



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بو عريريج

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi- B.B.A.

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم البيولوجية

Département des Sciences Biologiques

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : Microbiologie appliquée

Intitulé

**Activité antifongique de l'extrait  
éthanolique et de l'huile essentielle de  
*Cinnamomum cassia***

Présenté par :

SAOUDI Amina et ROUABEH Chahinez.

Soutenu le : 12 /06/2024

Devant le jury :

**Président :** M<sup>me</sup> ZERROUG Amina MCA (Université de BBA)

**Encadrant :** M<sup>me</sup> BOUGUERRA Asma MCA (Université de BBA)

**Examineur :** M<sup>me</sup> SOUAGUI Yasmina MCB (Université de BBA)

Année universitaire : 2023/2024

## **Remerciements**

*Avant tout, nous exprimons notre profonde gratitude envers Allah Tout-Puissant, qui nous a doté de la santé, de la volonté, du courage et de la patience nécessaires pour accomplir ce travail de recherche.*

*Nous souhaitons également remercier Madame BOUGUERRA Asma pour sa direction de ce mémoire. Ce fut un privilège de travailler sous votre supervision. Nous vous remercions pour votre gentillesse et la spontanéité avec lesquelles vous avez encadré ce projet, ainsi que pour votre disponibilité et vos précieux conseils qui nous ont permis d'améliorer notre travail.*

*Nos remerciements vont aussi à tous les membres du jury, notamment : la Présidente Mme ZERROUG Amina et l'examinatrice Mme SOUAGUI Yasmima, pour avoir accepté d'évaluer notre travail.*

*Enfin, de peur d'oublier quelqu'un, nous tenons à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire et à la réussite de notre parcours universitaire.*

## ***Dédicaces***

*Avec l'aide d'ALLAH Le majestueux qui m'a donné la patience, le courage et la santé, j'ai pu réaliser ce modeste travail que je dédie :*

*A ma mère, source de tendresse, en témoignage de ma reconnaissance pour son amour, sa patience et sa compréhension.*

*Mon très cher père l'homme le plus parfait dans le monde, le secret de ma réussite.*

*Que Dieu vous protège et vous réserve une longue vie pleine de bonheur et de santé.*

*A mes chères sœurs Zehour, Assia, Hiba et Rima, et mes chers frères Faycel, Kadour, Adel et Abdou.*

*A toute la famille ROUABAH et RACHEDI.*

*Mon binôme « Amina ».*

*Mes meilleurs copines Manel, Chaima, Assma, Yasmine, Samah, Hadia et Malak.*

*A tous ma 2eme famille mes collègues de la promotion.*

*Et tous ceux qui m'ont Soutenu de près ou de loin.*

***Chahinez***

*Avec toute ma gratitude, je dédie ce modeste travail*

*A la lumière qui éclaire mes moments sombres lorsque les jours et les circonstances m'éteignent, au nuage qui me procure de l'eau sans chercher à en retirer une faveur, à la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, à mon amie fidèle, à mon chère qui ne quitte jamais, au parfum du paradis...**ma merveilleuse mère.***

*A celui qui n'a jamais éteint la flamme de mes rêves, ni blessé l'espoir qui brille sur mon visage, à celui qui m'a toujours fait grandir et rayonner, et à ses côtés j'ai toujours senti que rien ne pouvait détruire le pays de mes désirs, à celui qui m'a élevé avec soin, à celui qui m'a gardé dans le sanctuaire de son cœur honoré, si tu le sais, o généreux, mon amour, sa grandeur ne s'effaceras jamais, pour que tu le saches ...**mon chère père.***

*A mes frères et ma sœur qui ont été la raison de ma joie de vivre, ma principale source de soutien, ma force et ma détermination inébranlable.*

*A celui qui a transformé les ponts des difficultés en une route facile remplie de roses, grâce à ses conseils, ses petits gestes et ses initiatives inattendues ...**mon fiancé.***

*A celui qui a partagée mes souffrances et mon espoir, triomphes et échecs, à ma collègue de route dans les moments de réussite...**mon binôme.***

*Excusez-moi, la leçon n'est pas terminée. Votre explication se poursuit et j'apprends encore de vous lorsque votre souvenir traverse ma mémoire. Que Dieu vous récompense avec bienveillance...**à mon professeur encadrant.***

**Amina**

## Résumé

Ce travail a pour but d'évaluer l'activité antifongique de l'huile essentielle et de l'extrait éthanolique de *Cinnamomum cassia* contre des agents phytopathogènes isolés de quelques fruits contaminés. L'huile essentielle a été obtenue par Hydrodistillation, tandis que l'extrait éthanolique a été produit par macération de cannelle avec des rendements de 2,51% et 20,04% respectivement. L'effet antifongique de l'extrait éthanolique de cannelle augmente avec l'augmentation des concentrations (1%, 2%, 3%, 4% et 8%), montrant une meilleure inhibition d'*Alternaria alternata*. En appliquant les méthodes de confrontation directe et de micro-atmosphère, l'huile essentielle de *Cinnamomum cassia* a totalement inhibé la croissance d'*Alternaria alternata*. Par ailleurs, des pourcentages d'inhibition de 79,18 % et 41,46 % ont été obtenus respectivement contre *A. niger*. Les concentrations minimales inhibitrices et fongicides de l'huile essentielle ont été déterminées par la méthode de macro-dilution. Les résultats ont révélés une CMI de 2 µg/ml et une CMF de 16 µg/ml. Tandis que pour la souche *Alternaria alternata*, la CMI était <0.5 µg/ml et la CMF est de 1 µg/ml.

En conclusion, l'huile essentielle et l'extrait éthanolique de *Cinnamomum cassia* démontrent une activité antifongique significative, avec une efficacité particulièrement élevée contre *Alternaria alternata*, ce qui suggère leur potentiel en tant qu'agents naturels de lutte contre les phytopathogènes.

### Les mots clés

Activité antifongique, *Cinnamomum cassia*, confrontation directe, extrait éthanolique, huile essentielle, Hydrodistillation, micro-atmosphère.

## **Abstract**

This study aims to evaluate the antifungal activity of essential oil and ethanolic extract of *Cinnamomum cassia* against phytopathogenic agents isolated from some rotten fruits. The essential oil was obtained by hydrodistillation, while the ethanolic extract was produced by maceration with yields of 2.51% and 20.04% respectively. The antifungal effect of the ethanolic extract of cinnamon increases with increasing concentrations (1%, 2%, 3%, 4% and 8%), showing better inhibition of *Alternaria alternata*. By applying the direct confrontation and micro-atmosphere methods, the essential oil of *Cinnamomum cassia* completely inhibited the growth of *Alternaria alternata*. Additionally, inhibition percentages of 79.18% and 41.46% were obtained against *A. niger*, respectively. The minimum inhibitory and fungicidal concentrations of the essential oil were determined by the macro-dilution method. The results revealed a MIC of 2µg/ml and an MFC of 16µg/ml. For the *Alternaria alternata* strain, the MIC was <0.5µg/ml and the MFC was 1 µg/ml. In conclusion, the essential oil and ethanolic extract of *Cinnamomum cassia* demonstrate significant antifungal activity, with particularly high efficacy against *Alternaria alternata*, suggesting their potential as natural agents for managing phytopathogens.

## **Keywords**

Antifungal activity, *Cinnamomum cassia*, direct confrontation, ethanolic extract, essential oil, hydrodistillation, micro-atmosphere.

## الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم النشاط المضاد للفطريات للزيت العطري والمستخلص الإيثانولي من *Cinnamomum cassia* ضد العوامل المرضية النباتية المعزولة من بعض الفواكه المتعفنة. تم الحصول على الزيت العطري عن طريق التقطير المائي، بينما تم إنتاج المستخلص الإيثانولي عن طريق نقع القرفة، بمردود بلغ 2.51% و20.04% على التوالي. يزداد التأثير المضاد للفطريات للمستخلص الإيثانولي للقرفة مع زيادة التركيزات (1%، 2%، 3% و4% و8%)، حيث أظهر تثبيطًا أفضل ضد *Alternaria alternata*. باستخدام طرق المواجهة المباشرة و الميكروأتموسفير، تم تثبيط نمو *Alternaria alternata* تمامًا بواسطة الزيت العطري لـ *Cinnamomum cassia*. علاوة على ذلك، تم تحقيق نسب تثبيط بلغت 79.18% و 41.46% ضد *A. niger* على التوالي. تم تحديد التركيزات المثبطة والقاتلة الدنيا للزيت العطري باستخدام طريقة التخفيف الكبير. كشفت النتائج عن CMI بمقدار 2 ميكروغرام/مل و CMF بمقدار 16 ميكروغرام/مل. أما بالنسبة لـ *Alternaria alternata*، فكانت CMI أقل من 0.5 ميكروغرام/مل و CMF بمقدار 1 ميكروغرام/مل. في الأخير، يُظهر الزيت العطري والمستخلص الإيثانولي من *Cinnamomum cassia* نشاطًا مضادًا للفطريات ملحوظًا، مع فعالية عالية بشكل خاص ضد *Alternaria alternata*، مما يشير إلى إمكانية استخدامها كعوامل طبيعية لمكافحة العوامل المرضية النباتية.

## الكلمات المفتاحية

النشاط المضاد للفطريات، *Cinnamomum cassia*، المواجهة المباشرة، المستخلص الإيثانولي، الزيت العطري، التقطير المائي، الميكروأتموسفير.

## Liste des tableaux

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau I.</b> Systématique d' <i>Aspergillus niger</i> (Abd mallick, 2019).....   | 14 |
| <b>Tableau II.</b> Systématique d' <i>Alternaria alternata</i> (Achetbi et al., 2021).....  | 16 |
| <b>Tableau III.</b> Effet de différentes concentrations de l'extrait éthanolique de <i>Cinnamomum cassia</i> sur <i>Aspergillus niger</i> . ....      | 20 |
| <b>Tableau IV.</b> Effet de différentes concentrations de l'extrait éthanolique de <i>Cinnamomum cassia</i> contre <i>Alternaria alternata</i> . .... | 21 |
| <b>Tableau V.</b> Pourcentages d'inhibition (%) de l'HE (confrontation directe).....  | 22 |
| <b>Tableau VII.</b> Pourcentages d'inhibition des souches fongiques obtenus par la méthode de micro-atmosphère.....                                   | 23 |
| <b>Tableau VII.</b> Résultats de la concentration minimale fongicide (CMF) pour <i>Alternaria alternata</i> . ...                                     | 25 |
| <b>Tableau VIII.</b> Résultats de la concentration minimale fongique (CMF) pour <i>Aspergillus niger</i> . ....                                       | 26 |



## Liste des figures

|   |                 |
|---|-----------------|
| <b>Figure 1.</b> Cannelle en morceaux ou en poudre .....  | 7               |
| <b>Figure 2.</b> Pomme et fraise contaminées.....   | 7               |
| <b>Figure 3.</b> Etapes de l'extraction éthanolique de cannelle. ....   | 8               |
| <b>Figure 4.</b> Extraction de l'huile essentielle de cannelle. ....  | 9               |
| <b>Figure 5.</b> Illustration de la méthode de confrontation directe (Champignon-HE) (Nacef et <i>al.</i> 2022). 11                 |                 |
| <b>Figure 6.</b> Caractéristiques macroscopiques et microscopiques de la souche fongique ( <i>Aspergillus niger</i> ). ....         | 13              |
| <b>Figure 7.</b> Caractéristiques macroscopiques et microscopiques de la souche fongique ( <i>Alternaria alternata</i> ). ....      | 15              |
| <b>Figure 8.</b> Extrait éthanolique de cannelle. ....  | 17              |
| <b>Figure 9.</b> Huile essentielle de <i>Cinnamomum cassia</i> .....  | 18              |
| <b>Figure 10.</b> Activité antifongique de l'extrait éthanolique de <i>C. cassia</i> .....  | 19              |
| <b>Figure 11.</b> Résultat de l'activité antifongique de l'HE de cannelle contre <i>Alternaria alternata</i> .....                  | 22              |
| <b>Figure 12.</b> Résultat de l'activité antifongique de l'HE de cannelle contre <i>Aspergillus niger</i> . ....                    | 22              |
| <b>Figure 13.</b> Résultat de l'effet volatile de l'HE de <i>Cinnamomum cassia</i> vis-à-vis <i>Alternaria alternata</i> .<br>..... | 23              |
| <b>Figure 14.</b> Résultat de l'effet volatile de l'HE de <i>Cinnamomum cassia</i> vis-à-vis <i>Aspergillus niger</i> . .           | 23              |
| <b>Figure 15 :</b> Résultat de la concentration minimale inhibitrice (CMI) pour <i>Alternaria alternata</i> .....                   | 24              |
| <b>Figure 16.</b> Résultat de la concentration minimale inhibitrice (CMI) pour <i>Aspergillus niger</i> .....                       | <b>Erreur !</b> |

