



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة البليدة 1

Université Saad Dahleb – Blida

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biotechnologie

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master Académique

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Biotechnologie et Valorisation des Plantes

Thème :

Evaluation du pouvoir antifongique de quelques extraits de plantes vis à vis des agents responsables d'altérations du blé

Présenté par :

Triki Hiba

et

Feroukhi Chourouk Lina

Membre de Jury :

Mme Saddek D

Dr

USDB

Promotrice

Mme Moumene S

MCA

USDB

Présidente

Mdm Belkhiter S

MAC

USDB

Examinatrice

Année universitaire : 2022/2023

Remerciements

Tout d'abord, louange à « ALLAH » qui nous a guidé sur le chemin droit tout au long du travail et m'a inspiré les bons pas et les justes réflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aura pas abouti.

Nous exprimons notre profond remerciement à notre chère promotrice Mme SADDEK Dounia, pour avoir accepté de nous encadrer ce mémoire dans le cadre d'un axe de recherche. Merci pour votre présence et votre disponibilité permanente, pour vos conseils et pour l'aide que vous avez apporté et pour l'intérêt constant que vous n'avez cessé d'accorder pour l'orientation de ce travail. Ainsi que ton soutien moral et scientifique qui nous a permis de mener à terminer ce projet.

Nos remerciements s'adressent à Mme MOUMENE S qui nous a fait l'honneur de présider ce jury et à Mme BELKHITER S pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous remercions très vivement Mme ABABSIA A, directrice de I.N.P.V Boufarik pour nous avoir facilité l'accès à la station, en mettant à notre disposition tous les moyens nécessaires à la réalisation de mon expérimentation.

Nous tenons à remercier plus particulièrement Mme BENCHIKH K d'avoir consacré une partie de leur temps à ce travail, aussi pour son aide, ses encouragements et sa gentillesse.

Je ne saurais terminer cette liste de remerciements sans évoquer tous nos collègues de section de Biotechnologie et valorisations des plantes de l'université Saad Dahleb de Blida, en particulier MARWA et AMINA, pour leur bonne humeur, leur dévouement, et leur efficacité.

Enfin, nos sentiments de reconnaissance et nos remerciements vont également à l'encontre de toute personne qui a participé de près ou de loin, directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Al Hamdou lillah, qui m'a donné la force de réaliser ce modeste travail, je dédie le fruit de ma patience, de ma persévérance :

*À mes chères **parents**, aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consentis pour mon instruction et mon bien-être depuis mon enfance.*

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.

Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

*À la mémoire de mon doux et regretté **grand-père**, qui m'a toujours entourée d'amour et de tendresse. Présente à jamais dans mes pensées, il m'accompagnera tout au long de ma vie.*

*À ma grand- mère **MOUMA** merci de prendre toujours soin de moi et merci de faire en sorte que je ne manque de rien de moi. Puisse dieu vous accorder santé, longue vie et prospérité.*

*À ma tante **OUAHIDA** mon amour, mon guide, et ma deuxième mère, aucune expression ne pourrait exprimer à sa juste valeur, le respect et l'estime que je vous dois. Je vous dédie en termes de reconnaissance pour tout l'encouragement, le soutien moral et en témoignage de gratitude et d'attachement.*

*À ma très chère sœur **MERIEM** qu'elle trouve ici toute ma gratitude pour son aide précieuse et pour son encouragement tout au long de ma vie, ce modeste travail ne serait jamais achevé sans toi.*

*À ma chère adorable petite sœur **SELSABIL**, je te souhaite la réussite la plus totale pour ton avenir, et une vie pleine du bonheur et de succès.*

*Une pensée particulière à tous mes besties : **SABRINA** et **ROMAISSA**, pour leur précieux soutien tout au long de ce travail. Je vous remercie pour tous ces moments passés avec vous, et pour votre gentillesse et pour toutes ces petites attentions qui, tout au long de ces années, m'ont accompagnées.*

A tous ceux qui m'estiment et me portent dans leur cœur

HIBA

Dédicaces

À moi-même,

Pour ma patience, ma persévérance, ma détermination et mes efforts tout au long de mon parcours universitaire,

À mes chers parents,

Père : **Feroukhi Abd El Kader**, mère : **Haci Naïma**, pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et leurs sacrifices inestimables. Vous êtes mes piliers et ma source d'inspiration constante,

À mes frères,

Mohamed et **Aymen**. et tout particulièrement à **Mohamed**, je souhaite exprimer ma profonde gratitude pour son soutien inconditionnel, ses encouragements constants et sa présence réconfortante. Tu es un modèle de persévérance et de réussite, et je prie sincèrement pour ta guérison, en implorant la miséricorde divine. Que Dieu t'accorde la santé et le bien-être selon Ses voies divines. Ta force et ta détermination ont été une source d'inspiration pour moi tout au long de mon parcours universitaire. Je suis reconnaissant de t'avoir comme frère et d'avoir pu compter sur ton soutien précieux.

À mon professeur,

Mdm Moumen. S, pour son enseignement inspirant, son engagement et son encadrement précieux. Vos conseils éclairés ont contribué à ma formation académique,

À mes proches amis,

Boudiaf. A et **Ahmed.T. M.** qui ont rendu ma vie agréable et pleine de bons souvenirs.

Et enfin, à ma meilleure amie,

Mon binôme, **Triki Hiba**. pour son amitié véritable, sa bienveillance et son soutien sans faille. Nous avons partagé les hauts et les bas, et tu as toujours été une source de stabilité,

Je dédie ce mémoire de fin d'études à tous ceux qui m'ont entouré. Votre amour, votre soutien et vos encouragements ont été essentiels à ma réussite académique. Vos sacrifices et vos prières ont été une source constante d'inspiration. Merci d'avoir toujours été là pour moi, à chaque étape de ma vie.

LINA

Résumé

Les maladies fongiques entraînent des dommages à la qualité du blé, une réduction du rendement et une dépréciation commerciale, ainsi que des conséquences sur l'environnement et la santé humaine. Afin de contrôler les agents responsables de l'altération du blé, en particulier *Fusarium* sp, Cette étude a été réalisée pour évaluer le pouvoir antifongique *in vitro* des huiles essentielles (HE) des espèces végétales de : *Cymbopogon winterianus* jowitt (citronnelle), *Origanum compactum* (origan compact), *Artemisia herba alba* (armoise blanche) et *Laurus nobilis* (laurier noble), ainsi que des extraits aqueux de *Pistachier lentiscus* (pistachier lentisque), *Allium sativum* (l'ail), *Allium cepa* (l'oignon) et de céleri (*Apium graveolens*), sur le champignon phytopathogène *Fusarium* sp, et d'autre part *in vivo* sur la culture hydroponique du blé dur. Les HE ont été fournies par l'entreprise de Vie Bio, par contre, les extraits aqueux ont été préparés par décoction. La méthode des disques a été utilisée pour ces extraits, à l'état pur pour les HE et pour les extraits aqueux (purs, 50% et 25%) sur milieu PDA (Potato Dextrose Agar). Les résultats *in vitro* a révélé que les HE de citronnelle et de l'origan compact ont montré une inhibition significative pour *Fusarium* sp, avec des modifications structurales observées. D'autre part l'étude *in vivo* a révélé une inhibition totale de la germination des graines du blé dur suite aux traitements avec les HE et certains extraits aqueux, notamment l'ail et le céleri. Dans ce sens, les résultats de l'étude ont mis en évidence le potentiel antifongique des extraits de plantes, en particulier les HE de citronnelle et d'origan compact *in vitro*, en tant que bio-fongicides pour gérer les maladies du blé et contrôler les agents responsables de son altération. Cependant, l'inhibition de la germination des graines du blé *in vivo* est davantage liée à un potentiel herbicide qu'à action antifongique.

Mots clés: Pouvoir antifongique, Extraits de plantes, Altération du blé, *Fusarium* sp, Huiles essentielles, Concentration Minimale Inhibitrice.

Abstract

Fungal diseases lead to damage to wheat quality, yield reduction, and commercial devaluation, as well as consequences for the environment and human health. In order to control the agents responsible for wheat deterioration, particularly *Fusarium* sp., this study was conducted to evaluate the *in vitro* antifungal power of essential oils (EO) from plant species such as *Cymbopogon winterianus* jowitt (lemongrass), *Origanum compactum* (compact oregano), *Artemisia herba alba* (white wormwood), and *Laurus nobilis* (bay laurel), as well as aqueous extracts from *Pistacia lentiscus* (mastic tree), *Allium sativum* (garlic), *Allium cepa* (onion), and celery (*Apium graveolens*), on the phytopathogenic fungus *Fusarium* sp, and on the hydroponic cultivation of durum wheat *in vivo*. The EO was provided by the company Vie Bio, whereas the aqueous extracts were prepared by decoction. The disc diffusion method was used for these extracts, in pure form for the EO and for the aqueous extracts (pure, 50%, and 25%) on Potato Dextrose Agar (PDA) medium. The *in vitro* findings revealed that lemon grass and compact oregano essential oils showed significant inhibition against *Fusarium* sp, with structural alterations observed. On the other hand, the *in vivo* study demonstrated complete inhibition of wheat seed germination following treatments with essential oils and certain aqueous extracts, notably garlic and celery. In this regard, the study's results underscored the antifungal potential of plant extracts, particularly lemon grass and compact oregano essential oils *in vitro*, as bio-fungicides for managing wheat diseases and controlling the agents responsible for its deterioration. However, the inhibition of wheat seed germination *in vivo* is more closely associated with herbicidal potential rather than antifungal action.

Keywords: Antifungal activity, Plant extracts, Wheat deterioration, *Fusarium* sp, Essential oils, Minimum Inhibitory Concentration.

ملخص

تسبب الأمراض الفطرية ضررًا في جودة القمح وتقليل الإنتاجية وتخفيض القيمة التجارية، بالإضافة إلى تأثيرها على البيئة وصحة الإنسان. من أجل السيطرة على الكائنات المسببة لتدهور القمح، وبخاصة سلالة *Fusarium sp*، تم إجراء هذه الدراسة لتقييم الفاعلية المضادة للفطريات في المختبر للزيوت العطرية (EO) المستخلصة من الأنواع النباتية مثل *Cymbopogon winterianus jowitt* (عشبة الليمون) و *Origanum compactum* (الزعتر البري) و *Artemisia herba alba* (الشيح الأبيض) و *Laurus nobilis* (الغار النبيل)، بالإضافة إلى المستخلصات المائية من *Pistacia lentiscus* (الصمغ اللباني) و *Allium sativum* (الثوم) و *Allium cepa* (البصل) و الكرفس (*Apium graveolens*)، وذلك على الفطر الممرض للنباتات *Fusarium sp*، وفي المحاصيل المائية للقمح الصلب في الداخل. تم تزويد زيوت العطرية من قبل شركة في بيو، في حين تم تحضير المستخلصات المائية بالغلي. تم استخدام طريقة انتشار الأقراص لهذه المستخلصات، بشكل نقي للزيوت العطرية وللمستخلصات المائية (نقية، 50% و 25%) على وسط Potato Dextrose Agar (PDA). نتائج المختبر أظهرت أن زيوت عشبة الليمون والزعتر البري أبدت تثبيطًا كبيرًا لفطر الفوزاريوم، مع رصد تغييرات هيكلية. من ناحية أخرى، أظهرت الدراسة في المحيط الحيوي حظرًا تامًا لإنبات حبوب القمح الصلب بعد المعالجات بزيوت أساسية وبعض الاستخراجات المائية مثل الثوم والكرفس بشكل خاص. من هذا المنظور، أظهرت نتائج الدراسة القدرة المضادة للفطريات لمستخلصات النباتات، وبخاصة زيوت الليمون الحشيشي والزعتر البري في الوسط الحيوي، كمضادات للفطريات الحيوية لإدارة أمراض القمح والسيطرة على الكائنات المسببة لتدهوره. ومع ذلك، فإن تثبيط انبات بذور القمح في الجسم الحي يتعلق بشكل أكبر بالقدرة المضادة للأعشاب بدلاً من القدرة المضادة للفطريات.

الكلمات الرئيسية: النشاط المضاد للفطريات، مستخلصات النباتات، تدهور القمح، فوساريوم sp، الزيوت العطرية، التركيز المثبط الأدنى.

Liste des figures

Figure 1 : Appareil végétatif du blé dur	4
Figure 2 : Épi du blé infecté par la Fusariose des céréales.....	8
Figure 3 : Isolat fongique de champignon <i>Fusarium</i> sp cultiver sur le milieu Potato Dextrose Agar (PDA)	9
Figure 4 : Les caractéristiques morphologiques d'un isolat fongique de <i>Fusarium</i> sp observé sur le microscope.....	9
Figure 5 : Le celeri.	17
Figure 6 : Pistachier lentisque.....	17
Figure 7 : L'oignon.....	17
Figure 8 : L'ail.....	17
Figure 9 : Citronnelle	18
Figure 10 : Origan Compact.....	18
Figure 11 : Armoise Blanche.....	18
Figure 12 : Laurier Noble	18
Figure 13 : Préparation des extraits aqueux des plantes	20
Figure 14 : Evaluation du pouvoir antifongique in vitro des huiles essentielles et des extraits aqueux sur le champignon phytopathogen <i>Fusarium</i> sp.....	22
Figure 15 : Evaluation de l'inhibition de la sporulation et la germination du <i>Fusarium</i> sp par les huiles essentielles et les extraits aqueux de plantes.....	25
Figure 16 : Traitement des semences du blé dur par les extraits des plantes et le fongicide.....	25
Figure 17 : Culture hydroponique du blé dur.....	25
Figure 18 : Impact des huiles essentielles de : <i>Cymbopogon winterianus</i> jowitt, <i>Origanum compactum</i> , <i>Artemisia herba alba</i> et <i>Laurus nobilis</i> sur la croissance mycélienne du <i>Fusarium</i> sp.....	27
Figure 19 : Impact des extraits aqueux de plantes de : <i>Pistachier lentisque</i> , <i>Apium graveolens</i> , <i>Allium Cepa</i> et <i>Allium sativum</i> sur la croissance mycélienne de <i>Fusarium</i> sp.....	28
Figure 20 : Taux d'inhibition de la croissance mycélienne de la souche fongique de <i>Fusarium</i> sp selon la nature et types des extraits étudiés	29
Figure 21 : Taux d'inhibition de la croissance mycélienne selon les différentes doses des extraits aqueux.....	29

Figure 22 : Taux d'inhibition de la croissance mycélienne de la souche fongique testé en fonction de différente concentration des huiles essentielles de citronnelle et d'origan (cmi1 :25%, cmi2 :10%, cmi3 :5%).....	30
Figure 23 : La lyse de mycélium de <i>Fusarium</i> sp sous effet d'un extrait de plante et de témoin sur le microscope photonique (G : 100×) ; (1 : Traitement efficace ; 2 : Le témoin).....	31
Figure 24 : Sporulation du <i>Fusarium</i> sp au niveau de différents traitements. (1 : Traitement efficace ; 2 : Traitement non efficace ; 3 : Le témoin) sous microscope photonique (G : 40×).....	32
Figure 25 : Les macroconidies et les microconidies de <i>Fusarium</i> sp chez un traitement non efficace.....	32
Figure 26 : Taux d'inhibition de la sporulation du <i>Fusarium</i> sp selon la nature des plantes étudiées	34
Figure 27 : Taux d'inhibition de la sporulation du <i>Fusarium</i> sp selon les différentes doses testées	34
Figure 28 : Germination du <i>Fusarium</i> sp chez le témoin.....	34
Figure 29 : Germination du <i>Fusarium</i> sp chez traitement non efficace.....	35
Figure 30 : Pourcentage d'inhibition de la germination selon les différentes plante étudiées...	36
Figure 31 : Effet des huiles essentielles et des extraits aqueux de plantes ainsi que le fongicide sur le champignon <i>Fusarium</i> sp agent responsable d'altération du blé.....	37
Figure 32 : Résultats <i>in vivo</i> . (1 : Témoin (+) ; 2 : Témoin (-) ; 3 : Fongicide ; 4 : Extraits aqueux de Pistachier ; 5 : Extrait aqueux de L'oignon.....	38
Figure 33 : Symptômes d'apparition d'un champignon dans la culture.....	38
Figure 34 : Pourcentage d'inhibition de la germination des graines du blé dur après traitement par différents extraits étudiés.....	39

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification botanique du blé dur	3
Tableau 2 : les principales maladies cryptogamiques du blé en Algérie.....	7
Tableau 3 : Classification taxonomique de l'agent phytopathogène <i>Fusarium</i> sp.....	53
Tableau 4 : Données sur les espèces végétales et les huiles essentiels testées.....	54
Tableau 5 : Efficacité des huiles essentielles sur l'isolat fongique <i>Fusarium</i> sp.....	54
Tableau 6 : Efficacité des extraits aqueux sur l'isolat fongique <i>Fusarium</i> sp.....	55
Tableau 7 : Analyse de la variance de pourcentage d'inhibition de la germination des graines du blé dur après traitement par les 11 contrôles.....	55

Liste des abréviations

INPV	Station international de protection des végétaux.
CMI	Concentrations minimales inhibitrices
Ddl	Nombre de degrés de liberté.
DT	Diamètre de la croissance mycélienne du champignon témoin
Dt	Diamètre de la croissance mycélienne du champignon traité
GLM	General Linear Model
Gr x 10	Grossissement 10 sous microscope photonique
Gr x 40	Grossissement 40 sous microscope photonique
G : ×100	Grossissement 100 sous microscope photonique.
I	Taux d'inhibition de la croissance en %.
IG	Taux d'inhibition de la germination en %.
Inc	Taux d'incidence de la maladie en %.
Inf (t)	Taux de germination chez le témoin négative en %
Inf T	Taux d'infection chez le traitement en %.
Inf	Taux de réduction de maladie en %.

Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Résumés

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

1 Synthèse Bibliographique	3
1.1 Aperçu sur la Culture de Blé	3
1.1.1 Origine et Historique.....	3
1.2 Généralités sur le Blé Dur	3
1.2.1 Taxonomie	3
1.2.2 Description botanique	4
1.2.3 Cycle biologique de développement du blé	5
1.3 L'importance économique	6
1.3.1 Dans le monde :.....	6
1.4 Les facteurs limitant la production du blé dur	6
1.5 Généralités sur la Fusariose de l'épi cher les le blé	7
1.5.1 Systématique	7
1.5.2 Aspect culturale et morphologique	8
1.6 Lutte contre le <i>Fusarium</i> du blé	9
1.6.1 Lutte prophylactiques.....	9
1.6.2 Lutte chimique	9
1.6.3 Lutte génétique.....	10
1.6.4 Lutte biologique	10

1.7 Aperçu sur les plantes médicinales utilisées dans la lutte biologique	10
1.8 Généralités sur les plantes étudiées	11
1.8.1 L'ail	11
1.8.2 Pistachier lentisque	11
1.8.3 L'oignon	11
1.8.4 Origan compact	12
1.8.5 Armoise blanche	12
1.8.6 Citronnelle	13
1.8.7 Laurier noble	13
1.8.8 Céleri	13
2 Matériels et Méthodes	15
2.1 Matériels	15
2.1.1 Matériel non biologique	15
2.1.2 Matériel végétale	15
2.1.3 Matériel fongique	18
2.1.4 Fongicide	18
2.2 Méthodes	18
2.2.1 Préparation des extraits aqueux des plantes	18
2.2.2 Préparation du milieu de culture	19
2.2.3 Evaluation du pouvoir antifongique <i>in vitro</i>	20
2.2.4 Evaluation du pouvoir antifongique <i>in vivo</i>	23
2.3 Analyse statistique	25
3 Résultats et Discussions	27

3.1 Résultats	27
3.1.1 Évaluation de l'inhibition de la croissance mycélienne	27
3.1.2 Évaluation de concentration minimale inhibitrice	30
3.1.3 Mycoparasitisme	30
3.1.4 Evaluation du pouvoir antifongique des extraits étudiés sur la sporulation de <i>Fusarium</i> sp	31
3.1.5 Évaluation du pouvoir antifongique des extraits de plantes <i>in vivo</i>	36
3.1.6 Pourcentage d'inhibition de la germination des graines :.....	39
3.2 Discussion.....	40

Conclusion et Perspectives

Bibliographies

Annexes

INTRODUCTION

Introduction

Les céréales, en particulier le blé, jouent un rôle essentiel en tant que principale source d'alimentation humaine, fournissant la base nutritionnelle dans nombreux pays, y compris l'Algérie (Djermoun, 2018). Cependant, la culture du blé est confrontée à de nombreux défis, notamment les maladies fongiques qui peuvent altérer sa qualité et réduire considérablement les rendements.

Ces maladies ont été détectées dans les régions céréalières du centre, de l'est et de l'ouest de l'Algérie par le réseau de surveillance de l'Institut National de la Protection des Végétaux (INPV). Parmi ces maladies fongiques, la fusariose qui est l'une des plus répandues et représente une menace significative pour les cultures céréalières. Elle est causée par différentes espèces de *Fusarium* et peut entraîner d'importantes pertes de rendement et de qualité du blé. De plus, la fusariose est préoccupante en raison de la production de mycotoxines, substances toxiques pouvant avoir des conséquences néfastes sur la santé humaine et animale (Ferrigo, 2016 ; INPV, 2018).

