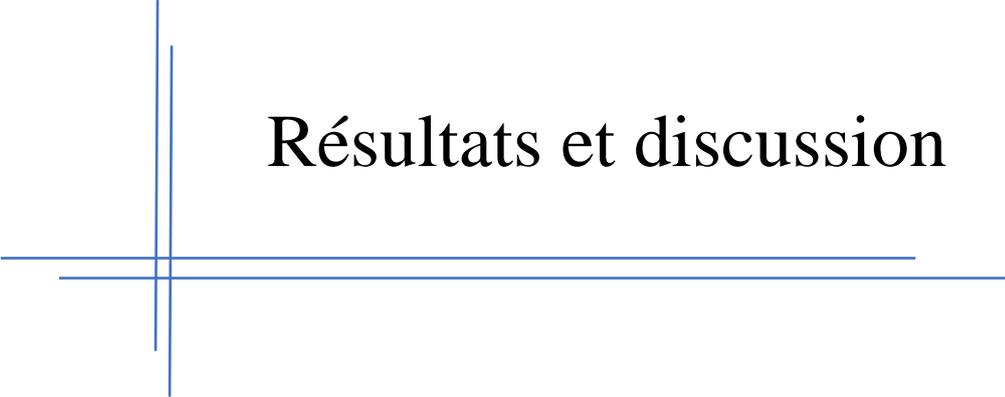


Figure 20 : Méthode de diffusion par puits.



Résultats et discussion

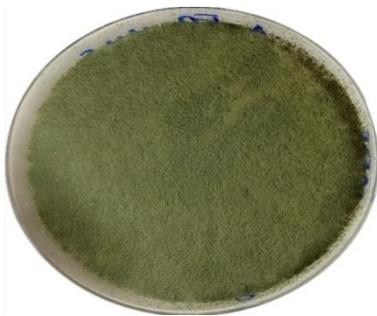
3. Mise en évidence de la pureté des souches fongiques

La vérification de la pureté d'une souche fongique implique une série des méthodes microbiologiques comme l'étude macroscopique et microscopique, pour s'assurer que la culture ne contient qu'un seul type de champignon.

3.1. *Aspergillus flavus*

3.1.1.1. Étude macroscopique

Cela inclut l'inspection visuelle des cultures fongiques sur différents milieux de culture.



« Surface de la boîte »



« Revère »

Figure 21 : Identification macroscopique d'*Aspergillus flavus*.

- Milieu de culture : PDA (voir l'annexe)
- La texture : poudreuse
- La couleur de la surface : verte
- La couleur du revère : incolore
- La vitesse de croissance : *Aspergillus flavus* a une croissance relativement rapide 3 à 5 jours à des températures optimales 30 °C.

3.1.1.2. Étude microscopique

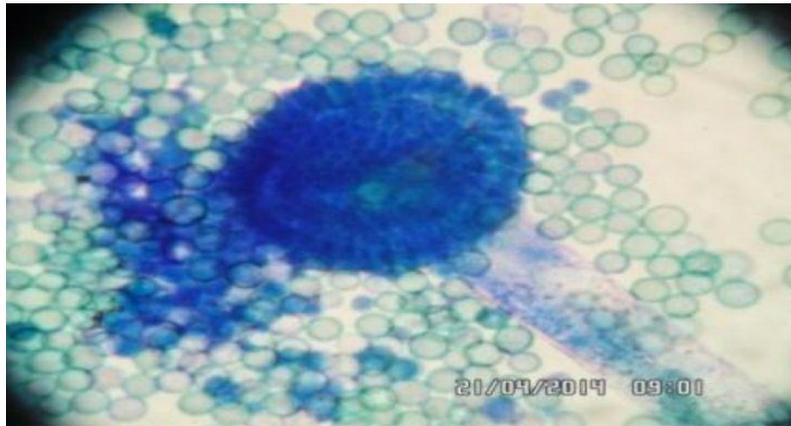


Figure 22 : identification microscopique d'*Aspergillus flavus*

Au microscope

- Têtes aspergillaires : les têtes asperillaires d'*Aspergillus flavus* sont radiées. Elles sous formes de structures sphériques.
- Le Mycélium : septé et porte de nombreux conidiophores dressé et non ramifiés qui se termine par des vésicules.
- Les vésicules : sont de forme sphérique et elles supportent les phialides.
- Phialides : les phialides se forment sur les métules
- Conidies : sont sphériques.

3.1.2. *Aspergillus niger*

3.1.2.1. Étude macroscopique



« Surface »



« Revèrs »

Figure 23 : Identification macroscopique recto verso d'*Aspergillus niger*.

- Milieu de culture : PDA (voir l'annexe)
- La texture : poudreuse
- La couleur recto : noir

- La couleur verso : incolore
- La vitesse de croissance : *Aspergillus niger* a une croissance rapide 3 à 5 jours à des températures optimales 30 °C

3.1.2.2. Étude microscopique

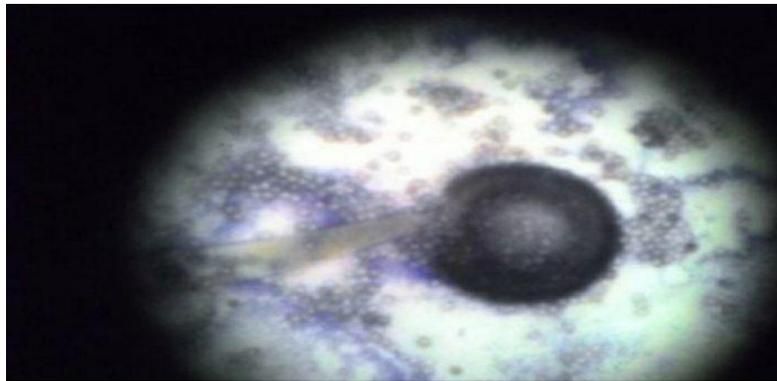


Figure 24 : Identification microscopique d'*Aspergillus niger*.

Au microscope

- Les Têtes conidiennes : sont sphérique, radiées et souvent bisériées.
- Mycélium : cloisonné
- Les vésicules : sont de formes globuleuses
- Les conidies : sont globuleuses

3.2. Détermination de l'activité antifongique

Nous avons évalué l'activité antifongique de l'ail contre les deux champignons étudiés en utilisant les méthodes de diffusion par disques et par puits.