**Signet non défini.**

## Liste des abréviations

|             |  |
|-------------|--|
| <b>%</b>    | Pourcentage  |
| <b>°C</b>   | Degré Celsius                                      |
| <b>CMF</b>  | Concentration Minimale Fongicide                   |
| <b>CMI</b>  | Concentration Minimale Inhibitrice                 |
| <b>DMSO</b> | Diméthylsulfoxyde                                  |
| <b>HE</b>   | Huile essentielle                                  |
| <b>mg</b>   | Milligramme  |
| <b>ml</b>   | Millilitre   |
| <b>mm</b>   | Millimètre   |
| <b>PDA</b>  | Potato Dextrose Agar                               |
| <b>PDB</b>  | Potato Dextrose Broth                              |
| <b>PI</b>   | Pourcentage d'inhibition de la croissance fongique |
| <b>R</b>    | Rendement  |
| <b>UV</b>   | Ultra-violet                                       |
| <b>VIH</b>  | Virus de l'immunodéficience humaine                |
| <b>µl</b>   | Microlitre   |

## Table des matières

Remerciement

Dédicaces

Résumé

Abstract

الملخص

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

|   |           |
|---|-----------|
| <b>I- Introduction.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>II. Matériel et Méthodes .....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>II.1. Matériel végétale.....</b>   | <b>6</b>  |
| II.1.1. Les caractéristiques de cannelle.....   | 6         |
| II.1.2. La classification botanique (El atki, 2020) .....   | 6         |
| II.1.3. Préparation de cannelle.....  | 6         |
| <b>II.2. Matériel fongique.....</b>   | <b>7</b>  |
| II.2.1. Isolement et identification des champignons à partir de quelques fruits contaminés .....  | 7         |
| II.2.2. Identification des isolats fongiques.....   | 7         |
| <b>II.3. Préparation de l'extrait éthanolique.....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>II.4. Extraction de l'huile essentielle par Hydrodistillation.....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>II.5. Propriétés physicochimiques d'HE de cannelle.....</b>  | <b>9</b>  |
| II.5.1. Le rendement .....  | 9         |
| II.5.1. Indice de réfraction .....  | 10        |
| <b>II.6. Activité antifongique de l'extrait éthanolique .....</b>   | <b>10</b> |
| <b>II.7. Activité antifongique de l'HE de cannelle .....</b>  | <b>10</b> |
| II.7.1. Confrontation directe .....   | 10        |
| .....   | 11        |
| II.7.2. Mise en évidence du pouvoir antifongique volatile (méthode de microatmosphère) .....  | 11        |
| II.7.3. Détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI) et fongicide(CMF) de l'HE de cannelle en utilisant la méthode de macro dilution..... | 12        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>III. Résultats et discussion .....</b>   | <b>13</b> |
| <b>III.1. Isolement et identification des champignons à partir de quelques fruits .....</b> | <b>13</b> |
| <b>III.2. Caractéristiques de l'extrait éthanolique de cannelle.....</b>                    | <b>16</b> |
| III.2.1. Rendement.....   | 16        |
| III.2.2. Caractères organoleptiques.....  | 17        |
| <b>III.3. Caractéristiques de l'HE de cannelle .....</b>                                    | <b>17</b> |
| III.3.1. Rendement en HE.....   | 17        |
| III.3.2. Caractères organoleptiques.....  | 17        |
| III.3.3. Indice de réfraction.....  | 18        |
| <b>IV. Evaluation de l'activité antifongique de l'extrait éthanolique et de l'HE.....</b>   | <b>18</b> |
| IV.1. Activité antifongique de l'extrait éthanolique.....                                   | 18        |
| <b>IV.2. Activité antifongique de l'HE (confrontation directe).....</b>                     | <b>21</b> |
| IV.2. Effet antifongique volatile.....  | 23        |
| <b>V- La détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI) et la</b>             |           |
| <b>concentration minimale fongicide (CMF) .....</b>   | <b>24</b> |
| <b>Conclusion.....</b>  | <b>27</b> |
| <b>Références bibliographiques</b>  |           |

## **Introduction**

---

### I- Introduction

Les infections bactériennes résistantes aux antibiotiques sont un défi majeur pour la médecine et l'industrie alimentaire. Cela a conduit de nombreuses études à se concentrer sur l'évaluation des produits naturels comme source de nouveaux composés actifs en raison de la carence d'agents antimicrobiens efficaces pour traiter les maladies infectieuses.

Au cours des deux dernières décennies, il y a eu une attention croissante portée à l'utilisation des plantes médicinales pour développer de nouveaux médicaments à base de plantes ou des compléments alimentaires. Les médicaments à base de plantes sont riches en molécules bioactives (par exemple, polyphénols, caroténoïdes et flavonoïdes) aux effets thérapeutiques, tels que le retardement de l'apparition de certaines maladies comme les troubles cardiovasculaires, le diabète et le cancer (Alizadeh et al., 2020).

Il existe de nombreuses plantes comestibles et médicinales aux effets antimicrobiens élevés, telles que le thym (*Thymus vulgaris* L.), le thé (*Camellia sinensis* L.), l'ail (*Allium sativum* L.), le curcuma (*Curcuma longa* L.), les baies appartenant à la famille des Rosacées et la cannelle (espèces appartenant au genre *Cinnamomum*) (Nabavi et al., 2015).

Le nom botanique "*Cinnamomum*" dérive du terme hébraïque et arabe "amomon", signifiant plante à épices parfumées. Le nom commun "cannelle" provient du mot grec "kinamon", qui signifie vaguement "épice arabe". Il existe environ 250 espèces du genre *Cinnamomum*, mais seules deux espèces sont largement répandues dans l'industrie : *Cinnamomum verum* (auparavant connue sous le nom de *Cinnamomum zeylanicum*) et *Cinnamomum cassia* (Knauth et al., 2018).

La cannelle est utilisée depuis près de 2800 avant J.-C., d'abord nommée "Kwai" en chinois, et faisait partie de l'huile d'onction utilisée par Moïse dans la Bible. Les Romains l'utilisaient pour des troubles digestifs et respiratoires, ainsi qu'à des fins funéraires pour masquer les odeurs de cadavres. En Égypte, elle servait à l'embaumement. Sa rareté a conduit à une exploration mondiale au XVe siècle, motivant les voyages de Christophe Colomb vers le Nouveau Monde et de Vasco de Gama en Inde du Sud et au Sri Lanka, où la cannelle de Ceylan est originaire. Son

contrôle a été un enjeu majeur, les Portugais, puis les Néerlandais et les Britanniques, dominant sa production. Aujourd'hui, elle est cultivée le long de la côte du Sri Lanka, de Negombo à Matara (Kawatra et Rajagopalan, 2015).

Sur la base de l'apparence de la cannelle en bâton, il est possible de distinguer la cannelle de Ceylan des autres. Elle est plus douce et plus claire en couleur, et enroulée en couches, tandis que les autres sont plus sombres, dures et creuses, et enroulées en une seule couche. Bien que très chère, la cannelle de Ceylan est préférée en raison de son taux d'ultra-faible coumarine et de son goût délicat et doux. Selon l'Autorité européenne de sécurité des aliments, la cannelle de casse a été la cause d'une exposition à la coumarine, qui est hautement hépatotoxique et cancérigène. Une autre alternative récemment disponible, contenant peu de coumarine, provient des feuilles de *Cinnamomum mosmophilum* de Taïwan (Abraham et al., 2010 ; Kowalska et al., 2021).

L'écorce de cannelle est couramment utilisée comme épice. Elle est principalement employée en cuisine comme condiment et agent aromatisant. La cannelle est utilisée dans la production de chocolat, en particulier au Mexique, qui est le plus grand importateur de véritable cannelle (*C. zeylanicum* L.).

Elle est également ajoutée à des desserts tels que la tarte aux pommes, les beignets et les brioches à la cannelle, ainsi qu'à des bonbons épicés, du thé, du chocolat chaud et des liqueurs. La véritable cannelle, et non la casse (*C. cassia* L.), est préférable pour les plats sucrés. Au Moyen-Orient, elle est souvent utilisée dans des plats salés de poulet et d'agneau. Aux États-Unis, la cannelle est souvent utilisée comme additif pour aromatiser les céréales, les plats à base de pain et les fruits, en particulier les pommes. Un mélange de cannelle et de sucre est également vendu dans les épiceries. Une autre utilisation de la cannelle est dans le marinage (Kowalska et al., 2021).

La cannelle est utilisée aussi dans les industries des arômes et des essences en raison de son parfum, qui peut être incorporé dans différentes variétés de produits alimentaires, de parfums et de produits médicaux (Rao et Gan, 2014).

Singh et al. (2007) ont rapporté que le goût épicé et le parfum sont dus à la présence de cinnamaldéhyde et surviennent en raison de l'absorption d'oxygène. Avec le vieillissement de la cannelle, sa couleur s'assombrit, améliorant ainsi les composés résineux (Singh et al., 2007 ; Rao et Gan, 2014). D'autres constituants de la cannelle

comprennent l'alcool cinnamylique, la coumarine, les acides phénoliques, les terpènes, les glucides et les tanins, du cinnamate, de l'acide cinnamique et de nombreuses huiles essentielles (Singletary, 2008 ; Rao et Gan, 2014).

Grâce à la composition chimique des deux principales variétés de cannelle, la Ceylan (*C. verum*) et la chinoise (*C. cassia*), plusieurs vertus pour la santé sont associées.

Ainsi, l'épice de cannelle est une source d'antioxydants naturels qui jouent un rôle clé dans le processus de vieillissement et les maladies. Il a été montré que l'extrait de l'écorce des espèces de la cannelle contient des composés biologiquement actifs tels que l'eugénol, le trans-cinnamaldéhyde et le linalol. Les phytonutriments ont été étudiés pour la stabilisation de l'huile de palme. Ils empêchent la formation d'alcools, de cétones, d'aldéhydes, d'acides et d'hydrocarbures. L'ajout d'antioxydants inhibe les épisodes du processus d'oxydation de l'huile, réduisant ainsi la production de dérivés oxydatifs dangereux et d'acides gras libres (Błaszczuk et al., 2021).

En raison de ses puissantes propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires, des rapports scientifiques ont montré que la cannelle possède des effets neuroprotecteurs, hépatoprotecteurs, antidiabétiques, cardioprotecteurs et gastroprotecteurs. Son huile essentielle peut également être utilisée en aromathérapie. Un article de recherche récent a montré les bienfaits de l'utilisation de l'huile de cannelle en massage pour soulager les douleurs menstruelles (Nabavi et al., 2015).

En outre, la cannelle montre des effets bénéfiques sur la santé bucco-dentaire et pour traiter l'acné et le mélasma. De plus, elle est utilisée pour le traitement des troubles gastro-intestinaux et coliques. La cannelle a un effet coagulant et peut donc être utilisée contre les hémorragies. Elle augmente le flux sanguin dans l'utérus et améliore la régénération des tissus.

De plus, elle possède de puissantes propriétés, antitermites, larvicides, nématocides et insecticides et antimicrobiennes (Nabavi et al., 2015).

L'huile essentielle de cannelle a montré un effet antibactérien contre les bactéries à Gram positif (*Bacillus* sp., *Bacillus cereus*, *Enterococcus faecalis*, *Leuconostoc* sp., *Micrococcus luteus*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus* sp., *Listeria monocytogenes*, *Listeria grayi*) et les bactéries à Gram négatif (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas fluorescens*, *Shigella dysenteriae*, *Salmonella Typhimurium*) (Lucas-Gonzalez et al., 2023).



Récemment, Vasconcelos et *al.* (2018) ont démontré le mécanisme d'action antibactérien de la cannelle. Il s'agit par: une altération de la membrane cellulaire et de son profil lipidique, inhibition de l'ATPase, de la division cellulaire, des porines membranaires, de la motilité et de la formation de biofilm, ainsi qu'un effet anti-quorum sensing.

La concentration minimale inhibitrice et bactéricide de l'huile essentielle de cannelle dépendent de facteurs tels que le type d'huile essentielle, la variété et la méthode d'extraction (Cava-Roda et *al.*, 2021).

Les huiles essentielles de plusieurs espèces de *Cinnamomum* ont démontré une activité antifongique contre *Candida albicans*, *C. glabrata* ainsi que contre certains dermatophytes tels que *Microsporiumcanis*, *Trichophyton mentagrophytes* et *T. rubrum* *in vitro*.