La lutte contre les maladies cryptogamiques du blé a souvent été réalisée en utilisant des produits chimiques, ce qui a conduit à l'émergence de souches pathogènes résistantes et à une augmentation du niveau de résidus toxiques dans les produits alimentaires et l'environnement (Mostafa, 2014). Ainsi, il devient impératif de trouver des alternatives durables et respectueuses de l'environnement pour contrôler les maladies fongiques du blé.

Dans cette optique, l'utilisation de moyens alternatifs naturels a été proposée, et des études préliminaires ont montré l'utilisation des plantes aromatiques dans la conservation des produits alimentaires contre les mycotoxines (Prakash et al., 2015 ; Dwivedy et al., 2016). Par ailleurs, certaines études ont révélé les propriétés antifongiques de quelques huiles essentielles dans la conservation des produits alimentaires et leur action contre les agents pathogènes microbiens (Hyldgaard et al., 2012), (Degnon et al., 2016), (Adjovi et al., 2019).

Dans le cadre de la recherche sur la lutte biologique qui est basée sur l'utilisation des extraits de plantes. L'Algérie est un pays qui se distingue par sa vaste superficie et la variation de son climat d'une région à une autre. Parmi les trésors de plantes médicinales qui embellissent notre territoire national, nous trouvons : *Pistachier lentisque*, *Allium sativum*, *Allium cepa*, *Apium graveolens* et *Cymbopogon winterianus* jowitt, *Origanum compactum*, *Artemisia herba alba*, *Laurus nobilis*.

Dans ce contexte, notre travail vise à évaluer le pouvoir antifongique *in vitro* de quatre huiles essentielles issues des espèces végétales suivantes : *Cymbopogon winterianus jowitt*, *Origanum compactum*, *Artemisia herba alba*, *Laurus nobilis*, ainsi que de quatre extraits aqueux provenant des espèces végétales suivantes : *Pistachier lentisque*, *Allium sativum*, *Allium cepa*, *Apium graveolens* sur la souche fongique ou le champignon phytopathogène *Fusarium* sp, responsable de l'altération du blé. De plus, nous cherchons à évaluer l'effet de ces extraits sur la culture hydroponique du blé dur en conditions *in vivo*.

CHAPITRE 01 :
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Synthèse Bibliographique

1.1 Aperçu sur la Culture de Blé

1.1.1 Origine et Historique

Les céréales jouent un rôle crucial dans le système agricole à l'échelle mondiale. Elles sont considérées comme une source essentielle de nourriture stable et abondante depuis des millénaires pour les êtres humains et les animaux (Slama et al., 2005). L'agriculture et la culture des céréales, ont émergé il y a plus de 10 000 ans, et parmi les céréales le blé dur qui a été l'une des cultures essentielles dès le début de l'agriculture dans le Croissant fertile (une région qui englobe une partie de la Turquie, de l'Irak, de la Syrie et de la Jordanie actuelles) (Feldman et Levy, 2015).

Le blé dur occupe environ 20 à 30 millions d'hectares dans le monde (Bozzini, 1988), avec une production mondiale de blé dur atteint 35 millions de tonnes. Les principales nations productrices situées en Europe (France, Espagne, Portugal, Italie et Grèce), en Amérique du Nord (Canada, États-Unis, Mexique), au Moyen-Orient (Turquie, Syrie), en Afrique du Nord (Maroc, Algérie, Libye, Tunisie) et en Australie (Colin et al., 2017). Au niveau national, malheureusement la production de blé est faible, ne couvrant qu'une petite partie des besoins du pays, la majorité étant importée. La France est considérée comme le premier importateur de blé dur français (Collaert, 2013).

1.2 Généralité sur le Blé Dur

1.2.1 Taxonomie

Le blé dur, scientifiquement appelé *Triticum durum*, est une plante annuelle monocotylédone faisant partie de la famille des graminées (Schuhwerk et al., 2011).

Règne	Plantea
Classe	Liliopsida (Monocotylédones)
Ordre	Poales (Glumiflorale)
Famille	Poaceae (Graminées)
Genre	<i>Triticinae /Triticum</i>
Espèce	<i>Triticum durum</i> Desf

Tableau 01 : La classification botanique du blé dur (APG III, 2009).

1.2.2 Description botanique

L'appareil végétatif de blé dur (*Triticum durum*) est une plante herbacée, appartenant au groupe des céréales à paille, qui sont caractérisés par des critères morphologiques spécifiques :

a) L'appareil végétatif

- Les racines du blé sont pourvues de nombreuses racines, dites fasciculées vu leur forme en faisceaux, qui prennent naissance à la base de la tige. 55 % du poids total des racines se trouve entre 0 et 25 cm de profondeur dans le sol (Clement et Prat, 1970). En cours de développement, deux systèmes se forment, un système racinaire séminal (primaire), et autre système racinaire coronaire (secondaire).
- La tige aérienne porte le nom de chaume, elle est creuse et cylindrique. Cette tige présente des nœuds réguliers où la cavité est interrompue. Au niveau de ces nœuds, apparaissent des bourgeons et des racines engendrant un nouvel axe feuillé (Dupont et Guignard, 2015).
- Les feuilles sont alternées, ligulées et engainantes. Elles ont des nervures parallèles et sont terminées en pointe (Clement et Prat, 1970).
- Les fleurs sont généralement hermaphrodites (possédant à la fois des étamines et des carpelles fonctionnels (anthères)), portées sur la rachéole (Crémer, 2014).
- Le grain de blé dur est un fruit sec indéhiscent est formé de 3 régions selon (Feillet, 2000).

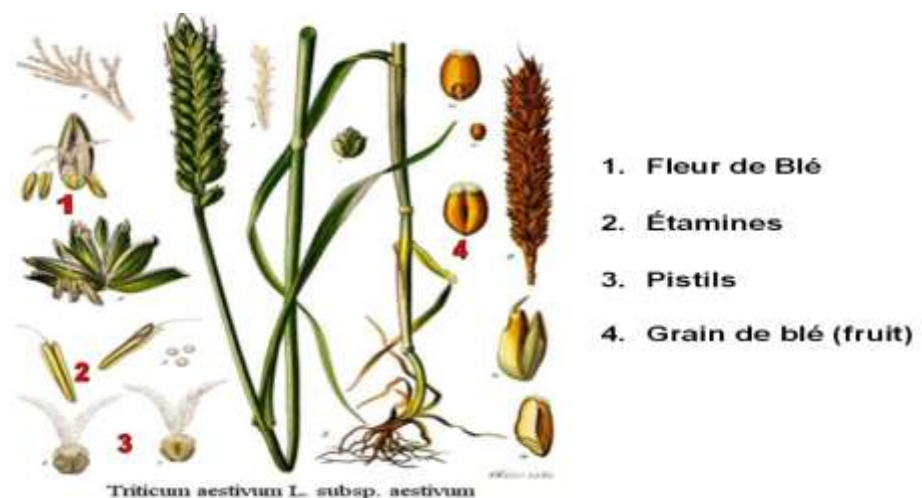


Figure 01 : Appareil végétatif du blé dur (Jerome, 2016).

1.2.3 Cycle biologique de développement du blé

Comme toutes les céréales à paille, le blé dur possède un cycle biologique annuel qui est une succession de périodes subdivisées en phases et en stades.

a) Période végétative

- **Germination et levée**

Après la semence, la germination commence avec l'absorption progressive de l'eau, ce qui active la graine. La racicule s'allonge, donnant naissance aux racines primaires, tandis que le coléoptile s'allonge pour permettre la sortie des jeunes feuilles qui effectueront la photosynthèse. (Crémer, 2014). Par la suite, la levée se produit, Caractérisée par le nombre de feuilles de la jeune plante et leur stade de développement (Giban et *al.*, 2003).

- **Tallage**

Cette phase s'amorce à partir de la quatrième feuille. La formation de la première talle se fait au stade 3 feuilles. Le fin tallage est celle de la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductive, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entrenœuds (Salmi, 2015).

b) Période reproductive

Le développement du grain de blé passe par plusieurs stades. Le premier stade correspond à la formation des glumelles, tandis que le deuxième stade correspond à la différenciation de l'épillet terminal (Soltner, 2005). Ensuite, la période de l'épiaison-fécondation commence avec l'apparition des premiers épis et se termine lorsque tous les épis sont complètement sortis de la gaine de la dernière feuille (Giban et *al.*, 2003). Au stade de la floraison, marqué par la libération des premières étamines des épillets au centre de l'épi, la formation des grains commence lorsque les grains de la partie médiane de l'épi atteignent la moitié de leur développement, ce qui concerne environ 50% des épis (Labidi, 2016). Finalement, le grain de blé atteint sa maturité lorsqu'il peut se casser sous la dent (Si Bennasseur, 2009).

1.3 L'importance économique

1.3.1 Dans le monde :

Parmi les céréales, le blé est reconnu comme l'une des cultures les plus importantes et les plus largement cultivées à l'échelle mondiale. Le blé dur, bien qu'il représente une part relativement faible de la production mondiale de blé, joue un rôle essentiel dans l'alimentation humaine et l'industrie alimentaire. Selon la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) en 2020, le blé dur représente une part relativement faible (5%) en termes de superficie et de production par rapport au blé tendre. Cependant, malgré cette part limitée, le blé dur joue un rôle essentiel en fournissant plus de 50% des besoins énergétiques de l'humanité à travers le monde.

En Algérie :

En 2022, la production céréalière a atteint 41 millions de quintaux, dont un million pour Adrar et un demi-million pour Menéa. Cependant, la majeure partie de la production provient de la région du nord, maintenant l'Algérie cherche des solutions agronomiques pour intensifier la culture du blé dur dans les régions à fort potentiel ainsi que dans les zones céréalières marginales.

1.4 Les facteurs limitant la production du blé dur

Le blé peut être attaqué par de multiples maladies durant leur cycle de développement, et subir des pertes de rendement importantes, surtout lorsque les conditions de l'environnement sont favorables au développement des agents biotiques, notamment les agents cryptogamiques, les insectes, et les adventices qui causent des dégâts importants. (I.T.G.C., 2009).

Les maladies qui s'attaquent au blé sont dues à plusieurs types de pathogènes, à savoir les champignons, bactéries, virus, nématodes, et peuvent être regroupées selon les symptômes qu'elles induisent et les parties qu'elles affectent (Aouali et Douici-Khalfi, 2009).

Selon la station nationale de protection des végétaux (INPV) les principales maladies cryptogamiques du blé sont représentées dans le **tableau 02**.

Origine	Maladie	Agent causal
Maladies fongiques	Septoriose	<i>Septoria nodorum</i>
		<i>Septoria tritici</i>
	Tache auréolée	<i>Pyrenophora tritici-repentis</i>
	Rouille jaune	<i>Puccinia striiformis</i>
	Rouille brune	<i>Puccinia recondita f.sp.triticina</i>
	Oïdium	<i>Erysiphe graminis f.sp.tritici</i>
	Fusariose	<i>Fusarium spp</i>
	Piétin échaudage	<i>Gaeumannomyces graminis</i>
	Piétin verse	<i>Oculimacula yallundae</i> ou <i>O. aciformis</i>
	Tache helminthosporienne	<i>Pyrenophora tritici-repentis</i>

Tableau 02 : Les principales maladies cryptogamiques du blé (Bouakaz et Oussaid, 2020).

1.1 Généralité sur l'agent pathogène

1.1.1 Systématique

La fusariose est l'une des maladies fongiques les plus répandues sur céréales. Elle est provoquée par plusieurs espèces du genre *Fusarium spp*. Les attaques sur épis se traduisent par des pertes de rendement souvent sévères en quantité et en qualité. Aussi, cette maladie peut être néfaste pour l'homme et le bétail par la production des mycotoxines.



Figure 02 : Epi du blé infecté par la *Fusariose* des céréales (Christian, 2020).

Le *Fusarium* (Hypocreales : Ascomycota) est un genre de champignon filamenteux largement répandu dans le sol et regroupe environ 1900 espèces, définies en tant que *Fusarium* spp. Les *Fusarium* sont généralement connus pour leur association avec les racines des plantes en tant que parasites ou saprophytes (Domsch et al., Pitt et Hocking, 2009). Ils sont caractérisés par la présence de macroconidies fusiformes et cloisonnées (Alexandra, 2016) et sont surtout reconnus pour leur capacité à produire de puissantes mycotoxines (Marie-alix et Pierre, 2019).

1.1.2 Aspect cultural et morphologique

Les colonies de *Fusarium* ont généralement une croissance rapide et peuvent être de couleur pâle ou vive, selon l'espèce, avec ou sans un mycélium aérien cotonneux. La couleur du thalle varie du blanc au jaune, rose, rouge ou violet (Herbert, 2020).



Figure 03 : Isolat fongique de champignon *Fusarium* sp cultivé sur le milieu Potato Dextrose Agar (PDA) par (INPV Boufarik, 2023).

Le genre de *Fusarium* sp reproduisant de façon asexué, et caractérise par leur production de trois types de spores : Les macroconidies, les microconidies et les chlamydospores (Alexandra, 2016).

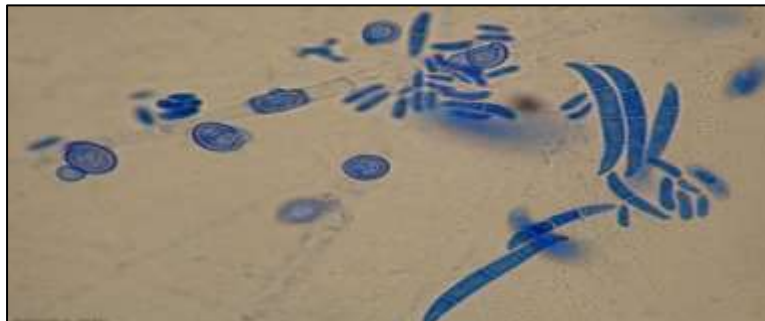


Figure 04 : Caractéristiques morphologiques de *Fusarium* sp (Blancard, 2013).

1.2 Lutte contre le *Fusarium* du blé

Les maladies sont les principales causes de la perte de rendement dans les cultures de blé. Elles affectent à la fois la production et la qualité des semences du blé, ce qui entraîne une faiblesse sur le rendement de cette culture. Les différentes méthodes de luttent visent également à minimiser ou supprimer de ces maladies pour améliorer la production.

1.2.1 Lutte prophylactique

La lutte prophylactique ou phytosanitaire consiste à éliminer ou réduire les effets des agents pathogènes par des pratiques culturales telles que (INPV, 2018) :

- Rotation des cultures qui réduit significativement sa gravité. Eviter la céréale et le maïs dans la rotation.
- Élimination des résidus des cultures contaminées par enfouissement ou par un travail du sol peut réduire la densité de l'inoculum.
- Utilisation de la semence saine et traitée avec un produit approprié afin d'augmenter la vigueur de la culture et prévenir les infections venant de la semence et des résidus résistants à la fusariose. Certaines variétés peuvent présenter moins de symptômes et sont moins sujettes à la contamination.

1.2.2 Lutte chimique

Une application préventive de fongicide réalisée au bon moment (quelques jours après floraison), et avec une bonne couverture des épis peut réduire les dégâts de la Fusariose (INPV, 2018).

1.2.3 Lutte génétique

La production des plantes transgéniques résistantes aux pathogènes a été réalisée par l'insertion de certains gènes dans le génome de la plante qui confèrent une résistance à des pathogènes tels que les virus, les champignons et les insectes (Michael et *al.*, 2022).

1.2.4 Lutte biologique

Au cours des deux dernières décennies, de nombreux travaux ont été menés dans le but de rechercher des méthodes de protection du rendement plus respectueuses de la santé humaine et de l'environnement (Ngamo et Hance, 2007).

La lutte biologique est une stratégie supplémentaire pour une gestion intégrée des maladies, offrant une protection renforcée et durable (Vaihav, 2017 ; Roman et *al.*, 2020). De plus, elle implique l'utilisation de bio-pesticides à base des plantes (extraits, les hormones végétales, les régulateurs naturels d'origine végétale, les enzymes...), ainsi que de bio-pesticides à base des microorganismes (bactéries, champignons...). Ces produits ont été mis au point pour lutter contre de nombreuses maladies des plantes et pour réduire leur incidence et/ou leur gravité (Cao et *al.*, 2010).

1.3 Aperçu sur les plantes médicinales utilisées dans la lutte biologique

Les plantes ont développé des mécanismes de défense naturelle pour se protéger, bien longtemps avant que l'homme ne joue un rôle actif pour leur protection. On connaît que les plantes synthétisent une variété de groupes de composés bioactifs dans leurs tissus végétaux comme métabolites secondaires (Castillo et *al.*, 2010).

Les substances de défense synthétisées par les végétaux sont des sources d'inspiration de plus en plus fréquentes pour la recherche de nouveaux produits phytosanitaires. Les produits naturels sont de plus en plus recherchés pour une agriculture durable, l'utilisation sans discernement des pesticides conventionnels de synthèse ayant eu un impact écologique et sanitaire néfaste.

Le recours au monde végétal et aux molécules qui ont permis aux plantes de se protéger contre les ennemis naturels devient donc indispensable (Regnault-Roger et *al.*, 2008).

La plupart des composés extraits des végétaux ont montré des effets sur le développement de la croissance mycélienne de plusieurs champignons phytopathogènes et

des effets sur leur sporulation et leur germination, et aux limites un effet fongistatique pour compléter l'inhibition (Castillo et al., 2010).

Dans ce sens, plusieurs plantes ont été valorisées dans le cadre de la lutte contre l'agent pathogène du *Fusarium* sp.

1.4 Généralité sur les plantes étudiées

1.4.1 L'ail

L'ail (*Allium sativum*) appartient à la famille *Amaryllidaceae*, et au genre *allium*. C'est une plante herbacée, vivace et potagère (Denis, 2010), avec un bulbe central qui est un organe de réserve souterrain représentant la partie consommée. Ce bulbe est constitué d'un seul ou plusieurs caïeux (gousses) enfermées dans une peau semblable (Rombi et Robert, 2015).

L'ail utilisé en phytothérapie vue ses effets anti-tumoraux, antifongiques, antibactériens, antiviraux, antiparasitaires, antioxydants. Il agit aussi sur le système vasculaire (Tahri et al., 2007).

1.4.2 Pistachier lentisque

Le pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus* L) est un petit arbuste qui peut atteindre 2 à 3 mètres de haut, fortement ramifié à partir de la base, plante de la famille des *anacardiaceae*, à feuillage persistant. Elle donne des fruits, d'abord rouges, puis noirs. On le trouve à l'état naturel dans les régions sèches et arides (Alloune et al., 2012).

Cette espèce était généralement utilisée depuis l'antiquité dans la médecine traditionnelle contre diverses maladies comme l'asthme, l'ulcère, anti-inflammatoire, antiviraux et pour ces propriétés insecticides (Bakkali et al., 2008).

Ces feuilles sont pourvues plusieurs activités : anti-inflammatoire, antibactérienne, antifongique (Kordali et al., 2003).

1.4.3 L'oignon

L'oignon (*Allium cepa* L) est une espèce de plante herbacée, vivace par son bulbe unique, de la famille des *Amaryllidaceae*, cultivée comme une annuelle ou bisannuelle. D'environ 80cm de hauteur, appartenant aussi au genre (*Allium*). Contient un bulbe

relativement gros, de forme sphérique, parfois plus ou moins aplati, de couleur blanche ou verte, regroupées en une ombelle sphérique, en position terminale sur la tige (Boucetta et BenMesbah, 2021).

Plusieurs études scientifiques ont démontré une activité antifongique et autre antibactérienne de l'oignon que celle des tuniques internes sur des espèces portant préjudice aux denrées alimentaires telles que *A.niger* et *B.cereus* (Farid et *al.*, 2016).

1.4.4 Origan compact

Origanum compactum (*Origanum compactum*) est une plante médicinale, vivace, haute de 50 à 80 cm, d'origine méditerranéenne très utilisée, appartient à la famille des lamiacées au sein du genre *Origanum* (Chafai elalaoui et *al.*, 2014).

Elle est largement utilisée dans des préparations médicinales traditionnelles et aussi en parfumerie et en industries agroalimentaire et pharmaceutique (Bouhdid et *al.*, 2012).

C'est aussi un antibactérien à large spectre, antiviral et un stimulant du système immunitaire. Elle est aussi un fongicide, antimycosique (Chafai elalaoui et *al.*, 2014), car elle produit une huile essentielle composée majoritairement du carvacrol et du thymol, deux monoterpénoïdes connus pour leurs propriétés antimicrobiennes (Cristani et *al.*, 2007).

1.4.5 Armoise blanche

Armoise blanche (*Artemisia Herba alba*) est une plante herbacée, vivace, de la famille de *Asteraceae*, à tiges ligneuses et ramifiées de 30 à 50 cm, très feuillées avec une souche épaisse (Bezza et *al.*, 2010).

Artemisia herba alba est très utilisée pour les propriétés antibactériennes de son huile essentielle et ses composés phénoliques, contre quelques bactéries Gram positif (*Streptococcus hemolyticus* et *Staphylococcus aureus*) et d'autres à Gram négatif (*Escherichia coli*, *Shigella sonnei* et *Salmonella typhosa*) (Ayad et *al.*, 2022), et pour propriétés antifongiques sur des champignons tels que: *Penicillium aurantiogriseum*, *Zygorrhynchus sp*, *Aspergillus niger* et *Penicillium italicum* (Amor et *al.*, 2019).

