



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الشاذلي بن جديد - الطارف

Université Chadli Bendjedid – El Tarf

كلية علوم الطبيعة و الحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم البيولوجيا

Département de Biologie

Mémoire de fin d'étude

Présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de Master 2 Recherche

« Toxicologie Industrielle et Environnementale »

Thème

Études des activités antifongiques de l'huile essentielle de la mandarine: Application aux moisissures du blé

Présenté par :

Soutenu le : 22/06/2023

- ✓ ATAILIA Sonia
- ✓ BENDJAOUAHDOU HanaKhaoula

Devant le Jury composé de :

Dr. Rizi Hadia	MCA	Université Chadli Bendjedid El Tarf	Présidente
Dr. Twil Wided	MC A	Université Chadli Bendjedid El Tarf	Examinatrice
Dr. Saidi Hacina	MCA	Université Chadli Bendjedid El Tarf	Promotrice

Année Universitaire : 2022/2023

Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir aidé pour achever ce modeste travail

que je dédie

A :

Ma famille pour tous ces encouragements.

Surtout ma mère pour tous ces sacrifices

Et mon père adoré

Mes chers parents qui ont été toujours à mes côtés.

Ma sœur et mes frères.

*Tous mes collègues de la promotion Master 2 toxicologie industrielle et environnementale
2022 / 2023*

Sonia



Je dédie à modeste travail :

A mes cher parents ma mère et mon père

Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs encouragements.

A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.

A ma chère binôme, Sonia

Pour son entente et sa sympathie.

A tous mes collègues du master 2 « Toxicologie Industriel et Environnement »



Hana Khaoula

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu le tout puissant qui nous a donné l'envie, le courage et la force pour mener à terme ce travail.

Au terme de ce travail, nous exprimons toutes nos reconnaissances à :

Notre encadreur Madame H. Saïdi,

Nous la remercions de nous avoir encadrés, ainsi que pour sa disponibilité, son assistance, son orientation et ses conseils.

Nos respectueux remerciements aux membres du jury :

Mme Rizzi, H., et Mme Touil. W , qui nous ont fait l'honneur de participer à l'évaluation de ce modeste travail ;

Nos remerciements s'adressent aussi à Mme F. Benaliouche , Directrice de la station régionale de la protection des végétations d'El Kouss, qui nous a permis d'effectuer notre stage d'étude.

Nous remercions également l'ensemble du personnel du laboratoire de la station régionale de la protection des végétations de la région d'El Kouss, pour leur accueil chaleureux, pour leurs aides et leurs conseils.

Résumé

L'utilisation excessive de produits chimiques, y compris les antifongiques, ces dernières années a entraîné une détérioration de la santé générale des organismes vivants, y compris les animaux et les végétaux, en particulier les humains.

Cette étude repose sur le remplacement des produits chimiques par des matériaux naturels exempts de tout additif qui soutient la plante et l'aide à éliminer les maladies fongiques qui l'attaquent, l'aident ainsi à la traiter sans nuire à la nature. Donc on remplace la lutte chimique par une lutte biologique.

Dans notre étude, nous avons utilisé cinq doses différentes de l'huile essentielle de la mandarine (de 10, 50, 100, 150 et 200 μ l) sur l'un des types de maladies fongiques, genre *Fusarium* qui affecte le blé dur.

Les résultats obtenus montrent l'efficacité de l'huile essentielle de la mandarine à partir des doses de 50 μ l qui augmente avec l'augmentation de la dose dans le milieu PDA et le milieu Malt. Ainsi que l'inefficacité de cette huile dans le milieu liquide (sans Agar-agar) après une culture de 7 jours.

L'huile essentielle de la mandarine utilisée a montré une très bonne activité antifongique aux moisissures du blé dur.

Mots clés : Blé dur, lutte biologique, activité antifongique, *Fusarium*, huile essentielle.

Abstract

The excessive use of chemicals, including antifungals, in recent years has led to a deterioration in the general health of living organisms, including animals and plants, especially humans.

This study is based on replacing chemical products with natural materials free of any additives that support the plant and help it to eliminate the fungal diseases that attack it, thus helping to treat it without harming nature. So we replace chemical control with biological control.

In our study, we used five different doses of mandarin essential oil (10, 50, 100, 150 and 200 μ l) on one type of fungal disease, the Fusarium genus, which affects durum wheat.

The results obtained show the efficacy of mandarin essential oil from doses of 50 μ l upwards, which increases with the increase in dose in the PDA medium and the Malt medium. This oil was also ineffective in the liquid medium (without Agar-agar) after a 7-day culture.

The mandarin essential oil used showed very good antifungal activity against durum wheat moulds.

Key words: Durum wheat, biological control, antifungal activity, Fusarium, essential oil.

أدى الاستخدام المفرط للمواد الكيميائية، بما في ذلك مضادات الفطريات، في السنوات الأخيرة إلى تدهور الصحة العامة للكائنات الحية، بما في ذلك الحيوانات والنباتات، وخاصة البشر.

تعتمد هذه الدراسة على استبدال المواد الكيميائية بمواد طبيعية خالية من أي إضافات تدعم النبات وتساعد في القضاء على الأمراض الفطرية التي تهاجمه، مما يساعد في علاجها دون الإضرار بالطبيعة. لذلك يتم استبدال التحكم الكيميائي بالمراقبة البيولوجية.

في دراستنا، استخدمنا خمس جرعات مختلفة من زيت اليوسفي العطري (10 ، 50 ، 100 ، 150 و 200 ميكرو لتر) على أحد أنواع الأمراض الفطرية الذي يصيب القمح الصلب ، جنس *Fusarium*

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها فعالية زيت اليوسفي الأساسي بجرعات 50 ميكرو لتر والتي تزداد مع زيادة الجرعة في وسط PDA ووسط Malt,

وكذلك عدم كفاءة هذا الزيت في الوسط السائل بدون أجار بعد زراعة لمدة 7 أيام.

أظهر زيت اليوسفي الأساسي المستخدم نشاطاً مضاداً للفطريات جيداً ضد أمراض القمح الصلب.

الكلمات المفتاحية : القمح القاسي، المكافحة البيولوجية، النشاط المضاد للفطريات، الفيوزاريوم، الزيت العطري.

Abréviation

SRPV: Station Régionale de la Protection des Végétaux

M T: Millions de tonnes

Sp : Espèces

FAO : Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

CEE : Communauté économique européenne

T°: Température

USDA : Département de l'agriculture des États-Unis

CMI : Concentration minimale inhibitrice

I% : Taux d'inhibition

dC : Diamètre de colonies dans les boîtes (témoins positifs)

dE : Diamètre de colonies dans les boîtes contenant l'huile essentielle

DON: Déoxynivalénol

ENSA : Écoles nationales des sciences appliquées

TCS: Traction control system (système de contrôle de traction).

HE: Huile essentielle

C° : Degré Celsius

PDA : Potato Dextrose d'Agar

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tab. 1	Classification du genre <i>Fusarium</i>	21
Tab. 2	Mesure des diamètres de colonies dans les boîtes pétries exprimé en cm	42
Tab. 3	Mesure du taux d'inhibition exprimé en pourcentage dans les 3 répétitions	42
Tab. 4	Résultats d'un taux d'inhibition élevé ou égal à 50%	43

Liste des figures

N°	Figures	Page
01	Architecture idéale d'un blé	15
02	Cycle de développement du blé	15
03	Principales maladies cryptogamiques du blé	20
04	Diamètre du champignon par rapport aux doses de l'huile essentielle de mandarine (répétition 1)	48
05	Mesure de diamètre du champignon par rapport aux doses de l'huile essentielle de mandarine (répétition 2)	49
06	Mesure de diamètre du champignon par rapport aux doses de l'huile essentielle de mandarine (répétition 3)	49
07	Taux d'inhibition dans la première répétition	50
08	Taux d'inhibition dans la 2^{ème} répétition	51
09	Taux d'inhibition dans la 3 ^{ème} répétition	51
10	Moyenne du taux d'inhibition dans les 3 répétitions	52

Liste des photos

N°	Photos	Page
01	Siège de la SRPV	4
02	Matériel utilisé pour l'isolement	25
03	Flacons contenant les milieux préparés (milieu PDA et milieu Malt-agar)	26
04	Préparation du milieu PDA	27
05	Matériel utilisé pour préparer le milieu Malt-agar	28
06	Milieu de culture PDA et milieu Malt	29
07	Matériel de repiquage de champignon	31
08	Milieu préparé avec l'huile essentielle	31
09	Étapes de la méthode de repiquage de champignon	33
10	Milieu de culture liquide (sans Agar-agar)	35
11	Étapes de la méthode de culture dans un milieu liquide	37
12	Méthode d'observation microscopique de champignon	38
13	Observation microscopique du champignon Fusarium de l'épi de blé dur	39
14	Méthode de mesure de diamètre	40
15	Résultat de repiquage de champignon sur les boîtes pétries	41
16	Vue générale du Fusarium de blé sous le microscope optique	44
17	Souche fongique du champignon de Fusarium	45
18	Témoin de culture du champignon de Fusarium rosée (échantillon sans huile essentielle)	46
19	Échantillon avec l'huile essentielle (de 10 µl) de culture de champignon Fusarium	46
20	Échantillon avec l'huile essentielle (de 50 µl) de culture de champignon Fusarium	47
21	Échantillon avec l'huile essentielle (de 100 µl) de culture de champignon Fusarium	47
22	Échantillon avec l'huile essentielle (de 150 µl) de culture de champignon Fusarium	47
23	Échantillon avec l'huile essentielle (de 200 µl) de culture de champignon Fusarium	48
24	Résultats de culture en milieu liquide (Sans Agar-agar)	53

Sommaire

Résumé	
Abstract	
ملخص.....	
Liste des abréviations.....	
Liste des tableaux.....	
Liste des figures.....	
Liste des photos.....	
Introduction.....	1
Chapitre 01 : Matériel et méthodes.....	4
I- Présentation de la zone d'étude.....	4
I-1 Présentation de la station	5
I-1-1 Laboratoire de Phytopathologie	5
I-1-2 Laboratoire d'Entomologie	5
I-1-3 Laboratoire de Nématologie.....	5
I-1-3-1 Service de Malherbologie.....	5
I-1-3-2 Services de lutte contre les fléaux agricoles	6
I-2 Appui technique pour l'avertissement agricole.....	6
I-3 Principaux programmes engagés.....	7
I-3-1 Lutte biologique.....	7

I-3-2 Études bio-écologiques.....	7
II- Matériel biologique.....	7
II-1 Donnés sur le blé	7
II-2 Origine de blé.....	8
II-3 Principaux pays producteurs de blé.....	8
II-4 Importations du blé.....	9
II-5 Blé en Algérie.....	9
II-5-1 Blé dur en Algérie.....	10
II-6 Description sommaire d'un plant de blé.....	11
II-6-1 Racine.....	12
II-6-2 Tige.....	12
II-6-3 Feuille.....	12
II-6-4 Épiderme.....	13
II-6-5 Stomates.....	13
II-6-6 Inflorescence.....	13
II-6-7 Fruit (Caryopse)	14
II-7 Blé dur.....	16
II-7-1 Morphologie du blé dur.....	16
II-7-1-1 Graine.....	16
II-7-1-2 Racine.....	16
II-7-1-3 Tiges et feuille	16
II-7-1-4 Inflorescence.....	17
II-7-2 Compositions chimiques des grains	17

II-7-2-1 Glucides.....	17
II-7-2-2 Protéines.....	17
II-7-2-3 Lipides.....	17
II-7-2-4 Eau.....	17
II-7-2-5 Minéraux.....	17
II-7-2-6 Vitamines.....	17
II-8 Problématiques de blé.....	18
II-8-1 Mycologie.....	18
II-8-2 Champignons.....	19
II-8-2-1 Types de symptômes associés aux champignons.....	19
II-8-3 Maladies fongiques.....	19
II-8-4 Fusariose du blé.....	20
II-8-4-1 Fusariose des céréales en Algérie.....	21
II-9 Méthode de lutte.....	22
II-9-1 Lutte chimique.....	22
II-9-2 Lutte biologique.....	23
II-9-2-1 Évaluation de l'activité antifongique de l'huile essentielle de la mandarine	24
III Matériel et méthodes.....	24
III-1 Matériel de l'isolement.....	24
III-1-1 Laboratoire Mycologie.....	24
III-2 Méthode de l'isolement.....	25
III-3 Matériel et méthode de préparation des milieux	26

III-3-1 Préparation de milieu Patato-Dextrose-Agar (PDA)	26
III-3-1-1 Matériel de préparation de milieu PDA.....	26
III-3-1-2 Méthode de préparation de milieu PDA.....	27
III-3-2 Préparation du milieu Malt-agar.....	28
III-3-2-1 Matériel de préparation du milieu Malt-agar.....	28
III-3-2-2 Méthode de préparation du milieu Malt.....	29
III-4 Méthode de repiquage de champignons.....	29
III-4-1 Matériel de repiquage.....	30
III-4-2 Méthode de repiquage.....	32
III-5 Technique de dilution en milieu liquide.....	34
III-5-1 Préparation de milieu PDA sans Agar-agar.....	34
III-5-1-1 Matériel de préparation du milieu PDA sans Agar-agar.....	34
III-5-1-2 Méthode de préparation du milieu PDA sans Agar-agar.....	35
III-5-1-3 Méthode de culture en milieu liquide.....	36
III-6 Lecture de champignons sous le microscope.....	38
III-6-1 Matériel de la lecture.....	38
III-6-2 Méthode de la lecture.....	38
Chapitre 02 : IV Résultats et discussion.....	39
IV-1 Mesure de diamètre de CMI (Concentration Minimale d’Inhibition)....	39
IV-2 Calcul de CMI.....	42
IV-3 Identification du genre de moisissure isolée par la méthode de culture...43	
IV-4 Activité antifongique de l’huile essentielle sur le champignon Fusarium	45

IV-5 Détermination de la concentration minimale d'inhibition.....	48
IV-6 Taux d'inhibition.....	50
IV-7 Moyenne de taux d'inhibition.....	52
IV-8 Milieu liquide (sans Agar-agar)	53
Conclusion.....	55
Références bibliographe.....	