Bien que l'huile essentielle des feuilles de *C. zeylanicum* ait montré des propriétés antifongiques modestes, une étude ultérieure a révélé que l'huile essentielle de cette espèce présentait la plus forte activité antifongique comparée à d'autres espèces contre 17 micromycètes. Le trans-cinnamaldéhyde s'est avéré être le composant le plus actif dans l'huile de *C. zeylanicum*. Des recherches antérieures ont identifié l'aldéhyde cinnamique comme le constituant actif fungitoxique de l'huile d'écorce de *C. zeylanicum*, montrant une activité fungitoxique contre différents champignons impliqués dans les infections des voies respiratoires. De plus, l'huile de cannelle a démontré une activité inhibitrice contre plusieurs souches de champignons, notamment *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus*, *A. ochraceus*, *Fusariummoniliforme*, *F. graminearum*, *F. proliferatum* et *Saccharomyces cerevisiae* dans plusieurs études. En outre, les huiles obtenues à partir de *C. zeylanicum* se sont révélées être les plus actives *in vitro* contre les souches de dermatophytes isolées de patients atteints de dermatophytose, inhibant 80 % des souches testées. Dans le cas de la candidose buccale, fréquente chez les patients infectés par le VIH, *C. zeylanicum* montre une activité *in vitro* contre les isolats de *Candida* résistants et sensibles au fluconazole (Gruenwald et *al.*, 2010).

Outre leur capacité à combattre les microbes, les composés actifs de la cannelle ont d'autres utilisations importantes dans l'industrie alimentaire. Par exemple, ils peuvent servir d'alternative aux antibiotiques dans l'élevage de volailles, améliorer le goût

sucré des aliments ou prolonger leur durée de conservation.(Lucas-Gonzalez et *al.*, 2023).

Bien que la cannelle soit largement utilisée dans l'industrie alimentaire et cosmétique, son ingestion orale ou son application cutanée n'est pas toujours recommandée en raison de ses effets potentiels sur la santé. L'huile de cannelle doit être diluée à moins de 2% avant usage oral, et il est recommandé d'éviter son ingestion chez les personnes souffrant de problèmes hépatiques ou prenant du paracétamol, en raison de son impact sur le glutathion. Cependant, l'écorce de cannelle semble sûre en quantités modérées et ne présente pas d'interactions médicamenteuses connues. Par ailleurs, l'huile de cannelle peut entraîner une dépression du système nerveux central et peut conduire à une pneumonie par aspiration. En ce qui concerne les applications cutanées, la cannelle peut provoquer des réactions cutanées telles que la dermatite de contact, la stomatite et la gingivite. Les principaux responsables de ces réactions sont le cinnamaldéhyde et l'acide cinnamique. La gravité des réactions dépend de la durée du contact, mais les symptômes systémiques sont rares ((Nabavi et *al.*, 2015).

## **Matériel et Méthodes**

---

## II. Matériel et Méthodes

### II.1. Matériel végétale

Afin d'étudier l'activité antifongique de l'extrait éthanolique et de l'huile essentielle de *Cinnamomum cassia* contre certains champignons phytopathogènes, des écorces de cannelle ont été achetées dans une épicerie à Bordj Bou Arreridj.

#### II.1.1. Les caractéristiques de cannelle

L'échantillon végétale est caractérisé par :

- Une forme de canne.
- Une couleur marron jaunâtre.
- Une odeur très distinctive.
- Une saveur brulant sucré.

#### II.1.2. La classification botanique (El atki, 2020)

**Règne :** *Plantae*

**Embranchement :** *Spermaphytes*

**Sous embranchement :** *Angiospermes*

**Classe :** *Dicotyledones*

**Ordre :** *Lurales*

**Famille :** *Lauraceae*

**Genre :** *Cinnamomum*

**Espèce :** *Cinnamomum cassia*

#### II.1.3. Préparation de cannelle

Les écorces de cannelles sont lavées etséchées. Elles sont cassées en petits morceaux pour extraire l'huile essentielle ou broyées finement pour obtenir son extrait éthanolique (Fig.1).

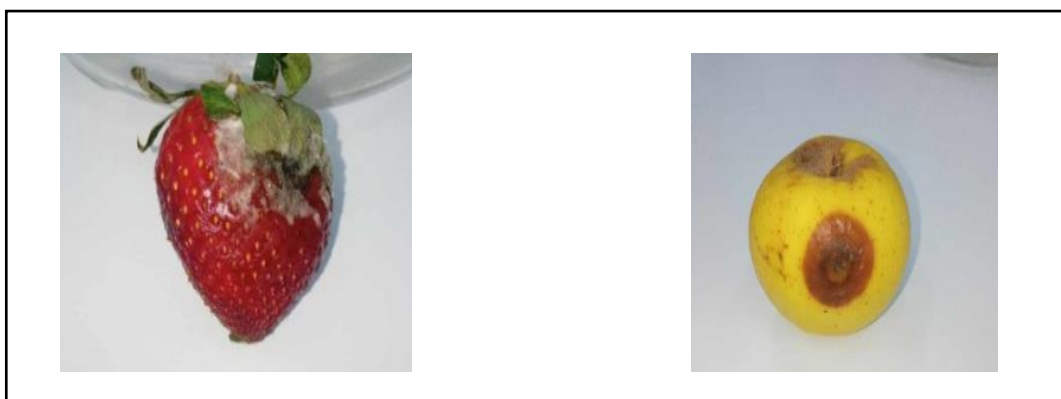


**Figure 1.** Cannelle en morceaux ou en poudre

## **II.2. Matériel fongique**

### **II.2.1. Isolement et identification des champignons à partir de quelques fruits contaminés**

Les champignons ont été isolés à partir de quelques fruits contaminés (pommes et fraises) (Fig. 2). Ces fruits ont été découpés en petits fragments de moins de 15 mm de diamètre. Les fragments obtenus ont été placés de manière aseptique dans des boîtes de Pétri contenant du PDA (Potato Dextrose Agar), avec un à deux fragments par boîte. Ensuite, les boîtes ont été incubées pendant 7 jours à 28 °C (Bessadat et *al.*, 2014).



**Figure 2.** Pomme et fraise contaminées.

### **II.2.2. Identification des isolats fongiques**

Les isolats fongiques obtenus ont été identifiés en se basant sur des caractéristiques macroscopiques telles que la forme, la taille, la couleur et l'aspect, ainsi que des

caractéristiques microscopiques. Pour l'examen microscopique, une méthode de montage sur scotch a été utilisée, où les échantillons ont été observés entre une lame et un morceau de scotch. Cela a permis d'étudier les caractéristiques culturelles telles que l'aspect du mycélium et des spores (Compaore et *al.*,2016).

### II.3. Préparation de l'extrait éthanolique

Pour obtenir l'extrait éthanolique de cannelle, 50 grammes de cannelle sèche (*Cinnamomum cassia*) sont broyés et mélangés avec 160 ml d'éthanol. Le mélange est ensuite laissé en macération pendant 72 heures, puis filtré en utilisant le papier Wattman. Pour évaporer le filtrat, celui-ci est versé dans une boîte de Pétri en verre et placé dans une étuve pendant 72 heures. Le rendement de l'extraction est calculé en divisant le poids de l'extrait obtenu sur le poids de la poudre d'écorce de cannelle (Mersil et Alifia, 2023) :

$$R (\%) : P1/P2 \times 100$$

R : le rendement en pourcentage %.

P1: Le poids de l'extrait sec de cannelle.

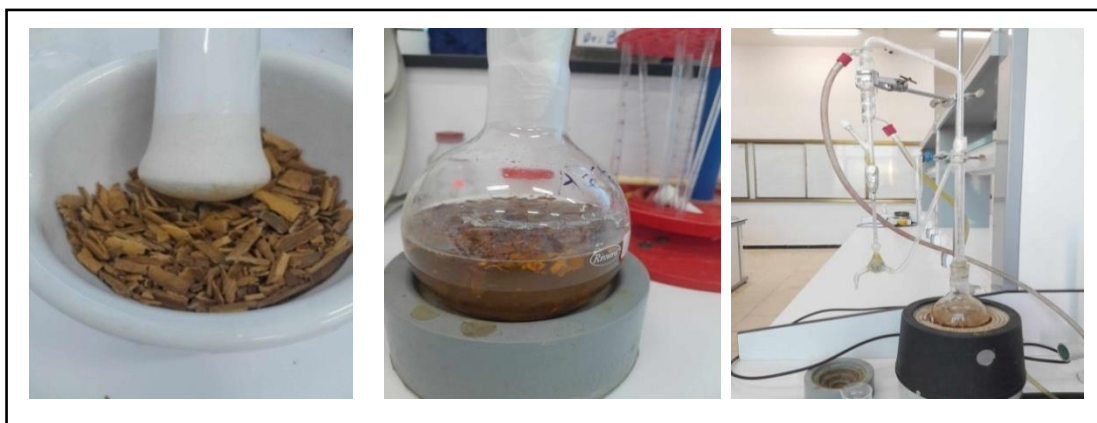
P2:le poids de la poudre de cannelle.



**Figure 3.** Etapes de l'extraction éthanolique de cannelle.

## II.4. Extraction de l'huile essentielle par Hydrodistillation

L'extraction de l'huile essentielle de *Cinnamomum cassia* a été réalisée par hydrodistillation de 150 grammes de cannelle coupée en petits morceaux dans un appareil de type Clevenger. Cette méthode implique l'immersion directe de la matière végétale coupée dans un ballon rempli de 750 ml d'eau distillée, surmonté d'une colonne reliée à un réfrigérant. Le mélange est ensuite porté à ébullition pendant 4 heures. Les vapeurs hétérogènes sont condensées sur une surface froide. Les vapeurs montantes issues de l'alambic ou du réacteur progressent puis se condensent par refroidissement. Le condensat est récupéré et l'huile est séparée de la phase aqueuse. L'huile essentielle est conservée à 4°C dans un flacon ombré hermétiquement fermé (Boungab et *al.*, 2014).



**Figure 4.** Extraction de l'huile essentielle de cannelle.

## II.5. Propriétés physicochimiques d'HE de cannelle

### II.5.1. Le rendement

Le rendement en huile essentielle est le rapport entre le poids de l'huile extraite et le poids de la plante à traiter selon la formule suivante (Fekih, 2014) :

$$\text{Rd}(\%) = \text{M}/\text{M}^{\circ} \times 100$$

**R(%)** : rendement en HE exprimée en pourcentage.

**M** : masse de l'HE (g).

**M°** : masse du matériel végétale (g).

### **II.5.1. Indice de réfraction**

L'indice de réfraction a été estimé à l'aide d'un réfractomètre. Pour cela, deux gouttes d'huile essentielle ont été placées au milieu du prisme. Après, on a noté la valeur lue sur l'appareil.

### **II.6. Activité antifongique de l'extrait éthanolique**

Pour évaluer l'activité antifongique de l'extrait éthanolique de cannelle à l'encontre des isolats fongiques, la méthode de diffusion sur la gélose PDA a été appliquée. Tout d'abord, une suspension sporale a été préparée en ajoutant environ 10 ml de l'eau distillée stérile à une boîte qui contient le champignon de 7 jours de développement. Ensuite, des boîtes contenant le milieu PDA ont étéensemencées par inondation de 1ml de chaque suspension sporale à une concentration d'environ  $10^6$  spores/ml (DO : 0.12-0.17 à 525nm) avec élimination de l'excès. Ensuite, les boîtes ont été séchées pendant 15 minutes à une température ambiante. On teste des concentrations de l'extrait éthanolique de cannelle variant de : 1%, 2%, 4%, 8% et on utilise le DMSO comme diluant.

Des disques de papier Wattman stériles d'un diamètre de 6 mm ont été imprégnés avec 20  $\mu$ l d'extrait et placés au milieu de la boîte de Pétri inoculée par chaque isolat fongique. Trois répétitions ont été réalisées pour chaque souche. Des disques imbibés d'une solution aqueuse stérile ont été utilisés comme témoins négatifs. Les diamètres des zones d'inhibition entourant les disques contenant les différentes concentrations de l'extrait éthanolique de cannelle ont été mesurés (Yala et *al.*, 2016).

### **II.7. Activité antifongique de l'HE de cannelle**

#### **II.7.1. Confrontation directe**

La méthode de confrontation directe "Souche fongique / HE" implique la diffusion de l'huile essentielle à travers des disques de papier Wattman de 6 mm de diamètre pour inhiber la croissance fongique.