1.4.6 Citronnelle

La citronnelle (*Cymbopogon winterianus* Jowitt) est une plante herbacée vivace, cultivée comme une pluriannuelle, qui appartient à la famille des *Poacées* ou graminées

(Kouame et *al.*, 2016). Elles dégagent une forte odeur de citron quand on les froisse (Pousset, 2004 ; McVicar, 2006).

L'HE de citronnelle possède de nombreuses vertus, antiseptique et anti-infectieuses aussi possède également des vertus antifongiques qui permettent de traiter radicalement certaines mycoses (De Billerbeck, 2007).

1.4.7 Laurier noble

Laurier noble (*Laurus nobilis*) est l'une des espèces végétales médicinales et aromatiques, de famille des *Lauracées*. Ce sont des arbres ou des arbustes à feuilles quasi persistantes (Ferdinand, 2010), plus utilisées comme source mondiale d'épices et d'extrait à qualités médicales intéressantes (Yakhlef et *al.*, 2011).

Huile essentielle (HE) de Laurier, utilisée comme antirhumatismale, antiseptique, diaphorétique, digestive et diurétique, ainsi que comme composant de parfum (Simić et *al.*, 2004). Ils ont signalé l'utilisation de l'HE de Laurier comme additif pour conserver la viande, les fruits de mer et certains produits agricoles, en raison de ses activités antioxydants et antimicrobiennes (Franco-Vega et *al.*, 2019).

1.4.8 Céleri

Le céleri (*Apium graveolens* L.) est une plante herbacée bisannuelle de la famille des *Apiacées*, cultivée comme plante potagère pour ses feuilles et sa racine tubérisée consommées comme légumes, elle peut atteindre jusqu'à 1m de hauteur (Schulzova, 2012).

Outre ses qualités culinaires, le céleri possède des propriétés médicinales bien connues. Les feuilles et les racines ont des propriétés dépuratives, diurétiques, carminatives, stomachiques, toniques et sont fortement stimulantes. On prête également à la plante des vertus aphrodisiaques (Bruneton, 2009).

■ CHAPITRE 02 :

MATERIELS ET METHODES

2. Matériels et Méthodes

Notre étude comprend deux parties : La première partie consiste à évaluer *in vitro* du pouvoir antifongique des huiles essentielles et des extraits aqueux de plantes sur le champignon phytopathogène *Fusarium* sp (agent responsable de la fusariose du blé), et la deuxième partie de notre étude se concentre sur l'évaluation *in vivo* de l'activité antifongique de ces extraits sur la culture hydroponique du blé dur.

Ce travail a été réalisé au niveau du laboratoire de mycologie de la Station Régionale de Boufarik de l'Institut National de la Protection des Végétaux (INPV), durant la période allant de Mars 2023 à Mai 2023.

2.1 Matériel





2.1.1 Matériel non biologique

Dans le cadre de cette étude, une variété d'appareillages et de produits de laboratoire non biologique ont été utilisés (Voir l'annexe 1).

2.1.2 Matériel végétale

Les huiles essentielles utilisées dans cette étude ont été extraites à partir des espèces végétales suivantes : *Cymbopogon winterianus jowitt*, *Origanum Compactum*, *Artemisia Herba Alba*, *Laurus Nobilis*. Elles ont été fournies par l'entreprise VieBio, spécialisée dans la formation et l'extraction des huiles essentielles et végétales.

Le matériel végétal utilisé dans notre étude regroupe huit espèces qui ont été récoltées de manière aléatoire. Les détails de ces espèces sont représentés dans le tableau suivant :

Données sur les végétaux testés	Illustrations
<p>Nom commun : Cèleri.</p> <p>Nom latin : <i>Apium graveolens L.</i></p> <p>Partie utilisée : Feuilles.</p> <p>Lieu de récolte : Meftah (Blida).</p> <p>Date et stade de récolte : Développement complet, avril 2023.</p>	 <p>Figure 05 : Cèleri.</p>
<p>Nom commun : Pistachier lentisque.</p> <p>Nom latin : <i>Pistacia lentiscus L.</i></p> <p>Partie utilisée : Feuilles.</p> <p>Lieu de récolte : Meftah (Blida).</p> <p>Date et stade de récolte : Maturité de la coque, avril 2023.</p>	 <p>Figure 06 : Pistachier lentisque.</p>
<p>Nom commun : L'oignon.</p> <p>Nom latin : <i>Allium cepa.</i></p> <p>Partie utilisée : épluchures.</p> <p>Lieu de récolte : Zaouïa (Blida).</p> <p>Date et stade de récolte : Fanaïson, avril 2023.</p>	 <p>Figure 07 : L'oignon.</p>
<p>Nom commun : L'ail.</p> <p>Nom latin : <i>Allium sativum.</i></p> <p>Partie utilisée : Fruit.</p> <p>Lieu de récolte : Zaouïa (Blida).</p> <p>Date et stade de récolte : Fanaïson, avril 2023.</p>	 <p>Figure 08 : L'ail.</p>





<p>Nom commun : Citronelle Nom latin : <i>Cymbopogon Winterianus</i> <i>Jowitt.</i> Partie utilisée : Feuilles. Lieu de fournisseur : (Blida). Stade et date de récolte : Avant floraison, mars 2020.</p>	 <p>Figure 09 : Citronelle.</p>
<p>Nom commun : Origan Compact. Nom latin : <i>Origanum Compactum.</i> Partie utilisée : Feuilles. Lieu de fournisseur : (Blida). Stade et date de récolte : Avant floraison, juin 2020.</p>	 <p>Figure 10 : Origan Compact.</p>
<p>Nom commun : Armoise Blanche. Nom latin : <i>Artemisia herba alba.</i> Partie utilisée : feuilles. Lieu de fournisseur : (Blida). Stade et date de récolte : Avant floraison, avril 2020.</p>	 <p>Figure 11 : Armoise Blanche.</p>
<p>Nom commun : Laurier Noble. Nom latin : <i>Laurus Nobilis.</i> Partie utilisée : Feuilles. Lieu de fournisseur : (Blida). Stade et date de récolte : Avant floraison, mars 2020.</p>	 <p>Figure 12 : Laurier Noble.</p>

Tableau 03 : Données sur les espèces végétales et les huiles essentiels testées.

La variété de semence de blé dur utilisée lors de l'évaluation *in vivo* du pouvoir antifongique est la variété Vitron, fournie par le Laboratoire Régional de Boufarik de l'INPV.

2.1.3 Matériel fongique

La souche fongique *Fusarium* sp utilisée dans notre étude a été fournie par la mycotèque du Laboratoire Régional de Boufarik de l'INPV. Cette souche a été isolée à partir d'un champ de blé dur de la variété Virton, situé dans la commune d'Ain El Bel de la wilaya de Djelfa.

2.1.4 Fongicide

Le « RAXIL 060 FS » est un fongicide systémique utilisé pour le traitement des semences de céréales en Algérie. Il est fabriqué par Byer CropScience dont la matière active est le « tébuconazole » à une concentration de 60 g/l (Nasraoui et *al.*, 1994).

2.2 Méthode

2.2.1 Préparation des extraits aqueux des plantes

Les extraits de plantes suivants : *Allium sativum*, *Apium graveolens*, *Allium cepa*, *Pistachier lentisque* ont été préparés selon une modification du protocole de Kossonou et *al.* (2019).

Pour chaque plante, 100 g de la partie utilisée frais ont été bouillis dans 500 ml d'eau distillée à 120°C pendant 30 minutes dans des bouteilles stériles et bien fermées, utilisant un autoclave. Ensuite, les extraits aqueux ont été récupérés par filtration travers des compresses stériles sous une hotte aspirante. Le filtrat obtenu a été recueilli dans des flacons en verres stériles, hermétiquement fermés et conservés au réfrigérateur à 4°C jusqu'à leur utilisation à l'état pur et aux concentrations 50% et 25%. D'autre part, les gousses d'ail ont été découpées en petits fragments, et broyées avec un mixeur pour obtenir un jus d'ail, ce dernier a été récupéré et stérilisé dans l'autoclave à 120°C pendant 30 minutes



Figure 13 : Préparation des extraits aqueux des plantes.

2.2.2 Préparation du milieu de culture

Le milieu de culture PDA a été préparé en suivant le protocole mentionné par Afrique science, (2016) (Voir l'annexe 2).

2.2.3 Evaluation du pouvoir antifongique *in vitro*

Cette étude repose sur l'évaluation du pouvoir antifongique *in vitro* des huiles essentielles et des extraits aqueux de plantes sur les paramètres de croissance du *Fusarium* sp.

a) Evaluation de l'inhibition de la croissance mycélienne

Dans le cadre de cette étude, une approche basée sur les disques a été appliquée. Pour cela, un disque de mycélium d'environ 6 mm de diamètre a été in déposé au centre de boîte de pétri contenant le milieu de culture PDA (composition voir l'annexe) à l'aide d'une pipette de pasteur stérile. Par la suit, des disques de papier wattman stérile (4 disques sur boîtes) de 6 mm de diamètre, préalablement imbibés avec différentes doses (Pur, 50%, 25%) pour les extraits, (L'état pur) pour les huiles essentielles. Les boîtes témoin étaient constituées de champignon et de quatre disques imbibés d'eau distillée stérile.

Toutes les boîtes ont été incubées à une température de 25°C +/- de 2°C, pendant sept jours. La croissance mycélienne a été évaluée au troisième et au septième jour en mesurant les diamètres moyens perpendiculaires. Les résultats ont été comparés avec les cultures témoins (Sakhr, 2009 ; Suresh *et al.*, 2010).

Le taux d'inhibition de la croissance mycélienne a été déterminé selon la formule (1) (Boungab *et al.*, Sissinto *et al.*, 2022) où :

$$PI(\%) = \frac{DC - DH}{DC} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

PI (%) : Le taux d'inhibition de la croissance mycélienne exprimé en %.

DC : Diamètre de colonie dans les boîtes contenant le témoin.

DH : Diamètre de colonie dans les boîtes contenant les extraits ou les huiles essentielles.

La figure suivante représente un diagramme de l'évaluation du pouvoir antifongique *in vitro* des huiles essentielles de : *Cymbopogon winterianus jowitt*, *Origanum compactum*, *Laurus nobilis*, *Artemisia herba alba* et des extraits aqueux : *Allium sativum*, *Apium graveolens*, *Allium cepa*, *Pistachier lentisque*.

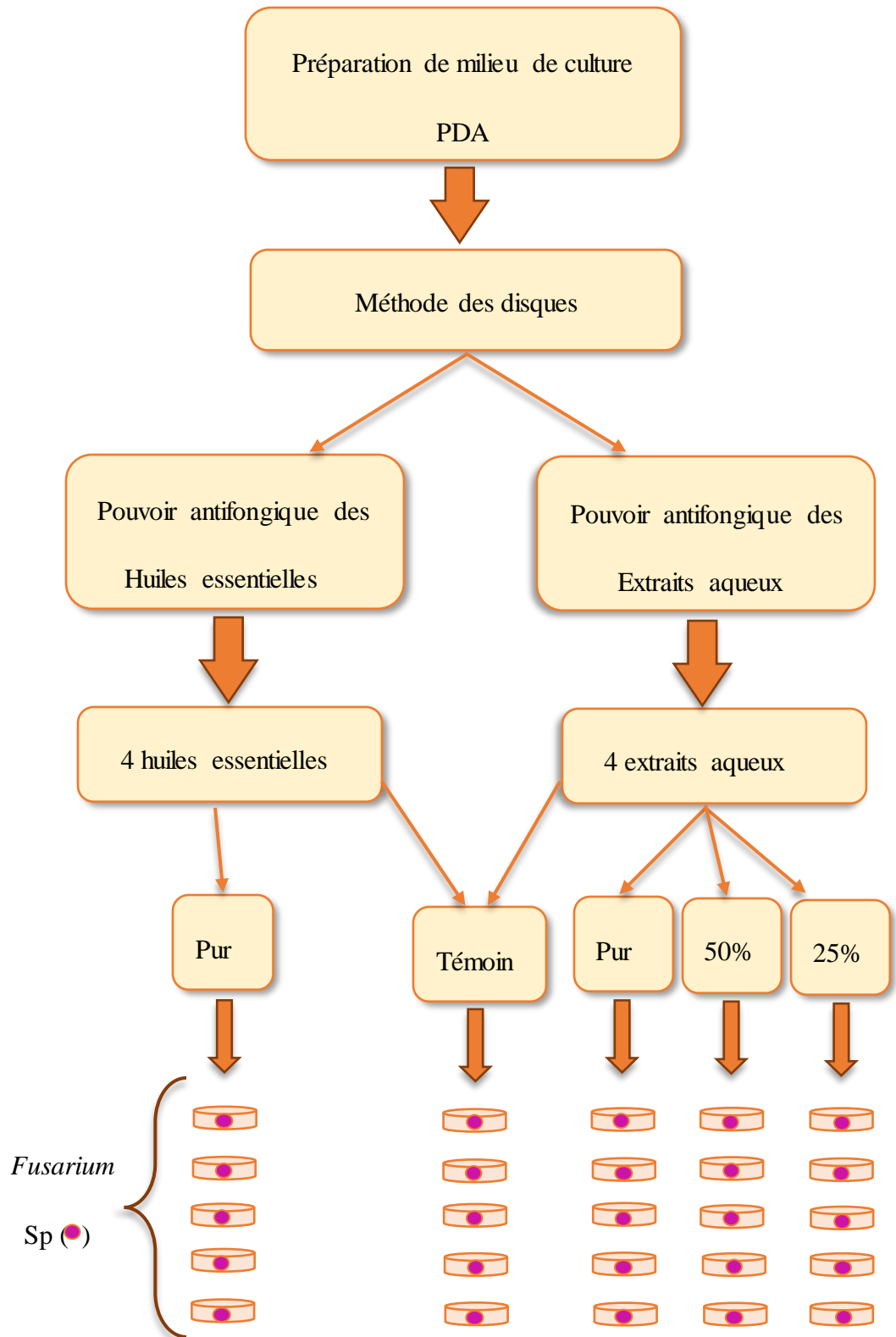


Figure 14 : Evaluation du pouvoir antifongique *in vitro* des huiles essentielles et des extraits aqueux sur le champignon phytopathogène *Fusarium* sp.

b) Concentration minimale inhibitrice (CMI)

Il s'agit en parallèle d'évaluer la plus petite concentration d'un agent antifongique nécessaire pour laquelle aucun développement n'est visible à l'œil nu pendant une période donnée d'incubation (Dannaoui, 2006 ; Smith et *al.*, 2000). Le CMI a été déterminé pour les extraits de plantes qui ont montré un effet efficace sur notre isolat fongique en utilisant la méthode des dilutions (25%, 10%, 5%).

c) Evaluation de la sporulation et de germination

La sporulation a été évaluée pour chaque traitement contenant une colonie fongique en suivant un protocole modifié basé sur Hlabana et *al.*, (2020). La mesure de la sporulation a été exprimée en termes de concentration conidienne. Pour ce faire, un volume de 20 ml d'eau distillée stérile a été ajouté à chaque boîte de Pétri contenant une colonie de *Fusarium* sp âgée de 10 jours, cultivée sur milieu PDA à une température de 25°C. Ensuite, la surface de chaque culture d'isolat a été grattée à l'aide d'un étaleur pour récupérer la suspension conidienne dans des tubes à essai stériles. Les tubes ont ensuite été agités à l'aide d'un agitateur vortex. Par la suite, le nombre de conidies a été déterminé en utilisant une cellule de Malassez (hémocytomètre) sous un microscope photonique. Trois répétitions par isolat ont été effectuées afin de déterminer la concentration de conidies ainsi que la concentration de conidies germées.

L'évaluation de la sporulation a été effectuée en suivant le principe de la méthode utilisée par Maslouhy (1989) et les calculs ont été réalisés en utilisant la formule (2) établie par Hmouni et *al.*, (1996) ; Hibar et *al.*, (2005) :

$$IS(\%) = \frac{ST - St}{ST} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

IS (%) : taux d'inhibition de sporulation en %.

ST : concentration en macroconidies dans l'inoculum témoin (macroconidies/ml).

St : concentration en macroconidies dans l'inoculum traité (macroconidies/ml).

Et pour le pourcentage d'inhibition de la germination IG elle est déterminée pour chaque isolat (Hallouti et *al.*, 2020), en utilisant la formule (3) décrite par Berber et *al.*, (2009) :

$$IG(\%) = \frac{GT - Gt}{GT} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

IG (%) : Taux d'inhibition de la germination en %.

GT : Concentration en conidies germés de l'inoculum témoin (nombre de conidies germés/ml).

Gt : Concentration en conidies germés de l'inoculum traité (nombre de conidies germés/ml).



Figure 15 : Evaluation de l'inhibition de la sporulation et la germination du *Fusarium* sp par les huiles essentielles et les extraits aqueux de plantes.

d) Mycoparasitisme

Après 15 jours d'incubation, une description structurelle a été réalisée par observation directe des souches traitées et de témoin du champignon *Fusarium* sp sous un microscope photonique au grossissement (X125) pour comprendre et définir l'effet des extraits étudiés sur notre isolat fongique.

2.2.4 Evaluation du pouvoir antifongique *in vivo*

Dans cette étude, une culture hydroponique du blé dur a été réalisée. Les semences ont été placées dans des plateaux où différents traitements ont été préparés. Pour les extraits aqueux et les huiles essentielles, 60 g de semences ont été mesurés, tandis que pour le fongicide, le témoin positive et le témoin négative ,120 g ont été utilisés.

Ensuite, les semences ont été placées dans 250 ml de solution pour chaque traitement et laissées tremper pendant 1 heure. La préparation de la solution fongicide a été effectuée

par leur dilution dans l'eau distillée stérile selon la dose recommandée par le fabricant (Barclay, 2015 ; Anses, 2019).

Les huiles essentielles ont été appliquées sur les graines après les avoir placées dans des boîtes bien fermées. Les quatre coins de chaque boîte ont été percés, puis un papier stérile a été ajouté sur chacun d'entre elle. Après le trempage, les semences ont été transférées dans les boîtes correspondant, qui ont ensuite été contaminées par une suspension de 10^6 de *Fusarium* sp, cette suspension a été prélevée à partir de boîtes de Pétri âgées de 10 jours et bien développées, présentant une sporulation abondante. Les boîtes ont été laissées à germer pendant environ 10 jours sur une étagère dans la serre, et les semences ont été légèrement arrosées trois fois par semaine.



Figure 16 : Traitement des semences du blé dur par les extraits des plantes et le fongicide.



Figure 17 : Culture hydroponique du blé dur.

Les résultats ont été analysés en termes de l'inhibition de la germination, exprimée en pourcentage.

a) Evaluation de taux d'inhibition de la germination

Les graines germées sont notées aux 22j après traitement. Le pourcentage d'inhibition de la germination est calculé selon l'équation modifiée (4) de Azouaoui et *al.*, (2013).

$$IG (\%) = \frac{T(-) - Trait}{T(-)} \times 100 \dots\dots\dots (4)$$

IG (%) : Inhibition de la germination en %.

T (-) : Pourcentage des graines germées chez le témoin négatif en %.

Trait : Pourcentage des graines germées chez le traitement en %.

2.3 Analyse statistique

L'analyse statistique des résultats obtenus a porté essentiellement sur l'analyse de la variance pour l'ensemble des paramètres étudiés et a été déterminée au moyen du logiciel SYSTAT vers.7 selon le test GLM (modèle linéaire généralisé ou General Linear Model), les différences ont été significatives pour $P \leq 0,05$ (Shedden, 2015).

■ CHAPITRE 03 :

RESULTATS ET DISCUSSIONS

3. Résultats et Discussions

3.1 Résultats

3.1.1 Évaluation de l'inhibition de la croissance mycélienne

L'évaluation *in vitro* du pouvoir antifongique de 4 huiles essentielles et de 4 extraits aqueux de plantes testés sur la souche isolée de *Fusarium* sp, a révélé une inhibition de la croissance mycélienne, bien que cette inhibition n'ait pas été fortement.

Parmi les huiles essentielles testées, l'huile essentielle de citronnelle et l'huile essentielle d'origan ont montré une inhibition marquée de la croissance mycélienne par rapport aux deux autres huiles essentielles qui donnent une faible inhibition de la croissance mycélienne.

En revanche, les 4 extraits aqueux n'ont pas présenté d'inhibition de la croissance mycélienne, donc aucune efficacité contre *Fusarium* sp (Figure 19 et 20).