Introduction

Les céréales ont nourri l'humanité depuis l'histoire enregistrée. Pour répondre aux besoins d'une population croissante, il fallait produire plus et mieux. Nos ancêtres ont dû progressivement améliorer leurs techniques de production et apprendre à sélectionner des semences au potentiel génétique plus important et des outils de plus en plus performants (**Notice technique des céréales, 2020**).

La céréaliculture joue un rôle important dans la production agricole algérienne. À la fois en raison de la taille des terres qu'il occupe et de la valeur des ressources qu'il apporte au pays. Bien qu'il y ait eu des améliorations significatives depuis les années 1990, la production est loin de répondre à la demande croissante du pays. Les défis auxquels sont aujourd'hui confrontés les scientifiques, les ingénieurs et les professionnels de l'industrie sont plus complexes que jamais (**Benmehdi et al., 2018**).

Notre pays fait face un problème aujourd'hui. La population ne cesse de croître et les besoins augmentent d'année en année.

La plupart des céréales que nous consommons sont importées. Nous comptons beaucoup sur la production d'ailleurs pour nous nourrir. Ce n'est pas durable à long terme. Nous devons produire ce que nous consommons afin de nous protéger de tous les dangers et d'apaiser notre balance des paiements (**Notice technique des céréales, 2020**).

Les céréales et principalement le blé dur constituent la base de l'alimentation algérienne, notamment en milieu rural. En effet, **Negrouche, 2004**, citant des recherches menées par un organisme canadien, a constaté que les céréales occupent une place stratégique dans le budget des ménages algériens, avec les achats de céréales et de produits à base de céréales. Il précise que le pourcentage alloué est de 50% par ménage. En moyenne, la consommation de céréales variait de 220 Kg par personne et par an en 2003 (**Anonyme, 2004**).

Cependant, le stockage après récolte est le seul moyen fiable de lier les rendements annuels et la consommation, il est permanent et obligatoire (**Waongo et al, 2013**).

Les cultures sont menacées par des maladies fongiques tout au long du cycle, ce qui peut entraîner des pertes de production importantes allant jusqu'à 50%. la protection contre les champignons est donc essentielle pour assurer des rendements qualitatifs et quantitatifs.

La transmission et l'apparition des maladies dépendent des conditions climatiques (pluviométrie, température) et de la présence d'agents pathogènes (sol, semences, chaume) (**Notice technique des céréales, 2020**).

La fusariose est une maladie qui peut affecter les cultures de la semence à la récolte. Elle attaque tous les organes (racines, épis, grains), mais rarement les feuilles. Les trois sources d'inoculum sont: semences, résidus de culture et sol. Selon les espèces, Fusarium peut s'exprimer dans une large gamme de températures (Fusarium roseum entre 20 et 25°C). Si les graines utilisées ne sont pas traitées, la maladie devient plus nocive et difficile à traiter (**Notice technique des céréales, 2020**).

L'augmentation des stocks de blé, associée à la gravité des pertes après récolte, nécessite l'utilisation de pesticides synthétiques pour protéger les stocks. (**Kouassi, 2001**)

Cependant, ces produits chimiques contiennent de nombreux inconvénients tels que la pollution de l'environnement, la prolifération des ravageurs et le développement de résistances.

Elles constituent l'un des outils de régulation des ravageurs et de lutte contre les moisissures les plus étudiées ces dernières années. (**Senhaji et al., 2005**)

Parmi les solutions envisagées, les activités biologiques des extraits végétaux comme les huiles essentielles et leurs dérivés jouent un rôle important dans la recherche de bio pesticides (**Tia et al., 2013**). Ils sont l'un des moyens de lutte antiparasitaire et de lutte contre les moisissures les plus étudiés ces dernières années. (**Guèye et al, 2011**).

L'étude des activités antifongiques de l'huile essentielle de la mandarine est une recherche importante pour le domaine de la protection des cultures. Les moisissures du blé sont un problème majeur pour les agriculteurs et les producteurs de nourriture, car elles peuvent réduire la qualité et la quantité de la récolte, ainsi que causer des problèmes de santé chez les humains et les animaux qui consomment des aliments contaminés.

Le présent document a pour objectif principal, de remplacer la lutte chimique par la lutte biologique dans la lutte intégrée pour préserver l'environnement et pour beaucoup plus la santé humains.

Nous avons étudié l'efficacité de l'huile essentielle de la mandarine dans la lutte contre les moisissures du blé dur. Nous avons utilisé différentes concentrations d'huile essentielle et nous avons mesuré leur effet sur la croissance fongique.

Dans le cadre de cette étude, un plan adopté pour mener cet objectif, est réparti en deux grands chapitres:

- ✓ Le premier chapitre est consacré à matériel et méthodes;
- ✓ Le deuxième chapitre est consacré à résultats et discussion;
- ✓ A la fin, on termine avec une conclusion.

Matériel et méthodes

I. Présentation de la zone d'étude :

Cette étude a été réalisée au niveau de la station régionale de la protection des végétaux «SRPV», qui est située dans la Wilaya d'El Tarf, (plus exactement à El Kous, commune d'Echatt wilaya d'El Tarf), à 25 Km à l'Est d'Annaba sur la route nationale N° 44 (Photo n°1). Son emplacement géographique est le suivant :

Longueur : 7°51'18.05''Est. Latitude : 36°47'41.98'' au Nord et Élévation : 05 m.

Elle est située en pleine irrigation par le barrage de Bounamoussa.



Photo n° 1: Siège de la SRPV: (© Atilia et Bendjaouahdou, 2023)

I-1 Présentation de la station :

La station régionale est l'un des centres névralgiques de l'Institut National de la Protection des Végétaux, sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture. Elle a été créée en 1971. La Station Régionale de la Protection des Végétaux est l'artisan essentiel de la veille phytosanitaire régionale, sa circonscription englobe 06 Wilayas (Annaba, Skikda, Jijel, Guelma, Souk ahraset ElTarf) ainsi que les frontières Algéro-tunisienne.

En raison de la diversité de la région par les espèces cultivées (Maraîchages, cultures industrielles, arboricultures fruitières, vigne, agrumes et céréales), ces cultures sont sujettes à un grand nombre de parasites (maladies et ravageurs) qui sont susceptibles de les attaquer et provoquer des pertes considérables dans les rendements.

C'est dans ce contexte que la SRPV dispose, en son siège, d'un complexe de laboratoires de diagnostics et d'analyses spécialisés dans les différentes disciplines de la biologie phytosanitaire.

I-1-1 Laboratoire de Phytopathologie :

Sa mission principale est la détection et l'identification des maladies bactériennes, mycologiques et virales d'origines phytopathogènes.

I-1-2 Laboratoire d'Entomologie :

Ses activités reposent sur l'étude des insectes nuisibles des cultures et la promotion des méthodes alternatives de lutte contre les bio-agresseurs.

I-1-3 Laboratoire de Nématologie:

Est orienté vers l'étude de différentes espèces de nématodes nuisibles qui possèdent une incidence économique sur les cultures.

I-1-3-1 Service de Malherbologie:

Il est destiné à contrôler et combattre les plantes parasites les plus fréquemment rencontrées et les plus importantes.

I-1-3-2 Service de la lutte contre les fléaux agricoles:

La production agricole est attaquée chaque année par les ravageurs des plantes. Outre ces attaques fréquentes et répétées, les cultures sont également la proie de ravageurs classés comme fléaux car, ils causent des pertes lorsqu'ils sont pullulés. Les ravageurs mettent en danger les fermes et les économies locales en raison de leur capacité à manger et à se déplacer. Ces fléaux sont établis au niveau des Wilayas et suivis par un réseau composé de représentants des services locaux, des services de protection des cultures et des représentants des agriculteurs.

Les fléaux les plus terribles sont: Sauterelles Marocaines, Criquets, Coléoptères, Ravageurs Aviaires, Rongeurs Volailles, et autres ravageurs comme : Boufaroua et Myéloïs de palmiers dattiers.

I-2 Appui technique pour l'avertissement agricole:

Sa mission est basée sur l'accompagnement, le conseil et l'assistance aux agriculteurs dans la gestion phytosanitaire de leurs exploitations.

- Mise en place et exploitation d'un système régional de surveillance de la protection des végétaux pour collecter des données brutes, en particulier des observations biologiques des bio-agresseurs, des stades saisonniers des cultures et des données météorologiques ;
- Développer et diffuser l'information préventive des agriculteurs sous forme de bulletins d'alerte agricole pour des interventions efficaces et rationnelles ;
- Les services phytosanitaires régionaux sont des artisans essentiels de la surveillance phytosanitaire et leur stratégie repose sur la:
 - Gestion des produits agricoles faisant l'objet d'échanges internationaux et des plantes et semences produites localement ;
 - Surveillance et traitement des maladies agricoles sur lesquelles les agriculteurs ne peuvent pas intervenir;
 - Veille régionale en fournissant aux agriculteurs une information préventive sous forme d'alertes agricoles;
 - Modernisation et maîtrise des technologies de protection des cultures au profit de solutions respectueuses de l'environnement, dont la lutte biologique.

I-3 Principaux programmes engagés:

I-3-1 Lutte biologique :

- L'élevage et lâchers d'auxiliaires actifs (*Ageniaspiscitricola*), *Semilacherpetiolatus* associé à la faune auxiliaire autochtone (*Pnigaliosp*);
- Mise au point des méthodes d'élevage de *Phytoseiluspersimilis* pour la lutte contre les acariens de la tomate industrielle ;
- Élevage de *nésidioristenus* pour la lutte contre la mineuse de la tomate (*TutaAbsoluta*).

I-3-2 Études bioécologiques :

Parmi les études menées par la SRPV, on cite:

- La Contribution à l'étude de *Parlatoriaziziphi* et son cortège parasitaire dans la région d'El Tarf ;
- Le dépistage de la scharka (*plumbox virus*) de rosacées fruitières à noyaux, inventaire et impact des maladies fongiques sur les cultures céréalières dans la région Est de l'Algérie et dépistage de nématode des agrumes (*Tylenchulussemipenetrans*) dans la région Est (SRPV, 2023).

II- Matériel biologique :

Le matériel biologique qui a servi à la réalisation de cette étude est le blé dur (*Triticumdurum*).

II-1 Données sur le blé :

Le blé est une matière première stratégique qui a joué un rôle central dans le développement des sociétés et l'organisation des rapports de force depuis les origines des civilisations antiques. Le blé n'est pas aussi connu que le pétrole, mais il est omniprésent dans la vie quotidienne des consommateurs, y compris en Asie ou en Amérique latine, où de nouvelles classes sociales recherchent du pain. Si la demande pour ce produit est mondiale, en revanche, sa culture reste confinée aux zones qui bénéficient d'avantages géographiques naturels, tels que l'eau et les sols fertiles, sans parler des climats tempérés. Peu de pays aujourd'hui peuvent à la fois produire du blé et l'exporter. Mais la demande s'accélère. Du début des années 1970 aux années 2010, elle a doublé, passant de 330 tonnes à environ 700 millions de tonnes (Mt). D'ici 2050, la consommation mondiale de blé devrait dépasser 900(Mt) [1].

Le blé est une plante monocotylédone de la famille des Poacées. Le terme blé désigne également le grain produit par ces plantes. Blé tendre *triticumæstivum* et blé dur *triticumturgidumssp durum* sont les deux espèces de blé dur les plus cultivées dans le monde. (Deviton, 2010). Le blé est une plante annuelle de 1.70m (Botarelle, 2012).