Tout d'abord, un disque mycélien de 6 mm de diamètre, découpé à partir d'une boîte contenant le champignon jeune (âgé de 7 jours), a été placé sur la gélose PDA, à environ 40 mm d'un disque de papier Wattman de 6 mm imprégné de 20  $\mu$ l d'huile



essentielle. Ensuite, des boîtes témoins négatives, préparées de la même manière mais en utilisant de l'eau distillée stérile au lieu de l'huile essentielle, ont également été préparées. Cette expérience a été répétée trois fois et les boîtes ont été incubées pendant 7 jours à 28 °C (Malulek et *al.*, 2022 ; Nacef et *al.* 2022). Après incubation, les pourcentages d'inhibition ont été calculés selon la formule suivante :

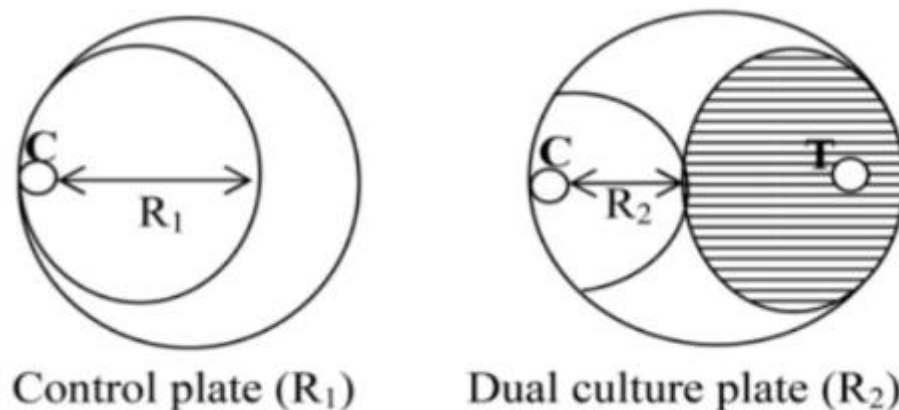
$$PI\% = (D - Di/D) \times 100$$

PI (%) : pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne

D: diamètre de croissance mycélienne dans un milieu sans l'huile essentielle (témoin).

Di: diamètre de croissance mycélienne en présence de l'huile essentielle.

Le pourcentage d'inhibition a été classé en quatre catégories : (i) Pourcentage d'inhibition < 30% (faible activité), (ii) 30% < pourcentage d'inhibition < 50% (activité modérée), (iii) 50% < pourcentage d'inhibition < 70% (activité élevée), (iv) Pourcentage d'inhibition > 70% (activité très importante).



**Figure 5.** Illustration de la méthode de confrontation directe (Champignon-HE) (Nacef et *al.* 2022).

### II.7.2. Mise en évidence du pouvoir antifongique volatile (méthode de microatmosphère)

Dans cette méthode, un disque mycélien de 6 mm de diamètre a été découpé à partir d'une boîte contenant le champignon (7 jours) à tester puis déposé au centre d'une boîte contenant le milieu PDA. Ensuite, un disque en papier Wattman a été imprégné avec 20µl de l'huile essentielle et déposé dans le couvercle d'une boîte Pétri. Les boîtes sont incubées à 28°C pendant 7 jours et l'expérience a été répétée trois fois pour chaque souche fongique testée. Le pourcentage d'inhibition de la croissance

mycélienne a été calculé à partir du diamètre moyen des colonies (mm) en comparant au témoin un milieu sans l'HE (témoin) (Anjum et Akhtar, 2012).

$$PI = (D - D_i / D) \times 100.$$

PI (%) : pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne

D: diamètre de croissance mycélienne dans un milieu sans l'huile essentielle (témoin).

D<sub>i</sub>: diamètre de croissance mycélienne en présence de l'huile essentielle.

### **II.7.3. Détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI) et fongicide (CMF) de l'HE de cannelle en utilisant la méthode de macro dilution**

Les concentrations minimales inhibitrices (CMI) et les concentrations fongicides minimales (CMF) sont couramment utilisées pour évaluer la sensibilité des champignons aux extraits de plantes, aux huiles essentielles et aux antibiotiques. Elles permettent également de déterminer la concentration efficace de ces agents contre des champignons spécifiques. Dans cette étude expérimentale, des dilutions en série des HE ont été préparées dans 10 tubes stériles. À chaque tube, 1 ml de différentes concentrations de l'huile essentielle (0, 0,5, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 µg/ml) préparé dans le PDB (Potato Dextrose Broth) avec quelques gouttes de Tween 20 a été ajouté. Ensuite, 1 ml de chaque suspension fongique a été ajouté à chaque tube. Un tube contenant uniquement du milieu PDB et une suspension fongique sans extrait a été utilisé comme témoin négatif. Tous les tubes sont ensuite incubés à 28 °C pendant 3 jours. Après incubation, le tube avec la concentration la plus faible ne présentant aucune croissance visible du champignon a été considéré comme CMI. Ensuite, 100 µl du contenu de chaque tube transparent ne présentant aucune turbidité ont été cultivés sur un milieu PDA. Après incubation à 28 °C pendant 7 jours, la première boîte sans croissance fongique a été considérée comme le point de CMF. Tous les tests ont été réalisés en trois exemplaires (Doudi et *al.*, 2016).

## **Résultats et discussion**

---

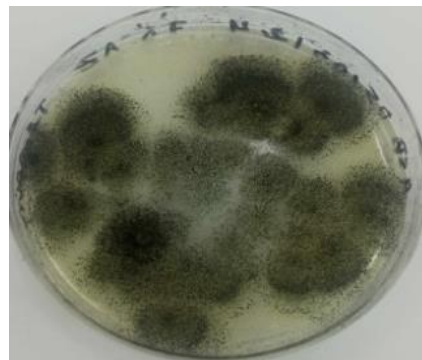
### III. Résultats et discussion

#### III.1. Isolement et identification des champignons à partir de quelques fruits

L'isolement et la purification des champignons des fruits contaminés après culture sur PDAa permis d'obtenir deux souches fongiques pures. Elles ont été identifiées en se basant sur des caractéristiques morphologiques (macroscopiques et microscopiques). Il s'agit de :

- **Souche 1 (*Aspergillus niger*)**

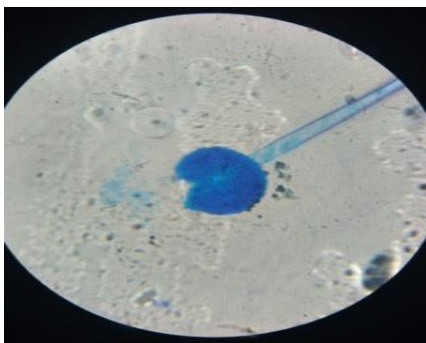
L'isolat fongique a été identifié comme *Aspergillus niger* car ses colonies sont initialement blanches et deviennent rapidement noires lors de la production des conidies (A1). En examinant le fond de la boîte de Pétri (A2), les colonies apparaissent jaune pâles et présentent des plis radiaux pendant leur croissance. Les hyphes sont septés et hyalins, les conidies sont globuleuses, et les conidiophores sont longs, avec une paroi lisse et transparente (B1).



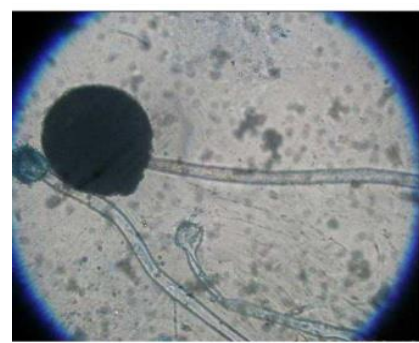
A1



A2



B1 (400X)



B2

**Figure 6.** Caractéristiques macroscopiques et microscopiques de la souche fongique (*Aspergillus niger*).

(A1, A2) colonies fongiques. B1 conidiophores (G : 40X), B2 image de référence (Mouria *et al.*, 2012).

*Aspergillus niger* est un champignon ascomycète appartenant à la famille des *Trichocomaceae* (Tableau I). C'est un champignon caractérisé par un pédoncule fin avec une tête conidienne ronde et noire composée de spores ayant une forme caractéristique. Ces spores se forment à partir du corps de l'organisme dans le cadre d'une reproduction asexuée. Il est considéré comme un saprophyte asexué cosmopolite, présent dans presque tous les environnements aérobies. Les spores noires d'*Aspergillus niger* semblent offrir une protection contre la lumière du soleil et les rayons UV, conférant ainsi à ce champignon un avantage concurrentiel par rapport aux autres micro-organismes présents dans ses habitats. De plus, la production abondante de conidiospores dispersées dans l'air garantit sa présence fréquente dans des environnements aux conditions difficiles (Lima et al., 2019).

*Aspergillus niger* est responsable d'une maladie des plantes connue sous le nom de « moisissure noire » (Lima et al., 2019). C'est le champignon le plus commun causant la détérioration des aliments et la biodégradation d'autres matériaux (Schuster et al., 2002). De plus, ce dernier est considéré comme le micro-organisme le plus polyvalent pour la fabrication d'acides, de protéines et d'enzymes à échelle industrielle (Lima et al., 2019).

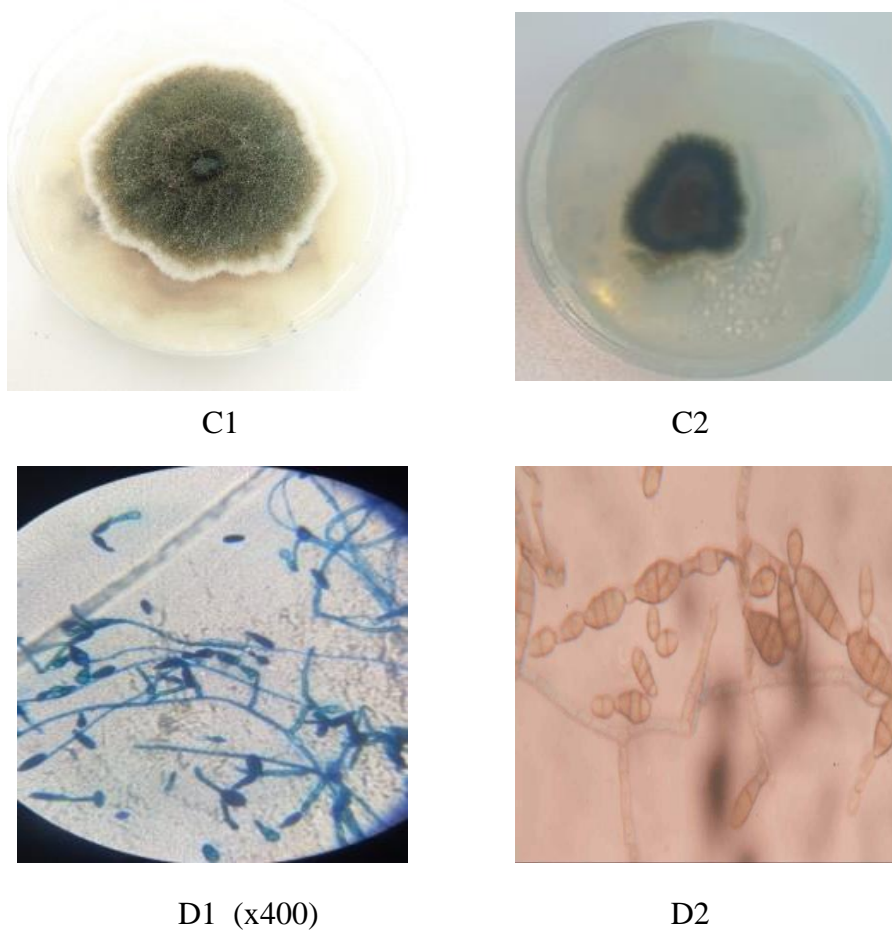
**Tableau I.** Systématique d'*Aspergillus niger* (Abd mallick, 2019).

|                |                          |
|----------------|--------------------------|
| <b>Règne</b>   | <i>Fungi</i>             |
| <b>Phylum</b>  | <i>Ascomycota</i>        |
| <b>Classe</b>  | <i>Eurotiomycetes</i>    |
| <b>Ordre</b>   | <i>Eurotiales</i>        |
| <b>Famille</b> | <i>Trichocomaceae</i>    |
| <b>Genre</b>   | <i>Aspergillus</i>       |
| <b>Espèce</b>  | <i>Aspergillus niger</i> |

- **Souche 2 (*Alternaria alternata*)**

Cette souche a été identifiée comme étant *Alternaria alternata* car sa colonie est plate avec une texture douce et laineuse. Elle est recouverte de courts hyphes aériens grisâtres qui deviennent noir verdâtre ou brun olive, avec une bordure plus claire (figure 7, C1). Le haut

de la colonie est généralement brun et peut devenir noir en raison de la production d'un pigment similaire à la mélanine (figure 7, C2). Les hyphes sont septés, les conidiphores sont courts, septés. Ils ont un aspect plus ou moins sinueux, portant de grandes conidies simples ou ramifiées, ovoïdes ou ellipsoïdes segmentées par des cloisons transversales et longitudinales (figure 7, D1).



**Figure 7.** Caractéristiques macroscopiques et microscopiques de la souche fongique (*Alternaria alternata*).

(C1, C2) colonie fongique, D1 les conidiphores (x40) et D2 photo de référence (Anuja et al., 2016).