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau ci-dessous

Tableau 3 : zones d'inhibition (mm)

| | | Moyennes (mm) | | | Ecart-type | | |
|------------------------------------|---------------------------|---------------|----------------|--------|--------------|----------------|--------|
| | | Extrait brut | Extrait aqueux | Témoin | Extrait brut | Extrait aqueux | Témoin |
| Technique de diffusion par disques | <i>Aspergillus flavus</i> | 25 mm | 22 mm | 0 mm | 0,816496581 | 0,816496581 | 0 |
| | <i>Aspergillus niger</i> | 22 mm | 20 mm | 0 mm | 0,816496581 | 0,816496581 | 0 |

| | | | | | | | |
|---|---------------------------|-------|-------|------|-------------|-------------|---|
| Technique de diffusion par puits | <i>Aspergillus flavus</i> | 27 mm | 23 mm | 0 mm | 0,816496581 | 0,816496581 | 0 |
| | <i>Aspergillus niger</i> | 23 mm | 22 mm | 0 mm | 0,816496581 | 0,816496581 | 0 |

3.2.1. Activités antifongiques estimées par la méthode de diffusion par disques

Concernant l'activité antifongique de l'ail évaluée par la méthode de diffusion par disques, les diamètres d'inhibition obtenus après 5 jours d'incubation révèlent une variabilité à la fois entre les deux champignons et entre les différents extraits, comme illustré dans le tableau 3.

3.2.1.1. Activité antifongique contre *Aspergillus flavus*

La moyenne des zones d'inhibition de l'extrait brut mesuré : 25 mm (25+24+26/3)

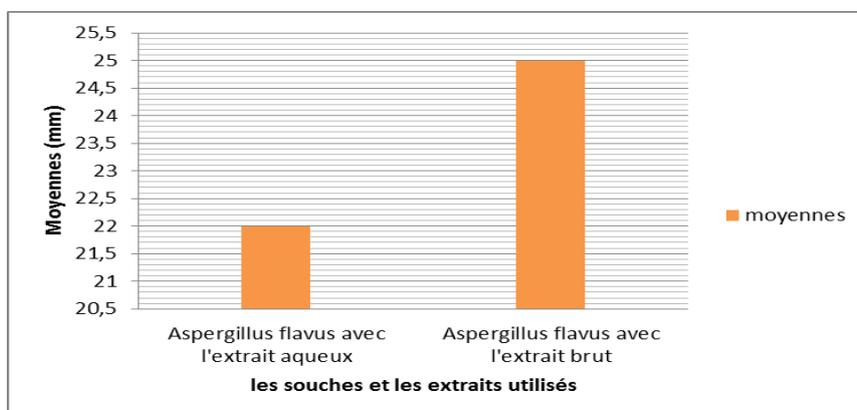
La moyenne des zones d'inhibition de l'extrait aqueux mesurée : 22 mm (22+23+21/3)

Le tableau 3 montre les résultats d'une étude sur l'activité inhibitrice de l'ail contre le champignon *Aspergillus flavus*. Les moyennes des zones d'inhibition, exprimées en millimètres (mm), obtenues après trois répétitions (R1, R2, R3).

Les résultats suggèrent que l'extrait brut d'ail génère des zones d'inhibition significatives, avec une moyenne de 25 mm. Quant à l'extrait aqueux d'ail, il en a résulté des zones d'inhibition avec une moyenne de 22 mm.

Ces observations laissent confirmer que les deux extraits d'ail présentent une activité antifongique contre *Aspergillus flavus*.

Le témoin n'a démontré aucune activité inhibitrice, avec des mesures de 0 mm pour chaque répétition, et une moyenne de 0 mm.



Figures 25 : l'effet inhibiteur de l'extrait aqueux et l'extrait brut de l'ail contre *Aspergillus flavus* pour la technique de diffusion par disques.

3.2.1.2. Activité antifongique contre *Aspergillus niger*

La moyenne des zones d'inhibition de l'extrait brut mesuré : 22 mm (22+23+21/3)

La moyenne des zones d'inhibition de l'extrait aqueux mesurée : 20 mm (20+21+19/3).

Conformément aux informations fournies dans le tableau 3, l'évaluation de cette activité a été également effectuée en mesurant le diamètre des zones d'inhibition autour de la souche de moisissure utilisé.

Les mesures des diamètres de la zone d'inhibition ont indiqué un résultat de 22 mm pour l'extrait brut d'ail, tandis que celui de l'extrait aqueux était de 20 mm (Figure 26).

Ces observations suggèrent que les deux extraits d'ail démontrent une activité antifongique contre *Aspergillus Niger*.

Les résultats du témoin ont montré une absence totale d'activité inhibitrice, avec toutes les mesures évaluées à 0 mm pour chaque répétition, et une moyenne de 0 mm

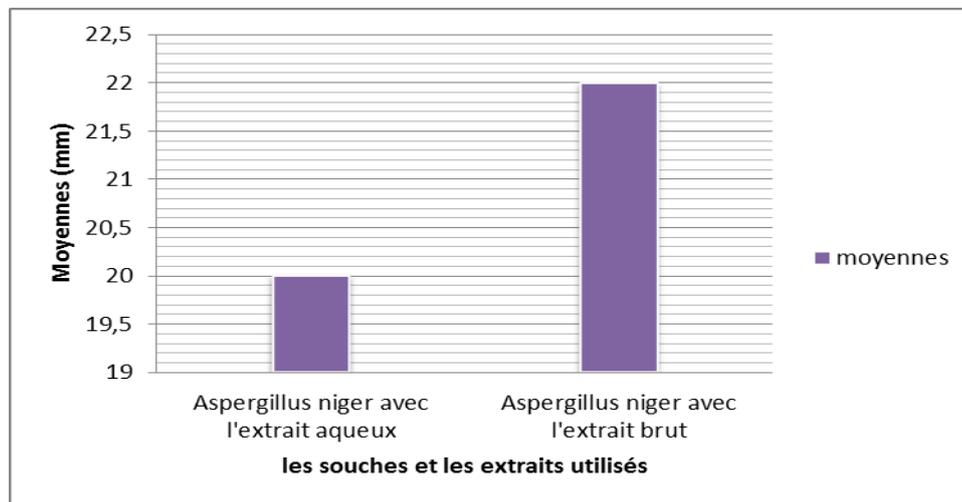


Figure 26 : Comparaison entre les deux souches

II.2. Activité antifongique estimées par la méthode de diffusion par puits.