Le blé (*Triticum* sp.) est la culture à paille la plus cultivée au monde. Le blé tendre *Triticum aestivum* représente 90% de la production mondiale de blé. Il occupe plus de 100 000 hectares dans plus de 75 pays. Le blé panifiable d'été Américain, occupait 116 millions d'hectares dans les années 1970 et est le blé le plus couramment planté dans le monde. Le blé dur, *Triticum durum*, représente 5% de la production mondiale de blé, dont 35% sont produits en Afrique du Nord et en Asie de l'Ouest (**Hamadache, 2013**).

Le blé est également l'une des cultures les plus avancées sur le plan agricole et les plus modifiées mécaniquement. Rappelons que la production mondiale de blé était estimée à 50 tonnes métriques dans les années 1880 contre 700 millions de tonnes aujourd'hui. Des augmentations significatives du rendement tout au long du 20^e siècle ont résulté de la génétique, de la technologie et des innovations technologiques [1].

L'évolution des habitudes alimentaires et le développement rapide des villes tentaculaires ont entraîné une demande accrue, et la consommation de blé dans ces villes provient le plus souvent des marchés internationaux plutôt que des zones de production locales adjacentes [1].

II-2 Origine du blé:

Pour de nombreux botanistes, l'origine du blé se situe au Moyen-Orient, bien que cet endroit reste un domaine ouvert d'investigation scientifique. Ce qui est certain, cependant, c'est que le blé a une longue histoire de culture. Ce grain est produit et consommé depuis des milliers d'années. Son aire de répartition géographique est liée à la capacité de la plante à s'adapter à différents climats, même avec une préférence pour les régions tempérées à précipitations régulières [1].

II-3 Principaux pays producteurs de blé:

Avec une production annuelle de 131 447 224 tonnes, la République populaire de Chine est le premier producteur mondial de blé. L'Inde est deuxième avec une production annuelle de 99,7 millions de tonnes. Avec une production annuelle de 72 136 149 tonnes, la Fédération de Russie est le troisième producteur de blé. La France est cinquième avec une production annuelle de 35 798 234 tonnes. [2]

La Russie est également un important producteur de blé, l'une des céréales les plus consommées au monde. Or, selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), la Russie est le premier fournisseur mondial de céréales, étant donné que la production céréalière des deux géants asiatiques sert avant tout à satisfaire leurs propres besoins [3].

L'accès aux ressources naturelles est l'un des facteurs exacerbant certaines situations géopolitiques, a une longue histoire et continuera de le faire à l'avenir. A cet égard, il est important de ne pas oublier les céréales, en particulier le blé [4]. C'est pourquoi il est nommé par l'arme verte.

II-4 Importation du blé :

Les importateurs nets de blé sont quatre fois plus nombreux que les principaux importateurs mondiaux de blé en 2007 et étaient : l'Égypte ; Iran ; Brésil ; CEE ; Japon ; l'Algérie ; l'Irak ; Corée du Sud ; Mexique et le Maroc (**Hamadache, 2013**).

La consommation mondiale du blé augmente considérablement depuis la seconde guerre mondiale. Contre 150 millions de tonnes en 1946. Elle a dépassé 600 millions de tonnes en 2005, soit une augmentation de 400%. Cette augmentation s'explique entre autre par les raisons suivantes :

- ✓ Amélioration du niveau de vie ;
- ✓ Migration des zones rurales vers les zones urbaines où le blé tendre est davantage consommé sous forme de pain ;
- ✓ Croissance démographique ;
- ✓ Politiques de soutien des prix à la consommation pratiquée dans de nombreux pays en développement depuis l'indépendance ;
- ✓ Les politiques d'aide alimentaire en place dans certains pays producteurs (US, CEE, Canada) ont créé de nouveaux consommateurs de blé en Afrique et en Asie (**Hamadache, 2013**).

II-5 Blé en Algérie :

Le blé est la base de l'alimentation de l'algérien et constitue sa principale source en énergie et en protéines. Le blé est, parmi les cultures qui occupent la superficie la plus importante. Le nombre d'exploitations céréalières en 2006 a été de 600000 exploitations (**Hamadache, 2013**).

L'Algérie est l'un des principaux importateurs de blé d'Afrique. Si la longue sécheresse qui a frappé il y a un an a ralenti la croissance de la production locale, il est temps de redynamiser le secteur. En Algérie, la récolte de blé 2022/2023 devrait être de 3,3 millions de tonnes. C'est ce que souligne le département de l'agriculture des Etats-Unis (USDA) dans son dernier rapport sur les céréales pour ce pays d'Afrique du nord, publié le 30 septembre. Le volume attendu est supérieur de 38% aux 2,4 millions de tonnes de stock récoltées la saison dernière, tandis que la superficie ensemencée devrait rester stable à 2 millions d'hectares. Cette amélioration s'explique notamment par le retour à des conditions climatiques normales après la longue sécheresse de l'année précédente. L'USDA s'attend également à une amélioration des rendements, qui devraient passer à 1,5 tonnes/ha par rapport aux 1,2 tonnes/ha précédents. Malgré ces projections, le pays est encore loin d'avoir atteint son pic de production de blé de 2018/2019 de 4 millions de tonnes. En Algérie, la demande de blé est d'environ 11 millions de tonnes par an. Selon le département américain de l'agriculture, les importations de céréales coûteront au pays environ 2,25 milliards de dollars en 2021, soit un quart de ses importations alimentaires totales [5].

12 pays ont fourni du blé à l'Algérie. La France a diversifié ses sources d'approvisionnement, mais après avoir modifié les spécifications de ses importations lors de la campagne 2021/2022, la France reste un fournisseur majeur de blé tendre avec environ 1,44 million de tonnes contre 2,2 millions de tonnes la saison précédente, en baisse de 36% ; à la même source. Au cours de la même campagne, l'Allemagne était le deuxième fournisseur de blé tendre de l'Algérie avec 1,39 millions de tonnes [6].

II-5-1 Blé dur en Algérie :

C'est la céréale la plus cultivée en Algérie. Il fait partie des grandes cultures. Selon son utilisation, on distingue le blé dur utilisé pour la fabrication des pâtes alimentaires, couscous et autres plats traditionnels nord-africains et le blé tendre utilisé surtout pour la fabrication du pain français et des gâteaux. Sur le plan économique, les dérivés des blés (semoule et farine) et leurs produits (pâtes, pain, gâteaux) sont la base de l'alimentation de l'algérien et sa principale source en énergie et en protéines végétales.

La productivité ou rendement des blés (dur et tendre) est encore faible par rapport à la moyenne mondiale (40q/ha) et ne dépasse pas en moyenne les 20 q/ha. Les causes en sont nombreuses : climatiques et agro-techniques. Les attaques par les bioagresseurs, les mauvaises herbes, les ravageurs et les maladies fongiques sont des causes majeures d'affaiblissement et, plus important encore, d'instabilité des rendements [7].

Les produits de blé dur faits maison ou ménagers tels que le couscous, les pains traditionnels (gâteaux), les choux, les galettes et autres pâtes sont encore largement consommés dans les ménages ruraux et urbain.

En fait, ces produits dérivés du blé dur, sont utilisés dans diverses situations, notamment les fêtes religieuses, les mariages, les circoncisions et le mois de Ramadan.

Parmi ces divers produits à base de blé dur, figurent les céréales locales traditionnellement produites dans les exploitations agricoles, utilisées pour préparer les soupes et la chorba, et consommées par les ménages tant en milieu rural qu'urbain.

Le blé dur (Guemh) ou tendre (farina), est cultivé dans toutes les zones céréalières du pays : Est, Centre, Ouest en sec et au Sud en irrigué. Les principales Wilayas productrices, selon la superficie de blé en 2016 sont : Oum El-Bouaghi, Tébessa, Tiaret, Sétif, Mila et Relizane(**Zaghouane et al., 2005**).

Le blé dur se distingue du blé tendre par des caractéristiques morphologiques, physiologiques, cytologiques, et technologiques.

- ✓ Faible nombre de chromosomes portés par les génomes A et B, contre 42 chez le blé tendre 28 ;
- ✓ Un système racinaire plus profond et plus puissant ;
- ✓ Collant sous les oreilles ;
- ✓ Feuilles nues allongées ;
- ✓ Oreilles barbues compactes avec un cérumen long et fortement caréné ;
- ✓ Particules dures et allongées avec une texture vitreuse et des pinces peu développés.

II-6 Description sommaire d'un plant de blé :

Le blé est une plante herbacée de jours longs, c'est-à-dire qu'elle fleurit davantage lorsque les jours sont plus longs (>12 heures de lumière) et les nuits plus courtes.

Les paragraphes suivants décrivent les différents organes du plant de blé et leurs fonctions.

II-6-1 Racine :

Le blé a deux types de racines :

La racine de graine ou racine primaire (5 à 7 racines) de l'embryon est unique à la chaîne principale, et la racine secondaire ou adventice est spécifique à la talle secondaire. Ces derniers proviennent des nœuds à la base, qui deviendront plus tard le système racinaire permanent de la plante. Au cours des premiers stades de croissance, les racines des graines sont utilisées par le semis pour absorber l'eau et les nutriments. La structure d'une racine de l'extérieur vers l'intérieur est la suivante :

- Épiderme à poils absorbants, longues cellules qui absorbent l'eau et les éléments minéraux sol infiltré ;
- Cortex composé de parenchyme, une de ses fonctions est le transport et le stockage des glucides ;
- Colonne centrale ou stèle ;
- Composé de tissus spéciaux.

Les cellules du xylème sont mortes, elles assurent le transport de la sève brute, tandis que les cellules du phloème sont vivantes, elles assurent le transport de la sève raffinée. Le xylème et le phloème jouent également un rôle important dans le transport des ingrédients actifs des insecticides systémiques appliqués sur le sol et/ ou la végétation. Le développement des racines dépend principalement de la température du sol. Pendant la montaison, la croissance des racines s'accélère à mesure que la température augmente. Le poids maximal des racines est atteint à la floraison. Des recherches ont montré que des racines de blé de 70 ans ont été trouvées dans les 30 premiers centimètres du sol.

II-6-2 Tige :

Les tiges de blé sont dressées, cylindriques et pleines. Il est divisé en entre nœuds dont le nombre varie de 5 à 7. Les entre nœuds sont recouverts de graines foliaires. Ils poussent de bas en haut. Le dernier entre nœuds le pédoncule, est le plus long. Épiderme, monocouche de cellules recouvertes de cutine et possédant plusieurs stomates. Cortex parenchymateux.

II-6-3 Feuille :

Les feuilles sont à nervures parallèles et se composent de deux parties.

La partie inférieure, qui entoure les jeunes pousses où la tige est la graine, et la partie supérieure du limbe est le limbe. Les gousses sont nouées et nichent les unes dans les autres lorsqu'elles sont jeunes. Ils forment des tubes cylindriques qui entourent le tronc et se déplacent au fur et à mesure de leur croissance. Les limbes (sommets des feuilles) ont souvent deux extensions arquées à la base qui encerclent presque complètement la tige.

Auricule ou stipules. À la jonction feuille-gaine, il peut y avoir une petite membrane non vasculaire qui entoure partiellement le chaume.

Petite langue. Les espèces de graminées se distinguent au stade herbacé par les caractéristiques des ligules et des oreillettes. Chitine et cuticule de la gaine épiderme.

II-6-4 Épiderme :

Une monocouche de cellules avec de nombreux stomates, en particulier sur la face inférieure ;

Tissus parenchymateux contenant des chloroplastes ;

Vaisseaux Libero xylème (xylème et phloème).

II-6-5 Stomates :

Les feuilles sont le siège de la photosynthèse. La photosynthèse est le processus par lequel les chloroplastes, les organites verts des cellules végétales, produisent de l'énergie à partir de l'énergie solaire, de l'eau et du dioxyde de carbone. Les feuilles entières (et les grains) sont des produits de la photosynthèse.

A la floraison, les limbes des feuilles représentent 74% de la surface verte totale des plants de blé, tandis que les panicules ne représentent que 7% et les tiges 19%.

II-6-6 Inflorescence:

L'inflorescence est constituée d'unités morphologiques de base. Épillets (grappes de fleurs) attachés directement à une tige ou à une tige. Les fleurs sont généralement incluses 3 étamines (organes mâles) avec des anthères en X:

Un ovaire d'un carpelle avec deux stigmates pennés (organes femelles). C'est une fleur hermaphrodite.

Les épillets sont constitués de petites grappes de fleurs enveloppées dans une grumela (inférieure ou externe et supérieure ou interne).

Le blé est une plante autogame. La pollinisation a souvent lieu avant l'émergence des anthères. Les grains de pollen sont vulnérables à la sécheresse, aux températures élevées et aux vents chauds.

II-6-7 Fruit (Caryopse) :

Les fruits sont des grains (grains soudés aux parois de l'ovaire). Fruits secs sans pulpe. Les graines séchées sont communément appelées commercialement grains ou graines. Se compose de trois parties (**photo n° 2**)

* Coques (14-16% du poids du grain).