*Alternaria alternata* est un champignon ascomycète qui appartient à la famille des *Pleosporaceae* (Tableau II). Ce genre comprend de nombreuses espèces connues pour leurs capacités saprophytes et pathogènes. Il se développe sur les tissus sénescents ou blessés et dans le sol. Ses colonies présentent une couleur variant du vert laitue au vert olive, avec généralement une marge blanche proéminente lors de la croissance (Achetbi et al., 2021). Les spores aéroportées d'*Alternaria alternata* se diffusent habituellement dans de l'air chaud et sec (Ozdemir, 2015). Ce champignon est également considéré comme un

agent pathogène, provoquant des taches noires sur de nombreux fruits et légumes, une maladie connue sous le nom de pourriture noire (Troncoso-Rojas et al., 2014). *Alternaria alternata* est associé à des intoxications alimentaires dues à la production de mycotoxines, telles que l'alternariol, l'altenuène, l'éther monométhyle d'alternariol, les altertoxines et l'acide L-ténuazonique (Bautista-Baños, 2014).

**Tableau II.** Systématique d'*Alternaria alternata* (Achetbi et al., 2021).

|                |                        |
|----------------|------------------------|
| <b>Règne</b>   | <i>Fungi</i>           |
| <b>Phylum</b>  | <i>Ascomycota</i>      |
| <b>Classe</b>  | <i>Dothideomycetes</i> |
| <b>Ordre</b>   | <i>Pleosporale</i>     |
| <b>Famille</b> | <i>Pleosporaceae</i>   |
| <b>Genre</b>   | <i>Alternaria</i>      |
| <b>Espèce</b>  | <i>Alternata</i>       |

### III.2. Caractéristiques de l'extrait éthanolique de cannelle

#### III.2.1. Rendement

À partir de 50 grammes de cannelle en poudre, on a obtenu 10,02 g d'extrait avec un rendement d'extraction de 20,04 %. Cette valeur est supérieure à celles mentionnées par plusieurs auteurs : Bensaha et Guttuon (2016) (12,07 %), Amini et Hamdidouche (2016) (6,70 %) et Reffas et Slimani (2019) (6,6 %).

Ces différences sont dues à de nombreux facteurs, Azwandi (2015) explique que tous les éléments influents (comme la température, les solvants, la vitesse d'agitation, etc.) peuvent être utilisés pour améliorer l'extraction. Amini et Hamdidouche (2016) ont indiqué que le processus de macération sur une période étendue (24h) et à température ambiante permet d'extraire au maximum les divers composés de la poudre et de prévenir leur altération ou modification probable due à une température élevée.

### III.2.2. Caractères organoleptiques

L'extrait éthanolique obtenu est une poudre de couleur brune avec un goût épicé et un arôme fort, caractéristique des écorces de cannelle.



**Figure 8.** Extrait éthanolique de cannelle.

### III.3. Caractéristiques de l'HE de cannelle

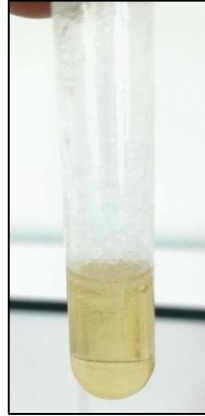
#### III.3.1. Rendement en HE

Après l'hydro distillation de 150 g de *Cinnamomum cassia*, 3.7 g d'huile ont été obtenus avec un rendement d'extraction de 2,51 %. Cette valeur se situe dans l'intervalle mentionné par :Li et *al.* (2013) (0,72 à 3,08 %). Elle est proche de celles rapportées par Tao et *al.* (2016) (2,50%) et Kara (2023) (2,27%). Elle est relativement plus élevée que celles mentionnées par plusieurs auteurs :Boungab (2014)(1,5 %), Djilaili et *al.* (2018) (0,96%), Laaradj et *al.* (2018) (0.9%), Yahyaoui (2004) (0,5%) et Tebbouche et Menasria (2023) (0,34%). Cependant, le rendement obtenu est inférieur aux valeurs trouvées par : Chettouh et *al.* (2020) (3,11%), Medjani et Magmoum (2017) (3,16 à 3,71%) et Amini et Hamidouche (2016) (6,70%). Cette différence peut être due à plusieurs facteurs, tels que les conditions climatiques et environnementales, les conditions de croissance des plantes dans différents sites de culture, la situation géographique, la période de récolte, la durée de séchage, les conditions de stockage et le processus d'extraction (Edet, 2004 ; Haouam, 2019 ; Ojeda-Sana et *al.*, 2013).

#### III.3.2. Caractères organoleptiques

L'huile essentielle extraite est un liquide limpide, de couleur jaune à jaune foncé, qui dégage une odeur épicé, fraîche et caractéristique des bâtonnets de cannelle.





**Figure 9.** Huile essentielle de *Cinnamomum cassia*.

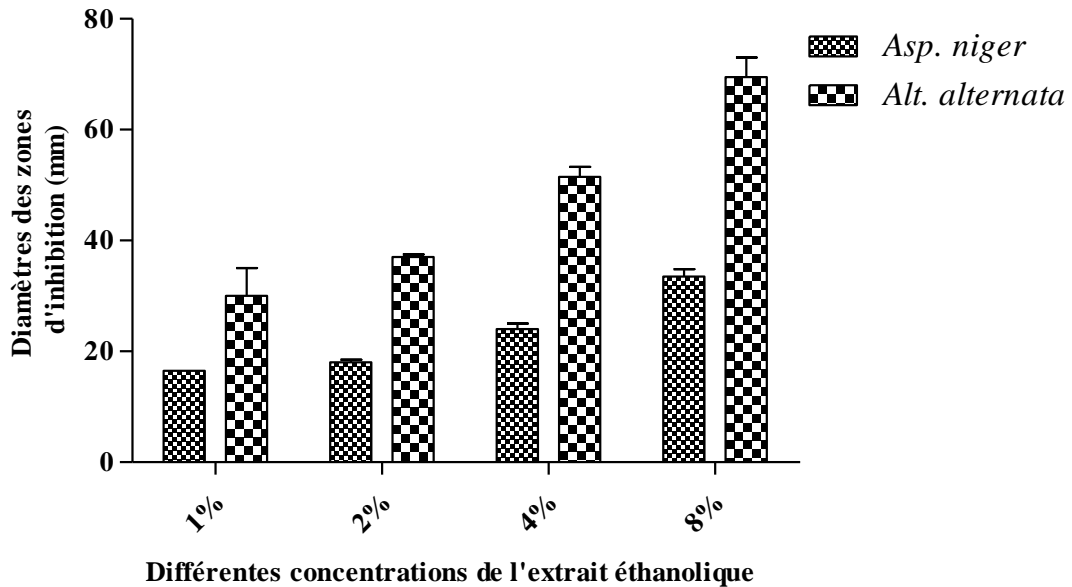
### **III.3.3. Indice de réfraction**

Après avoir mesuré l'indice de réfraction de l'huile essentielle (HE) avec un réfractomètre à 20°C, une valeur de 1,61 a été obtenue. Cette valeur est similaire à celle rapportée par Medjani et Magmom (2017). Selon la 6ème édition de la Pharmacopée française, l'indice de réfraction de l'huile essentielle de *Cinnamomum cassia* doit se situer entre 1,600 et 1,614. Par conséquent, l'indice obtenu est conforme aux normes.

## **IV. Evaluation de l'activité antifongique de l'extrait éthanolique et de l'HE**

### **IV.1. Activité antifongique de l'extrait éthanolique**

Les résultats de l'antifongique de l'extrait éthanolique de cannelle vis-à-vis les souches fongiques sont résumées dans la figure 10 et représentés dans les tableaux III et IV.



**Figure 10.** Activité antifongique de l'extrait éthanologique de *C. cassia*.

D'après les résultats obtenus, il s'avère qu'en augmentant les concentrations de l'extrait éthanologique de *C. cassia*, les diamètres d'inhibition augmentent contre les deux souches fongiques.

On note également que l'extrait éthanologique était plus efficace ( $p < 0.0001$ ) sur *Alternaria alternata* ( $47 \pm 7.01$ ) en comparant avec *Asp. niger* ( $23 \pm 16.03$ ).

Ces résultats concordent avec ceux rapportés par Gupta et al. (2008), qui ont indiqué qu'*Aspergillus niger* était moins sensible à l'extrait éthanologique de cannelle qu'*Alternaria*.


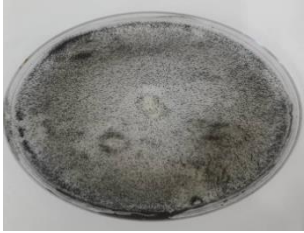

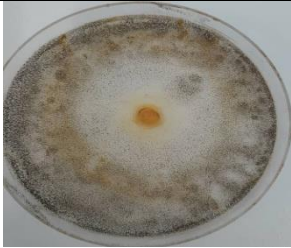

Muslim et al. (2018) ont rapporté des valeurs d'inhibition très faibles par rapport à celles obtenues dans cette étude. Ils ont trouvé une zone d'inhibition contre *Aspergillus niger* de 11,66 mm à une concentration de 20% et de 20,66 mm à une concentration de 40% d'extrait éthanologique de cannelle.

Novrianti et al. (2019) ont montré que l'extrait éthanologique de cannelle est très efficace contre *Aspergillus flavus*. Ainsi, à une concentration de 1%, un diamètre de 27 mm a été enregistré. Mahmoud (2012) a trouvé une valeur un peu plus élevée pour *Aspergillus niger* (21 mm pour 1%) que celle obtenue dans notre étude (19 mm).

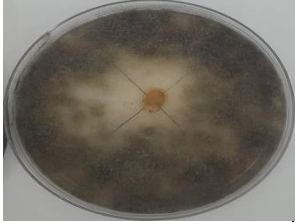
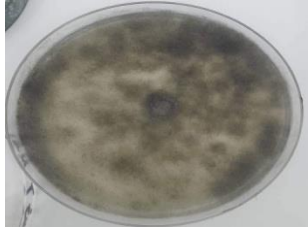

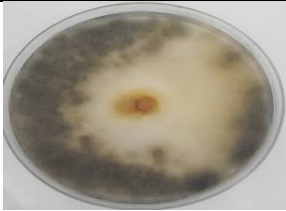

La résistance d'*Aspergillus niger* à l'extrait éthanologique aux faibles concentrations de cannelle peut être associée à la production de nombreux métabolites secondaires, tels que des enzymes (amylase, amyloglucosidase, catalase, glucose oxydase, lipase et  $\beta$ -

glucosidase), qui décomposent certains constituants actifs de la cannelle (Leveau et Bouix, 1993).

**Tableau III.** Effet de différentes concentrations de l'extrait éthanolique de *Cinnamomum cassia* sur *Aspergillus niger*.

|                          | Concentrations | Résultat   | Témoin   |
|--------------------------|----------------|--|--|
| <i>Aspergillus niger</i> | 1%             |    |  |
|                          | 2%             |   |  |
|                          | 4%             |  |  |
|                          | 8%             |  |  |
|                          |                |  |  |

**Tableau IV.** Effet de différentes concentrations de l'extrait éthanolique de *Cinnamomum cassia* contre *Alternaria alternata*.

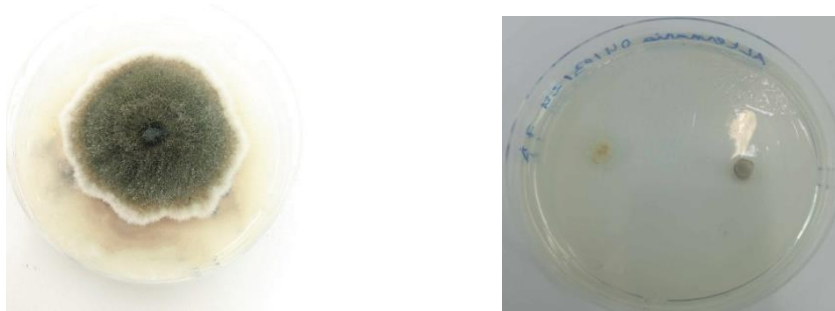
|                             | Concentrations | Résultat   | Témoin   |
|-----------------------------|----------------|--|--|
| <i>Alternaria alternata</i> | 1%             |    |  |
|                             | 2%             |    |  |
|                             | 4%             |   |  |
|                             | 8%             |  |  |

#### IV.2. Activité antifongique de l'HE (confrontation directe)

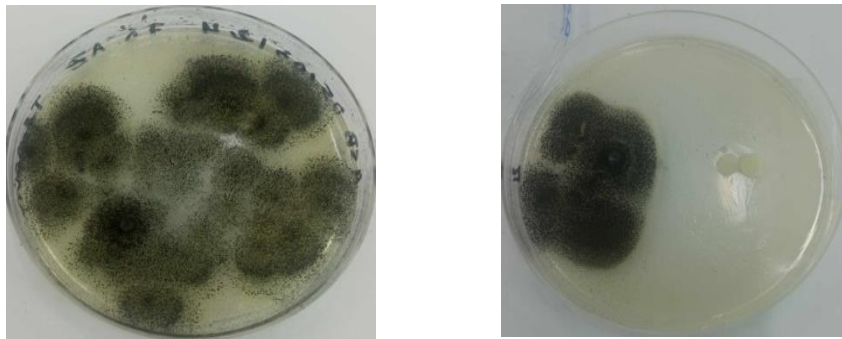
L'activité antifongique de l'huile essentielle de *Cinnamomum cassia* a été évaluée par la méthode de confrontation directe. Les résultats sont résumés dans le tableau V et les figures (11 et 12).