D'après les données exposées dans le tableau 3, l'évaluation de l'activité antifongique des deux extraits par la méthode de diffusion par puits révèle une diversité des diamètres d'inhibition après une incubation de 5 jours. Cette variabilité est observée dans le contexte des deux souches de champignons testées, à savoir *Aspergillus niger* et *Aspergillus flavus*.

3.2.2.1. Activité antifongique contre *Aspergillus flavus*

- La moyenne des zones d'inhibition de l'extrait brut mesuré = 27 mm (27+28+26/3)
- La moyenne des zones d'inhibition de l'extrait aqueux mesuré= 23 mm (23+22+/3)

Le tableau 3 montre que les deux extraits d'ail ont une activité antifongique contre *Aspergillus flavus*. L'extrait brut d'ail présente une activité plus importante que l'extrait aqueux, avec un diamètre moyen de la zone d'inhibition de 27 mm. L'extrait aqueux a également une activité notable, avec un diamètre moyen de la zone d'inhibition de 23 mm.

L'analyse des résultats du témoin a révélé une absence totale d'activité inhibitrice, avec des mesures de zones d'inhibition nulles 0 mm.

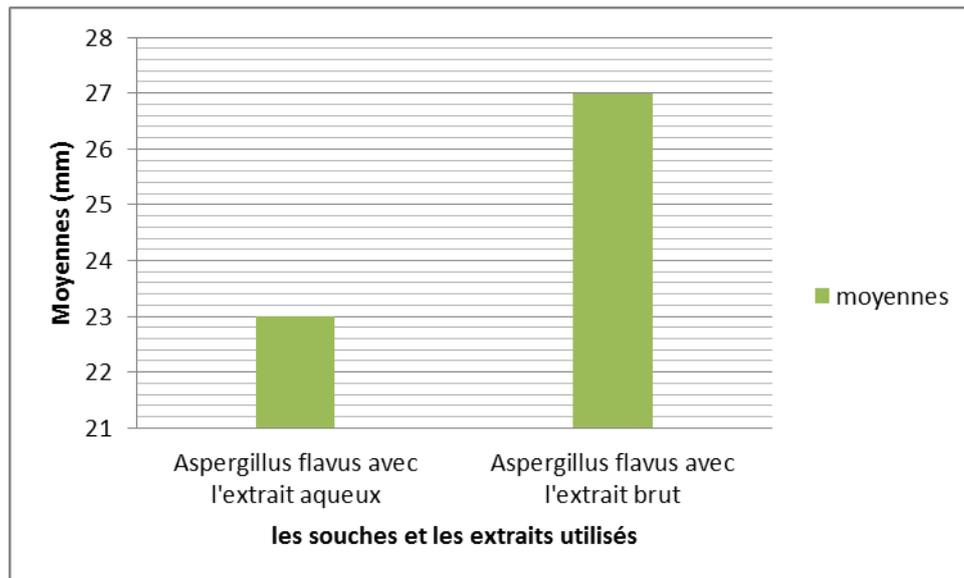


Figure 27 : l'effet inhibiteur de l'extrait aqueux et l'extrait brut de l'ail contre *Aspergillus flavus* par la technique de diffusion par puits.

3.2.2.2. Activité antifongique contre *Aspergillus niger*

L'analyse du Tableau 3 révèle que l'extrait brut d'ail a induit des zones d'inhibition avec une taille moyenne de 23 mm, ainsi que l'extrait aqueux d'ail qui donne des zones d'inhibition de diamètre 22 mm. Cela indique que les deux extraits d'ail à une activité antifongiques contres *Aspergillus niger*.

L'absence d'effet inhibiteur du témoin a été confirmée par des mesures de zones d'inhibition nulles (0 mm) pour chaque répétition.

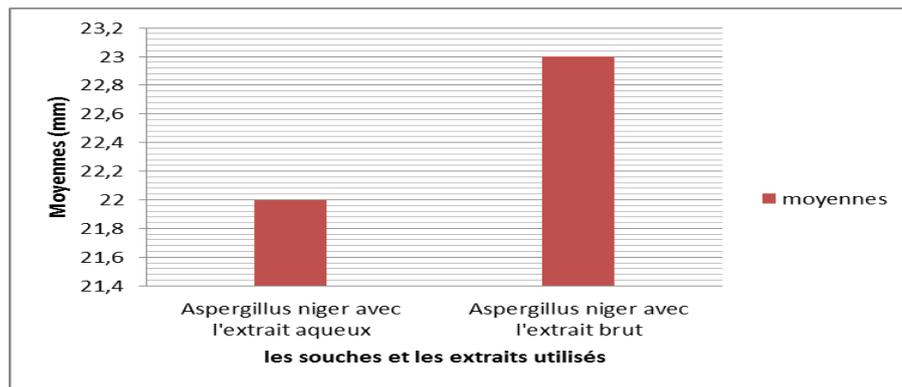


Figure 28 : l'effet inhibiteur de l'extrait aqueux et l'extrait brut de l'ail contre *Aspergillus niger* par la technique de diffusion par puits.