Reproduit le son après polissage. Ils sont par groupe de 4: péricarpe, écorce graines, bande hyaline et base protéique.

* Grain ou endosperme (81-88% du poids du grain). Après avoir broyé le grain, on obtient de la farine ou de la semoule.

* Germe (2-3% du poids du grain). Il se compose de deux parties:

- embryon contenant des feuilles (contour de plantule), apex et racine à l'état rudimentaire, et scutellum (ou *cotylédon*) riche en protéines, matière grasses, vitamines et amidon.

- Le noyau (endosperme) est riche en amidon et le germe (plus tard plante) est riche en protéines, graisses, minéraux et vitamines (B et E).

La pellicule est un organe de réserve, mais c'est avant tout une ventouse qui donne de la force à la plantule en croissance grâce aux enzymes de ses cellules externes.

Les contours des semis (pousses) se forment:

- Radicule couverte (*coléorhize*).

- Des tiges qui donnent des tiges futures. Un germe ou une plume composé de plusieurs contours de feuilles entourant un petit bourgeon (apex). Il est recouvert de quelque chose comme un dé à coudre:

Coléoptère. Les coléoptères sont les premières feuilles et l'enveloppe protectrice de la tarière (Hamadache, 2013).

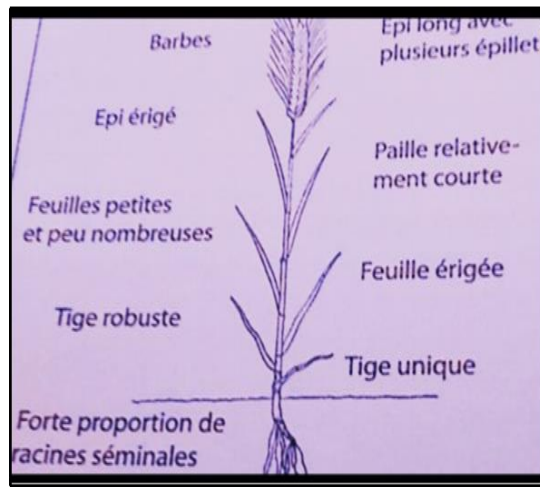


Figure n°1: Architecture idéale d'un blé (Donald, 1968)

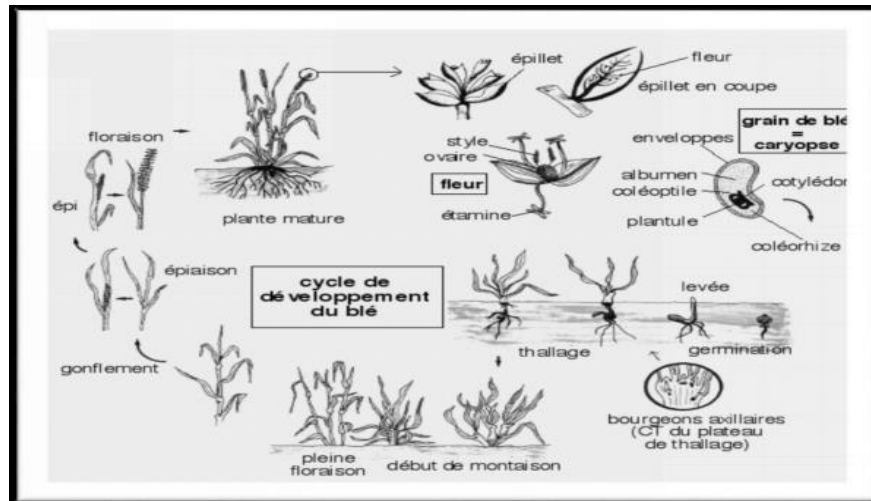


Figure n°2 : Le cycle de développement du blé (SIOUDA et BENKHLIFA, 2015).

II-7 Blé dur:

Il est reconnu que le blé, le riz et le maïs constituent la base de l'alimentation de la population de la terre. Au cours du développement de la civilisation indo-européenne, le blé devient une culture de base pour les occidentaux dans les climats chauds. (**Yves et de Buyser, 2001**)

Blé dur cultivé "*Triticum durum*" une sélection d'amidonnier (blé tétraploïde 4n) qui remonte à l'époque de Jésus-Christ. Le blé dur a occupé une large place au Maghreb de la fin du 18^e siècle au début du 19^e siècle (**Erroux, 1960**). Ainsi, du 16^e siècle, les pays du Maghreb étaient exportateurs de blé.

Cependant, au début des années 1960, la situation a changé et ces pays sont devenus importateurs. Ce retournement de situation est justifié par des années de sécheresse à répétition et la croissance démographique dans ces pays. Aujourd'hui, le Maghreb est l'un des plus grands importateurs de céréales au monde (**Benmehidi et al., 2018**).

II-7-1 Morphologie du blé dur:

Un plant de blé se compose de différentes parties telles que:

II-7-1-1 Graine:

Les grains de blé ont un aspect ovoïde, plus allongé dans le cas du blé dur et arrondi dans le cas du blé tendre (**Boulal et al., 2007**).

Lorsque la tige des grains est perdue, les grains sont pelés ou exposés. L'émoulin (pour le blé). Le caryopse nu sans gournelle se compose de trois parties pour les pièces: le tégument, le germe et l'albumen (**Boulal et al., 2007**).

II-7-1-2 Racine :

Les racines de blé sont fibreuses. Pendant la germination, la radicule ou racine primaire et un entre-nœud coronal émergent de la graine. Le système racinaire secondaire est assez développé et coule à des profondeurs allant jusqu'à 2 mètres (**Soltner, 1988**).

II-7-1-3 Tiges et Feuilles :

Chaume, cylindrique, souvent creuse par absorption de moelle centrale. Le chaume est interrompu par des nœuds. Un nœud est une séquence de zones. De longues feuilles se développent, s'enroulant d'abord autour de la tige, puis s'étendent en flocons allongés-veines parallèles. Le lobe terminal joue un rôle important dans la reproduction (**Soltner, 1988**).

II-7-1-4 Inflorescence :

Il s'agit d'un épi formé de deux rangées d'épillets de part et d'autre de l'axe. Les épillets regroupent trois fleurs à deux glumes. Chaque fleur est un pétale, entouré de deux lemmes. Contient trois étamines avec des ovaires sur le dessus, deux styles poids plume. Porter des fruits après autofécondation non déhiscent, caryopse (**CNRS, 2011**).

II-7-2 Composition chimique des grains :

Les céréales sont composées de minéraux et de matière organique (**Nadiay, 1999**).

II-7-2-1 Glucides :

Il est principalement composé d'environ 70% d'amidon, de glucides complexes (**Feillet, 2000**) et d'autres glucides simples comme le raffinose (**Fredot, 2009**).

II-7-2-2 Protéines :

Selon les cultivars, il contient 10 à 15 protéines, réparties en deux types, structurelle et fonctionnel (**Battais et al, 2007**).

II-7-2-3 Lipides :

Les grains de blé sont naturellement faibles en gras. Elle contient seulement 2% trouvé principalement dans les bases de germes et de protéines (**Fredot, 2009**).

II-7-2-4 Eau :

Les grains de blé mûrs sont composés de 13,5% d'humidité, et cette faible teneur permet un stockage à long terme et une protection contre les microbes, en particulier les moisissures (**Feillet, 2000**).

II-7-2-5 Minéraux :

On les trouve en petites quantités dans les céréales. Les plus importants sont le Phosphore, le Potassium, le Manganèse et le Cuivre, qui sont souvent liés ou présents sous forme de sels tels que les Phosphates, les Chlorures et les Sulfates (**Berhaut et al., 2003**).

II-7-2-6 Vitamines :

Ce sont des facteurs cliniques complexes qui jouent un rôle important dans la nutrition. Dans les céréales ; ils sont concentrés au niveau du germe et de la gousse (**Nadiaye, 1999**)

II-8 Problématiques de blé :

Depuis plusieurs années, les céréaliculteurs observent dans leurs champs des rives stériles et mal cultivées, ou des rives blanches et vides. Ce phénomène est souvent attribué aux infestations d'insectes comme les tortues blanches, les taupins et les tortues des chaumes, et aux maladies phytosanitaires comme la fusariose, dont les agents pathogènes sont transmis par les graines, les résidus de culture ou le sol.

Ces attaques affectent négativement les rendements en grain de blé et en paille. [8]

Le criocère, la rouille jaune, la rouille brune, la septoriose, le tan-spot (tache auréolée), la fusariose de l'épi, les vers « fil de fer », le charançon des graines stockées, le tribolium de la farine, l'oïdium du blé et de l'orge, les carences, les accidents climatiques et physiologiques, les graminées adventices des grandes cultures, les dicotylédones adventices des grandes cultures, les «versblancs»[7].

II-8-1 Mycologie

Le terme mycologie d'origine grecque (mykes : champignon+ logo : discours) signifie « sciences des champignons ». Les champignons en latin sont appelés champignons (plusieurs champignons). Ce terme fait généralement référence à une plante spécifique. Pousse dans les prairies ou les forêts. Certains de ces champignons sont consommés par les humains, tandis que d'autres sont mortels pour les humains. Mais en fait c'est les types de champignons ne représentent qu'une petite partie du monde des champignons car il existe aussi des champignons macroscopiques et très microscopiques nature variée et étendue. Nous connaissons dans la vie de tous les jours surtout ceux qui forment de la moisissure sur les aliments jetés ou matière organique morte [9].

Depuis lors, le nombre d'espèces de champignons découvertes a considérablement augmenté les mycologues se spécialisent aujourd'hui dans l'étude des familles unifamiliales. Genre unique, champignon [9].

Actuellement, le nombre d'espèces de champignons dans le monde est estimé (par comparaison et extrapolation à d'autres organismes) à 1,5 million, moins de 10% sont répertoriés. Environ 10000 de ces espèces connues causent des maladies des plantes, seulement une cinquantaine sont pathogènes pour l'homme, les 50 autres sont pathogènes pour les animaux [9].

II-8-2 Champignons:

Les champignons (mycota) sont composés d'éléments filamenteux appelés hyper. Un réseau d'hyphes s'appelle un mycélium. Les structures reproductives sexuelles forment maintenant la base de la taxonomie fongique. Le nombre d'espèces fongiques est estimé à 1,5 millions, dont la plupart sont des saprophytes et après de 10000 sont des parasites des plantes cultivées (**Hamadache, 2018**).

Les organismes traditionnellement appelés champignons sont maintenant divisés en trois règnes:

Fungi (truefungi), Stramenopirae ou Chromista, et Protozoa(**Hamadache, 2018**).

II-8-2-1 Types de symptômes associés aux champignons:

Les principaux symptômes des maladies des plantes sont:

- Décoloration des feuilles (jaunissement ou brunissement)
- Flétrissement (ex: retard de croissance)
- Malformation
- Pourriture des tissus
- Tissus plaque (nécrose) (**Hamadache, 2018**).

II-8-3 Maladies fongiques:

Une étude menée en Algérie (ENSA, INPV, Université) a révélé la présence de 12 espèces de *Fusarium* dépendantes du blé, dont 3 prédominaient : *Fusariumculmorum*, *Fusariumgraminaerum*, *Microdochium nivale*. Les facteurs contribuant au développement de la fusariose sur le blé en Algérie comprennent : année sèche (fréquente dans les régions céréalières algériennes) petit tour : blé/blé ou jachère/ blé ou pomme de terre/ blé, assez courant en Algérie, conditions climatiques à la floraison (P mm et T° C) ou irrigation par aspersion (point pivot sud) ,alternance maïs et blé au sud sous le pivot utilisation de semences non traitées ou insuffisamment traitées utilisation de fongicides de mauvaise qualité pour le traitement des semences aucun travail de sol(**Photo n°3**) (**TCS**) [8].



Figure n°3: Principales maladies cryptogamiques du blé (SRPV,2023)

II-8-4 Fusariose du blé

La fusariose du blé est une maladie fongique causée par la présence de champignons du genre *Fusarium*, tels que *Fusariumgraminearum*, *Fusariumpoae* et *Fusariumavenaceum*, et de champignons du genre *microdochium*, tels que *microdochium nivale* [12].

La fusariose de l'épi est une maladie du blé causée par un complexe d'espèces fongiques des genres *Fusarium* et *microdochium*, toxigènes ou non, aux caractéristiques épidémiologiques différentes. Ces espèces n'ont pas la même sensibilité inhérente aux fongicides et certaines ont été sélectionnées pour leur résistance [14].