**Tableau V.** Pourcentages d'inhibition (%) de l'HE (confrontation directe).

| Souches fongiques           | Pourcentages d'inhibition |
|-----------------------------|---------------------------|
| <i>Aspergillus niger</i>    | 79.18% ±0.12              |
| <i>Alternaria alternata</i> | 100 %                     |



**Figure 11.** Résultat de l'activité antifongique de l'HE de cannelle contre *Alternaria alternata*



**Figure 12.** Résultat de l'activité antifongique de l'HE de cannelle contre *Aspergillus niger*. Selon les résultats obtenus, *Alternaria alternata* a été inhibée totalement par l'HE de cannelle (100%) en comparant avec *Aspergillus niger* (79,18%).

Ces résultats sont supérieurs à ceux mentionnés par Moraes et *al.* (2018) qui ont obtenu un pourcentage d'inhibition de 47,23% contre *Aspergillus* sp. Par ailleurs, Čvek et *al.* (2010) ont mentionné qu'*Aspergillus* a été inhibé complètement (100%) par l'HE de cannelle. Ces différences peuvent référer aux espèces de plante de cannelle utilisées, à la sensibilité des souches fongiques et aux conditions expérimentales.

**IV.2. Effet antifongique volatile**

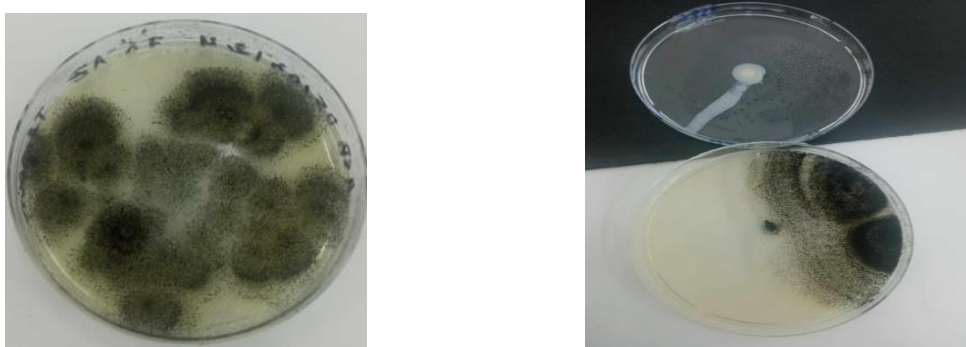
L'activité antifongique volatile de l'huile essentielle de *C. cassia* vis-à-vis *Aspergillus niger* et *Alternaria alternata* a été vérifiée par la méthode de micro-atmosphère. Les résultats sont résumés dans le tableau VI et les figures (13 et 14).

**Tableau VII.** Pourcentages d'inhibition des souches fongiques obtenus par la méthode de micro-atmosphère.

| Souches fongiques           | Pourcentages d'inhibition |
|-----------------------------|---------------------------|
| <i>Aspergillus niger</i>    | 41.46% ± 0.14             |
| <i>Alternaria alternata</i> | 100%                      |



**Figure 13.** Résultat de l'effet volatile de l'HE de *Cinnamomum cassia* vis-à-vis *Alternaria alternata*.



**Figure 14.** Résultat de l'effet volatile de l'HE de *Cinnamomum cassia* vis-à-vis *Aspergillus niger*.

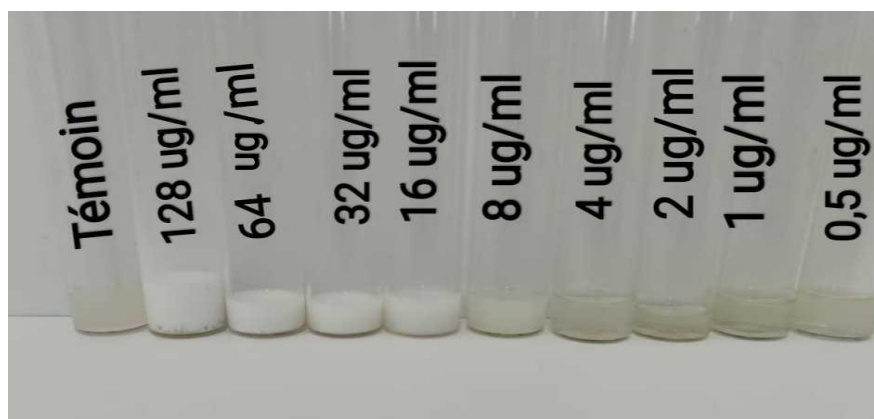
Les résultats obtenus montrent que l'huile essentielle de *C. cassia* possède une activité antifongique volatile très efficace, inhibant *Alternaria alternata* à 100%. En revanche, pour *Aspergillus niger*, le pourcentage d'inhibition est de 41,46%.

Sukatta et al (2008) ont rapporté des valeurs d'inhibition similaires à nos résultats pour *Alternaria alternata* 100%, et supérieurs par rapport à nos résultats pour *Aspergillus niger* avec un pourcentage d'inhibition totale 100%.

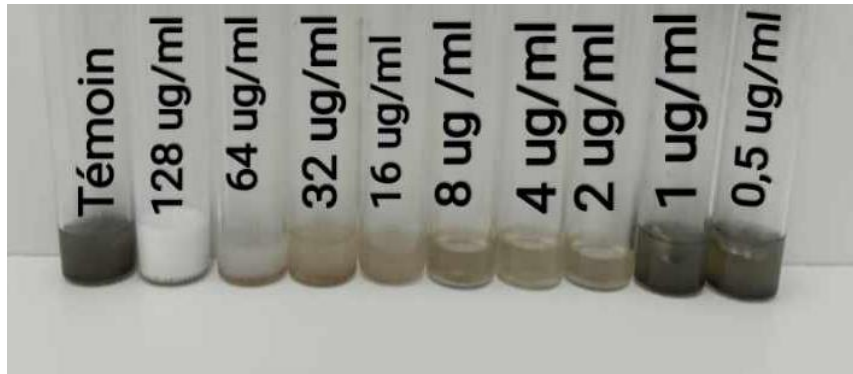
L'efficacité de l'huile de cannelle contre les moisissures dépend de leur composition chimique. Le principal composant de l'huile de cannelle est de cinnamaldéhyde, qui est un composé contenant un groupe aldéhyde et une double liaison conjuguée à l'extérieur de l'anneau. Ce composé possède une activité antifongique beaucoup plus forte et pourrait être un composé principale potentiel pour le développement de médicaments antifongiques en contrôlant la synthèse de  $\beta$ -(1,3) glucane et de la chitine dans les levures et les moisissures. (Sukatta et al.,2008).Si la concentration en cinnamaldéhyde est plus élevée, l'huile de cannelle a un effet inhibiteur plus important(Jeong et al., 2014).

### V- La détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI) et la concentration minimale fongicide(CMF)

La CMI de l'HE de *C. cassia* contre *Aspergillus niger* est de 2 $\mu$ g/ml (Fig.16). Pour *Alternaria alternata*, elle n'a pas été atteinte et la CMI est inférieure à 0.5  $\mu$ g/ml (Fig.15).Les concentrations minimales fongicides (CMF) obtenues contre *Aspergillus niger* et *Alternaria alternata* sont 16 $\mu$ g/ml et 1 $\mu$ g/ml respectivement (Tableaux VII et VIII).



**Figure 15** : Résultat de la concentration minimale inhibitrice (CMI) pour *Alternaria alternata*.



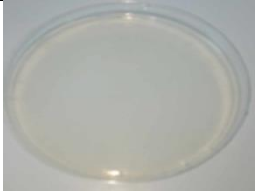
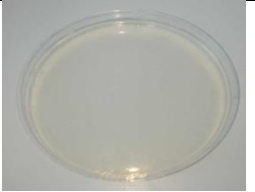
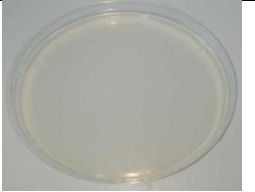
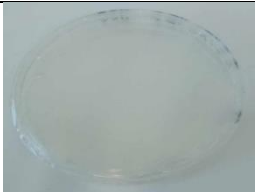
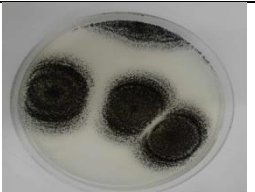


**Figure 16.** Résultat de la concentration minimale inhibitrice (CMI) pour *Aspergillus niger*

**Tableau VII.** Résultat de la concentration minimale fongicide (CMF) pour *Alternaria alternata*.

| 128 µg/ml | 64µg/ml | 32 µg/ml | 16 µg/ml |
|-----------|---------|----------|----------|
|           |         |          |          |
| 8 µg/ml   | 4 µg/ml | 2µg/ml   | 1 µg/ml  |
|           |         |          |          |
| 0.5 µg/ml |         |          |          |
|           |         |          |          |



**Tableau VIII.** Résultat de la concentration minimale fongicide (CMF) pour *Aspergillus niger*.

| 128 µg /ml   | 64 µg /ml   | 32 µg /ml   |
|--|---|---|
|   |  |  |
| 16 µg /ml  | 8 µg/ml   | 4 µg /ml  |
|   |  |  |
| 2µg/ml   |   |   |
|  |   |   |

Ces résultats sont inférieurs à ceux mentionnés par plusieurs auteurs. Ainsi, Wang et al. (2023) ont obtenu une CMI de 25 µg/ml pour *Aspergillus niger* ; Rahimifard et al.,(2015) ont mentionnés une concentration minimale inhibitrice et fongicides contre *Aspergillus* sp.de 650 µg/ml et 125 µg/ml respectivement. Pekmezovic et al.,(2015) ont obtenu une CMI de 62,5 µg/ml et une CMF de 125 µg/ml pour *Aspergillus* sp.

Cela explique que la qualité de la plante utilisé et les composants de notre l'huile essentielle de cannelle de Chine sont plus efficaces que les autres.

### Conclusion

Ce travail évalue l'efficacité antifongique de l'huile essentielle et de l'extrait éthanolique de *Cinnamomum cassia* contre des moisissures isolées à partir des fruits contaminés. L'huile essentielle a été obtenue par hydrodistillation avec un rendement estimé à 2,51%, tandis que l'extrait éthanolique a été obtenu par macération avec un rendement satisfaisant estimé à 20,04%. Deux souches antifongiques ont été isolées et identifiées (*Alternaria alternata* et *Aspergillus niger*). L'activité antifongique de l'extrait éthanolique était meilleure contre *Alternaria alternata* car le taux d'inhibition était de 47%. De même que pour l'huile essentielle en appliquant la méthode de confrontation directe et de microatmosphère. Ces résultats soulignent le potentiel prometteur de l'huile essentielle et de l'extrait éthanolique de *Cinnamomum cassia* comme agents antifongiques efficaces contre les moisissures des fruits contaminés, en particulier contre *Alternaria alternata*, justifiant ainsi des recherches supplémentaires et une optimisation des méthodes d'extraction.

Références bibliographiques

- Abd Mallick, Y. (2019).** Eumycetoma due to *Aspergillus niger*: first case report and successful treatment with voriconazole. *Journal of Pakistan Association of Dermatologists*, 29(4), 428-432.
- Abraham, K., Wöhrlin, F., Lindtner, O., Heinemeyer, G., & Lampen, A. (2010).** Toxicology and risk assessment of coumarin: focus on human data. *Molecular nutrition & food research*, 54(2), 228–239.
- Achetbi, H., Amiri, S., & Lahlali, R. (2021).** Les Alternarioses (*Alternaria* spp.) des agrumes: Diagnostic et méthodes de lutte. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 9(2).
- Al-Garadi, M. A., Qaid, M. M., Alqhtani, A. H., Alhajj, M. S., Al-Abdullatif, A. A., & Al-Mufarrej, S. I. (2023).** In vitro antimicrobial efficacy assessment of ethanolic and aqueous extracts of cinnamon (*Cinnamomum verum*) bark against selected microbes. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 25, 001-016.
- Alizadeh Behbahani, B., Falah, F., Lavi Arab, F., Vasiee, M., & Tabatabaee Yazdi, F. (2020).** Chemical Composition and Antioxidant, Antimicrobial, and Antiproliferative Activities of *Cinnamomum zeylanicum* Bark Essential Oil. *Evidence-based complementary and alternative medicine : eCAM*, 2020, 5190603.
- Amini, C., & Hamdidouche, S. (2016).** *Extraction et étude des activités antioxydantes et antibactériennes des polyphénols de la canelle de chine*. Mémoire de master, Université (Mouloud Mmmeri de Tizi-Ouzou)
- Anjum, T., & Akhtar, N. (2012).** Antifungal activity of essential oils extracted from clove, cumin and cinnamon against blue mold disease on citrus fruit. *International Conference on Applied Life Sciences : ICALS2012* (pp. 321-326).
- Annou G. (2017).** Activités biologiques des épices constitutives d'un mélange « Ras el hanout » utilisé par les habitants de Ouargla. Thèse de doctorat en biologie, université Kasdi Merbah, Ouargla, 170p.