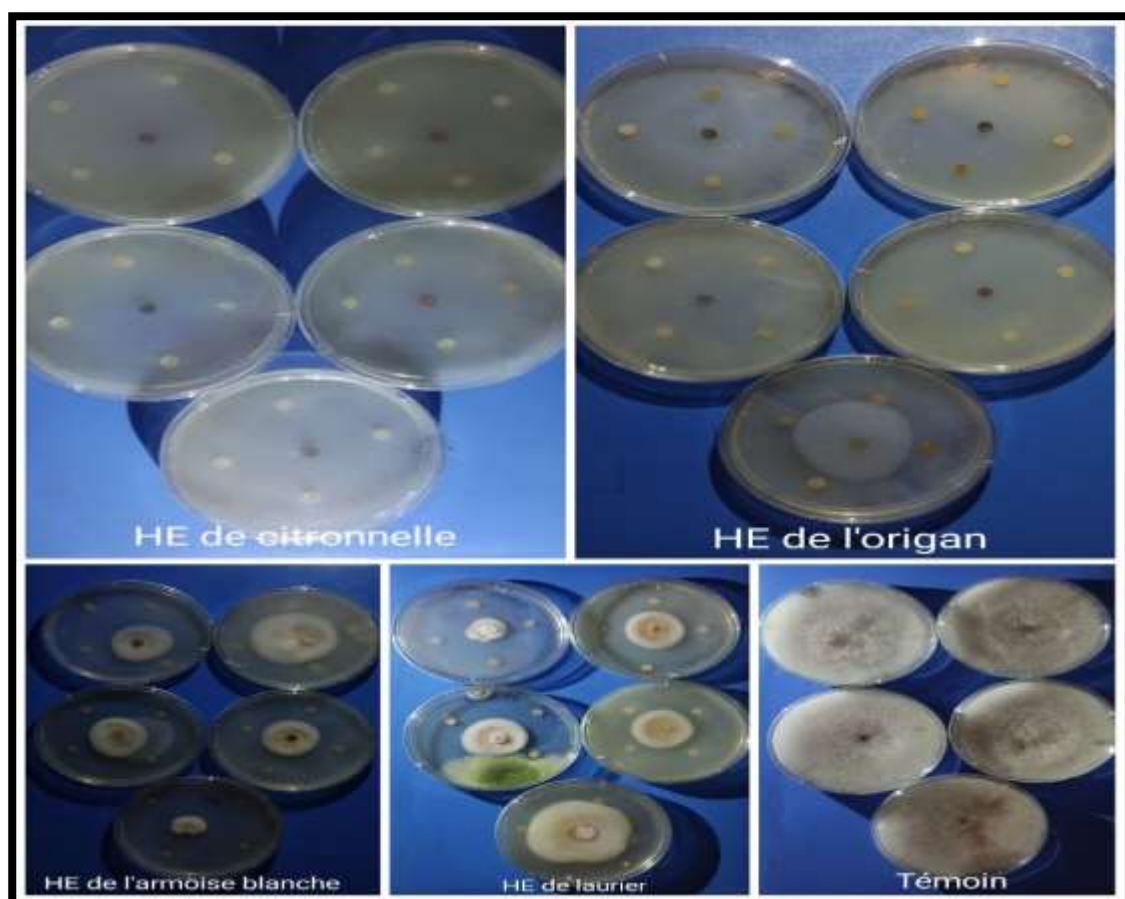


Figure 18 : Impact des huiles essentielles de : *Cymbopogon winterianus jowitt*, *Origanum compactum*, *Artemisia herba alba* et *Laurus nobilis* sur la croissance mycélienne du *Fusarium* sp.

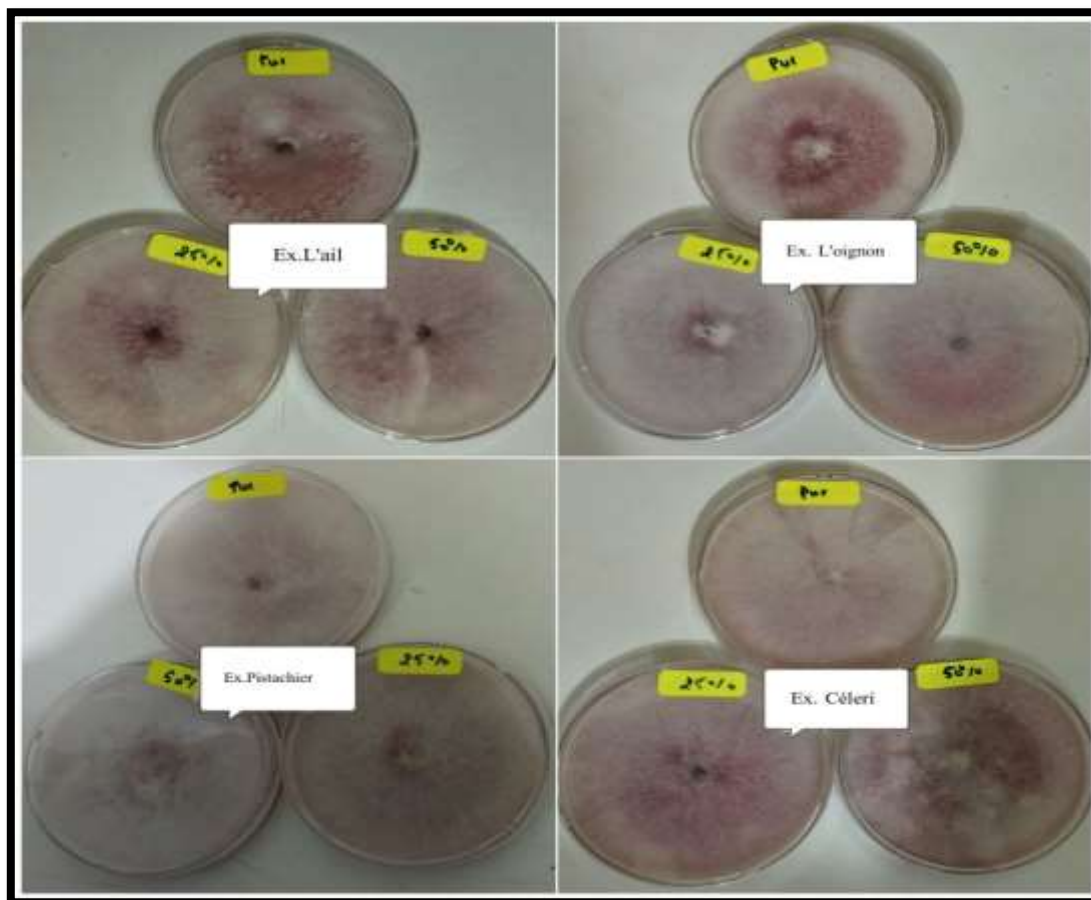


Figure 29 : Impact des extraits aqueux de plantes de : *Pistachier lentisque*, *Apium graveolens*, *Allium Cepa* et *Allium sativum* sur la croissance mycélienne de *Fusarium sp.*

L'analyse de variance des pourcentages d'inhibition de la croissance mycélienne a révélé une différence hautement significative entre les huit extraits testés, ainsi qu'entre les différentes doses des extraits aqueux testés. Cependant, aucune différence significative n'a été observée en ce qui concerne les jours d'évaluation de la croissance mycélienne et le diamètre perpendiculaire de la souche fongique étudiée (voir Tableau 4 dans l'annexe).

Selon le modèle de GLM utilisé, il existe une variabilité notable entre les pourcentages d'inhibition de la croissance mycélienne parmi les huit extraits étudiés. Les résultats obtenus indiquent que parmi les 4 huiles essentielles différentes testées, l'huile essentielle de citronnelle et l'origan compact ont montré le pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne le plus élevé (100 %), tandis que les huiles essentielles d'armoise blanche et de laurier noble ont montré une faible inhibition de la croissance de *Fusarium sp* (voir Figure 21).

De plus, les différents extraits aqueux de plantes étudiés, à savoir le Pistachier lentisque, le céleri, l'ail et l'oignon, ont montré une inhibition de la croissance mycélienne plus faible, inférieure à 40 %, selon les différentes doses testées (voir Figure 21 et 22).

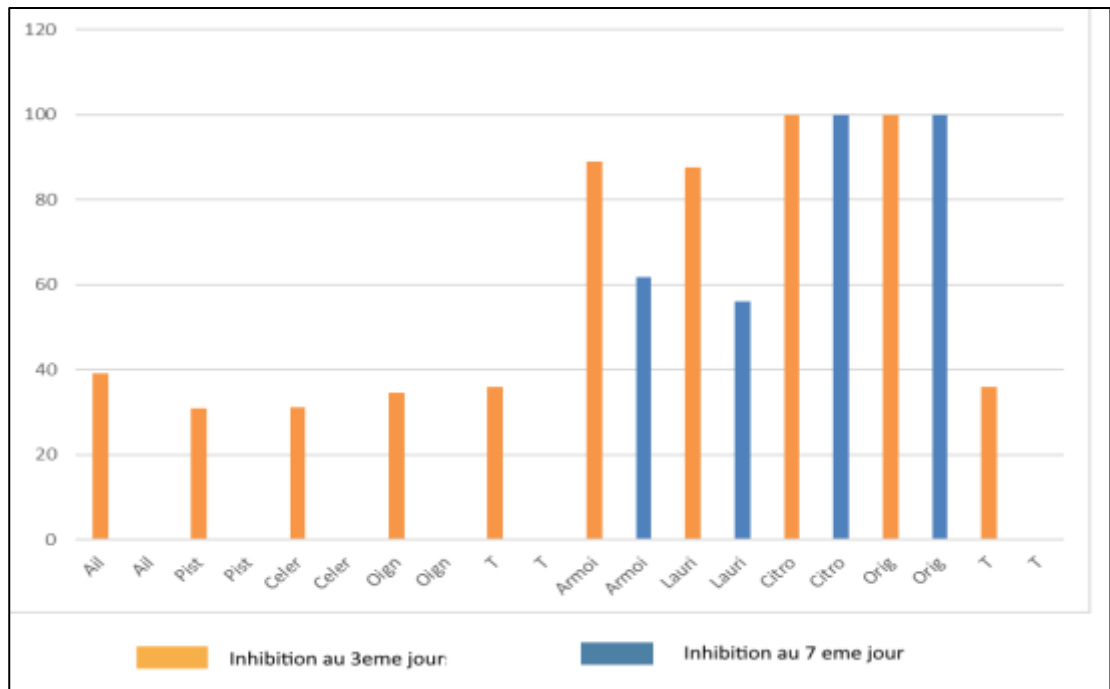


Figure 20 : Taux d'inhibition de la croissance mycélienne de la souche fongique de *Fusarium* sp par les extraits étudiés selon les jours de lecture.

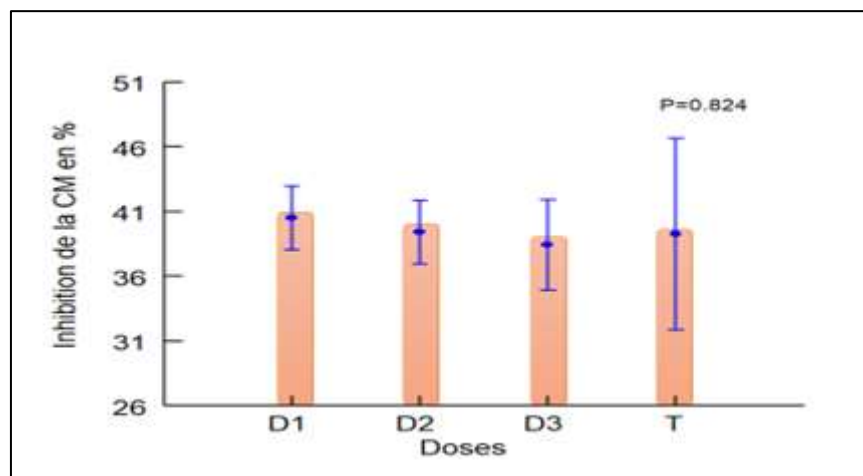


Figure 21 : Taux d'inhibition de la croissance mycélienne selon les différentes doses des extraits aqueux.

3.1.2 Évaluation de concentration minimale inhibitrice

Le taux d'inhibition a été déterminé pour les extraits de plantes afin d'évaluer leur efficacité contre la souche fongique testée.

Les résultats ont révélé que les deux huiles essentielles, à savoir la citronnelle (*Cymbopogon winterianus jowitt*) et l'origan compact (*Origanum compactum*), présentent une puissante activité antifongique significative contre la souche testée. En effet, à une concentration de 25% (CMI1), les deux huiles essentielles ont montré un pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne de 100%, surpassant ainsi les autres concentrations testées (voir Figure 23).

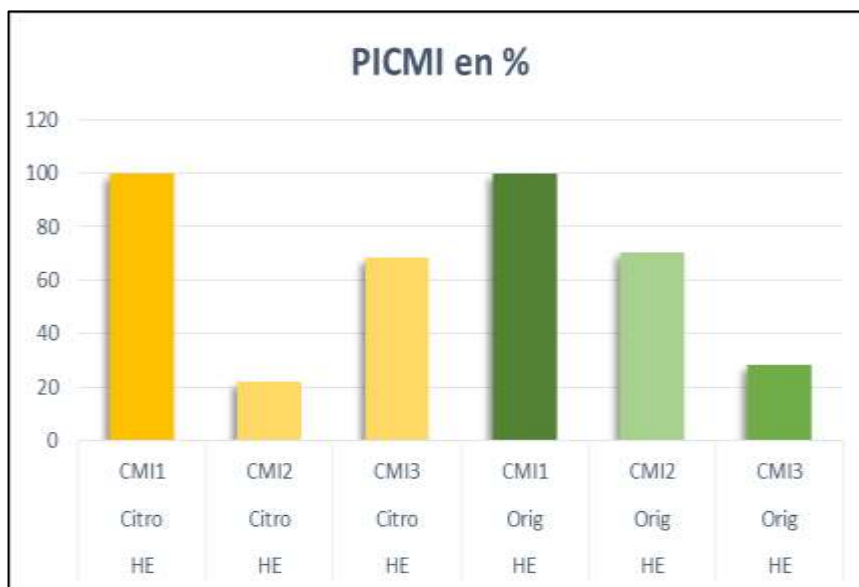


Figure 22 : Taux d'inhibition de la croissance mycélienne de la souche fongique testé en fonction de différente concentration des huiles essentielles de citronnelle et d'origan (cmi1 :25%, cmi2 :10%, cmi3 :5%).

3.1.3 Mycoparasitisme

L'inhibition de la croissance mycélienne de la souche de *Fusarium* sp par les extraits de plantes se manifeste par la lyse et la vésiculation du mycélium, ainsi que par des déformations des conidies et une réduction des taux de sporulation et de germination. Ces effets contribuent à la diminution de la croissance du champignon et indiquent l'activité

antifongique des extraits de plantes. En conséquence, les cultures présentent une faible croissance, limitant ainsi le développement du champignon.

La plupart des extraits étudiés n'ont pas provoqué de lyse ni de vésiculation du mycélium. Cependant, l'huile essentielle de citronnelle et d'origan compact ont montré des effets de lyse et de réticulation du mycélium.

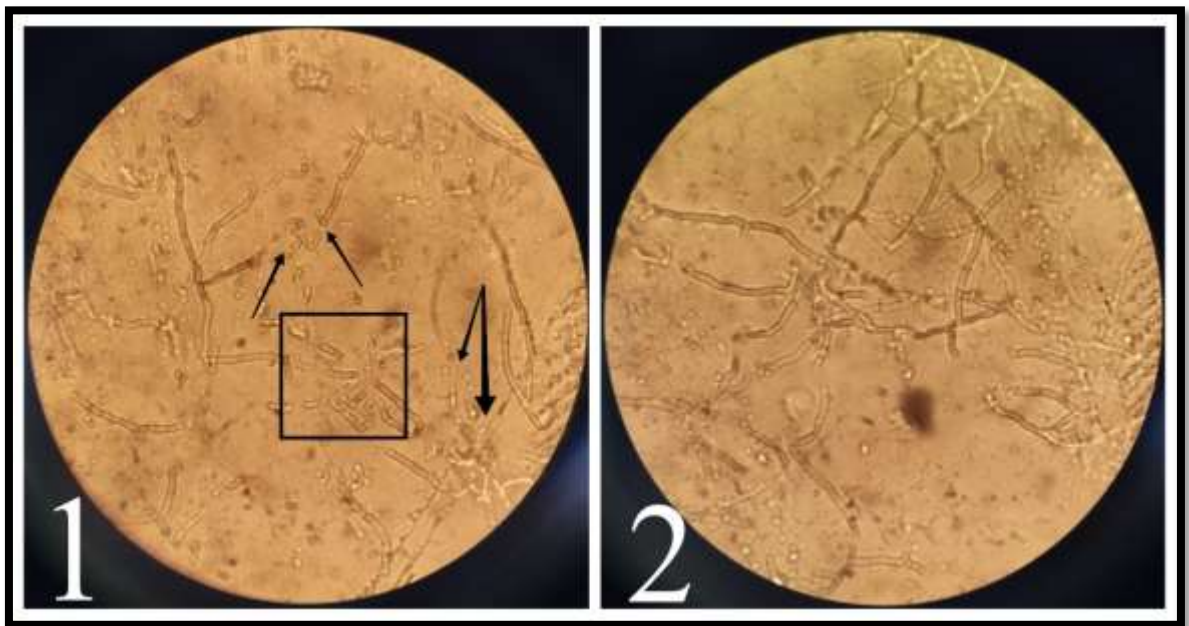


Figure 23 : La lyse de mycélium de *Fusarium* sp sous effet d'un extrait de plante et de témoin sur le microscope photonique (G : 100×) ; (1 : Traitement efficace ; 2 : Le témoin).

3.1.4 Evaluation du pouvoir antifongique des extraits étudiés sur la sporulation de *Fusarium* sp

Comparativement aux extraits aqueux des plantes tels que le *Pistachier lentiscus*, l'*Apium graveolens*, l'*Allium Cepa* et l'*Allium sativum*, ceux-ci n'ont montré aucune efficacité sur la croissance mycélienne de *Fusarium* sp, et par conséquent, ils n'ont pas non plus inhibé la sporulation de ce champignon. En ce qui concerne la sporulation, on a observé une variabilité dans l'inhibition de la germination, la plupart des extraits ayant un faible effet sur la sporulation.

En revanche, les deux huiles essentielles de citronnelle et d'origan, à l'état pur et à une concentration minimale inhibitrice de 25%, ont fortement inhibé la sporulation de *Fusarium* sp.

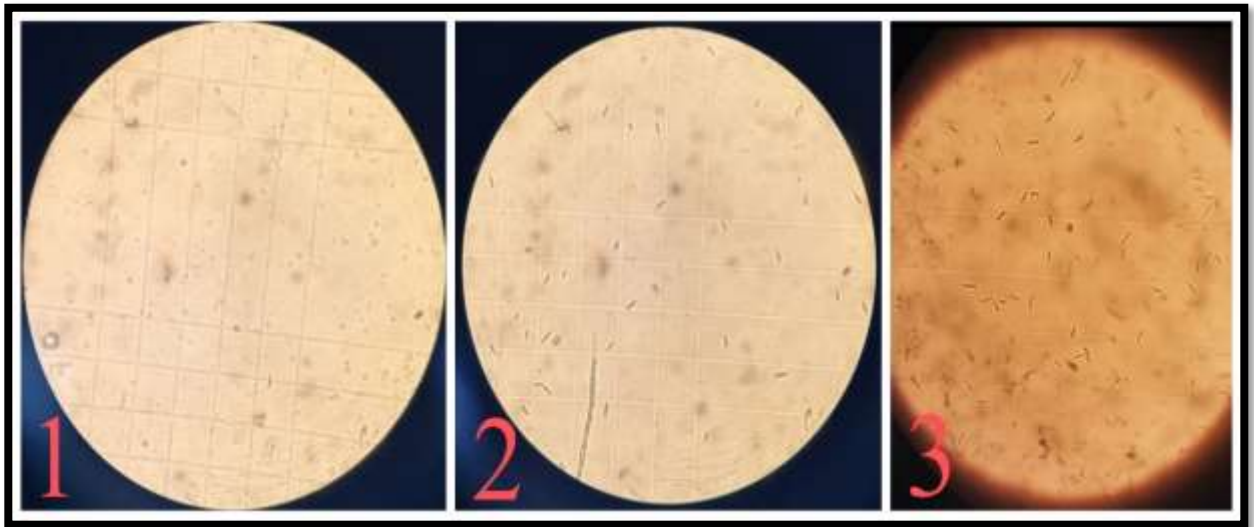


Figure 24 : Sporulation du *Fusarium* sp au niveau de différents traitements. (1 : Traitement efficace ; 2 : Traitement non efficace ; 3 : Le témoin) sous microscope photonique (G : 40×).