Tableau n°1: Classification du genre *Fusarium*(**Hoog et al., 1995; Thomas, 2017**)

Règne	Fungi
Division	Ascomycota
Classe	Pezizomycotina
Sous classe	Hypocremycetidae
Ordre	Hypocreales
Famille	Hypocreaceae

II-8-4-1 Fusariose des céréales en Algérie:

Identifié de 12 espèces de *Fusarium* restreintes aux céréales avec 3 prédominances: *Fusariumculmorum*, *Fusariumgraminaerum* et *Microdochium* (=Fusarium) nivale; il existe:

- Le blé dur est plus sensible que le blé tendre à l'infection par les champignons *Fusarium* les cultivars de blé dur Vitron et Waha ont été les plus touchés dans cette étude;
- Présence de sources de résistance en blé dur et tendre (travaux ENSA); les semences de base se sont révélées infectées. Les graines sont donc responsables de la propagation de la maladie vers des zones non touchées;
- Graines infectées par *Fusariumgraminearum*, *F. culmorum*spp. Cause:
 - Germination réduite;
 - Formation bactérienne anormale;
 - Mort des jeunes plants;
 - Pas de germination en raison d'une germination faible;
 - Pertes après échouage (chute);

- Développement généralisé de la maladie;
- Diminution du rendement en grains et présence de mouchetures de particules de blé dur (L'ITGC et L'INPV, 2011, 2012, 2013).

II-9 Méthode De Lutte:

II-9-1 Lutte chimique:

L'utilisation de fongicides s'est généralisée au cours de la dernière décennie. Notre objectif est de réduire l'impact de la maladie et de réduire sa gravité de 50à60% (Alem et Amrouch, 2016). Les fongicides de composition chimique appartiennent aux produits phytosanitaires ou produits agrochimiques (Orlici et Benkara, 2018). Leur efficacité est liée à l'état physiologique de la plante au moment de l'application.

Ces fongicides doivent être présents à la surface de la plante avant que les champignons ne puissent l'attaquer agents pathogènes qui préviennent l'infection (contrôles préventifs) (Nasraoui, 2008).

La lutte chimique est efficace, mais ses inconvénients demeurent. Cependant, la possibilité de développer des souches résistantes moyennant des frais. Une grande quantité de fongicide (Hamel, 2016). Parmi les fongicides utilisés pour la fusariose du blé, nous citons: Fludioxonilbenomyl, le Tubuconazole, l'Azoxystrobine et le Mancozeb (Alem et Amrouche, 2016).

Les fongicides protègent les cultures des maladies le long de leurs cycles évolutifs, améliorent la photosynthèse des plantes, stabilisent le rendement, et la valeur marchande du produit et enfin améliorent et prolongent la période de stockage et inhibent la production de mycotoxines pour certains produits. A l'opposé des herbicides et des insecticides, qui détruisent les adventices et insectes présents dans le champ, les fongicides sont par contre supposés être appliqués sur une culture saine pour la protéger d'une éventuelle attaque par un ou des pathogènes (Hamadache, 2018).

Autrement dit, pour une bonne efficacité, le fongicide doit être appliqué avant l'installation de l'infection. Un contrôle insuffisant d'une maladie fongique par un fongicides peut être le résultat d'une dose insuffisante, le positionnement du produit, la méthode d'application et le lessivage par les pluies (Hamadache, 2018).

En effet; pour les adventices céréalières, l'application répétée d'un même herbicide entraîne l'émergence de populations d'adventices résistantes, notamment les graminées fourragères. D'autres méthodes de contrôle doivent être utilisées pour résoudre ce nouveau problème (Hamadache, 2016).

II-9-2 Lutte biologique:

Les problèmes de pesticides de synthèse, de faune auxiliaire et d'eau souterraine, et l'émergence de résistances ont conduit de nombreuses entreprises à investir dans la recherche et le développement de bio pesticides ou de pesticide biologiques, notamment pour la lutte contre les insectes et les champignons(**Hamadache, 2018**).

La lutte biologique se fait par des insectes prédateurs, des parasites, des bactéries, des champignons et des virus. Ces agents biologiques peuvent être d'origine locale ou importés de l'étranger (**Hamadache, 2016**).

Des levures, et des bactéries nombreuses se sont avérées efficaces dans le contrôle du produit agricole frais après récolte. Les mécanismes par lesquels la croissance fongique et la production des mycotoxines peuvent être empêchées dans l'environnement concurrentiel incluent: la concurrence pour les nutriments et l'espace; l'induction des mécanismes de défense, les interactions hyper parasitiques. Bien que le contrôlé biologique ne semble pas encore être faisable sur les grains, un avantage important qui pourrait émerger des études sur les mycètes antagonique serait la découverte des composés inhibiteurs à la production de mycètes et/ ou de mycotoxines de stockage (**Magan et Olsen, 2004**).

La grande majorité des antifongiques naturels est d'origine microbienne et près de la moitié est synthétisé par les actinomycètes, en particulier par les Streptomyces, le genre le plus répandu dans l'environnement (**Eckwall et Schottel, 1998**). Les recherches actuelles tiennent beaucoup plus compte des actinomycètes peu fréquents ou rares, provenant de diverses niches écologiques ignorées ou peu exploitées. Ces actinomycètes, dits «rares» dont le genre Actinomadura, se sont révélés être une source intéressante d'antibiotiques (**Lazzarini et al., 2001, Maskey et al., 2003**).

Un exemple de lutte biologique est la Mycorhize. Les Mycorhizes protègent différents types de cultures, y compris le fourrage, contre les maladies fongiques de différentes manières:

- Créez une barrière physique au niveau des racines pour empêcher les agents pathogènes de pénétrer dans le sol;
- En générant des antagonistes de nature chimique sous forme d'antibiotiques ou de toxines efficaces contre les pathogènes;
- En améliorant l'absorption des nutriments tels que le Phosphore et le Zinc par les racines des plantes(**Hamadache, 2018**).

II-9-1-1 Évaluation de l'activité antifongique de l'huile essentielle de la

Mandarine:

L'activité antifongique a été évaluée par la méthode de dilution en milieu solide pour déterminer les taux d'inhibition et en milieu liquide pour déterminer le CMI (concentration minimale pour laquelle on ne note aucune croissance des moisissures) (Laib, 2012).

III- Matériel et méthodes :

III-1 Matériel de l'isolement :

III-1-1 Laboratoire mycologie:

Le matériel utilisé dans notre étude au niveau du laboratoire Mycologie est le suivant(**photo n° 2**) :

- 1- Scalpel ;
- 2- Boîtes de Pétri ;
- 3- Pince ;
- 4- Hypochlorite de sodium 2° ;
- 5- Eau distillée ;
- 6- Papier filtre ;
- 7- Hôte ;
- 8- Bec benzène ;
- 9- Boîtes de cultures PDA+ Malt ;
- 10- Parafilm ;
- 11- Étuve ;
- 12- Pissette.

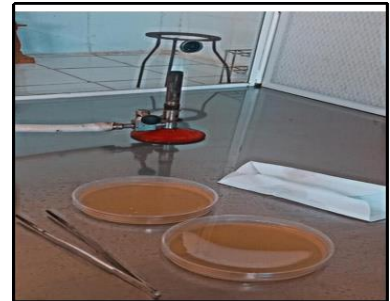


Photo n°2 : Matériel utilisé pour l'isolement: (© Atilia et Bendjaouahdou, 2023).

III-2 Méthode de l'isolement :

Elle est comme suit :

- 1- Laver les racines de la plante malade ;
- 2- Couper en petits fragments les racines avec le scalpel ;
- 3- Lever les fragments des racines par une pince et les mettre dans une boîte de pétri ;
- 4- Tremper les racines dans la solution de l'hypochlorite de sodium 2° pendant 5min ;
- 5- Rincer les racines avec de l'eau distillée 3 fois chaque 3min ;
- 6- Sécher les racines avec le papier filtre ;
- 7- Mettre l'échantillon sous la hôte près du bec benzène ;
- 8- Isoler l'échantillon dans le milieu de culture PDA et le milieu de Malt ;
- 9- Identifier chaque milieu par le nom, le type de champignon, la date de culture et le nom du laboratoire ;
- 10- Fermer les boîtes de culture par du papier parafilm;
- 11- Mettre les échantillons dans l'étuve à la température de 25°C pendant 5 à 7jours.

III-3 Matériel et méthodes de préparation des milieux :

III-3-1 Préparation de milieu Potato-Dextrose-Agar (PDA) :

III-3-1-1 Matériel de préparation de milieu PDA :

- 10g d'Agar-agar ;
- 100g de pomme de terre ;
- 10g de Dextrose (Glucose) ;
- 0,5 l de l'eau distillée ;
- Boites de pétri ;
- Couteau ; -Balance ; -Spatule ; -Bécher ;
- Bec benzène ;
- Flacon en verre ;
- Autoclave (**photo n° 3 et 4**).



Photo n°3 : Flacons contenant les milieux préparés (milieu PDA et Agar-Malt)

(© Atilia et Bendjaouahdou, 2023)



Photo n°4 : Préparation du milieu PDA (© Atailia et Bendjaouahdou, 2023)

III-3-1-2 Méthode de préparation du milieu PDA :

- Couper la pomme de terre en petits morceaux ;
- Prendre 100 g de pomme de terre additionnés à 0,5 l d'eau distillée ;
- Faire bouillir pendant 25 min ;
- Après refroidissement, filtrer la solution, prendre 500 ml et mettre dans un flacon en verre ;
- Ajouter 10 g de Agar-agar et 10 g de glucose ;
- Mélanger la solution et la fermer hermétiquement.

III-3-2 Préparation du milieu Malt-Agar :

III-3-2-1 Matériel de préparation du milieu Malt-Agar :

- 10g d'Agar-agar ;
- 5g de Malt ;
- 0,5 l'eau distillée ;
- Flacon en verre ;
- Balance ;
- Spatule ;
- Boite pétri ;
- Autoclave (photo n°5)



Photo n°5 : Matériel utilisé pour préparer le milieu Malt-agar

(© Atailia et Bendjaouahdou, 2023)

III-3-2-2 Méthode de préparation du milieu Malt :

- Prendre 500 ml d'eau distillée dans un flacon;
- Ajouter 10g d'Agar-agar et 5 g de Malt en poudre;
- Mélanger le tout pour obtenir une solution homogène;
- Prendre les 2 flacons PDA et Malt pour les mettre dans l'autoclave pendant 20 min à une température de 120°C.



Photo n°6 : Milieu de culture PDA et Milieu Malt

(© Atilia et Bendjaouahdou, 2023)

III-4 Méthode de repiquage de champignon :

Les souches fongiques utilisées pour tester l'activité antifongique des huiles essentielle ont été obtenues par la méthode suivante:

III-4-1 Matériel de repiquage :

- Boites pétri ;
- Huile essentielle des agrumes (Mandarine) ;
- Eppendorf ;
- Pipette en ml et en μ l ;
- Sérum salé ;
- Agitateur ;
- Tube conique ;
- Étiquettes ;
- Scalpel ;
- Parafilm ;
- Étuve ;
- Hôte ;
- Bec benzène ;



Photo n°7: Matériel de repiquage de champignon (©Atilia et Bendjaouahdou, 2023)

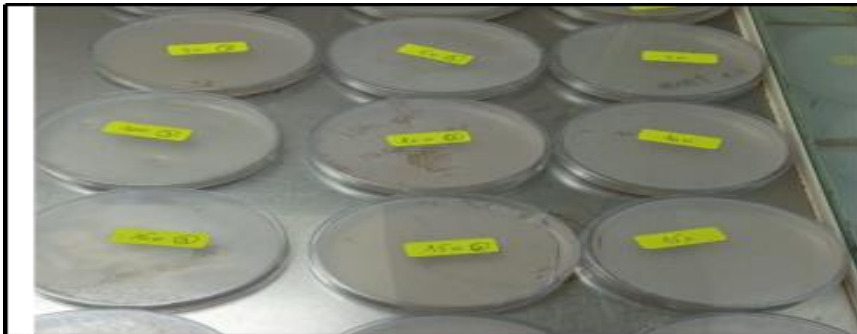


Photo n°8: Milieu préparé avec l'huile essentielle (© Atilia et Bendjaouahdou, 2023)

III-4-2 Méthode de repiquage de champignon :

- Préparer 5 différentes doses de l'huile essentielle des agrumes dans des flacons éppendorf de 10; 50;100;150 et 200µl (en effectuant 03 répétitions);

-Ajouter 0,5 ml de sérum salé dans chaque flacon;

-Homogénéiser les flacons dans l'agitateur;

-Faire bouillir le flacon du milieu PDA dans un bain marie, verser 15 ml dans un tube conique gradué en plastique, ajouter la solution de l'huile essentielle et le sérum, homogénéiser le tout dans l'agitateur puis verser dans les boîtes de pétri;

On procède de la même manière avec les autres flacons tout en faisant 3 répétitions pour obtenir 15 boîtes pétri;

-Faire en parallèle 3 boîtes de pétri comme testeurs et qui contiennent uniquement le milieu PDA;

-Après refroidissement, on fait le repiquage du champignon dans chaque boîte;

- Après l'apparition de culture du champignon dans le milieu Malt, on pique un petit morceau et on le met au centre du milieu (dans les boîtes pétries préparées) à l'inverse sous la hôte et près du bec benzène;

-Fermer les boîtes par le parafilm;

-Mettre les boîtes pétries (témoins et essais) dans l'étuve et qui seront incubées par la suite pendant 7 jours à 27° C (**Photo n°9**).