- Atti I. (2013).** Evaluation des activités antioxydantes et antiradicalaires d'un mélange d'épices « Ras El Hanout ».Mémoire de master, université Kasdi Merbah,Ouargla, 91p.
- Bautista-Baños, S. (Ed.). (2014).** *Postharvest decay: Control strategies*. Elsevier.
- BenghenimA S. (2017).** Contribution à l'étude de l'effet inhibiteur de l'huile essentielle et de l'hydrolat de la cannelle de chine (*Cinnamomum cassia*) vis-à vis des biofilms de candida albicans. Mémoire de Master en Biochimie Appliquée. Université Aboubaker BelkaidTlemcen, faculté des sciences de la nature et de la vie, 16p.
- Bensaha, W., & GUITOUN, R. (2016).** *Effet synergique des épices constitutives de mélange «ras el hanout» sur les activités antiinflammatoire et antioxydante* (Mémoire de master, université Kasdi Merbah Ourgla) (p45).
- Bessadat, N., Simoneau, P., Benichou, S., Setti, B., Kihal, M., Henni, D.E. (2014).** Morphological, physiological and pathogenic variability ofsmall-spore *Alternaria* sp. Causing leaf blight of solanaceous plants in Algeria. *African Journal of Microbiology Research*, 8(37), 3422-3434.
- Błaszcyk, N., Rosiak, A., & Kałużna-Czaplińska, J. (2021).** The potential role of cinnamon in human health. *Forests*, 12(5), 648.
- Boungab, K., Tadjeddine, A., Belabid, L. (2014).** Efficacité de l'huile essentielle de la cannelle (*Cinnamomum cassia*) sur des champignons phytopathogènes. *Phyto Chem BioSub J ournal*, 8(4), 214-220.
- Cava-Roda, R., Taboada-Rodríguez, A., López-Gómez, A., Martínez-Hernández, G. B., & Marín-Iniesta, F. (2021).** Synergistic antimicrobial activities of combinations of vanillin and essential oils of cinnamon bark, cinnamon leaves, and cloves. *Foods*, 10(6), 1406.
- Chahbi, A. (2020).** Etude des propriétés biologiques et thérapeutiques des huiles essentielles de trois plantes aromatiques (*Thymus vulgaris*, *Cinnamomum cassia* et *Origanum compactum*): Applications pratiques en aviculture.
- Cheng, M. P, Lawandi, A., Lee, T. C., Dufresne, P. J., Seidel, D., Verweij, P. E.,...& Sheppard, D. C. (2019).** Triazole antifungal suceptibility patterns among *Aspergillus* species in Québec, Canada. *Journal of Clinical Microbiologie*, 57(6), 10-1128.

- Chettouh, K., Dahmane, S., & Dahmane, D (2020).** *Etat des connaissances portant sur l'activité biologique de l'huile essentielle extraite de Cinnamomum cassia* (Doctoral dissertation, Université laarbi tebessi tebessa).
- Compaore, H., Sawadogo-Lingani, H., Savadogo, A., Dianou, D., & Traore, A. S. (2016).** Isolement et caractérisation morphologique de moisissures productrices de substances antibactériennes à partir d'aliments locaux au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(1), 198-210.
- Čvek, D., Markov, K., Frece, J., Landeka Dragičević, T., Majica, M., & Delaš, F. (2010).** Growth inhibition of *Aspergillus ochraceus* ZMPBF 318 and *Penicillium expansum* ZMPBF 565 by four essential oils. *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju*, 61(2), 191-195.
- Djilaili, I., Kharroubi, S., & Slimane, F. (2018).** *Evaluation de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de la cannelle de Chine (Cinnamomum cassia)* (Doctoral dissertation, université ibn khaldoun-tiaret).
- Doudi, M., Setorki, M., & Rezayatmand, Z. (2016).** Effects of aqueous extract of *Cinnamomum verum* on growth of bread spoilage fungi. *International Journal of Medical Research & Health Sciences*, 5(1), 162-171.
- Edet, F. (2004).** La cannelle de Ceylan et ses activités biologiques (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat. Université).
- El atki, Y. (2020).** Etude des activités biologiques de *Teucrium polium* et *Cinnamomum cassia* et évaluation du potentiel synergique antibactérien de leurs huiles essentielles combinées avec certains antibiotiques ou molécules volatiles.
- Fekih, N. (2014).** Propriétés chimiques et biologiques des huiles essentielles de trois espèces du genre *Pinus* poussant en Algérie. (Thèse) : Chimie organique : Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen.
- Gruenwald, J., Freder, J., & Armbruster, N. (2010).** Cinnamon and health. *Critical reviews in food science and nutrition*, 50(9), 822-834.

- Gupta, C., Garg, A. P., Uniyal, R. C., & Kumari, A. (2008).** Comparative analysis of the antimicrobial activity of cinnamon oil and cinnamon extract on some food-borne microbes. *Afr J Microbiol Res*, 2(9), 247-51.
- Haouam, M. T. (2019).** *Évaluation de l'activité biologique de l'huile essentielle extraite à partir du Romarin* (Doctoral dissertation, Université laarbi tebessi tebessa).
- Hmiri, S., Rahouti, M., Habib, Z., Satrani, B., Ghanmi, M., & El Ajjouri, M. (2011).** Évaluation du potentiel antifongique des huiles essentielles de *Mentha pulegium* et d'*Eucalyptus Camaldulensis* dans la lutte biologique contre les champignons responsables de la détérioration des pommes en conservation. *Bulletin de la société royale des sciences de liège*, 80, 824 – 836.
- Jeong, E. J., Lee, N. K., Oh, J., Jang, S. E., Lee, J. S., Bae, I. H., ...&Jeong, Y. S. (2014).** Inhibitory effect of cinnamon essential oils on selected cheese-contaminating fungi (*Penicillium* spp.) during the cheese-ripening process. *Food Science and Biotechnology*, 23, 1193-1198.
- Julianti, E., Rajah, K. K., & Fidrianny, I. (2017).** Antibacterial activity of ethanolic extract of cinnamon bark, honey, and their combination effects against acne-causing bacteria. *Scientia pharmaceutica*, 85(2), 19.
- Kaloustian, J., Hadji-Minaglou, F. (2012).** *La connaissance des huiles essentielles : qualité et aromathérapie ; Entre science et tradition pour une application médicale raisonnée.* Spinger.
- KARA, M. (2023).** *Etude comparative des activités antioxydante et antifongique des huiles essentielles de clou de girofle et de la cannelle* (Doctoral dissertation, Université Ibn Khaldoun).
- Kasim, N. N., Ismail, S. N. A. S., Masdar, N. D., Hamid, F. A., & Nawawi, W. I. (2014).** Extraction and potential of cinnamon essential oil towards repellency and insecticidal activity. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4(7), 2250-3153.
- Kaskatepe B., kiymaci, M.E., Simske D., Erol HB., Erdem SA. (2016).** Comparaison of the contents and antimicrobial activities of commercial and natural cinnamon oil. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences* 2016 ; 78(4) : 541-546.

- Kawatra, P., & Rajagopalan, R. (2015).** Cinnamon: Mystic powers of a minute ingredient. *Pharmacognosy research*, 7(Suppl 1), S1–S6.
- Khaoula, C., Samia, D., & Dounia, D. (2020).** *Etat des connaissances portant sur l'activité biologique de l'huile essentielle extraite de Cinnamomum cassia* (Doctoral dissertation, Université laarbi tebessi tebessa).
- Knauth, P., Lópe, Z. L., Hernández, G. J. A., & Sevilla, M. T. E. (2018).** Cinnamon essential oil: chemical composition and biological activities. *Essential oils production, applications and health benefits*. Nova Science Publishers, Hauppauge, New York, 215-44.
- Kocevski, D., Du, M., Kan, J., Jing, C., Lačanin, I., & Pavlović, H. (2013).** Antifungal effect of *Allium tuberosum*, *Cinnamomum cassia*, and *Pogostemon cablin* essential oils and their components against population of *Aspergillus* species. *Journal of Food Science*, 78(5), M731-M737.
- Kowalska, J., Tyburski, J., Matysiak, K., Jakubowska, M., Łukaszyk, J., & Krzymińska, J. (2021).** Cinnamon as a useful preventive substance for the care of human and plant health. *Molecules*, 26(17), 5299.
- Laaradj, D., Gharou, N., & Lazizi, N. (2018).** *Evaluation de l'activité antifongique de l'huile de la cannelle de chine (Cinnamomum cassia)* (Doctoral dissertation, université ibn khaldoun-tiaret).
- Laghchimi, Z. M., Majidi, L., Renucci, F., El Harrak, A., & Costa, J. (2014).** Composition chimique et effet des phases liquide et vapeur de l'huile essentielle de *Lavandula multifida* sur la croissance mycélienne des moisissures responsables de la pourriture de la pomme. *J. Mater. Environ. Sci*, 5(6), 1770-1780.
- Leveau, J.Y. & Bouix, M. (1993).** *Microbiologie industrielle : les micro-organismes d'intérêt industriel*. Édition : Tec et Doc, Lavoisier et APRIA, France, pp. 612.
- Li, Y. Q., Kong, D. X., Huang, R. S., Liang, H. L., Xu, C. G., & Wu, H. (2013).** Variations in essential oil yields and compositions of *Cinnamomum cassia* leaves at different developmental stages. *Industrial Crops and Products*, 47, 92-101.

- Lima, M. A. S., Oliveira, M. D. C. F. D., Pimenta, A. T., & Uchôa, P. K. (2019).** *Aspergillus niger*: a hundred years of contribution to the natural products chemistry. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 30, 2029-2059.
- Lucas-Gonzalez, R., Yilmaz, B., Khaneghah, A. M., Hano, C., Shariati, M. A., Bangar, S. P., ...& Lorenzo, J. M. (2023).** Cinnamon: An antimicrobial ingredient for active packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 35, 101026.
- Mahmoud, S. N. (2012).** Antifungal activity of *Cinnamomum zeylanicum* and *Eucalyptus microtheca* crude extracts against food spoilage fungi. *Euphrates Journal of Agriculture Science*, 4(3), 26-39.
- Maluleke, E., Jolly, N. P., Patterson, H. G., & Setati, M. E. (2022).** Antifungal activity of non-conventional yeasts against *Botrytis cinerea* and non-*Botrytis* grape bunch rot fungi. *Frontiers in Microbiology*, 13, 986229.
- Medjani, C., & Maguemoun, K. (2017).** *Extraction, analyse et évaluation de l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle essentielle de la cannelle de chine* (Doctoral dissertation, UMMTO).
- Mersil, S., & Alifia, H. (2023).** Antifungal Effectiveness Test of Cinnamon Extract (*Cinnamomum Burmannii*) Against *Candida Albicans*. *International Journal of Medical Science and Clinical Research Studies*, 3(9), 2013-2017.
- Moraes, S. D. P. C. B., Moraes, W. B., Moraes, W. B., de Resende Camara, G., de Lima, P. A. M., Ferreira, A., ... & Lopes, J. C. (2018).** Cinnamon and citronella essential oils in the in vitro control of the fungi *Aspergillus* sp. and *Sclerotinia sclerotiorum*. *African Journal of Agricultural Research*, 13(35), 1811-1815.
- Mouria, B., Touhami, A. O., & Douira, A. (2012).** Isolation and identification of mycoflora from compost of municipal solid waste. *Nature Technology Review, C-Environmental Sciences*, 13, 28.
- Muslim, E. T., Saeed, A. A., & Sabeeh, S. A. (2018).** Inhibition activity of *Zingiber officinale* and *Cinnamomum zeylanicum* extract against *Aspergillus niger* and *Penicillium notatum*. *Al-Anbar Journal of Veterinary Sciences*, 11(1).