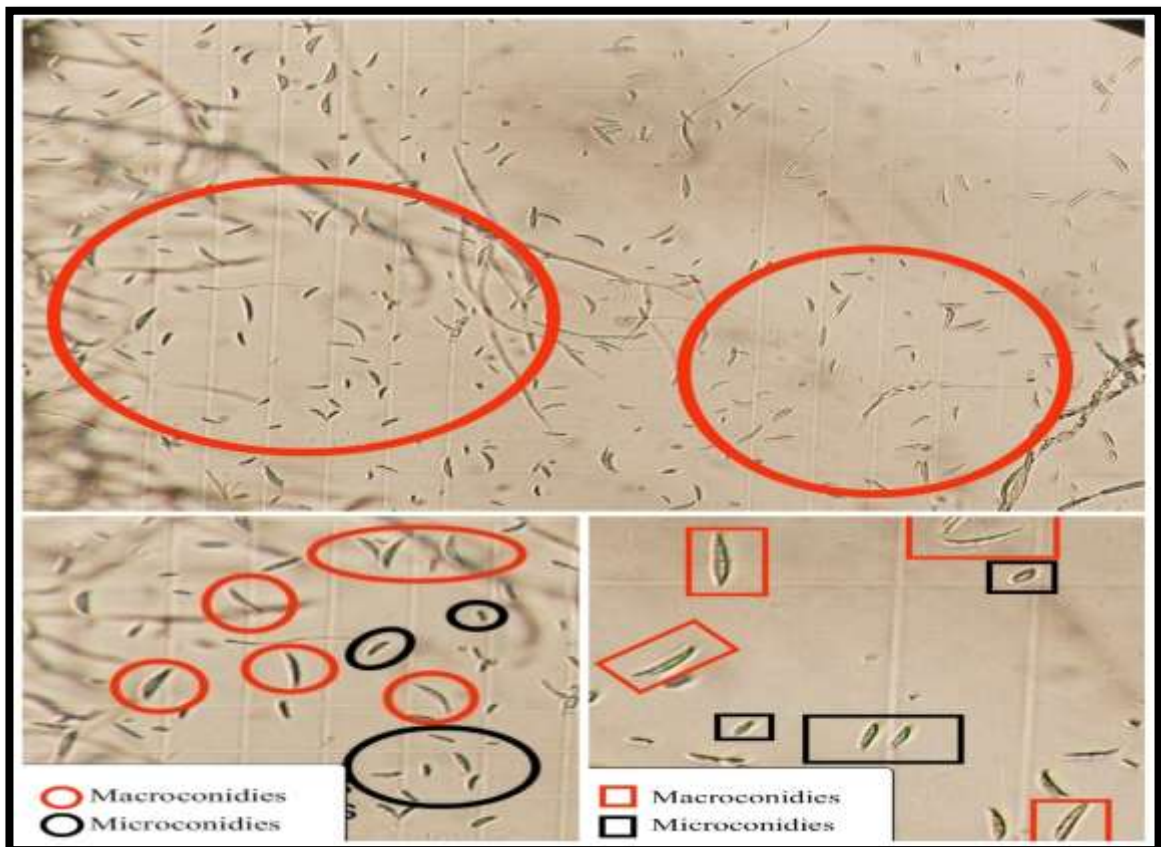


Figure 25 : Les macroconidies et les microconidies de *Fusarium* sp chez un traitement non efficace.

L'analyse de la variance des pourcentages d'inhibition de la sporulation a révélé des différences significatives entre les différents types d'extraits étudiés et les doses testées. Cependant, il n'y a pas de différence significative entre les différentes plantes étudiées en termes d'inhibition de la sporulation (voir Tableau 5 dans l'annexe).

En utilisant le modèle linéaire généralisé (GLM), nous avons constaté une variabilité dans les taux d'inhibition de la sporulation entre les extraits de plantes. Les huiles essentielles de citronnelle et d'origan compact ont démontré une forte inhibition significative de la sporulation de *Fusarium* sp à la fois à l'état pur et à une concentration de 25% (CMI), par rapport aux huiles essentielles d'armoise blanche, de laurier noble et aux autres extraits aqueux qui présentaient des pourcentages d'inhibition de la sporulation plus faibles.

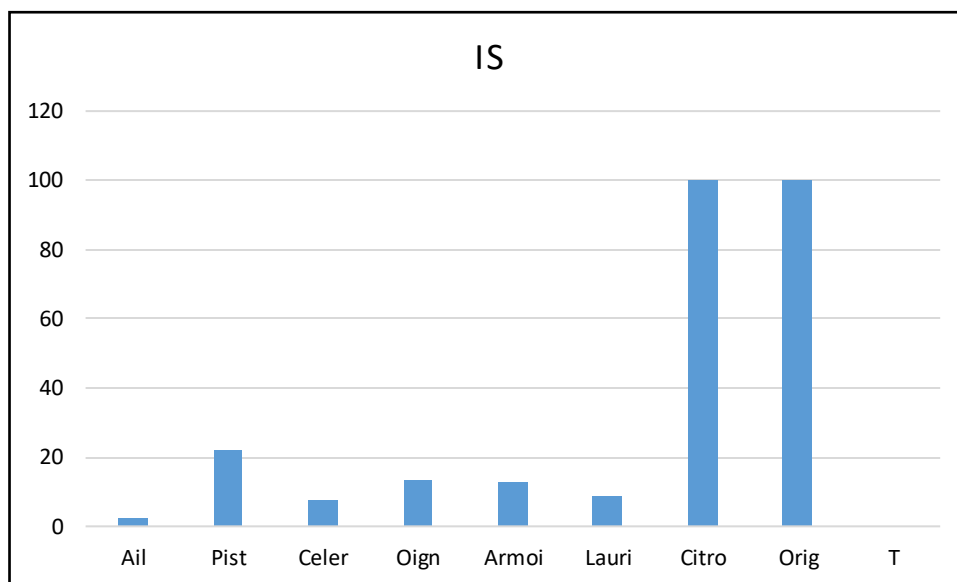


Figure 26 : Taux d'inhibition de la sporulation du *Fusarium* sp selon la nature des plantes étudiées.

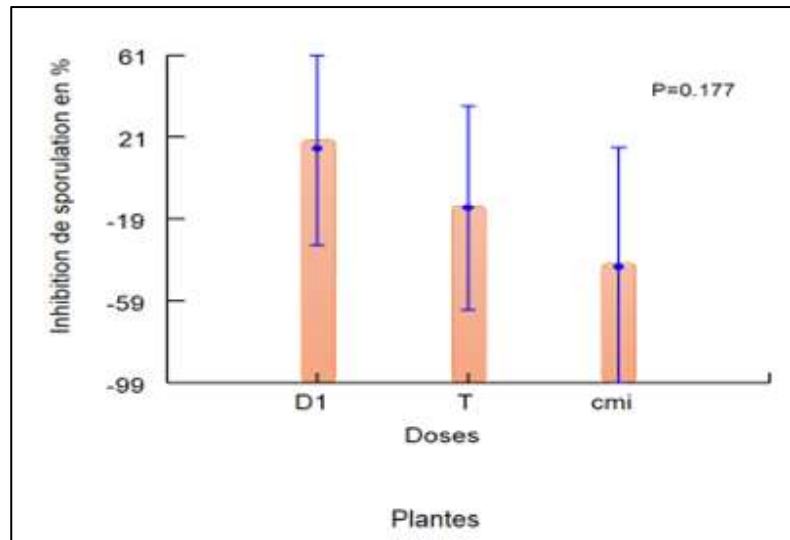


Figure 27 : Taux d'inhibition de la sporulation du *Fusarium* sp selon les différentes doses testées.

a) Évaluation du pouvoir antifongique des extraits étudiés sur la germination de *Fusarium* sp

En ce qui concerne la germination, une variabilité dans l'inhibition a été observée, avec la majorité des extraits n'ayant aucun effet sur la germination du phytopathogène *Fusarium* sp, contrairement aux huiles essentielles. En effet, une inhibition significative de la germination a été remarquée pour les deux huiles essentielles, à savoir la citronnelle et l'origan compact, où aucune germination n'a été observée (voir Figure 29 et 30)

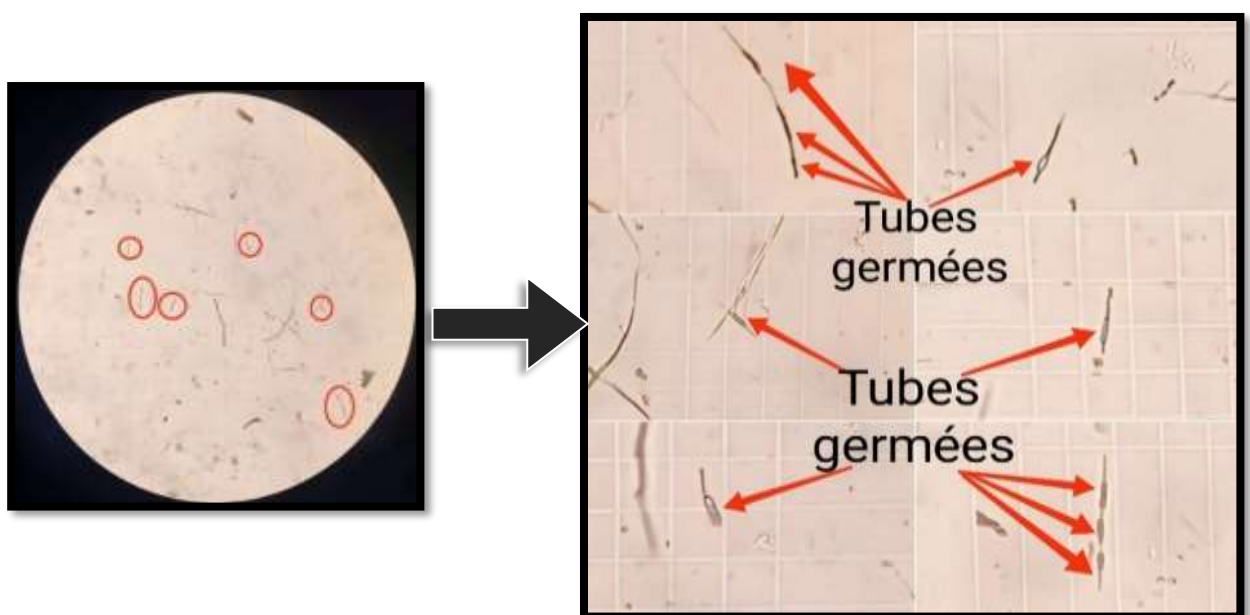


Figure 28 : Germination du *Fusarium* sp chez le témoin.

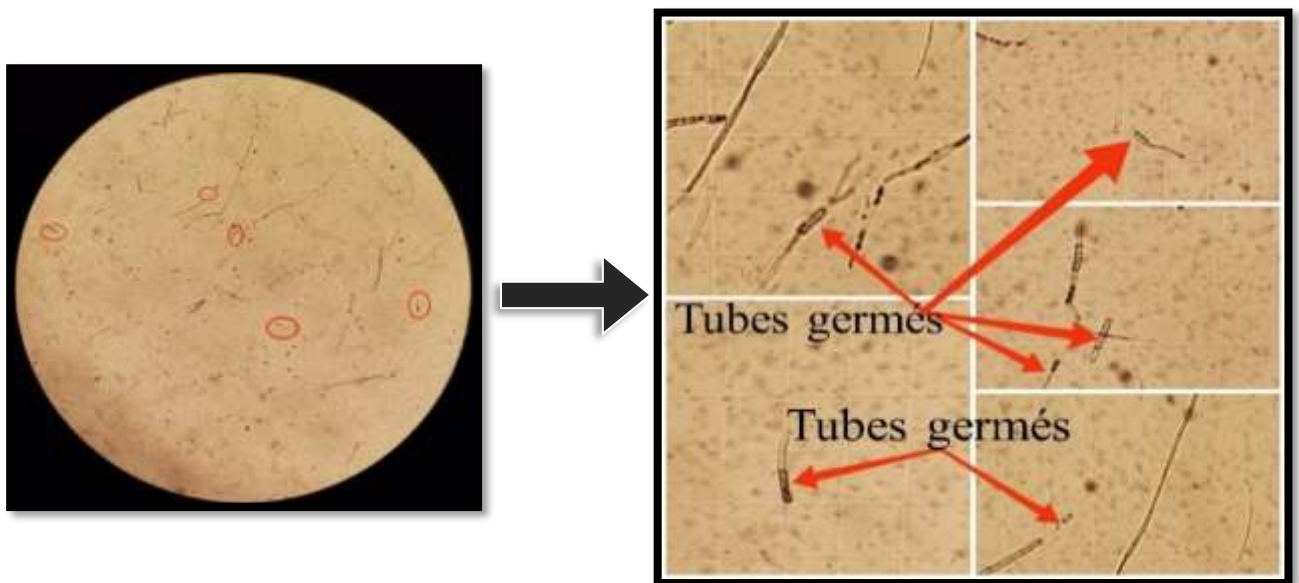


Figure 29 : Germination du *Fusarium* sp chez traitement non efficace.

L'analyse de la variance des taux d'inhibition de la germination de l'isolat fongique *Fusarium* sp après traitement avec les différents extraits a révélé une différence non significative entre les huit extraits testés (voir Tableau 6 dans l'annexe).

En utilisant le modèle linéaire généralisé (GLM), il a été constaté que l'inhibition de la germination était plus marquée avec l'huile essentielle de citronnelle et l'huile essentielle d'origan compact, tandis que les deux autres huiles essentielles d'armoise blanche et de laurier noble, ainsi que les 4 extraits aqueux d'ail, de céleri, de pistachier lentisque et d'oignon, présentaient une inhibition de la germination très faible (voir Figure 31).

D'après les résultats observés dans les figures, les deux huiles essentielles de citronnelle et d'origan compact ont démontré le plus fort pouvoir inhibiteur de la germination (100%), ainsi qu'un taux d'inhibition similaire à une concentration de 25% sur cette souche fongique par rapport aux autres extraits étudiés (Voir Figure 31).

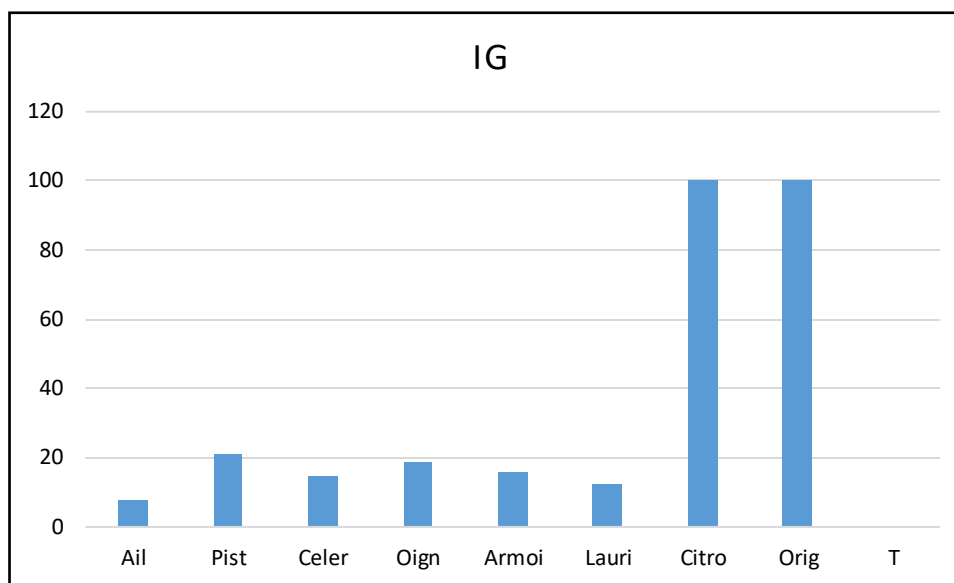


Figure 30 : Pourcentage d'inhibition de la germination selon les différentes plantes étudiées.

3.1.5 Évaluation du pouvoir antifongique des extraits de plantes *in vivo*

Les résultats de notre étude *in vivo* sur la culture hydroponique du blé dur, évaluant le pouvoir antifongique de quatre huiles essentielles (*Cymbopogon winterianus jowitt*, *Origanum compactum*, *Artemisia herba alba*, *Laurus nobilis*) et de quatre extraits aqueux (*Pistachier lentisque*, *Apium graveolens*, *Allium Cepa* et *Allium sativum*), comparés aux effets d'un fongicide et des témoins, sur la germination des graines de blé dur, peuvent être interprétés de la manière suivante :

- Les deux extraits aqueux de Pistachier et d'oignon ont montré une faible germination des graines, avec l'apparition de symptômes de maladies causées par le champignon *Fusarium* sp sur les boîtes. Cependant, la germination des graines n'a pas été totalement inhibée (Figure 32, 33 et 34).
- En ce qui concerne les autres extraits aqueux d'ail, de céleri et les quatre huiles essentielles de citronnelle, d'origan, d'armoise blanche et de laurier noble, aucune germination des graines n'a été observée, mais des symptômes de l'apparition du champignon *Fusarium* sp ont été observés sur les boîtes (Figure 32).

- Le témoin négatif, qui était également sans traitement antifongique, a montré une forte germination des graines par rapport aux autres traitements (Figure 32 et 33).
- Le témoin positif, qui a montré une germination moyenne des graines, présentait toutefois des traces de champignons sous forme de réseau blanc (Figure 32 et 33).
- Le fongicide utilisé dans le groupe de contrôle a montré une bonne germination des graines et aucune apparition de symptômes de maladies causées par le champignon *Fusarium* sp n'a été notée (Figure 32 et 33).

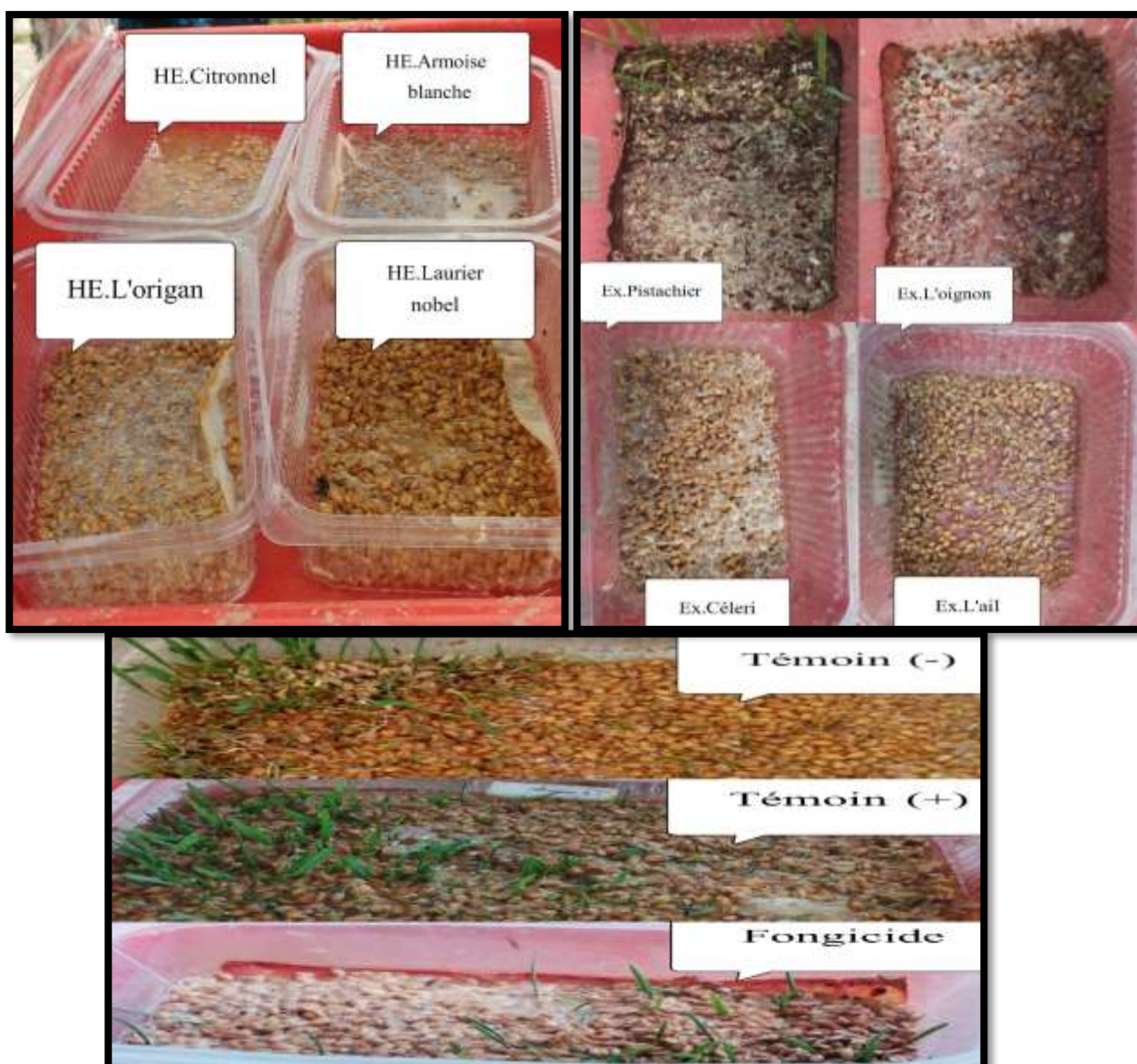


Figure 31 : Effet des huiles essentielles et des extraits aqueux de plantes ainsi que le fongicide sur le champignon *Fusarium* sp agent responsable d'altération du blé.