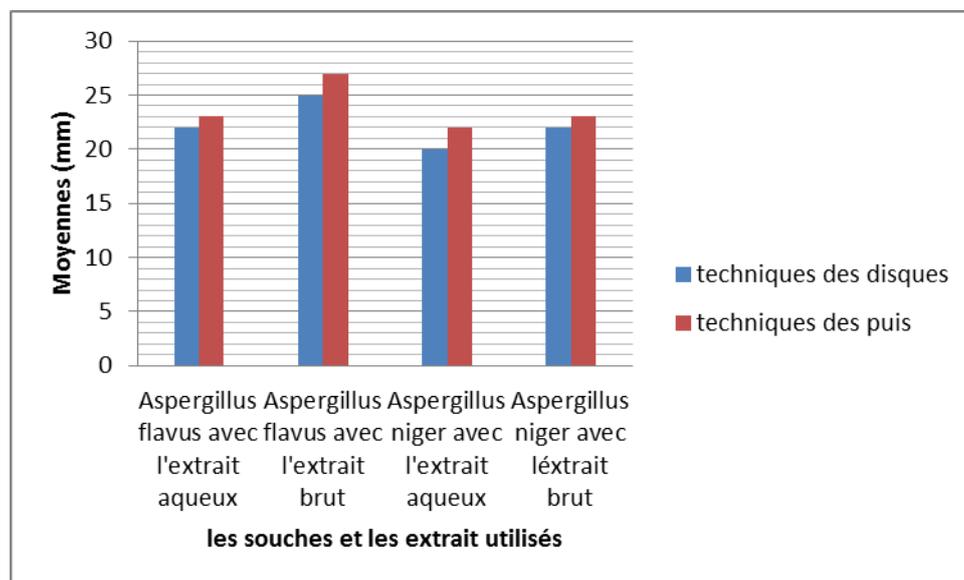


Figure 29 : étude comparative des diamètres des zones d'inhibition, en présence différents extraits d'ail sur *Aspergillus flavus* et sur *Aspergillus niger* (technique de diffusion par disques et par puits).

La figure 29 représente une comparaison entre les techniques de diffusion par disques et par puits pour évaluer le degré d'inhibition des extraits d'ail (aqueux et brut) contre deux souches testées. Les résultats sont présentés en termes de moyennes des zones d'inhibition (en mm) pour chaque combinaison de souche et d'extrait.

Pour les deux souches de champignons (*Aspergillus flavus* et *Aspergillus niger*), l'extrait brut d'ail à montrer une grande efficacité par rapport à l'extrait aqueux. Cela pourrait être dû à une concentration plus élevée des composés actifs dans l'extrait brut.

Les techniques de diffusion par puits révèle des zones d'inhibition légèrement plus grandes par rapport aux techniques de diffusion par disques, indépendamment du type d'extrait utilisé.

Le développement de nos résultats pour les deux souches utilisées

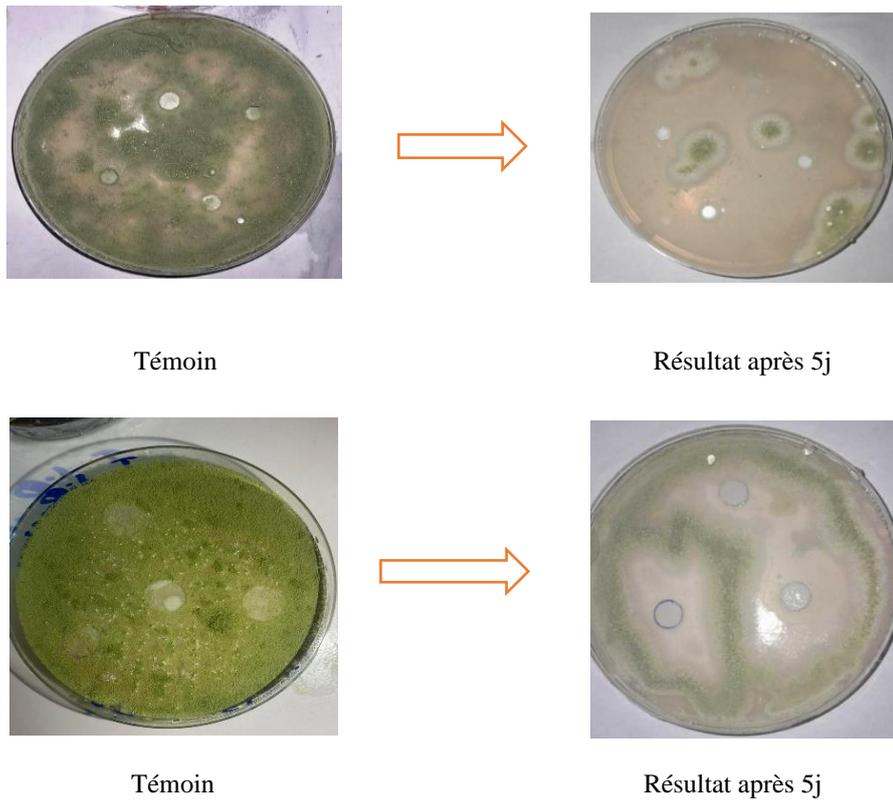


Figure 30 : développement d'*Aspergillus flavus* méthode de diffusion par puits et par disques

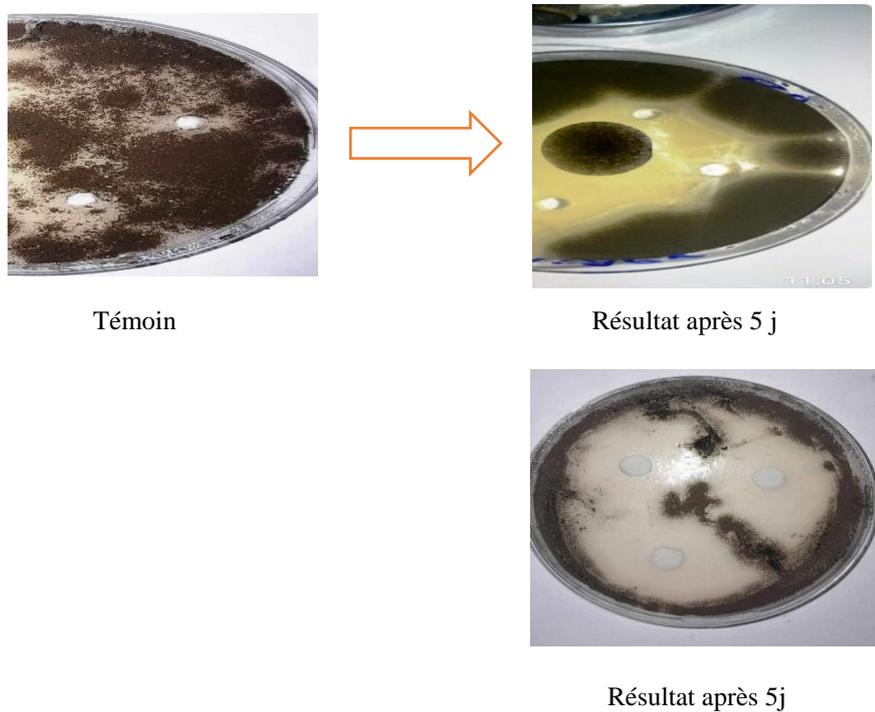


Figure 31 : Le développement d'*Aspergillus niger* pendant 5 jours, la technique de diffusion par disques

Déscussion

L'ail (*Allium sativum*) est une plante largement utilisée non seulement pour ses qualités culinaires, mais aussi pour ses nombreuses propriétés antimicrobiennes, antioxydantes, notamment son activité antifongique. (Reuter *et al.*, 1996)

De nombreuses études ont démontré l'efficacité de l'ail contre des champignons tels que *Candida albicans*, *Aspergillus spp.* Par exemple, l'étude de (Toba *et al.*, 2024) et l'étude de (Rayhan *et al.*, 2007).