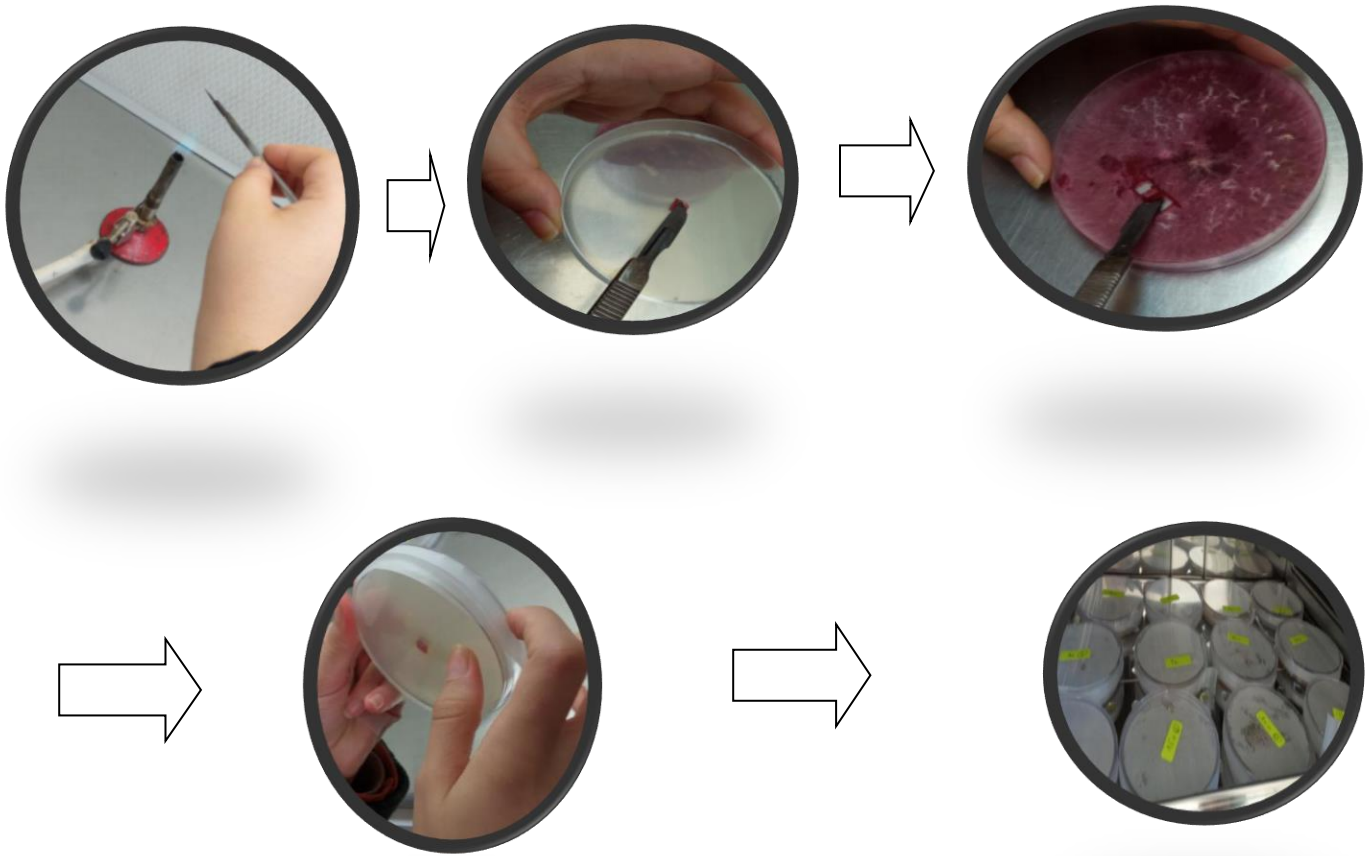


Photo n°9:Etapes de la méthode de repiquage de champignon
(©Atilia et Bendjaouahdou, 2023)

III-5 Technique de dilution en milieu liquide :

III-5-1 Préparation de milieu PDA sans Agar-agar :

III-5-1-1 Matériel de préparation :

-100g de pomme de terre ;

-10g de Dextrose (Glucose) ;

-0,5 l de l'eau distillée ;

-Huile essentielle ;

- Flacons Eppendorf ;

- Sérum physiologique ;

-Tubes à essai ;

- Balance ;

- Spatule ;

-Bécher ;

-Bec benzène ;

Flacon en verre ;

Autoclave.



Photo n°10 : Milieu de culture liquide (sans Agar-agar)

(© Atilia et Bendjaouahdou, 2023)

III-5-1-2 Méthode de préparation du milieu PDA sans Agar-agar:

- Faire bouillir 100 g de pomme de terre en petits morceaux avec 500 ml de l'eau distillée pendant 25 min;
- Après refroidissement, filtrer la solution dans un flacon en verre;
- Ajouter 10 g de Glucose;
- Mélanger la solution et la fermer hermétiquement;
- Mettre le flacon dans l'autoclave pendant 20 min à une température de 120°C.

III-5-1-3 Méthode de culture en milieu liquide:

- Mettre des doses de l'huile essentielle de (10, 50, 100, 150, 200 μ l) dans les flacons eppendorf;
- Ajouter 10 ml de sérum physiologique;
- Mélange avec l'agitateur;
- Mettre dans les tubes à essai 100ml de milieu PDA sans Agar-agar ;
- Ajouter le mélange de l'huile et le sérum en répétant 3 fois pour chaque dose;
- Avec une anse de platine prendre les filaments de champignons ;
- Mélanger avec l'eau distillée stérile;
- Ajouter le mélange de l'eau distillée stérile et le filament de champignon de notre témoin dans les tubes à essai précédents;

-Préparer un tube à essai qui contient le milieu PDA sans Agar-agar et le mélange de filament de champignons avec de l'eau distillée stérile.

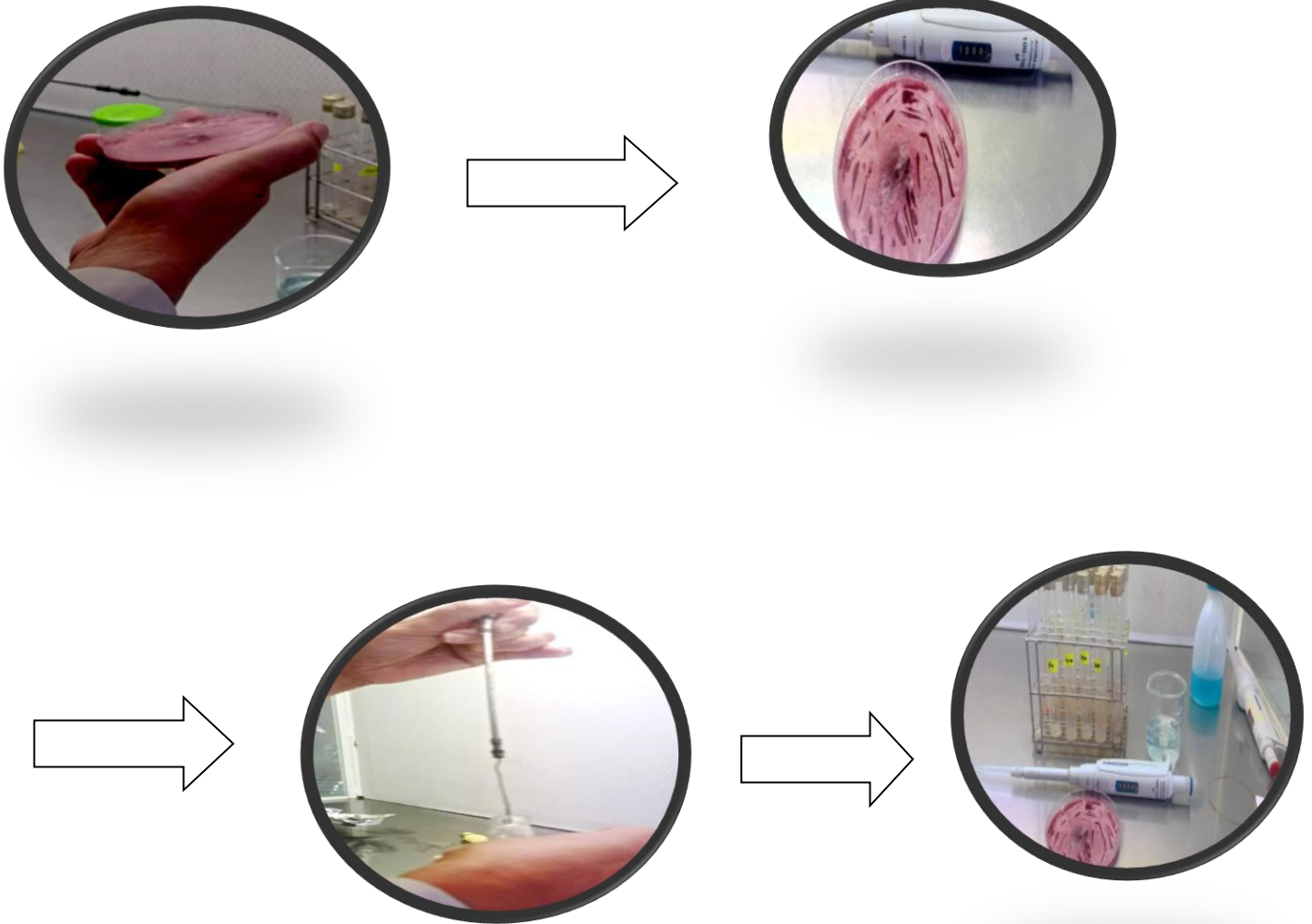


Photo n°11 : Etapes de la méthode de culture dans un milieu liquide

(©Atailia et Bendjaouahdou, 2023)

III-6 La lecture de champignons sur le microscope :

III-6-1 Matériel de lecture :

- Scotch ;
- Bleu de méthylène ;
- Lame ;
- Microscope.

III-6-2 Méthode de lecture

- Prendre un morceau de scotch ;
- Toucher la surface du champignon pour prélever un petit échantillon ;
- Ajouter deux gouttes de bleu méthylène sur une lame ;
- Poser l'échantillon collé au morceau de scotch sur la lame ;
- Observer au microscope à l'objectif de 40 et 100x.

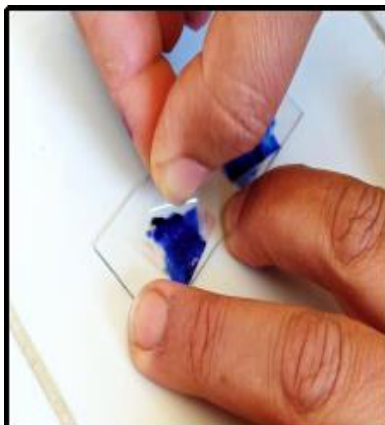


Photo n°12 : Méthode d'observation microscopique de champi

IV Résultats et discussion :

L'étude macroscopique des souches fongiques effectuée sur milieu PDA, incubées à 25°C pendant 7 jours et avec l'observation effectuée à l'œil nu, nous avons remarqué les caractères suivants:

Texture des colonies, forme des colonies, couleur des colonies, couleur du revers des boites de pétri et la vitesse de croissance. L'étude microscopique des champignons observés sous microscope, nous montre (**photo n°13**): Des Hyphes cloisonnés ou non cloisonnés; un Mycélium diffus, épais, coloré, incolore et présence de spores (**Cheurfi et al., 2019**).