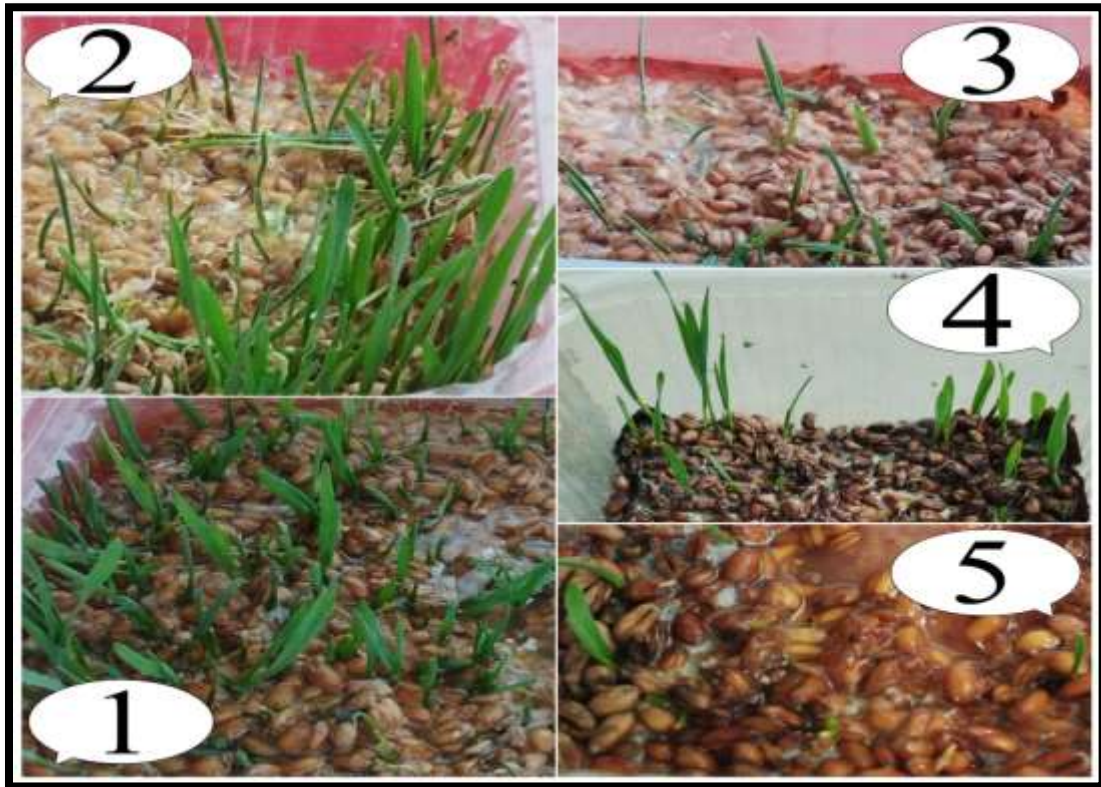


Figure 32 : Résultats *in vivo*. (1 : Témoin (+) ; 2 : Témoin (-) ; 3 : Fongicide ; 4 : Extraits aqueux de Pistachier ; 5 : Extrait aqueux de L'oignon.



Figure 33 : Symptômes d'apparition d'un champignon dans la culture.

3.1.6 Pourcentage d'inhibition de la germination des graines :

Après avoir effectué le traitement des semences avec différents extraits et témoins, une culture hydroponique a été réalisée et une suspension fongique a été ajoutée à chaque traitement, à l'exception du témoin négatif qui servait de groupe de contrôle pour la comparaison des résultats obtenus.

En analysant cette étude, qui se base sur l'inhibition ou non de la germination des graines de blé dur pour différents traitements et témoins testés, l'analyse de variance a révélé une différence très hautement significative dans le pouvoir inhibiteur de la germination entre la majorité des extraits étudiés et les témoins (Tableau 7 : voir l'annexe).

En utilisant le modèle GLM, les différents taux d'inhibition pour chaque traitement testé ont été calculés. Une inhibition significative de 100 % a été observée pour les quatre huiles essentielles de citronnelle, d'origan, d'armoise blanche et de laurier noble, ainsi que pour les extraits aqueux d'ail et de céleri. L'extrait d'oignon a enregistré un taux d'inhibition de 86,08 %.

L'extrait aqueux de pistachier lentisque a montré un taux d'inhibition de 56,52 %, comparé au fongicide qui présente une inhibition de la germination de 39,13 %. Le témoin positif a affiché un taux d'inhibition de 6,08 % et le témoin négatif n'a montré aucune inhibition de la germination (Figure 35).

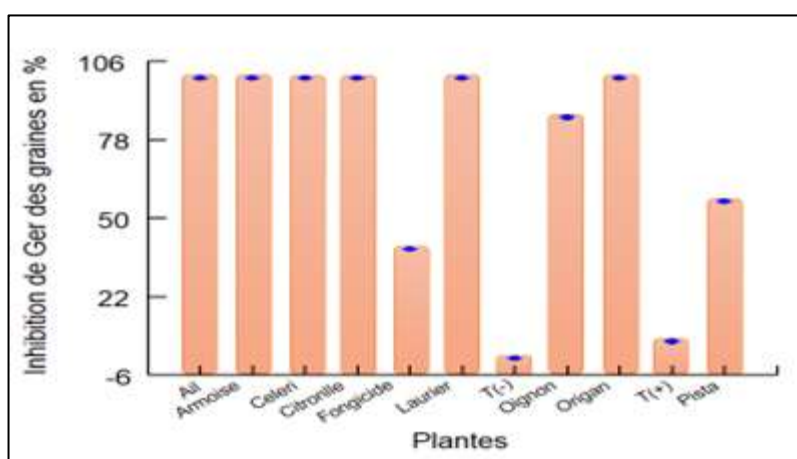


Figure 34 : Pourcentage d'inhibition de la germination des graines du blé dur après traitement par différents extraits étudiés.

3.2 Discussion

Dans le but de renforcer nos résultats, nous avons réalisé une revue synthétique de différentes études menées par divers auteurs. Cette recherche nous a permis de mieux comprendre les différentes actions des extraits sur le pathogène étudié. De plus, nous avons comparé nos résultats à des études similaires.

Dans la première étude, la pouvoir antifongique *in vitro* des huiles essentielles suivantes : *Cymbopogon winterianus jowitt*, *Origanum compactum*, *Artemisia herba alba* et *Laurus nobilis* ainsi que des extraits aqueux de *Pistachier lentiscus*, *Apium graveolens*, *Allium Cepa* et *Allium sativum* a été démontré sur l'isolat fongique Algérienne du *Fusarium* sp par la méthode des disques sur le milieu PDA (Potato Dextrose Agar).

Les résultats de cette étude ont confirmé le pouvoir antifongique significatif des huiles essentielles de citronnelle et d'origan vis-à-vis de l'agent phytopathogène *Fusarium* sp. Leur efficacité a été mise en évidence en termes d'inhibition de la croissance mycélienne, de la sporulation et de la germination de cette souche fongique.

Nos résultats concordent avec ceux de Bouhdid et *al.*, (2008) ; Ouraini et *al.*, (2007) qui ont rapporté des études antérieures utilisant des huiles essentielles extraites de différentes plantes telles que l'origan et le thym, mettant en évidence leur activité antifongique significative contre plusieurs agents pathogènes fongiques.

Selon Ultee et *al.*, (2001), les huiles essentielles d'Origan et de Thym sont parmi les meilleurs inhibiteurs de champignons pathogènes.

Des recherches menées par Jantan et *al.*, (2008), Huang et *al.*, (2010), Bassolé et *al.*, (2011), Soni et *al.*, (2016), Bayan (2018) et Kot et *al.*, (2018) ont également démontré l'activité antifongique des huiles essentielles de *Mentha spicata*, *Mentha piperita*, *Myristica fragrans*, *Cymbopogon citratus*, *Cinnamomum verum* et *Illicium verum* contre des agents pathogènes tels qu'*Alternaria alternata*, *Aspergillus versicolor*, *Aspergillus flavus*, *Fusarium tricinctum* et *Candida albicans* (Boukhatem et *al.*, 2014 ; Das et *al.*, 2018).

D'après l'étude de Benaïssa et Chebiri, (2022), sur l'évaluation des propriétés antioxydantes, antimicrobiennes et insecticides de cinq huiles essentielles. Les résultats ont montré que l'huile essentielle d'*Artemisia Herba Alba* présentait un fort pouvoir antioxydant. De plus, toutes les huiles essentielles ont montré une activité significative contre les micro-organismes testés, notamment l'huile de *Cymbopogon winterianus*.

D'autre part, les huiles essentielles de *Laurus nobilis* et *Artemisia herba alba* n'ont pas inhibé la croissance mycélienne, bien qu'elles l'aient ralentie. Cependant, ces deux huiles essentielles n'ont pas inhibé la sporulation et la germination du *Fusarium*.

Concernant l'étude de Salhi et al., (2015), elle a effectivement montré que l'huile essentielle de *Laurus nobilis* possède une activité antifongique importante contre la souche fongique *Fusarium sporotrichoide*, avec un indice d'inhibition de 100 % et une concentration minimale inhibitrice (CMI) observée de 0,5 %.

Par ailleurs, Mehani et al., (2016) ont démontré que l'activité antifongique de l'huile essentielle d'armoise blanche a des effets différents sur la résistance des germes de *Fusarium*.

Cependant, nos résultats sont en désaccord avec ceux de Taran et al., (2009), qui ont rapporté que les extraits de feuilles de *Pistachier lentiscus* sont connus pour leurs activités antibactériennes et antifongiques. Dans notre étude, les extraits aqueux de *Pistachier lentiscus*, d'*Apium graveolens*, d'*Allium Cepa* et d'*Allium sativum* n'ont pas montré de pouvoir antifongique significatif contre cette souche fongique spécifique.

Par contre, l'étude de Debbabi et al., (2017) a montré que les souches de *Penicillium* sont plus sensibles à l'activité des quatre extraits des feuilles du pistachier lentisque (Macération, infusion, décoction et digestion) que *Fusarium* sp. En revanche, l'huile essentielle a montré une activité inhibitrice de la croissance de *Fusarium* plus importante que celle des *Penicillium* testés, pour laquelle cette activité était absente.

L'activité antimicrobienne des extraits des feuilles est principalement fonction du protocole d'extraction Et donc de leur composition chimique (Debbabi et al., 2017).

En ce qui concerne l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits du Pistachier d'Atlas, l'étude de Rabah et al., (2022) a démontré la présence d'une activité bactéricide pour certain extrait. De plus, l'évaluation de l'activité antifongique a révélé une certaine

sensibilité de la souche fongique *Fusarium oxysporu* aux extraits aqueux et éthanoliques de cette espèce.

De plus, l'huile essentielle et les extraits bruts de *Thymus vulgaris*, *Allium sativum* et *Teucrium polium* exercent un pouvoir inhibiteur sur les souches testées, ce pouvoir varie selon la plante, l'espèce pathogène et la forme utilisée (huile ou extrait). (Boudani et al., 2022).

Concernant l'étude du pouvoir antifongique *in vivo* des mêmes huiles essentielles et les extraits aqueux des plantes, il est clair que les traitements des semences de blé dur dans cette étude ont été réalisés en les trempant dans différentes solutions, y compris des extraits aqueux, des huiles essentielles, un fongicide, ainsi que des témoins positifs et négatifs. Les semences ont ensuite été contaminées par une suspension de *Fusarium* sp (10^6) pour évaluer l'effet des traitements sur la germination des graines de blé dur dans des conditions de culture hydroponique du blé dur.

Compte tenu des résultats nous avez fournis, ils suggèrent que la majorité des extraits étudiés, comme les huiles essentielles et les extraits aqueux, ont montré une absence complète de germination des graines de blé dans les boîtes qui les contenaient. Cela réfère que ces traitements ont eu un effet inhibiteur sur la germination des graines.

Plusieurs espèces végétales produisent des molécules capables d'inhiber la germination et la croissance des plantes avoisinantes (Benarab, 2021).

Sur la base de ces résultats, il est clair que ces résultats sont accordés avec Benarab, (2021) ou les huiles essentielles de l'Armoise blanche (*Artemisia herba-alba* Asso.), L'Eucalyptus (*Eucalyptus globulus* Labill.) et le Harmel (*Peganum harmala* L.) ont été testées par différentes concentrations inhibent fortement la germination des graines et la croissance des plantules (LPA et LR) de la majorité des adventices et variétés de blé étudiées

En revanche, les extraits aqueux de Pistachier lentisque à montrer une faible inhibition de germination des graines (56.52%) par rapport aux autres traitements.

Le fongicide utilisé dans la boîte de contrôle a montré une germination relativement bonne des graines, avec un pourcentage d'inhibition de germination de 48%.

Les témoins ont montré des résultats contrastés. Le témoin négatif, sans traitement antifongique, a montré une forte germination des graines, ce qui est attendu. Le témoin positif, qui était également sans traitement antifongique, mais avec une certaine contamination fongique, a montré une germination moyenne des graines.

Une étude qui examiné les effets allélopathiques de différentes plantes sur la germination et la croissance de plusieurs espèces de graines, notamment des adventices *Dactyloctenium aegyptium* (*Poaceae*) de l'orge (*Hordeum vulgare*) et du blé dur (*Triticum durum*), montrent que les extraits de *C. arabica* et de *Prosopis tomentosa* ont un effet inhibiteur significatif, entraînant une réduction de la germination et de la croissance des plantules d'orge et de blé dur, ainsi qu'une forte inhibition de la germination des graines de l'adventice *D. aegyptium* (Rekia, 2020).

Une autre étude a évalué l'effet allélopathique des extraits aqueux d'une adventice sur la germination du blé dur. Les extraits purs de la partie caulinare et les extraits dilués ont montré une inhibition quasi-totale de la germination des graines de blé dur. De plus, l'effet allélopathique était similaire entre les extraits de la partie caulinare et ceux de la partie racinaire (Benali et Benouar, 2014).

Une troisième étude a étudié les extraits de *Verbesina encelioides* sur la germination et la croissance du blé dur. Les extraits de feuilles ont montré un effet allélopathique plus important que les extraits de tiges et de racines, affectant la germination, la croissance des coléoptiles et la croissance des racicules (Ben ghabrit et al, 2017).

Les résultats de l'étude menée par Benali, 2016 démontrent que les extraits aqueux des plantes *Artemisia herba alba*, *Asphodelus tenuifolius* et *Cotula cinerea* ont un potentiel significatif pour inhiber la germination des céréales étudiées ainsi que l'adventice testée. De plus, ces extraits ont montré une capacité à réduire la contamination fongique des graines.

En particulier, une étude récente menée par Jamilu et *al.*, (2021) a évalué l'activité antifongique de l'ail (*Allium sativum*) sur *Fusarium* sp. Les résultats ont démontré une activité significative de l'extrait d'ail, avec une augmentation des zones d'inhibition en fonction de la concentration.

Des études antérieures qui ont également mis en évidence l'activité antifongique de l'ail sur divers agents pathogènes fongiques comme l'étude qui a été réalisée par Richard, (2007) a montré que les extraits éthanoliques d'ail présentaient une activité antifongique contre *Aspergillus* sp, *Penicillium* sp et *Fusarium* sp.

Concernant l'activité antifongique d'oignon, l'extrait aqueux d'oignon a montré une activité antifongique significative contre *Fusarium oxysporum* et *Colletotrichum* sp, comparable à celle du captane, un fongicide couramment utilisé (Cornago et al., 2011).

Une étude menée sur le céleri (*Apium graveolens*) a révélé une activité antifongique significative de l'huile essentielle d'*A. graveolens* (AG-EO) contre trois souches fongiques phytopathogènes du sol : *Fusarium oxysporum*, *Curvularia lunata* et *Sclerotinia sclerotiorum*. L'AG-EO a montré une inhibition importante de la croissance mycélienne à une concentration de 500 µg/mL, avec des valeurs de CI50 comprises entre 966 et 220,76 µg/mL (Rana et al., 2022).

Nos résultats diffèrent cependant de ceux de certaines études antérieures qui ont rapporté une activité antibactérienne et antifongique des extraits de feuilles de Pistachier lentiscus. Dans notre étude, les extraits aqueux de Pistachier lentiscus, *Apium graveolens*, *Allium cepa* et *Allium sativum* n'ont pas montré d'activité antifongique significative contre cette souche fongique spécifique.

En ce qui concerne l'étude du pouvoir antifongique *in vivo* des mêmes huiles essentielles et les extraits aqueux des plantes, il convient de souligner que les semences de blé dur ont été traitées en les trempant dans différentes solutions, y compris des extraits aqueux, des huiles essentielles, un fongicide, ainsi que des témoins positifs et négatifs. Les semences ont ensuite été contaminées par une suspension de *Fusarium* sp (10^6) pour évaluer l'effet des traitements sur la germination des graines du blé dur dans des conditions de culture hydroponique.

Compte tenu des résultats nous avez fournis, ils suggèrent que la majorité des extraits étudiés comme les huiles essentielles et les extraits aqueux, ont montré une absence complète de germination des graines de blé dans les boîtes qui les contenaient. Cela réfère que ces traitements ont eu un effet inhibiteur sur la germination des graines.

Plusieurs espèces végétales produisent des molécules capables d'inhiber la germination et la croissance des plantes avoisinantes (Benarab, 2021).

Sur la base de ces résultats, il est clair que ces résultats sont accordés avec Benarab, (2021) ou les huiles essentielles de l'Armoise blanche (*Artemisia herba-alba* Asso.), L'Eucalyptus (*Eucalyptus globulus* Labill.) et le Harmel (*Peganum harmala* L.) ont été testées par différentes concentrations inhibent fortement la germination des graines et la croissance des plantules (LPA et LR) de la majorité des adventices et variétés de blé étudiées

En revanche, les extraits aqueux de Pistachier lentisque à montrer une faible inhibition de germination des graines (56.52%) par rapport aux autres traitements.

Le fongicide utilisé dans la boîte de contrôle a montré une germination relativement bonne des graines, avec un pourcentage d'inhibition de germination de 48%.

Les témoins ont montré des résultats contrastés. Le témoin négatif, sans traitement antifongique, a montré une forte germination des graines, ce qui est attendu. Le témoin positif, qui était également sans traitement antifongique mais avec une certaine contamination fongique, a montré une germination moyenne des graines.

Une étude qui a examiné les effets allélopathiques de différentes plantes sur la germination et la croissance de plusieurs espèces de graines, notamment des adventices *Dactyloctenium aegyptium* (*Poaceae*) de l'orge (*Hordeum vulgare*) et du blé dur (*Triticum durum*), montrent que les extraits de *C. arabica* et de *Prosopis tomentosa* ont un effet inhibiteur significatif, entraînant une réduction de la germination et de la croissance des plantules d'orge et de blé dur, ainsi qu'une forte inhibition de la germination des graines de l'adventice *D. aegyptium* (Rekia, 2020).

Une autre étude a évalué l'effet allélopathique des extraits aqueux d'une adventice sur la germination du blé dur. Les extraits purs de la partie caulinare et les extraits dilués ont montré une inhibition quasi-totale de la germination des graines de blé dur. De plus, l'effet allélopathique était similaire entre les extraits de la partie caulinare et ceux de la partie racinaire (Benali et Benouar, 2014).

Une troisième étude a étudié les extraits de *Verbesina encelioides* sur la germination et la croissance du blé dur. Les extraits de feuilles ont montré un effet allélopathique plus important que les extraits de tiges et de racines, affectant la germination, la croissance des coléoptiles et la croissance des radicules (Ben ghabrit et al., 2017).

Les résultats de l'étude menée par Benali, (2016) démontrent que les extraits aqueux des plantes *Artemisia herba alba*, *Asphodelus tenuifolius* et *Cotula cinerea* ont un potentiel significatif pour inhiber la germination des céréales étudiées ainsi que l'adventice testée. De plus, ces extraits ont montré une capacité à réduire la contamination fongique des graines.

Conclusion

Conclusion

La lutte biologique contre les agents causaux d'altération du blé par des champignons phytopathogènes semble être une alternative prometteuse à l'emploi des fongicides. De ce fait, pour entreprendre une lutte biologique contre le développement de *Fusarium* chez le blé, on a choisi plusieurs extraits aqueux des tels que le pistachier lentisque, le céleri, l'ail et l'oignon, et autres plusieurs huiles essentielles telles que l'origan compact, armoise blanche, citronnelle et laurier noble.

Le présent travail a été réalisé dans le but de tester l'effet antifongique *in vitro* et *in vivo* des extraits aqueux à base de plantes et des huiles essentielles sur le développement de *Fusarium* sp, agent responsable d'altération du blé ; les traitements à base des extraits aqueux et huiles essentielles à différentes concentrations sur l'inhibition de la croissance mycélienne, de la sporulation, de la germination *in vitro* et *in vivo* de ce redoutable agent phytopathogène.

Dans ce sens et au terme de ce modeste travail, il est important de rappeler les résultats les plus importants.

Ce travail approuvé qu'*in vitro* les extraits aqueux n'ont pas donné une efficacité alors que les huiles essentielles données des résultats importants, cela a poussé recommander à l'utilisation de ces huiles essentielles tell que l'origan compact et la citronnelle pour la lutte contre le *Fusarium*, par contre ces huiles essentielles n'ont pas donné un effet sur la germination, donc en recommander l'étude de ces huiles dans une autre phase du cycle biologique de la plante, ou essayer ces extraits dans la culture du sol.

Aussi Il serait avisé et captivant d'examiner attentivement ces huiles essentielles, de cerner leur composé actif, et de les extraire en vue de concocter des remèdes fongicides contre le *Fusarium*.

Par contre, les extraits qui n'ont pas donné une efficacité, il serait également judicieux de changer la méthode d'extraction par d'autres méthodes qu'elles sont capables d'isoler leur composé actif ayant un impact sur le *Fusarium*. Sinon, il pourrait être plus opportun d'explorer d'autres méthodes appropriées pour l'application de ces extraits sur les plantes.

D'autre part, ces extraits aqueux ont éprouvé un effet inhibiteur de germination de blé. Il serait intéressant de tester les effets herbicides de ces extraits sur les adventices monocotylédones pour les autres cultures hors la culture des céréales.