L'ail est utilisé comme épice, aliment et dans la médecine populaire depuis l'Antiquité. Il a été démontré qu'elle possède des propriétés insecticides, antimicrobiennes, antiparasitaires et antitumorales. (Moore et Atkins, 1977) ; (Block, 1985).

De plus, l'extrait a montré un effet d'inhibition de ma croissance *in vitro* contre un grand nombre de champignons et avoir un effet protecteur contre les infections fongiques *in vivo*. (Appleton et tansey, 1975) ; (Prasad et Sharma, 1982).

Les résultats obtenus dans cette étude démontrent une activité antifongique notable des extraits d'ail, particulièrement des extraits bruts, contre *Aspergillus flavus* et *Aspergillus niger*. Ces résultats sont en corrélation avec ceux trouvés par Pal et Platt (1994), qui ont également observé une activité antifongique significative de l'extrait d'ail contre diverses espèces d'*Aspergillus*.

Dans l'étude de Pal et Platt (1994), les auteurs ont utilisé des extraits d'ail pour tester leur effet antifongique contre les espèces d'*Aspergillus* impliquées dans l'otomycoses. Les techniques utilisées comprenaient des méthodes similaires de diffusion sur disque et de diffusion en puits. Leurs résultats ont montré que l'extrait d'ail possède une activité inhibitrice significative, ce qui est la cas de notre étude.

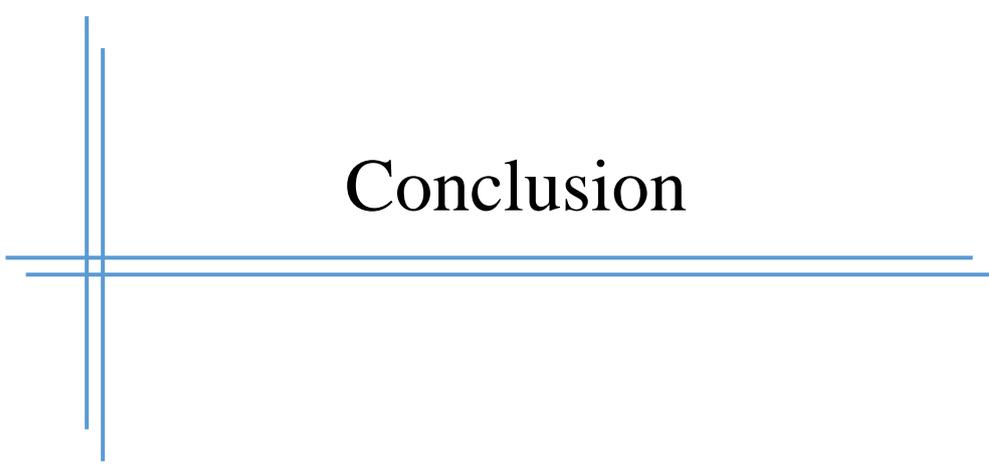
Dans cette étude, les extraits bruts d'ail ont montré des zones d'inhibition plus larges (25 mm pour *Aspergillus flavus* et 22 mm pour *Aspergillus niger*) comparées aux extraits aqueux (22 mm pour *Aspergillus flavus* et 20 mm pour *Aspergillus niger*). Ces observations indiquent que l'extrait brut est hautement efficace par rapport à l'extrait aqueux cela est du peut être à la concentration élevé du principe actif dans l'extrait bruts. Pal et Platt (1994) ont également noté une efficacité élevée des extraits bruts, attribuant cette efficacité à la concentration élevée de composés sulfurés tels que l'allicine et les ajoènes, qui sont prouvé leurs propriétés antimicrobiennes .

Les différences des résultats de l'effet inhibitrice entre les extraits peuvent également être

attribuées aux méthodes extraction et aux conditions expérimentales. Dans notre étude, nous avons standardisé les conditions de culture et d'incubation pour minimiser les variables. Johnson et al. (2019) ont montré que des variations dans les méthodes d'extraction peuvent entraîner des différences significatives dans les résultats obtenus Essawi et Srour (2000) ont également souligné l'importance de la standardisation des techniques d'extraction pour obtenir des résultats comparables et fiables .

Cette étude confirme l'effet antifongique des extraits d'ail contre les espèces d'*Aspergillus* et mise en évidence l'importance de la méthodologie dans l'obtention de résultats fiables. Les extraits bruts d'ail se sont avérés plus efficaces que les extraits aqueux, Ces conclusions sont cohérents avec les conclusions de Pal et Platt (1994).

En comparant les deux espèces, *Aspergillus flavus* montre des zones d'inhibition plus larges (27 mm et 25 mm) par rapport à *Aspergillus niger* (23 mm et 22 mm), indiquant une sensibilité accrue d'*Aspergillus flavus* à l'extrait brut et aqueux de l'ail. Ces résultats montrent ces derniers possèdent une activité antifongique significative contre les deux espèces testées, avec une efficacité légèrement supérieure contre *Aspergillus flavus*. Selon (Boukssaim et al., 2013) l'inhibition des germes dépend de leurs profils chimiques et de la structure de la membrane cellulaire.



Conclusion

La famille Allium, également connue sous le nom de genre *Allium*, appartient à la famille des Amaryllidaceae. Elle regroupe des plantes vivaces à bulbes, largement répandues dans l'hémisphère nord, particulièrement en Asie, en Europe, et en Amérique du Nord. Les membres les plus connus de cette famille comprennent l'oignon (*Allium cepa*), le poireau (*Allium porrum*) notamment l'ail (*Allium sativum*). L'ail joue un rôle multifacette dans notre vie aujourd'hui, touchant divers aspects tels que la cuisine, la santé, la culture, et même l'économie.