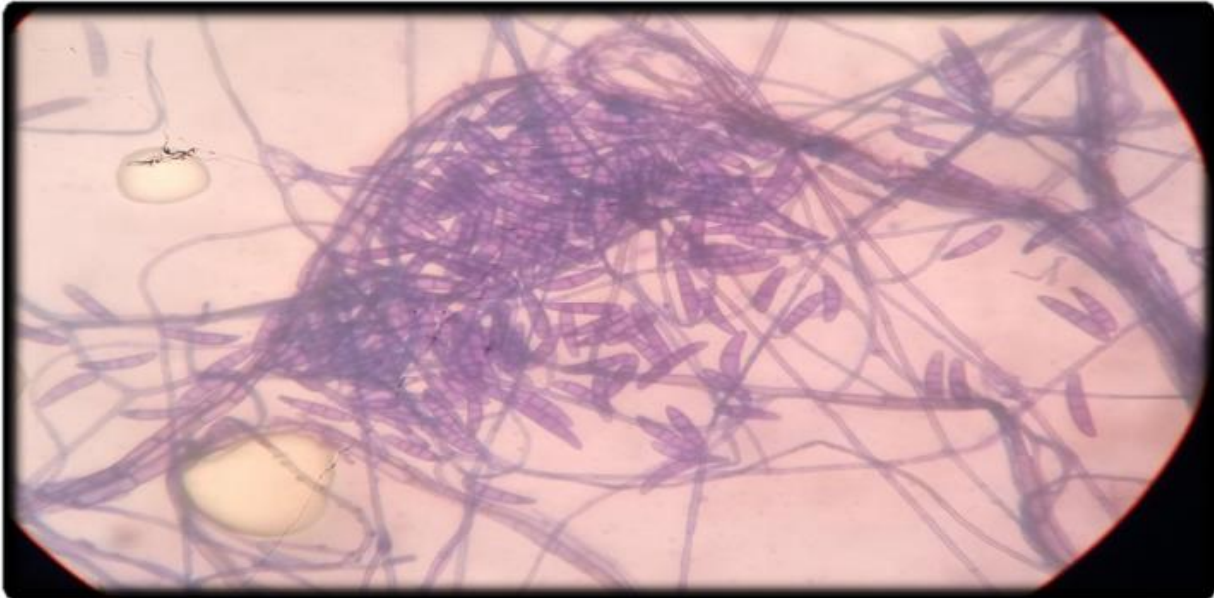


Photo n° 13: Observation microscopique du champignon Fusarium de l'épi de blé dur

(© Atilia et Bendjaouahdou, 2023)

IV-1 Mesure de diamètre de CMI (concentration minimale d'inhibition):

La croissance de filaments est relevée quotidiennement. Une mesure de diamètre de différentes colonies est réalisée à la fin pour calculer le taux d'inhibition (I en %) (**Rotimi et al., 1988**).

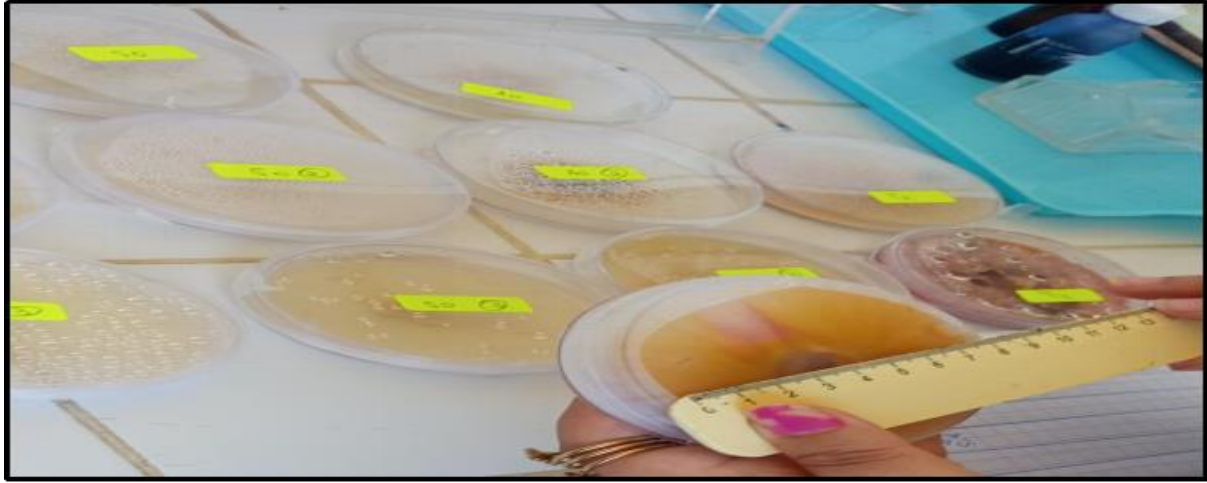


Photo n° 14 : Méthode de mesure le diamètre (© Atiliaet Bendjaouahdou, 2023)

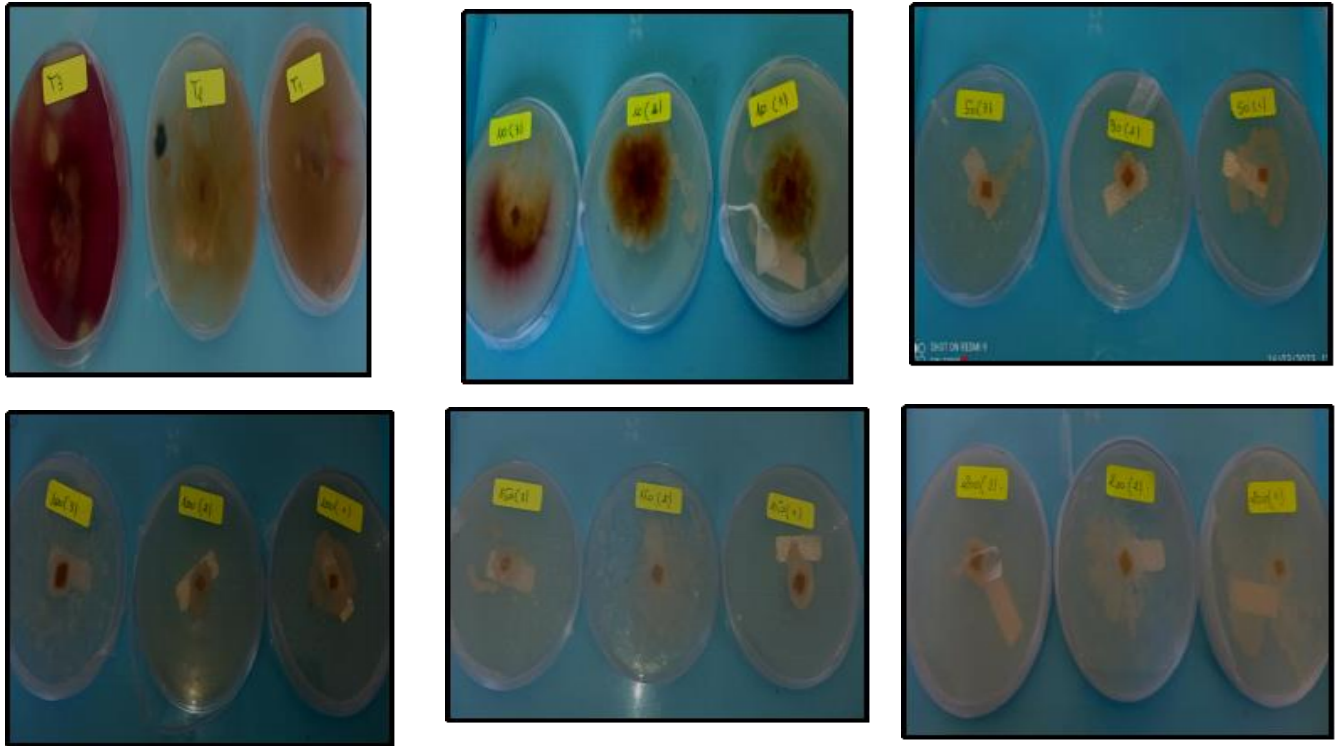


Photo n°15 : Résultat de repiquage de champignon sur les boîtes pétri

(© Atilia et Bendjaouahdou, 2023).

IV-2 Calcul de CMI:

On la calcule par la formule suivante:

$$I\% = 100 \times (d_c - d_E) / d_C$$

Où :

I(%) : Taux d'inhibition exprimé en pourcentage

d_C : Diamètre de colonies dans les boîtes pétri «témoins positifs»

d_E : Diamètre de colonies dans les boîtes contenant l'huile essentielle (Laib , 2012).

Tableau n °2: Mesure des diamètres de colonies dans les boîtes pétries exprimé en cm (dans les 3 répétitions)

Dose (en µl)	Répétition 1 de mesure de diamètre (en cm)	Répétition 2 de mesure de diamètre (en cm)	Répétition 3 de mesure de diamètre (en cm)
Témoins	8,5	7,5	8,5
10	5,4	5	7
50	3,5	1,7	1,5
100	2,8	2	2
150	1,8	1,2	1,6
200	0,8	0,5	1,2

Tableaux n°3 : Mesure du Taux d'inhibition exprimé en pourcentage dans les 3 répétitions

Dose (en µl)	Répétition 1 en %	Répétition 2 en %	Répétition 3 en %
Témoins	0	0	0
10	36,47	33,33	17,64
50	58,82	80	82,35
100	67,05	73,33	76,47
150	78,82	84	81,17
200	90,58	93,33	85,88

La formule de la moyenne du taux d'inhibition est la suivante ;

$$I\% = (T1) + I\% (T2) + I\% (T3) / 3$$

Où :

I(%) : Taux d'inhibition exprimé en pourcentage

T1 : Pourcentage de témoin 1

T2 : Pourcentage de témoin 2

T3 : Pourcentage de témoin 3

Des pourcentages d'inhibition supérieurs à 50% ont été obtenus ce qui prouve que l'efficacité de l'huile essentielle de la mandarine est bien réelle et ce dans la lutte contre les moisissures du blé dur. L'efficacité de l'huile essentielle est évaluée avec une contrainte par défaut en spécifiant un pourcentage parmi ceux qui ont un taux d'inhibition élevé ou égal à 50%. Le test s'est déroulé en faisant 3 répétitions (**Laib, 2012**).

Le tableau 4, nous montre la moyenne du taux d'inhibition élevé ou égal 50%, effectuée.

Tableau n° 4 : Résultats d'un taux d'inhibition élevé ou égal 50%.

Dose en µl	I en %
50	73,72
100	72,28
150	81,33
200	89,93

IV-3 Identification du genre de moisissure isolé par la méthode de culture :

Identifier un champignon, c'est d'abord reconnaître son appartenance à un genre particulier

(**Cahagnier, 1998**). Le champignon *Fusarium* représente un groupe d'organismes unis par des traits communs comme le montre la Photo n°17.

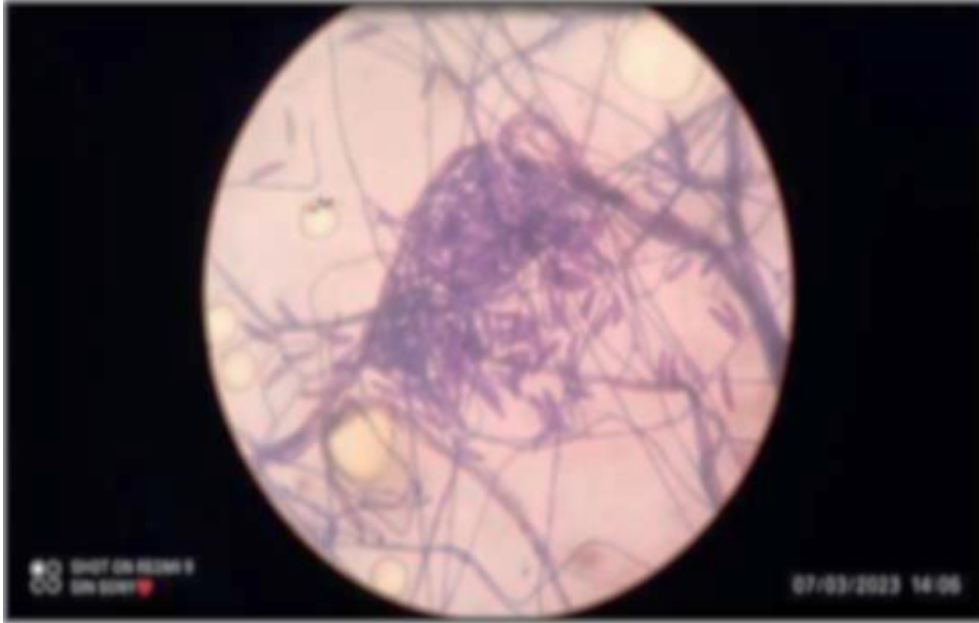


Photo n° 16 : Vue générale du Fusarium de blé sous le microscope optique

(©Atilia et Bendjaouahdou, 202

L'étude microscopique nous a montré une variété rose qui se caractérise par des colonies duveteuses. Le test de l'examen effectué sous le microscope révèle la présence de macro-conidies fusiformes, caractéristique du genre *Fusarium* (photo n°18).

L'identification des champignons genre *Fusarium* est réalisée sur un milieu standard, le PDA (**Cahagnier, 1998**). Notre isolat se présente sous la forme d'une colonie rose cotonneuse avec un centre violet, d'où l'espèce *Fusarium* rosé.

L'utilisation du milieu PDA (Potato-Dextrose-Agar) a permis de détecter une même souche continue avec des taux de contamination différents dans le blé dur et le blé tendre.

Les comptages ont été effectués sur les boîtes de pétri.