Référence Bibliographiques

- ❖ **A.Tiendrebeogo. ; I. Ouedraogo. ; S. Bonzi et A.I. Kassankogno., 2017** : Etude de l'activité antifongique d'extraits de *Cymbopogon citratus* (DC) Stap, *Eclipta alba* L., *Lippia multiflora* M. et *Agave sisalana* P, International journal Biological Chemistry Science , 11,(3) , 1202-1211. <http://ajol.info/index.php/ijbcs> .
- ❖ **Adjovi, Yann Christie Sissinto, Fossou, Prince Joli, Tahirou, Akimath, et al., 2022** : Evaluation de l'utilisation des huiles essentielles de six plantes aromatiques collectées au Benin dans la lutte alternative contre les aflatoxins.
- ❖ **Alloune, R., Liazid, A., et Tazerout, M. (2012)** : Etudes comparatives de deux plantes oléagineuses locales pour la production du biodiesel en Algérie. Revue des Energies Renouvelables SIENR, vol. 12, p. 19-22.
- ❖ **Amor, Ghita, Caputo, Lucia, La Storia, Antonietta, et al., 2019** : Chemical composition and antimicrobial activity of *Artemisia herba-alba* and *Origanum majorana* essential oils from Morocco. Molecules, vol. 24, no 22, p. 4021.
- ❖ **Amraoui, Khadija, Salhi, Nesrine, et Besati, Samia., 2017** : Contrôle de l'activité antifongique d'huiles essentielle d'*Artemisia Herba alba* sur quelques moisissures d'altération les graines des céréales.
- ❖ **Anderson., 2007** : Remembering Tom. *Fusarium* Focus.
- ❖ **Angaman, Ruffin Kouakou, ABO, Kouabenan, Orsot, B. M. A. B., et al., 2020** : Evaluation de l'activité antifongique *in vitro* et *in vivo* d'extraits de *Terminalia ivorensis* et *Terminalia superba* sur *Fusarium oxysporum*. Journal Of Humanities And Social Science, vol. 25, no 3, p. 11-18.
- ❖ **Aouadhi, Chedia, Ghazghazi, Hanene, Hasnaoui, Brahim, et al., 2013** : Comparaison de l'activité antifongique d'extraits méthanoliques de trois plantes collectées du nord-ouest de la Tunisie. Microbiol. Hyg. Alim, vol. 25, no 73, p. 9-14.
- ❖ **Aouali, S. et Douici-Khalfi, A., 2009** : Recueil des principales maladies fongiques des céréales en Algérie : symptômes, développement et moyens de lutte. ITGC, EL Harrach, Alger. 56p.
- ❖ **Aourach, Mohammed, Barbero, Gerardo Fernández, González De Peredo, Ana Velasco, et al., 2021** : Composition and antifungal effects of aqueous extracts of *Cymbopogon citratus*, *Laurus nobilis* and *Santolina chamaecyparissus* on the growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lentis*. Archives of Phytopathology and Plant Protection, vol. 54, no 19-20, p. 2141-2159. DOI : 10.1080/03235408.2021.1922169.
- ❖ **APG III., 2009**: An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. Botanical Journal of the Linnean Society, 161: 105-121.
- ❖ **Ayad, Noura, Benaraba, Rachida, Hemida, Houari, et al., 2022** : Biological activities of phenolic extracts from *Artemisia herba-alba* Asso grown in western Algeria. European Journal of Biological Research, vol. 12, no 1, p. 46-61.
- ❖ **Ayed F, Daami-Remadi M, Jabnoun-Khiareddine H., 2006** : Evaluation of fungicides for control of *Fusarium* wilt of potato, Plant Pathology Journal, 5, 239-243.
- ❖ **Azouaoui-Ait kettout Tassadit et Rahmania Fatma., Juin 2013** : Contribution à l'étude de l'activité toxique de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, agent causal du bayoud, Algerian journal of arid environment vol. 3, n° 1: 68-81.

- ❖ **Beccari, Giovanni, Hao, Guixia, et Liu, Huiquan., 2022 :** *Fusarium* pathogenesis : Infection mechanisms and disease progression in host plants. *Frontiers in Plant Science*, vol. 13.
- ❖ **Benaissa Amira, Chebiri Fatima, 2022 :** Evaluation des propriétés antioxydantes, antimicrobiennes, et insecticides de quelques huiles essentielles. Thèse de doctorat.
- ❖ **Benali, Nour Elhouda et Benouaer, Madiha, 2014 :** Etude de L'effet allélochimique d'extrait aqueux de *Sisymbrium irio* sur la germination de blé dur. Thèse de doctorat. Université Kasdi Merbah, Ouargla.
- ❖ **BEN ALI, Nour Elhouda, 2016 :** Etude de la phytotoxicité des extraits aqueux de quelques plantes médicinales sur l'efficacité de la germination des céréales et de quelques adventices associées. Thèse de doctorat. Université Kasdi Merbah Ouargla.
- ❖ **Benarab, Haddouda, 2021 :** Effets des huiles essentielles de l'Armoise blanche (*Artemisia herba-alba* Asso.), l'Eucalyptus (*Eucalyptus globulus* Labill.) et le Harmel (*Peganum harmala* L.) sur la germination des graines des adventices des cultures. Thèse de doctorat.
- ❖ **Ben-ghabrit, Salmene, 2017 :** Effets allélopathiques d'une adventice envahissante (*Verbesina encelioides*) sur la germination et la croissance du blé dur. *Revue Marocaine de Protection des Plantes*, vol. 1, no 11.
- ❖ **Ben Mesbah marwa, Boucetta Khadija :** Effet des solvants d'extraction sur la composition chimique de : « *Allium cepa* et *Allium sativum* ».
- ❖ **Bezza, L., Mannarino, A., Fattarsi, K., et al., 2010 :** Composition chimique de l'huile essentielle d'*Artemisia herba-alba* provenant de la région de Biskra (Algérie). *Phytothérapie*, vol. 8, no 5, p. 277-281.
- ❖ **BOUDANI, Sarra, HADJERES, Wardia, et BENAZZOUK, S.** Étude comparative des activités biologiques de quelques plantes médicinales endémiques d'Algérie. 2022.
- ❖ **Boudeffeur, Saïd, Arabi, Abdelmalek, Mebrouki, Abdelmadjid, et al., 2019 :** Etude de l'activité antifongique in vitro des extraits éthanoliques de quelques plantes spontanées de la région d'Adrar sur *Fusarium oxysporum* f. sp. *Albedinis*. Thèse de doctorat. Université Ahmed Draïa-Adrar.
- ❖ **Bouhdid, S., Skali, S. N., Idaomar, M., et al., 2008 :** Antibacterial and antioxidant activities of *Origanum compactum* essential oil. *African journal of Biotechnology*, vol. 7, no 10.
- ❖ **Bouhdid, Samira, Abrini, Jamal, Baudoux, Dominique, et al., 2012 :** Les huiles essentielles de l'origan compact et de la cannelle de Ceylan : Pouvoir antibactérien et mécanisme d'action. *Journal de Pharmacie Clinique*, vol. 31, no 3, p. 141-148.
- ❖ **Boulal, A., Moussaoui, A., et Touzi, A. (2011) :** Isolement et identification de souches de moisissures réputés toxigènes dans le blé local stocké traditionnellement dans la région d'Adrar. *Institut de la Recherche Agronomique d'Algérie*, no 24.
- ❖ **Bozzini, Alessandro, et al., 1988 :** Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. *Durum wheat : chemistry and technology*, p. 1-16.
- ❖ **Bulletin de la FAO, 2023 :** L'offre et la demande de céréales | Situation alimentaire mondiale. <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/fr/>.

- ❖ **Castillo G., Sottiaux L., Hainaut A., Dengis B. et Waller A., 2010** : De la plante au médicament, Initiation aux plantes médicinales, Espaces Botaniques Universitaires de Liège, 324p.
- ❖ **Chang, Xiaoli, DAI, Hao, Wang, Duiping, et al., 2018** : Identification of *Fusarium* species associated with soybean root rot in Sichuan Province, China. European journal of plant pathology, vol. 151, p. 563-577.
- ❖ **Chebaibi, A., Marouf, Z., Rhazi-Filali, F., et al., 2016** : Évaluation du pouvoir antimicrobien des huiles essentielles de sept plantes médicinales récoltées au Maroc. Phytothérapie, vol. 14, no 6, p. 355-362.
- ❖ **Clémentine, Kouakou-Kouame Amenan, Mesmin, Koffi Yao, Honora, Doctorant Tra Bi Fézan, et al.,** : Activité antifongique *in vitro* des extraits de cinq plantes locales sur *Colletotrichum Higginsianum*, *Fusarium Oxysporum* et *Rhizopus Stolonifer*, Agents Pathogènes de la Papaye (*Carica Papaya L*) et de la Tomate (*Solanum Lycopersicum L*).
- ❖ **Colin W., Ian B., Diane M., 2017** : Cereal grains : Assessing and Managing Quality. Second Edition, P832.
- ❖ **Crémer S., & Knoden D., 2014** : Introduction à la reconnaissance des légumineuses, Fourrages-Mieux asbl, 6p.
- ❖ **Cristani, Mariateresa, D'arrigo, Manuela, Mandalari, Giuseppina, et al., 2007** : Interaction of four monoterpenes contained in essential oils with model membranes : implications for their antibacterial activity. Journal of Agricultural And Food Chemistry, vol. 55, no 15, p. 6300-6308.
- ❖ **D. Saha. ; S. Dasgupta ; and A. Saha. 2005** : Antifungal activity of some plant extracts against Fungal Pathogens of Tea (*Camellia sinensis*), Pharmaceutical Biology, 43, (1), 87–91. DOI : 10.1080/13880200590903426.
- ❖ **Dahmoune, Farid. 2016** : Composés phénoliques de l'oignon rouge : extraction/caractérisation.
- ❖ **Dannaoui, Eric. 2006** : Méthodologie d'évaluation de la sensibilité *in vitro* aux antifongiques. Therapies, vol. 61, no 3, p. 201-207.
- ❖ **Debbabi, H., Nemri, K., Riahi, H., et al., 2017** : Antimicrobial effects of *Pistacia lentiscus L.* Foliar extracts on fresh turkey breast cutlets. Journal of New Sciences, vol. 40, p. 2144-2152.
- ❖ **De Billerbeck, V. G., 2007** : Huiles essentielles et bactéries résistantes aux antibiotiques. Phytothérapie, vol. 5, no 5, p. 249-253.
- ❖ **De Chaves, Magda Antunes, Reginatto, Paula, Da Costa, Bárbara Souza, et al., 2022** : Fungicide resistance in *Fusarium graminearum* species complex. Current Microbiology, vol. 79, no 2, p. 62.
- ❖ **Dhanbir, Singh et Akhilesh, Singh. 2011** : Raxil 060 FS—A new seed dressing fungicide formulation for the control of flag smut and loose bunt of wheat. Plant Disease Research, vol. 26, no 2.
- ❖ **Díaz-Nájera, José Francisco, Ayvar-Serna, Sergio, Vargas-Hernández, Mateo, et al., 2022** : Diagnosis and integrated management of onion wilt caused by *Fusarium* sp. Steviana, vol. 14, no 1, p. 44-54.
- ❖ **Djermoun A., 2009** : La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. Nature & Technology, no 1, p. 45.
- ❖ **Djermoun A., 2018** : Le développement de la filière céréalière en Algérie : une forte dépendance des blés. Revue Des économies nord Africaines ISSN, vol. 14, no 18, p. 19-26.

- ❖ **Doumbouya, M. ; Brou, K.G. ; Essis, B.S. ; Diby, K.E.B. ; Oyourou, G.M. ; & Kone, D. (2021) :** Evaluation de l'activité antifongique des huiles essentielles d'*opium basilicum*, *cymbopogon citratus*, *eucalyptus camaldulensi*. (11), International Journal of Developpment Research, 11 (11), 51506-51511.
- ❖ **Dupont, Frédéric et Guignard, Jean Louis, Pelt, Jean Marie., 2015 :** Botanique : les familles de plantes. Elsevier Health Sciences.
- ❖ **Elalaoui, A. Chafai, Boukil, A., Bachar, M., et al., 2014 :** Manuel des bonnes pratiques de collecte de l'origan « *Origanum Compactum* ». Projet PAM, Naples, Italy.
- ❖ **Ezzahiri, Brahim., 2001 :** Les maladies du blé : identification, facteurs de développement et méthodes de lutte. Bulletin de transfert de technologie en agriculture, vol. 77, p. 1-4.
- ❖ **FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture), (17/05/2023) :** <http://www.fao.org/home/en/https://www.agrialgerie.com/algerie-objecti-autossufisance-ble-dur/>.
- ❖ **Feillet, Pierre., 2000 :** Le grain de blé : composition et utilisation. Editions Quae.
- ❖ **Feldman, Moshe, et Levy, Avraham A., 2015:** Origin and evolution of wheat and related *Triticeae* species. Alien introgression in wheat: cytogenetics, molecular biology, and genomics, p. 21-76.
- ❖ **Ferrigo, Davide, Raiola, Alessandro, et Causin, Roberto., 2016 :** *Fusarium* toxins in cereals : Occurrence, legislation, factors promoting the appearance and their management. Molecules, vol. 21, no 5, p. 627.
- ❖ **Figuroa M, Hammond-Kosack KE, Solomon PS., 2018 :** A review of wheat diseases-a field perspective. Mol Plant Pathol. Jun ; 19 (6) :1523-1536. Doi : 10.1111/mpp.12618. Epub Dec 26. 2017, PMID : 29045052 ; PMCID : PMC6638159.
- ❖ **Figuroa, Melania, Hammond-Kosack, Kim E., et Solomon, Peter S., 2018 :** A review of wheat diseases-a field perspective. Molecular Plant Pathology, vol. 19, no 6, p. 1523-1536.
- ❖ **Franco-Vega, Avelina, Ramírez-Corona, Nelly, López-Malo, Aurelio, et al., 2019 :** Studying microwave assisted extraction of *Laurus nobilis* essential oil : Static and dynamic modeling. Journal of Food Engineering, vol. 247, p. 1-8.
- ❖ **G. Clement et J. (1971) :** Prats Les céréales Collections d'enseignement agricole. 2eme Ed. Ballier France. 351p.
- ❖ **Gao, Youhui, Zhang, Yue, Cheng, Xiaoqian, et al., 2022 :** Agricultural jiaosu : An eco-friendly and cost-effective control strategy for suppressing *Fusarium* Root rot disease in *Astragalus membranaceus*. Frontiers in microbiology, vol. 13, p. 823704.
- ❖ **Gaston, T. N., Pitagor, M. C. J., Appolinaire, L. J., et al., 2014 :** Évaluation des activités antifongiques des extraits de plantes contre *Phytophthora colocasiae*, agent causal du mildiou du taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott). Journal of Applied Biosciences, vol. 81, p. 7221-7232.
- ❖ **Giban M., Minier B. et Malvosi R., 2003 :** Stades du blé, éd. ITCF, Paris, 68p
- ❖ **Güçlü, Özgür, Biyik, Halil, et Şahiner, Ash., 2010 :** Mycoflora identified from loggerhead turtle (*Caretta caretta*) egg shells and nest sand at Fethiye beach, Turkey. African Journal of Microbiology Research, vol. 4, no 5, p. 408-413.
- ❖ **Guerdouh, Ghania et Benabdekader, M. (2017) :** Propriétés physico-chimiques et antifongiques des extraits de deux espèces médicinales : Laurier noble (*Laurus nobilis* L) et laurier rose (*Nerium oleander* L). Thèse de doctorat. Université de jjel.
- ❖ **Haeuser-Hahn, Isolde, Dutzmann, Stefan, Friessleben, Reinhard, et al., 2008 :** Prosaro : A new fungicide for control of *Fusarium* and mycotoxins in cereals. Cereal Research Communications, vol. 26, p. 711-712.

- ❖ **Hajji, H. ; Tallal, I. ; Maffa, I. ; Bentata, F. ; El alaoui faris, F.E. ; Abdennebi, El. ; et El Aissami, A. (2016) :** Evaluation in vitro de l'activité antifongique de quatre plantes médicinales marocaines sur cinq champignons phytopathogènes, Revue Marocaine de Protection des Plantes, N° 10 : 57-65.
- ❖ **Harčárová, Michaela, Čonková, Eva, Proškovcová, Martina, et al., 2021 :** Comparison of antifungal activity of selected essential oils against *Fusarium graminearum* in vitro. Annals of Agricultural and Environmental Medicine, vol. 28, no 3, p. 414-418.
- ❖ **Hlabana, A. Seepe. ; Kafua, E.Lodama. ; René Sutherland. ; Winston, N. ; et Stephen, O.A. (2020) :** In Vivo Antifungal Activity of South African medicinal plant extracts against *Fusarium* Pathogens and their Phytotoxicity evaluation, Agricultural Research Council—Vegetables, Industrial and Medicinal Plants Research .9, 1668. doi : 10.3390/plants9121668.
- ❖ **Hof, Herbert., 2020 :** The medical relevance of *Fusarium* spp. Journal of Fungi, vol. 6, no 3, p. 117.
- ❖ <https://www.reussir.fr/grandes-cultures/la-variabilite-de-la-fusariose-des-epis-impose-une-surveillance-rapprochee-sur-les-bles> (Christian, 2020).
- ❖ **Isaac, G. S. et Abu-Tahon, M. A. (2014) :** In vitro antifungal activity of medicinal plant extracts against *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* race 3 the causal agent of tomato wilt. Acta Biologica Hungarica, vol. 65, p. 107-118.
- ❖ **Issakou, Bakarnga-Via, Espérance, Lambey, Ossoga, Gédéon Walbang, et al., 2022 :** Activité Antifongique de l'Huile Essentielle de *Cymbopogon Citratus* (DC) Stapf (*Poaceae*) : Cas des Moisissures Isolées des Poissons Fumés et Séchés des Marchés de N'Djaména. Health Sciences And Disease, vol. 23, no 12.
- ❖ <https://louisa-paulin.ecollege.haute-garonne.fr/espaces-pedagogiques/sciences-et-technologie/le-vivant-sa-diversite-et-les-fonctions-qui-le-caracterise/le-ble-34297.htm> (Jerome, 2016).
- ❖ **Khan, Mojibur R., Fischer, Sven, Egan, Damian, et al., 2006 :** Biological control of *Fusarium* seedling blight disease of wheat and barley. Phytopathology, vol. 96, no 4, p. 386-394.
- ❖ **Kordali, S., Cakir, A., Zengin, H., et al., 2003:** Antifungal activities of the leaves of three Pistacia species grown in Turkey. *Fitoterapia*, vol. 74, no 1-2, p. 164-167.
- ❖ **Kossonou, Y.K. ; Kouakou Kouame, A.C. ; Koffi, A.C. ; Koffi, Y.M. ; Tra Bi, F.H. ; Tano. K. (2019) :** Activité antifongique in vitro des extraits de cinq plantes locales sur *Colletotrichum Higginsianum*, *Fusarium Oxysporum* et *Rhizopus Stolonifer*, agents pathogènes de la Papaye (*Carica Papaya L.*) et de la Tomate (*Solanum Lycopersicum L.*), European Scientific Journal, (15), 1857–7881, 1857-7431.
- ❖ **Kouame, N. M., Kamagate, M., Koffi, C., et al., 2016 :** *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf : ethnopharmacologie, phytochimie, activités pharmacologiques et toxicologie.
- ❖ **Kumar P, Mishra S, Kumar A, et al., 2016 :** Antifungal efficacy of plant essential oils against stored grain fungi of *Fusarium* spp. J Food Sci Tech ; 53(10) :372 5–34.
- ❖ **La France, Denis. 2010 :** La culture biologique des légumes, 2e édition. Editions Berger.
- ❖ **Labidi A., 2016 :** La culture du blé dur : Besoins et contrainte, Agri-Maroc, <https://www.agrimaroc.ma/la-culture-du-ble-dur-besoins-et-contraintes/>.
- ❖ **Lemkhente, Z. et Lmimouni, B. E.** Fiche pratique.
- ❖ **Lestari, Ayu, Henri, Sari, Eka, et al., 2021 :** Microscopic Characterization of *Fusarium* sp. Associated with yellow disease of pepper (*Piper nigrum L*) in South Bangka Regency. Planta tropika, vol. 9, no 1, p. 1-9.