Au terme de cette étude, nous avons évalué l'activité antifongique de deux extraits d'ail contre deux *Aspergillus*, qu'ils sont des champignons phytopathogènes, ces derniers sont des agents pathogènes peuvent entraîner des infections des plantes, produire des mycotoxines et même des troubles immunitaires chez l'homme. Les résultats de cette recherche se sont avérés propices.

Les deux extraits utilisés ont démontré une activité antifongique remarquable contre les deux souches mentionnées, ce qui suggère la présence de composés actifs capables d'inhiber la croissance de deux espèces pathogènes fongiques. Ces résultats démontrent une forte activité antifongique cela pourrait ouvrir la voie au développement de nouveaux médicaments ou traitements naturels pour les infections fongiques attribuées à *Aspergillus flavus* et *Aspergillus niger*, offrant ainsi une alternative aux traitements conventionnels.

L'évaluation du pouvoir pathogène des deux extraits utilisés se fait par deux méthodes de diffusion sur gélose, grâce aux zones d'inhibition formées les résultats de notre étude révèlent un effet particulièrement intéressant de l'extrait brut sur les deux souches. Inversement, nous observons des résultats moins fiables pour l'extrait aqueux.

En conclusion, cette étude met en évidence le potentiel de l'extrait d'ail en tant qu'agent antifongique, enrichissant notre compréhension des applications thérapeutiques des plantes. Toutefois, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour élucider les mécanismes d'action exacts et pour confirmer ces résultats dans des conditions plus variées et pratiques.

En perspective, ce travail représente une étape préliminaire vers des études plus vastes, approfondies et abouties, qui pourraient inclure :

- Une analyse détaillée de la composition chimique de l'extrait d'ail pour identifier les composés spécifiques responsables de l'activité antifongique, on utilisant des techniques comme la chromatographie liquide à haute performance (HPLC).

- L'évaluation d'autres effets biologiques *in vitro* et *in vivo* de l'extrait d'ail et de ses composés actifs on utilisant différentes techniques.

-Une étude approfondie de l'activité antifongique de l'extrait d'ail, seul ou en combinaison avec d'autres extraits ou huiles essentielles, pour explorer les synergies potentielles. Il serait intéressant de poursuivre ces travaux sur d'autres champignons pathogènes pour confirmer ou infirmer l'efficacité de l'extrait d'ail.

- Utiliser des techniques avancées de génomique et de protéomique pour identifier les gènes et protéines fongiques affectés par l'extrait d'ail, offrant ainsi une compréhension plus profonde des mécanismes d'action.

Références Bibliographique

Référence bibliographiques

▪ A

Abarca. M. L., Accensi F., Cano J., Cabanes F.J., (2004). Taxonomy and significance of black aspergilli. *Antonie van Leeuwenhoek*, **86** : 33-49.

Appleton J. A., & Tansey M. R. (1975). Inhibition of growth of dermatophytic fungi by garlic extract. *Mycologia*, **67(5)** : 882-885p.

Amaike S., Keller N.P. (2011). *Aspergillus flavus*. *Annual review of Phytopathology*, **49** : 107-33

Ankri S, Mirelman D., (1999). Antimicrobial properties of allicin from garlic. *Microbes Infect. 1(2)* : 125-9.

Ansary J, Forbes-Hernández TY, Gil E, Cianciosi D, Zhang J, Elexpuru-Zabaleta M, Simal-Gandara J, Giampieri F, Battino M., (2020). Potential Health Benefit of Garlic Based on Human Intervention Studies: *A Brief Overview. Antioxidants (Basel)*. **9(7)** : 619.

▪ B

Bechaa B (2021). Contribution à l'étude de l'effet des prétraitements sur la conservation de l'ail. Thèse de doctorat : Université Batna 1, 233p.

Benkeblia, N. (2004). Antimicrobial activity of essential oil extracts of various onions (*Allium cepa*) and garlic (*Allium sativum*). *LWT - Food Science and Technology*, **37 (2)** : 263-268.

Bernice A. (2009). The impact of natural extracts on fungal growth. *Journal of Natural Products*, **45(2)** : 123-130p.

Block E. (1985). The chemistry of garlic and onions. *Scientific American*, **252(3)** : 114-119.

Botineau M (2010). Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs. *Journal de Botanique* [en ligne], (page consulté le 12/04/2024). https://www.persee.fr/doc/jobot_1280-8202.

Botton B., Breton A., Fevre M., Gauthier S., Guy P., and Larpent J. P. (1990). Moisissures utiles et nuisibles : Importance industrielle. Paris : Masson.

Bouhenni M., Smith J., et Brown A. (2019). Antifungal properties of natural extracts against phytopathogenic fungi. *Journal of Agricultural Research*, **45(3)**, 123-135p.

Boukeria S (2017). Etude de l'effet de la variabilité génétique de l'espèce *Allium cepa* L. et *Allium sativum* L. sur la production et l'accumulation des huiles essentielles et sur leurs effets antibactériens. Thèse de doctorat : Ecologie et génie de l'environnement. Université 8 Mai 1945 de Guelma, 185p.

Bourouda N (2010). Place de l'antifongogramme dans la prise en charge des infections fongiques. Thèse de doctorat : Faculté de médecine et de pharmacie. Université Mohammed, 202p.

▪ **C**

Cahagnier B., et Richard-Mollard D. (1998). Étude des propriétés antifongiques de l'ail contre les pathogènes des plantes. *Journal de Mycologie Agricole*, **15**(3) : 145-153p.

Chabasse D. (2002). Les champignons pathogènes chez les plantes agricoles. *Journal Mycologie Agricole*, **14**(2) :101-110p.

Colin L (2016). L'ail et son intérêt en phytothérapie. Thèse de doctorant : Pharmacie. Université de Lorraine, 102p.

Costeplane A. (2018). Effet de l'extrait d'ail sur les infections fongiques des plantes. *Revue des Sciences Agricoles*, **45**(2) : 123-134p

▪ **D**

Deboise D (2001). L'ail, histoire, culture, chimie, actions pharmacologiques utilisation. Thèse de doctorat : Université de Lille.