- Nabavi, S. F., Di Lorenzo, A., Izadi, M., Sobarzo-Sánchez, E., Daglia, M., & Nabavi, S. M. (2015).** Antibacterial Effects of Cinnamon: From Farm to Food, Cosmetic and Pharmaceutical Industries. *Nutrients*, 7(9), 7729–7748.
- Nacef, H. S., Ferdjioui, S., Chaibi, S., & Ramla, K. (2022).** Activité antimicrobienne des champignons endophytes et de l'huile essentielle de la plante médicinale *Lavandula officinalis*: Étude comparative. *Agrobiologia*, 12(2), 3192-3203.
- Nirmal Babu, K., Shylaja, M., & Ravindran, P. N. (2003).** Cinnamon and Cassia: The Genus *Cinnamomum* (Medicinal and Aromatic Plants-Industrial Profiles).
- Novrianti, V., Harahap, I., & Elsie, E. (2019).** Antifungal Activity Test of Cinnamon Extract (*Cinnamomun burmani*) on Growth of *Aspergillus flavus* and *Fusarium moniliforme*. *Bioscience*, 3(2), 106-112.
- Ojeda, F. S., Hoc, P. S., & Amela García, M. T. (2013).** Morphology of seeds and seedlings of four species of *Vigna Savi* (Leguminosae, Phaseolinae). *Acta Botanica Brasilica*, 27, 483-489.
- Ozdemir, O. (2015).** Molds and respiratory allergy—part 1. *MOJ Immunol*, 2(2), 00045.
- Pekmezovic, M., Rajkovic, K., Barac, A., Senerović, L., & Arsenijevic, V. A. (2015).** Development of kinetic model for testing antifungal effect of *Thymus vulgaris* L. and *Cinnamomum cassia* L. essential oils on *Aspergillus flavus* spores and application for optimization of synergistic effect. *Biochemical Engineering Journal*, 99, 131-137.
- Rahimifard, N., Shoeibi, S., Pakzad, S. R., Hajimehdipoor, H., Sabzevari, O., & Ajdary, S. (2015).** Antifungal Activity of the Essential Oil of *Cinnamomum zeylanicum* on *Candida Albicans*, *Aspergillus Niger* and *Aspergillus Flavus*. *Biomedical and Pharmacology Journal*, 1(1), 85-88.
- Rao, P. V., & Gan, S. H. (2014).** Cinnamon: a multifaceted medicinal plant. *Evidence-based complementary and alternative medicine : eCAM*, 2014, 642942.
- Razzouk, S., Mazri, M. A., Jeldi, L., Mnasri, B., Ouahmane, L., & Alfeddy, M. N. (2022).** Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils from three Mediterranean plants against eighteen pathogenic bacteria and fungi. *Pharmaceutics*, 14(8), 1608.

## Références bibliographiques

---

- Reffas, I., & Slimani, L. (2019).** Contribution a l'étude phytochimique et a l'évaluation de quelques activités biologiques d'un mélange d'épices (Ras el Hanout)
- Schuster, E., Dunn-Coleman, N., Frisvad, J. C., & Van Dijck, P. W. (2002).** On the safety of *Aspergillus niger*—a review. *Applied microbiology and biotechnology*, 59, 426-435.
- Singh, G., Maurya, S., DeLampasona, M. P., & Catalan, C. A. (2007).** A comparison of chemical, antioxidant and antimicrobial studies of cinnamon leaf and bark volatile oils, oleoresins and their constituents. *Food and chemical toxicology : an international journal published for the British Industrial Biological Research Association*, 45(9), 1650–1661.
- Singletary, K. (2008).** Cinnamon: overview of health benefits. *Nutrition Today*, 43(6), 263-266.
- Sukatta, U., Haruthaithanasan, V., Chantarapanont, W., Dilokkunanant, U., & Suppakul, P. (2008).** Antifungal activity of clove and cinnamon oil and their synergistic against postharvest decay fungi of grape in vitro. *Agriculture and Natural Resources*, 42(5), 169-174.
- Tao, D., Li, Y., Lu, D., Luo, Y., Yu, S., & Ye, S. (2016).** The essential oil components of *Cinnamomum cassia*: an analysis under different thinning models of plantation *Pinus massoniana*. *Journal of Forestry Research*, 27, 707-717.
- Tebbouche Khadidja, M. I. (2023).** *Etude de la toxicité d'huiles essentielles sur Tribolium confusum et Sitophilus oryzae* (Doctoral dissertation, Université Echahid Chikh Larbi Tébessi-Tébessa).
- Troncoso-Rojas, R., & Tiznado-Hernández, M. E. (2014).** *Alternaria alternata* (black rot, black spot). In *Postharvest decay* (pp. 147-187). Academic Press.
- Vasconcelos, N. G., Croda, J., & Simionatto, S. (2018).** Antibacterial mechanisms of cinnamon and its constituents: A review. *Microbial pathogenesis*, 120, 198-203.
- Vernon F. et Rivhard H. (1976).** Quelques épices et aromates et leurs huiles essentielles P 22.
- Wang, M., Liu, H., Dang, Y., Li, D., Qiao, Z., Wang, G., ...& Li, E. (2023).** Antifungal mechanism of cinnamon essential oil against Chinese yam-derived *Aspergillus niger*. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2023(1), 5777460.

## Références bibliographiques

---

- Yahyaoui N. (2005).** Extraction, analyse et évaluation de l'effet insecticide des huiles essentielles de menthe spicata L sur Rhyzoperlhu dominicu (F.) (Coleoptera, Bostrychidae) et Triboium confusm (Duv.) (Coleoptera Tenebrionidae). Thèse de magistère science agronomiques, option Ecologie, INA, El-Harrach. P 66
- Yala, J. F., Ntsameso-Mve-Mba, V., Issembe, Y. A., Lepengue, N. A., & Souza, A. (2016).** Évaluation in vitro de l'activité antimicrobienne de l'extrait aqueux d'Eryngium foetidum récolté dans la ville de Franceville. *Journal of Applied Biosciences*, 103, 9886-989.

## Annexe(01) de matériel

| Matérielles de laboratoire utilisé  |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pince</li> <li>• Pince métallique</li> <li>• Bec benzène</li> <li>• Boite de pétri</li> <li>• Para-filme</li> <li>• Papier film alimentaire</li> <li>• Bécher (250ml, 500ml, 1000ml)</li> <li>• Eprouvette graduée (200 ml)</li> <li>• Erlenmeyers (1000ml, 500ml, 250ml)</li> <li>• Barreau magnétique</li> <li>• Disque en papier filtre</li> <li>• Micropipette (10<math>\mu</math>l, 1000<math>\mu</math>l)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Papier Wattman N°03</li> <li>• Papier aluminium</li> <li>• Marquer permanent</li> <li>• Boite pétri en verre</li> <li>• Fiole</li> <li>• Pipettes pasteur</li> <li>• Anse de platine</li> <li>• Entonnoir en verre</li> <li>• Tube à essai</li> <li>• Ciseau</li> <li>• Embouts stériles (jaune et bleu)</li> <li>• Mortier de purée</li> </ul> |

## Autres matériel utilisés

|   |   |  |
|---|---|--|
|  |  |  |
| Balance.  | Bain marie  | Agitateur magnétique avec plaque chauffante  |



Autoclave.



Etuve réglable à  
température différente.



Spectrophotomètre.

**Annexe 2 : Les milieux de culture utilisés**

**PDA** : La gélose dextrose à la pomme de terre.

- 200g de pomme de terre.
- Un litre d'eau distillée.
- 20 g Glucose.
- 20g Agar.

Autoclavé à 121°C pendant 20 minutes.

**PDB** :

- 20g de pomme de terre.
- 100ml d'eau distillée.
- 2g Glucose.

Autoclavé à 121°C pendant 20 minutes.

## Résumé

Ce travail a pour but d'évaluer l'activité antifongique de l'huile essentielle et de l'extrait éthanolique de *Cinnamomum cassia* contre des agents phytopathogènes isolés de quelques fruits contaminés. L'huile essentielle a été obtenue par Hydrodistillation, tandis que l'extrait éthanolique a été produit par macération de cannelle avec des rendements de 2,51% et 20,04% respectivement. L'effet antifongique de l'extrait éthanolique de cannelle augmente avec l'augmentation des concentrations (1%, 2%, 3%, 4% et 8%), montrant une meilleure inhibition d'*Alternaria alternata*. En appliquant les méthodes de confrontation directe et de micro-atmosphère, l'huile essentielle de *Cinnamomum cassia* a totalement inhibé la croissance d'*Alternaria alternata*. Par ailleurs, des pourcentages d'inhibition de 79,18 % et 41,46 % ont été obtenus respectivement contre *A. niger*. Les concentrations minimales inhibitrices et fongicides de l'huile essentielle ont été déterminées par la méthode de macro-dilution. Les résultats ont révélés une CMI de 2 µg/ml et une CMF de 16 µg/ml. Tandis que pour la souche *Alternaria alternata*, la CMI était <0.5 µg/ml et la CMF est de 1 µg/ml.

En conclusion, l'huile essentielle et l'extrait éthanolique de *Cinnamomum cassia* démontrent une activité antifongique significative, avec une efficacité particulièrement élevée contre *Alternaria alternata*, ce qui suggère leur potentiel en tant qu'agents naturels de lutte contre les phytopathogènes.

**Les mots clés :** Activité antifongique, *Cinnamomum cassia*, confrontation directe, extrait éthanolique, huile essentielle, Hydrodistillation, micro-atmosphère.

## Abstract

This study aims to evaluate the antifungal activity of essential oil and ethanolic extract of *Cinnamomum cassia* against phytopathogenic agents isolated from some rotten fruits. The essential oil was obtained by hydrodistillation, while the ethanolic extract was produced by maceration with yields of 2.51% and 20.04% respectively. The antifungal effect of the ethanolic extract of cinnamon increases with increasing concentrations (1%, 2%, 3%, 4% and 8%), showing better inhibition of *Alternaria alternata*. By applying the direct confrontation and micro-atmosphere methods, the essential oil of *Cinnamomum cassia* completely inhibited the growth of *Alternaria alternata*. Additionally, inhibition percentages of 79.18% and 41.46% were obtained against *A. niger*, respectively. The minimum inhibitory and fungicidal concentrations of the essential oil were determined by the macro-dilution method. The results revealed a MIC of 2µg/ml and an MFC of 16µg/ml. For the *Alternaria alternata* strain, the MIC was <0.5µg/ml and the MFC was 1 µg/ml. In conclusion, the essential oil and ethanolic extract of *Cinnamomum cassia* demonstrate significant antifungal activity, with particularly high efficacy against *Alternaria alternata*, suggesting their potential as natural agents for managing phytopathogens.

**Keywords:** Antifungal activity, *Cinnamomum cassia*, direct confrontation, ethanolic extract, essential oil, hydrodistillation, micro-atmosphere.

## المخلص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم النشاط المضاد للفطريات للزيت العطري والمستخلص الإيثانولي من *Cinnamomum cassia* ضد العوامل المرضية النباتية المعزولة من بعض الفواكه المتعفنة. تم الحصول على الزيت العطري عن طريق التقطير المائي، بينما تم إنتاج المستخلص الإيثانولي عن طريق تقطير القرفة، بمردود بلغ 2.51% و 20.04% على التوالي. يزداد التأثير المضاد للفطريات للمستخلص الإيثانولي للقرفة مع زيادة التركيزات (1%، 2%، 3%، 4% و 8%)، حيث أظهر تثبيطاً أفضل ضد *Alternaria alternata*. باستخدام طرق المواجهة المباشرة و الميكروأتموسفير، تم تثبيط نمو *Alternaria alternata* تماماً بواسطة الزيت العطري لـ *Cinnamomum cassia*. علاوة على ذلك، تم تحقيق نسب تثبيط بلغت 79.18% و 41.46% ضد *A. niger* على التوالي. تم تحديد التركيزات المثبطة والقاتلة الدنيا للزيت العطري باستخدام طريقة التخفيف الكبير. كشفت النتائج عن CMI بمقدار 2 ميكروغرام/مل و CMF بمقدار 16 ميكروغرام/مل. أما بالنسبة لـ *Alternaria alternata*، فكانت CMI أقل من 0.5 ميكروغرام/مل و CMF بمقدار 1 ميكروغرام/مل. في الأخير، يُظهر الزيت العطري والمستخلص الإيثانولي من *Cinnamomum cassia* نشاطاً مضاداً للفطريات ملحوظاً، مع فعالية عالية بشكل خاص ضد *Alternaria alternata*. مما يشير إلى إمكانية استخدامهما كعوامل طبيعية لمكافحة العوامل المرضية النباتية.

## الكلمات المفتاحية

النشاط المضاد للفطريات، *Cinnamomum cassia*، المواجهة المباشرة، المستخلص الإيثانولي، الزيت العطري، التقطير المائي، الميكروأتموسفير.