- ❖ **Marie-Alix D'halewyn, M. (2023)** : Fichier sur les moisissures, le *Fusarium* spp. <https://www.inspq.qc.ca/moisissures/fiches/fusarium-spp>.
- ❖ **Maroua, Nekkache, Belguet, Bara, et al., 2022** : Screening phytochimique et évaluation de l'activité antibactérienne d'une plante à usage thérapeutique traditionnel au Sahara Algérien. Thèse de doctorat. University Center of Abdalhafid Boussouf-Mila.
- ❖ **Martín-Gómez, José Javier, Rewicz, Agnieszka, Goriewa-Duba, Klaudia, et al., 2019** : Morphological description and classification of wheat kernels based on geometric models. *Agronomy*, vol. 9, no 7, p. 399.
- ❖ **Mehani, M., Segni, L., Terzi, V., et al., 2016** : Activité antifongique de l'armoise blanche sur différents *Fusarium*. *Phytothérapie*, p. 1-4.
- ❖ **MEHANI, M., SEGNI, L., TERZI, V., et al., 2018** : Antifungal activity of *Artemisia herba-alba* on various *Fusarium*. *Phytothérapie*, vol. 16, no 2, p. 87-90.
- ❖ **Mohamed, Doumbouya, Kouassi Guy, B. R. O. U., Brice Sidoine, Essis, et al., 2011** : Evaluation de l'activité antifongique des huiles essentielles d'*ocimum basilicum*, *Cymbopogon citratus*, *Eucalyptus camaldulensis*. *Journal of Research & Development/Revista d'Investigación & Desarrollo*, vol. 11, no 11.
- ❖ **Mondo, Jean, Balezi, Alphonse, Mugomoka, Victor, et al., 2016** : Effets des milieux de culture (PDA, SDA, SPDA, blé et maïs) sur la productivité in vitro de la souche P969 du *Pleurotus ostreatus* (Jacq.). *P. Kumm. Afrique science*, vol.12, no 4, p.374-381.
- ❖ **Murugesan, Subban, Vijayakumar, R., et Panneerselvam, Annamalai., 2011** : Antifungal activity of medicinal plants against plant pathogenic fungus *Fusarium oxysporum*. *J. Pharm. Res*, vol. 4, no 3, p. 843-844.
- ❖ **Murugesan, Subban, Vijayakumar, R., et Panneerselvam, Annamalai., 2011** : Antifungal activity of medicinal plants against plant pathogenic fungus *Fusarium oxysporum*. *J. Pharm. Res*, vol. 4, no 3, p. 843-844.
- ❖ **Mylona, Kalliopi., 2012** : *Fusarium* species in grains : dry matter losses, mycotoxin contamination and control strategies using ozone and chemical compound. Thèse de doctorat. Cranfield University, Cranfield Health.
- ❖ **Nasraoui, B. et Bedhief, C. (2004)** : La carie du blé en Tunisie : Essais de quelques fongicides en traitement des semences du blé tendre et du blé dur. In : *Annales de l'Institut national agronomique El Harrach*. Institut national agronomique, P. 127-138.
- ❖ **Neela, Farzana Ashrafi, Sonia, Ismat Ara, et Shamsi, Shamim., 2014** : Antifungal activity of selected medicinal plant extract on *Fusarium oxysporum Schlechtthe* causal agent of *fusarium* wilt disease in tomato. *American Journal of Plant Sciences*, vol. 2014.
- ❖ **Ngamo, L. S. T. et Hance, T. H., 2007** : Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical. *Tropicultura*, vol. 25, no 4, p. 215-220.
- ❖ **Omari, Somia, Tahri, Mabrouka, Hireche, Ahmed, et al., 2021** : La Maladie de La Tâche Auréolée du Blé dans La Région d'Adrar. Thèse de doctorat. Université Ahmed Draia-Adrar.
- ❖ **Paranagama, P. A., Abeysekera, K. H. T., Abeywickrama, K., et al., 2003** : Fungicidal and anti-aflatoxigenic effects of the essential oil of *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf. (lemon grass) against *Aspergillus flavus* Link. Isolated from stored rice. *Letters in Applied Microbiology*, vol. 37, no 1, p. 86-90
- ❖ **Park, Jin Young, Kim, Su Hyeon, Kim, Na Hee, et al., 2017** : Differential inhibitory activities of four plant essential oils on in vitro growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *Fragariae* causing *Fusarium* wilt in strawberry plants. *The plant pathology journal*, vol. 33, no 6, p. 582.
- ❖ **Pousset, Jean-Louis., 2004** : Plantes médicinales d'Afrique : Comment les reconnaître et les utiliser. (No Title).

- ❖ **Rabah, Mokhtaria, Haddaoui, Issam, et al., 2022** : L'étude de l'effet antibactérien et antifongique des extraits du Pistachier d'Atlas. Thèse de doctorat. Université Ibn Khaldoun-Tiaret.
- ❖ **Regnault R., 2008**: *Sauge officinale*, J. Serb. Chem. Soc. 615, 28–188p.
- ❖ **Rekia, Cherif, 2020**: Etude comparative des activités biologiques des extraits de deux plantes spontanées récoltées au Sahara Algérien. Thèse de doctorat. Université de Ghardaia.
- ❖ **Rombi, Max et Robert, Dominique., 2015** : Le dictionnaire des plantes médicinales. Éd. Alpen.
- ❖ **Salhi, N., et al., 2015** : Evaluation de l'activité antifongique *in vitro* des huiles essentielles de *Laurus Nobilis L.* sur la croissance mycélienne de *Fusarium Sporotrichoide*. للبحوث الواحات مجلة الدراسات, vol. 8, no 2.
- ❖ **Salmi M., 2015** : Caractérisation morpho-physiologique et biochimique de quelques générations F2 de blé dur (*Triticum durum Desf.*) sous conditions semi-arides. L.Thèse de magistère. Univ. ferhatabbas-setifufas (Algérie).
- ❖ **Santos Acds, Trindade Jvc, Lima Cs, Barbosa Rdn, da Costa Af, Tiago Pv, de Oliveira NT., 2019** : Morphology, phylogeny, and sexual stage of *Fusarium caatingaense* and *Fusarium pernambucanum*, new species of the *Fusarium incarnatum-equiseti* species complex associated with insects in Brazil. Mycologia. Mar-Apr ; 111(2) :244-259. Doi : 10.1080/00275514.2019.1573047. Epub Mar 29. PMID : 30924728.
- ❖ **Sayah Ben Aissa, Maroua.** Les huiles essentielles de trois plantes aromatiques (*Artemesia herba-alba, Ocimum basilicum, Mentha puleguim*) issues des régions sahariennes et leurs activités antifongiques à l'égard de *fusarium* sp. Thèse de doctorat. Université Kasdi Merbah–Ouargla.
- ❖ **Schuhwerk, D., Nakhforoos, A., Kutshka, S., Bodner G. and grausgruber H. 2011**: Field screening of durum wheat (*Triticum durum Desf.*) for drought tolerance. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, 61: 147–154.
- ❖ **Schulzová, Věra, Babička, Luboš, ET Hajšlová, and Jana, 2012**: Furanocoumarins in celeriac from different farming systems: a 3-year study. Journal of the Science of Food and Agriculture, vol. 92, no 14, p. 2849-2854.
- ❖ **Seepe, Hlabana A., Lodama, Kafua E., Sutherland, René, et al., 2020** : *In vivo* antifungal activity of South African medicinal plant extracts against *Fusarium* pathogens and their phytotoxicity evaluation. Plants, vol. 9, no 12, p. 1668.
- ❖ **Si Bennesseur Alaoui., 2009** : Référentiel pour la conduite technique de la culture du blé dur (*Triticum durum*), 15 p.
- ❖ **Simić, A., Soković, M. D., Ristić, Mihailo, et al., 2004** : The chemical composition of some Lauraceae essential oils and their antifungal activities. Phytotherapy Research : An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives, vol. 18, no 9, p. 713-717.
- ❖ **Simo, Claude, Suh, Christopher, Mbamba, B. A. V., et al., 2019** : Essential oils as control agents against *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* in *Lycopersicon esculentum* used under *in vitro* and *in vivo* conditions. Int. J. Appl. Microbiol. Biotechnol. Res, vol. 7, p. 55-69.
- ❖ **Slama, Amor, Ben Salem, Moncef, Ben Naceur, M., et al., 2005** : Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. Sécheresse, vol. 16, no 3, p. 225-229.
- ❖ **Soltner D., 2005** : Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. SainteGermme-sur-loire, Science et Techniques Agricoles.
- ❖ **Soltner, D., 1982** : Les grandes productions vegetales : cereales, plantes sarclees, prairies. (Manual de) Phytotechnie speciale.
- ❖ **Stephen N. Wegulo, Robert M Harveson, Loren J. Giesler, Tamra A. Jackson-Ziems, Amy Timmerman., 2011** : Plant Diseases, the Institute of Agriculture and Natural Resources

- at the University of Nebraska–Lincoln cooperating with the Counties and the United States, Department of Agriculture.
- ❖ **Stępień, Łukasz, 2020** : *Fusarium* : Mycotoxins, taxonomy, pathogenicity. *Microorganisms*, vol. 8, no 9, p. 1404.
 - ❖ **Subban.M. ; Ramasamy.V. ; and Annamalai.P., 2011** : Antifungal activity of medicinal plants against plant pathogenic fungus *Fusarium oxysporum*, *Journal of Pharmacy Research*, 4, (3),843-844.
 - ❖ **Tahri N., Orch H. et Zidane L., 2007** : Ail et Microbes : Examen critique de la littérature, revue antibio-therapeutique. Journée Scientifique « Ressources Naturelles et Antibiothérapie » Laboratoire de Biodiversité et Ressources Naturelles. Université Ibn Tofail, Kenitra.
 - ❖ **Tiendrebeogo, A., Ouedraogo, I., Bonzi, S., et al., 2017** : Etude de l'activité antifongique d'extraits de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stap, *Eclipta alba* L., *Lippia multiflora* M. et *Agave sisalana* P. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 11, no 3, p. 1202-1211.
 - ❖ **Ty-book au -Zahraoui, El Mostafa AU-Yousfi, Brahim Py-T1, 2014** : Etude du contrôle préventif de la tache helminthosporienne du blé par les huiles essentielles du *Thymus satureioides* et d'*Origanum compactum* ER.
 - ❖ **Valade, Romain, Orlando, Béatrice, Maumené, Claude, et al., 2020** : La fusariose des épis des céréales à paille : synthèse de 10 années de recherche pour une meilleure gestion intégrée de la maladie. In : Phloème 2020 : biennales de l'innovation céréalière.
 - ❖ **Volova TG, Prudnikova SV, Zhila NO, Vinogradova ON, Shumilova AA, Nikolaeva ED, Kiselev EG, Shishatskaya EI., 2016** : Efficacy of tebuconazole embedded in biodegradable poly-3-hydroxybutyrate to inhibit the development of *Fusarium moniliforme* in soil microecosystems. *Pest Manag Sci.* 2017 May ; 73(5) :925-935. Doi : 10.1002/ps.4367. Epub Aug 30. PMID : 27447847.
 - ❖ **Wang, Lu-Yao, XIE, Yue-Shen, Cui, Yuan-Yu, et al., 2015** : Conjunctively screening of biocontrol agents (BCAs) against *Fusarium* root rot and *Fusarium* head blight caused by *Fusarium graminearum*. *Microbiological Research*, vol. 177, p. 34-42.
 - ❖ **Wany, Aakanksha, Jha, Shivesh, Nigam, Vinod Kumar, et al., (2013)** : Chemical analysis and therapeutic uses of citronella oil from *Cymbopogon winterianus* : A short review. *International Journal of Advanced Research*, vol. 1, no 6, p. 504-521.
 - ❖ **Wu, Felicia, Groopman, John D., et Pestka, James J., 2014** : Public health impacts of foodborne mycotoxins. *Annual Review Of Food Science And Technology*, vol. 5, p. 351-372. Doi : 10.1146/annurev-food-030713-092431.
 - ❖ **Yakhlef, G., Laroui, S., Hambaba, L., et al., 2011** : Évaluation de l'activité antimicrobienne de *Thymus vulgaris* et de *Laurus nobilis*, plantes utilisées en médecine traditionnelle. *Phytothérapie*, vol. 9, no 4, p. 209-218.

Annexe 1 : Matériel

Appareillage	Verreries et autres	Réactifs et solutions
Autoclave Four pasteur Réfrigérateur Agitateur vortex Plaque chauffante Balance précision Bec benzène	Bêchers Entonnoirs Bouteilles à verre Tubes à essai Micropipette Lame et lamelle Cellule de Malassez Seringues Étaleur Microscope photonique Spatule Emporte-pièce Pipette pasteur Micro tubes Boîtes de pétri Disque en papier wattman Parafilm Aluminium Boîtes jetables Plateaux	Eau distillée Glucose poudre Agar powder bacteriological Huile de paraffine Fongicide RAXIL

Tableau 03 : Matériel non biologique et produits de laboratoire.**Annexe 2 : Méthodologie****1. Préparation de milieu de la culture**

Le milieu PDA (Potato Dextrose Agar)

- Pour la préparation, laver et couper en petits morceaux 200 g de pomme de terre. Les mettre dans 700ml d'eau distillée et porter à ébullition, après filtrer et compléter à 1 litre :
 - Glucose20g.
 - Agar30g.
 - Eau distillée1000 ml.
- Pour la stérilisation, on vide notre contenant dans des bouteilles, on les met dans l'autoclave pour la stérilisation à 100°C pendant 30 minutes.

2. Concentration minimale inhibitrice



Figure 36: Préparation des concentrations minimale inhibitrice.

Annexe 3 : Résultats

Source	Somme des carrés	Ddl	Carrés moyens	F-ratio	P
Types	5577.631	2	2788.816	64.858	0.000
Plantes	1436.914	7	205.273	4.774	0.002
Doses	16.794	2	8.397	0.195	0.824
Jours	6517.164	1	6517.164	151.567	0.000

Tableau 04 : Analyse de la variance de pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne de la souche fongique de *Fusarium* sp après traitement par les 8 exreits in vitro.

Source	Somme des carrés	Ddl	Carrés moyens	F-ratio	P
Types	9403.254	2	4701.627	2.331	0.193
Plantes	8190.306	6	1365.051	0.677	0.678
Doses	4988.167	1	4988.167	2.473	0.177

Tableau 05 : Analyse de la variance de la sporulation de la souche fongique *Fusarium* sp traitées par les 8 extraits étudiées.

Source	Somme des carrés	Ddl	Carrés moyens	F-ratio	P
Types	40.500	1	40.500	.	.
Plantes	7520.750	6	1253.458	.	.
Doses	658.778	1	658.778	.	.

Tableau 06 : Analyse de la variance de la germination de la souche fongique *Fusarium sp* traitées par les 8 extraits étudiées.

Source	Somme de carrés	Ddl	Carrés moyens	F-ratio	P
Plantes	15782.727	10	1578.273	.	.

Tableau 07 : Analyse de la variance de pourcentage d'inhibition de la germination des graines du blé dur après traitement par les 11 contrôles.

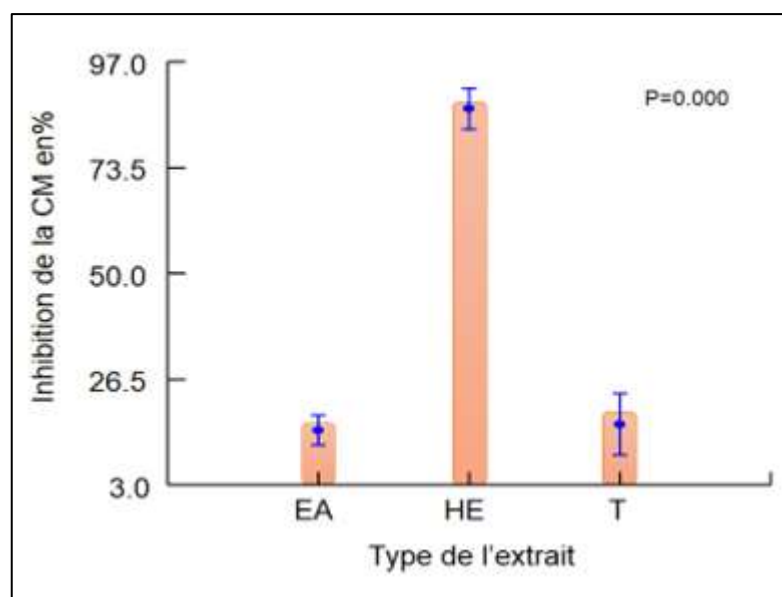


Figure 37 : Pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne selon les différents types d'extraits testés.

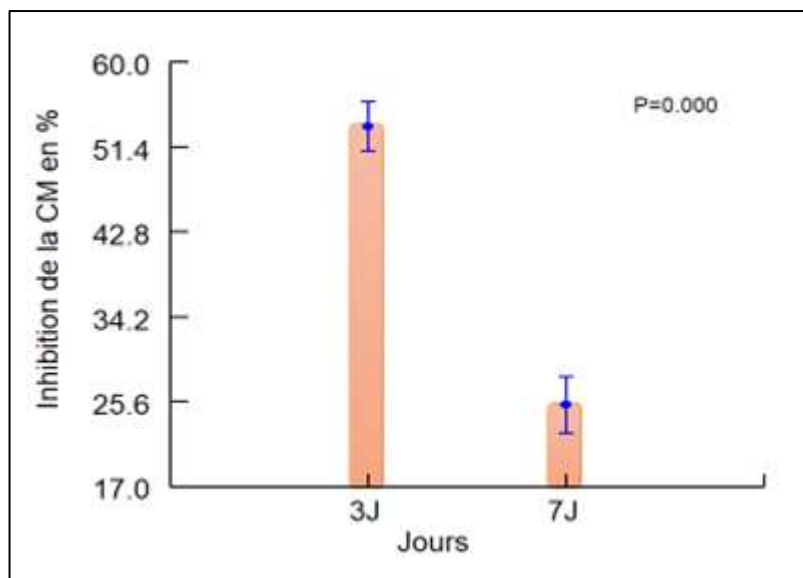


Figure 38 : Pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne selon les différents jours de la d'évaluation de diamètre perpendiculaire de *Fusarium* sp.

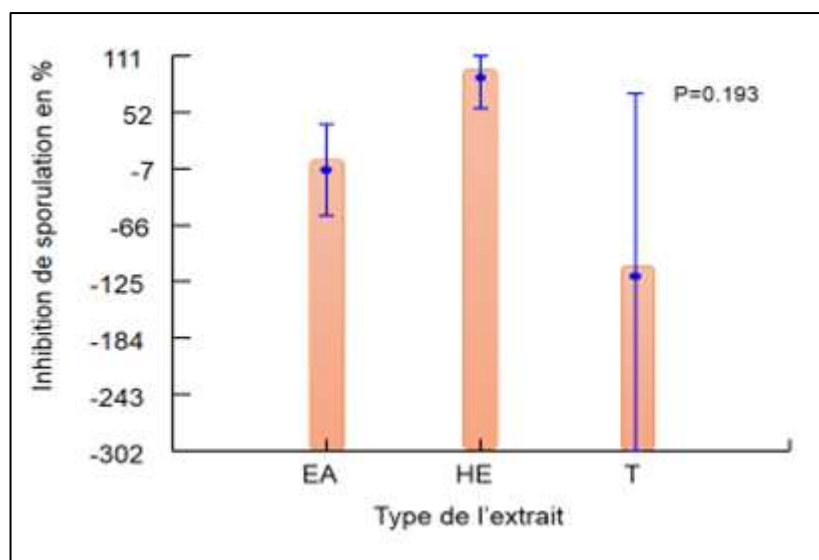


Figure 39 : Pourcentage d'inhibition de sporulation selon les différents types d'extraits testés.

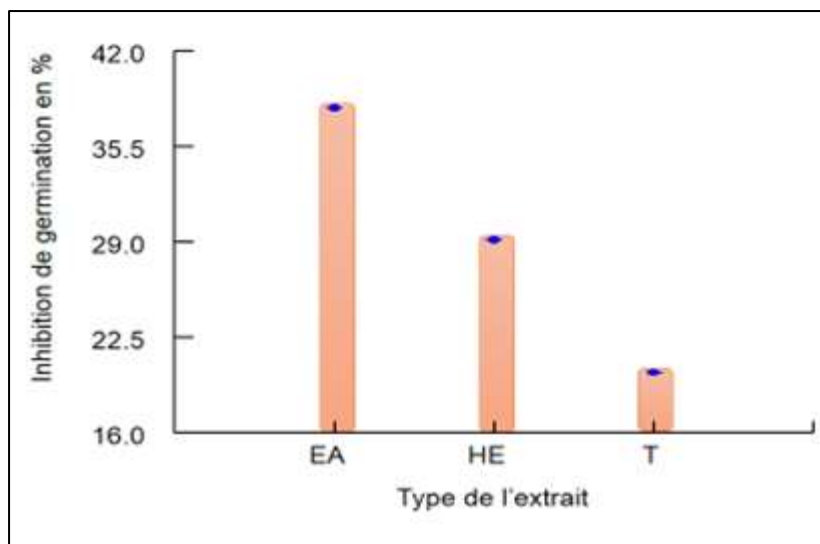


Figure 40 : Pourcentage d'inhibition de germination selon les différents types d'extraits testés.

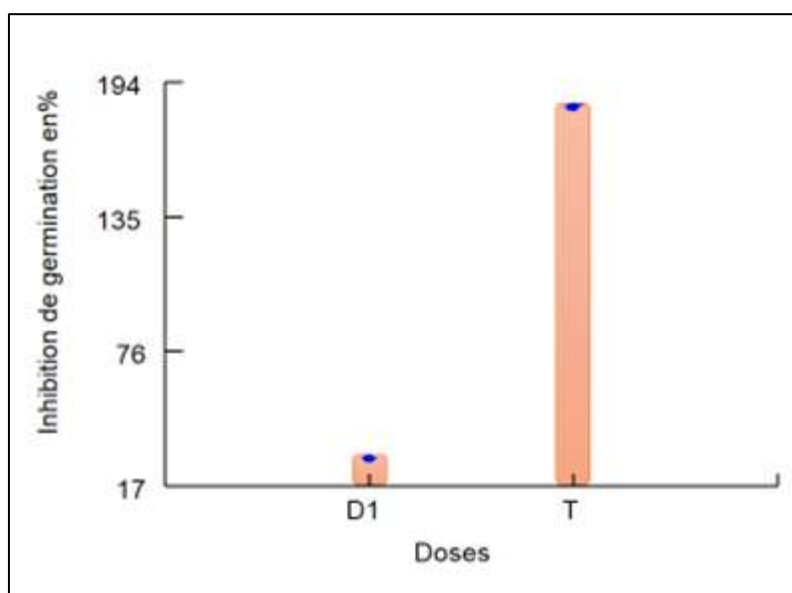


Figure 41 : Pourcentage d'inhibition de germination selon les différents types d'extraits testés.