Djazouli A (2020). Etude comparaison de l'activité des champignons dans les sols salés et non salés. Mémoire de master : Science du sol. Université Ibn khaldoun –Tiaret, 34p.

▪ **E**

Edouard A. (1991). Contribution to ethnobotanical and floristic studies in Western Nigeria. Organization of African Unity, Scientific Technical & Research Commission.

Ekşi G., Özkan A. M. G. And Koyuncu M. (2020). Garlic and onions : An eastern tale. *Journal of Ethnopharmacology*. Vol. (253), art. No. 112675.

Essawi, T., & Srour, M. (2000). Screening of some Palestinian medicinal plants for antibacterial activity. *Journal of Ethnopharm.*

Ezeorba C., Smith J., and Doe A. (2022). Antifungal efficacy of plant extracts against common pathogens. *Journal of Plant Sciences*, **58(4)** : 321-330p.

▪ **F**

Food and Agricultural Organization (FAO). 2020. Global review of area and production of garlic.

Feng, B., Hui, R.j., Tu, Y.f., Wang, J.f., & Xuan, J.g. (2018). Garlic essential oil provides lead discharging effect on human body : An efficacy and mechanism study. *Bioactive Compounds in Health and Disease* **1** : 172-173.

▪ **G**

Gambogou, B., Ouattara, A.K., Taale, E., Karou, S.D., Ameyapoh, Y.A., & Simpure, J. (2018). Garlic as Alternative Therapy to Treat Uropathogene Bacteria in Women with Urinary Tract Infection in Lomé, Togo. *European Journal of Pharmaceutical and Medical Research* **5**, 7.

Gambogou B., Améyapoh Y., Holaly E., Gbekley. (2019). Revue sur l'ail et ses composés bioactifs. *European scientific journal*, vol. (18) :74-89.

Garnier J., Dupont P., and Martin R. (1961). Research on the effects of garlic extract on fungal growth. *Journal of Phytopathology*, **10(3)** : 45-50p.

Ghesquiere C (2016). Les bienfaits de l'ail dans les maladies cardiovasculaires. Thèse de doctorant : Pharmacie. Université de Picardie Jules Vernes UFR de pharmacie, 117p.

Goetz P., Ghédira K., (2012). Phytothérapie anti-infectieuse, Collection phytothérapie practice. Paris.

Guiraud P. (2003). Impact des pathogènes fongiques sur les cultures de blé. *Journal d'Agriculture et Environnement*, **12(3)** : 45-58p.

▪ **H**

Hafiz Suleria A.R., Butt M.S., Khalid N., Sultan S., Raza A., Aleem M., Abbas M. (2015). Garlic (*Allium sativum*) : diet based therapy of 21st century-a review. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 5(4), p : 271-278.

Hanif M. A., Al-Maskari M.Y., Al-Maskari A., Al-Shukaili A., Al-Maskari A.Y. and Al-Sabahi J. N. (2011). Essential oil composition, antimicrobial and antioxidant activities of unexplored Omani basil. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5 (5) : 751- 757.

Hedayati M.T., Pasqualotto A.C., Warn P.A., Bowyer P., Denning D.W., (2007). *Aspergillus flavus*: human pathogen, allergen and mycotoxin producer. *Journal Microbiologie*.153 : 1677-1692.

Hogenhout S. A., Van der Hoorn R. A. L., Terauchi R., et Kamoun S. (2009). Emerging concepts in effector biology of plant-associated organisms. *Journal of Phytopathology*, (47) : 293-322p

▪ J

Joshi, D., Dikshit, R., & Mansuri, S. (1987). Gastrointestinal actions of garlic oil. *Phytotherapy Research*, 1 : 140-141.

Joya M (2019). Caractérisation de la biodiversité des souches d'*Aspergillus* de la section Flavi isolées d'aliments commercialisés au Liban : approche moléculaire, métabolique et morphologique. Thèse de doctorant : Pathologie, Toxicologie, Génétique et Nutrition. Université de Toulouse., 137p.

Johnson, L., et al. (2019). Comparative Study of Aqueous and Ethan 345-355.

▪ K

Klich M.A., (2007). *Aspergillus flavus*: the major producer of aflatoxin. *Journal Blackwell publishing LTD*, 8(6) : 713-722.

Krčmár M (2008). L'ail : saveurs et vertus. Paris : Grancher. 170p.

• L

Lepoivre, P. (2003). Impact des infections fongiques sur la production agricole. *Revue de Pathologie Végétale*, 22(1) : 55-65.

▪ M

Maurice S (2014). Cultivez votre ail, Ail Québec. *Journal Jardin botanique* [En ligne], (page consulté le 12/04/2024). <http://ail.quebec/decouvrez-ail-du-quebec/cultiver-votreail/>

Manacer A. (2019). Étude de l'effet des extraits végétaux sur les infections fongiques des cultures. *Journal de Phytopathologie*, **28(4)** : 123-135p.

Mercier-fichaux B. (2016). L'ail un alicament qui a du piquant. *Journal phytothérapie* [en ligne], *vol (14)*, (15 avril 2024).

Mercier M.A (2019). Détermination génomiques de la spécialisation à l'hôte chez le champignon phytopathogène polyphage *Botrytis cinerea*. Thèse de doctorat : Biologie. Université Paris-Saclay, 133p.

Minker C (2012). Ail et autres Alliacées : un concentré de bienfaits pour votre santé, votre beauté et votre jardin. Groupe Eyrolles. 157 p.

Mnayer D. (2014). Antifungal properties of garlic extracts against crop pathogens. *Journal of Plant Pathology*, **33(2)** : 120-130p.

Moore D. M., et Atkins J. F. (1977). The development of virulence in phytopathogenic fungi. *Annual Review of Phytopathology*, (15), 437-463p.

Morrisson H. B. (1994). The useful plants of west tropical Africa : Royal Botanic gardens kew.

Moses A. Adetumbi., Benjamin H. S., (1983). *Allium sativum* (Garlic). *Medical Hypotheses*, **12** : 227_237

▪ P

Păcurar M et Krejci G. (2010). Garlic consumption and health : Food and Beverage consumption and health series. New York : Nova science publishers. 267p.

Payn G.A., Nierman W.C., Wortman J.R., Pritchard B.L., Brown D., Dean R.A., Bhatnagar D., Cleveland T.E., Mchida§ M., Yu J., (2006). Whole genome comparison of *Aspergillus flavus* and *A. oryzae*. *Journal ISHAM, Medical Mycologie*, **44** : 59-511.

Pal, S.T., & Platt, M.W. (1994). Antifungal effects of *Allium sativum* (garlic) extract against the *Aspergillus* species involved in otomycosis. Department of Microbiology, University of New Mexico, School of Medicine, Albuquerque, NM 87131, USA GWG/281.

Prasard Y., & Sharma N. (1982). Antifungal activity of garlic extract on phytopathogenic fungi. *Indian Journal of Mycology and Plant Pathology*, (12) : 160-162p.

- **R**

Reuter H.D., Koch, H.P, and Lawson, L.D. (1996). Therapeutic effects and applications of garlic and its preparations In *Garlic. The Science and Therapeutic Application of Allium sativum L. and Related Species*, 135-212p.

Reyhan I. et Korukluoglu M. (2007). Control of *Aspergillus niger* with garlic, onion and leek extract. *Journal of Biotechnology*, 6(4) : 384-387p.

- **S**

Scheidegger K.A., Payne G.A., (2015). Unlocking the Secrets Behind Secondary Metabolism: A Review of *Aspergillus flavus* from Pathogenicity to Functional Genomics. *Jornal of Toxicology*, 22(2 et 3) : 423-459.

- **T**

Tabuc C (2007). Flore fongique de différents substrats et conditions optimales de production des Mycotoxines. Thèse de doctorant : Pathologie, Mycologie, Génétique et Nutrition. Université de Bucarest., 190p.

Tarore, A., Smith, J., & Johnson, L. (2011). Propriétés antifongiques de l'ail et de ses extraits. *Journal de Phytopathologie*, 30(2) : 120-135.

Tescher M., Smith J., et Brown, A. (2005). Study on the antifungal properties of plant extracts. *Journal of Plant Pathology*, 30(2) : 150-160p.

Thierry S (2011). Etude de la diversité génétique et du pouvoir pathogène *d'Aspergillus fumigatus* et de *Chlamydomyces psittaci* chez les oiseaux. Thèse de doctorant : Microbiologie. L'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech). 210p.

Toba S. A., Salako E. A., Asarivwo E. O., Edeh J. A., et Dauda W. P. (2024). Antifungal efficacy of garlic (*Allium sativum* L.) on selected crop seed-borne fungi. *World journal of Advanced research and reviews*, **22(01)** : 870-878p.

- **W**

Wan J., Zhang X., and Li, Z. (1998). Impact of fungal pathogens on crop yield. *Journal of Agricultural Science*, **54(2)** : 78-89p.

- **Z**

Zaamouchi A (2019). Caractérisation moléculaire et par MALDI-TOF MS des espèces fongiques phytopathogènes inféodées aux céréales et mise en évidence de l'impact de l'utilisation des antifongiques azolés sur la résistance des souches. Thèse de doctorant : Bioprocédés et Biotechnologie, Applications Mycologiques. Université des Frères Mentouri – Constantine, 125p.

Zmeili O.S et Soubani A.O (2007). Pulmonary Aspergillosis : *Clinical update*. Oxford University press on behalf of the Association of physicianc, **100** : 317-334p.

Annexe

Milieu de culture PDA (Potatos Dextrose Agar):

| | |
|--------------------------------|---------|
| Eau distillée..... | 1000 mL |
| Filtrat de pomme de terre..... | 200 g |
| D_Glucose..... | 20 g |
| Agar..... | 20 g |

Eau physiologie:

| | |
|--------------------|-----|
| Eau distillée..... | 1 L |
| Nacl..... | 9 g |

| | |
|--|--|
| <p>Année universitaire : 2023-2024</p> | <p>Présenté par : Foudil karima Dib Amani ikram Arar ikhlasse</p> |
| <p>Mise en évidence de l'activité antifongique de l'extrait d'ail (<i>Allium sativum</i>) contre deux espèces d'<i>Aspergillus</i> phytopathogènes (<i>Aspergillus flavus</i> et <i>Aspergillus niger</i>)</p> | |
| <p>Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Mycologie et biotechnologie fongique</p> | |
| <p>Résumé</p> <p>L'objectif de ce mémoire est d'évaluer l'activité antifongique de l'extrait d'ail (<i>Allium sativum</i>) contre deux espèces d'<i>Aspergillus</i> phytopathogènes, à savoir <i>Aspergillus flavus</i> et <i>Aspergillus niger</i>. Ces deux champignons sont connus pour leur impact négatif sur les cultures agricoles, provoquant des pertes économiques significatives et posant des risques pour la santé humaine à cause de leur production de mycotoxines. Deux extraits d'ail ont été préparés (aqueux et brut), et leur activité antifongique a été testée à l'aide des techniques de diffusion par puits et par disques sur gélosé. Les résultats ont montré que les extraits d'ail possèdent une activité antifongique significative contre les deux espèces d'<i>Aspergillus</i>, avec une inhibition remarquable pour <i>Aspergillus flavus</i>. Les zones d'inhibition observées autour des puits et des disques imprégnés par les deux extraits d'ail indiquent leur efficacité contre les deux souches testées. Ces résultats suggèrent que l'extrait d'ail peut être utilisé comme une alternative naturelle et écologique aux fongicides chimiques dans la lutte contre les phytopathogènes fongiques.</p> | |
| <p>Mots clés : <i>Allium sativum</i>, Extrait d'ail, Activité antifongique, champignons phytopathogènes, zone d'inhibition.</p> | |
| <p>Laboratoires de recherche : Laboratoire de Mycologie et biotechnologie et de l'activité Microbienne (LaMyBAM) (Université Constantine 1 Frères Mentouri).</p> | |
| <p>Président du jury : Mme Almi Hiba (M.C.B.-UFM Constantine 1).</p> <p>Encadrant : Mme Zaamouchi Ahlem (MAB- UFM Constantine 1).</p> <p>Examineur(s): Mme Derbali Bisma (MAB- UFM Constantine 1).</p> | |