Photo n° 17:Souche fongique du champignon Fusarium

(© Atailia et Bendjaouahdou, 2023)

IV-4 Activité antifongique de l'huile essentielle sur le champignon Fusarium :

Les huiles essentielles ou huiles volatiles sont des produits de composition souvent assez complexe contient des composants volatils contenus dans les végétaux, plus ou moins modifiés processus de préparation. Pour extraire ces principes variables, il existe différents procédés. Deux uniquement procédés pour la préparation d'arômes pharmaceutiques : Soit par distillation par les vapeurs d'eau de plantes à essence soit par distillation sèche ou par un procédé mécanique approprié sans chaleur (**Toutah,2017**).

L'huile essentielle des agrumes (mandarine), comme de nombreuses huiles essentielles d'écorces d'agrumes, est composée principalement de mono-terpénoïdes : limonène, terpinène, alpha pinène et myrcène.

Sa particularité réside dans la présence d'un ester de l'acide anthranilique appelé le N-méthyl anthranilate de méthyle, qui joue un rôle intermédiaire dans la biosynthèse du tryptophane. Le tryptophane est le précurseur métabolique de ce qu'on appelle la «sérotonine». (**Hamadache, 2016**).

L'examen des résultats a démontré que les moisissures testées étaient très sensibles à l'huile essentielle de mandarine. A la première dose de cette huile (de 10 μ l), le diamètre du champignon est le même et une zone d'inhibition minimale est observée au dosage de 200 μ l.

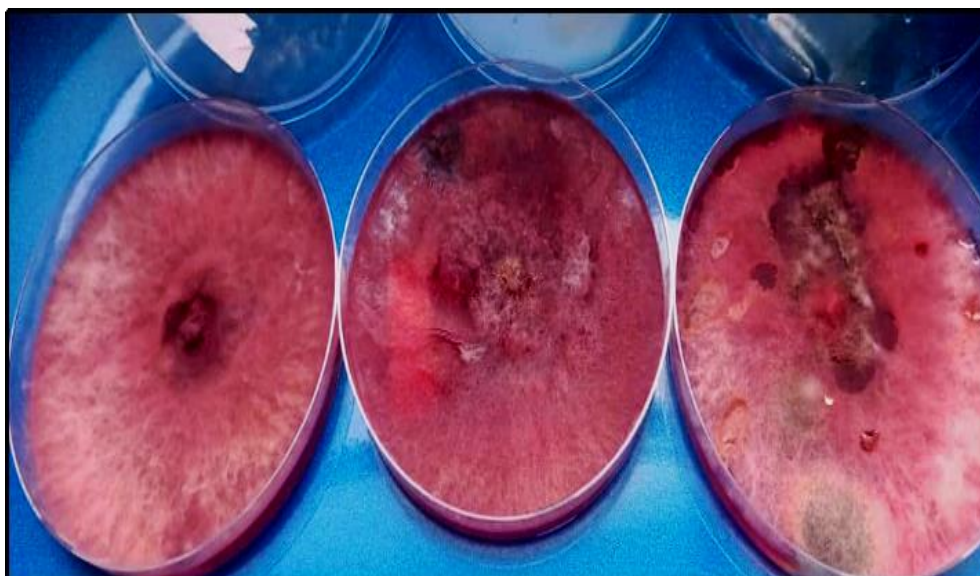


Photo n°18: Témoin de culture de champignon de *Fusarium rosé* (échantillon sans huile essentielle)

(© Atailia et Bendjaouahdou, 2023)

En somme, d'après nos résultats sur l'activité antifongique de l'huile essentielle de mandarine testée, l'activité biologique de cette huile semble être liée à sa composition chimique par (N-Méthyle-Anthranilate de Méthyle, Sabinene et Linalol).



Photo n°19: Échantillon avec l'huile essentielle (de 10 μ l) de culture de champignon *Fusarium*

(© Atailia et Bendjaouahdou, 2023)

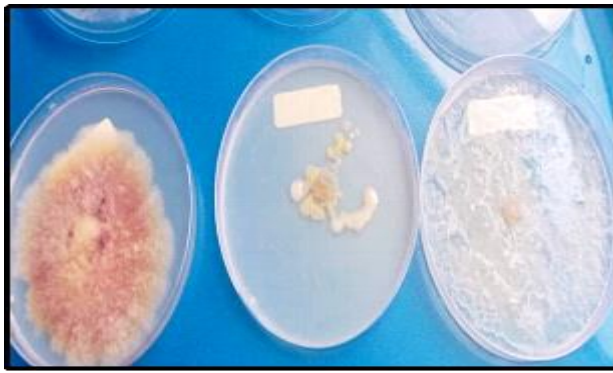


Photo n°20: Échantillon avec l'huile essentielle (de 50µl) de culture de champignon Fusarium

(© Atailia et Bendjaouahdou, 2023)



Photo n°21: Échantillon avec l'huile essentielle (de 100µl) de culture de champignon Fusarium

(© Atailia et Bendjaouahdou, 2023)



Photo n°22: Échantillon avec l'huile essentielle (de 150µl) de culture de champignon Fusarium

(© Atailia et Bendjaouahdou, 2023)



Photo n°23: Échantillon avec l'huile essentielle (de 200 μ l) de culture de champignon Fusarium (© Atailia et Bendjaouahdou, 2023)

IV-5 Détermination de la concentration minimale d'inhibition (CMI):

L'effet inhibiteur contre toutes les moisissures examinées permet de déterminer la CMI. En fait, une concentration de 50 μ l était suffisante pour l'inhibition.

L'analyse des résultats obtenus sur la croissance des champignons exposés à l'action des différentes concentrations de l'huile essentielle de mandarine ont été testées pour leur efficacité.

Trois répétitions ont été effectuées pour voir l'efficacité de l'huile essentielle de mandarine comme un très bon antifongique contre les moisissures du champignon Fusarium.

La répétition 1 de mesure de diamètre en Cm par rapport aux doses de l'huile essentielle de mandarine nous a donné le graphique suivant (Figure n°4) :

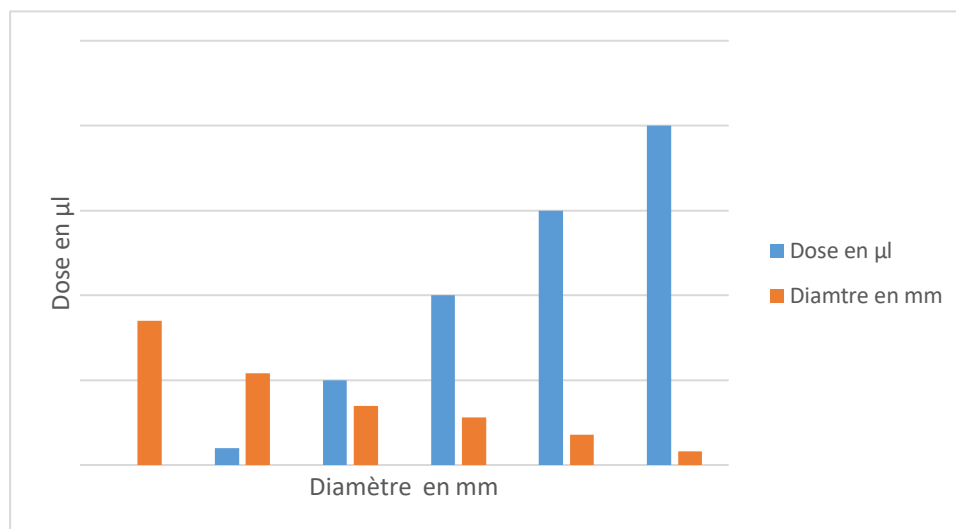


Figure n° 4: Diamètre du champignon par rapport aux doses de l'huile essentielle de mandarine (répétition 1)

La répétition 2 de mesure de diamètre en mm par rapport aux doses de l'huile essentielle de mandarine nous a donné le graphique suivant (Figure n°5) :

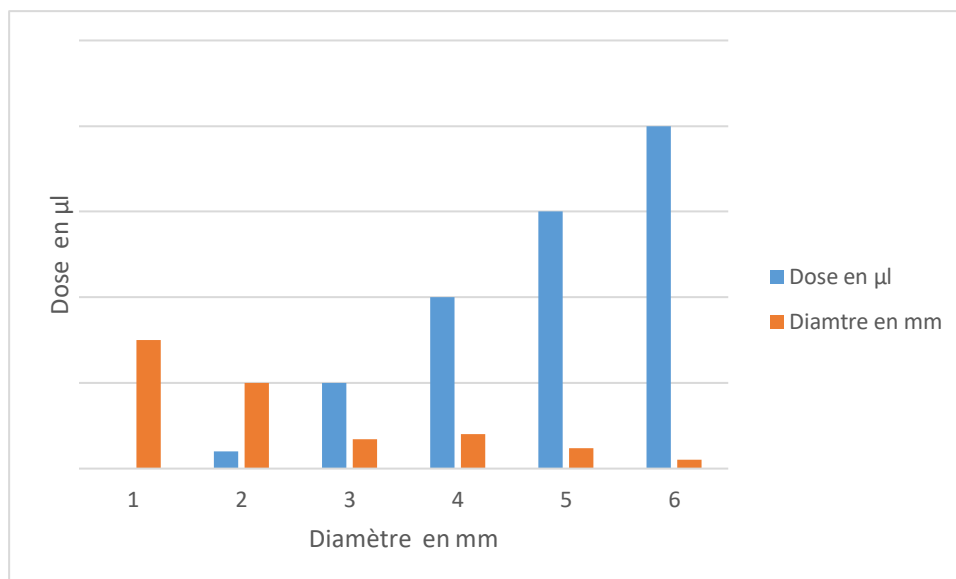


Figure n°5 : Mesure de diamètre du champignon par rapport aux doses de l'huile essentielle de mandarine (répétition 2)

La répétition 3 de mesure de diamètre en Cm par rapport aux doses de l'huile essentielle de mandarine nous a donné le graphique suivant (Figure n°6) :

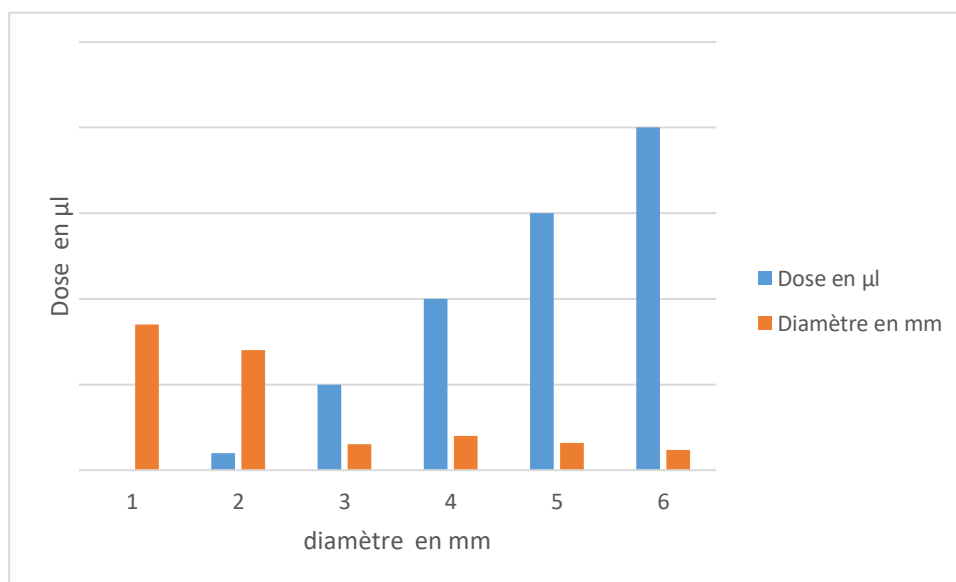


Figure n°6 : Mesure de diamètre du champignon par rapport aux doses de l'huile essentielle de mandarine (répétition 3)

Dans les 3 répétitions de doses de l'huile essentielle de mandarine de (10,50,100,150 et 200 µl), le diamètre de champignon de *Fusarium* diminue au fur et à mesure qu'on augmente la concentration des doses de l'huile essentielle.

Dans la 1^{ère} répétition le diamètre de témoin (0 μ l dose de l'huile essentielle), mesure 8,5cm mais avec la dose de 200 μ l, le diamètre de champignon mesure 0,8 cm;

Dans la 2^{ème} répétition, le diamètre du témoin était 7,5 cm et au fur et à mesure qu'on augmente la dose de l'huile essentielle (de 200 μ l), le diamètre diminue et nous donne une valeur de 0,5 cm;

Idem dans la 3^{ème} répétition, quand on augmente la dose de l'huile essentielle de 200 μ l, le diamètre de champignon diminue et mesure 1,2 cm.

Donc nous avons ici une relation inverse où le diamètre du champignon diminue par rapport à l'augmentation de la dose de l'huile essentielle.

III-8 Taux d'inhibition:

Le taux d'inhibition est une mesure de l'efficacité de l'huile essentielle pour la lutte contre les moisissures. Cette mesure quantitative est mesurée en pourcentage.

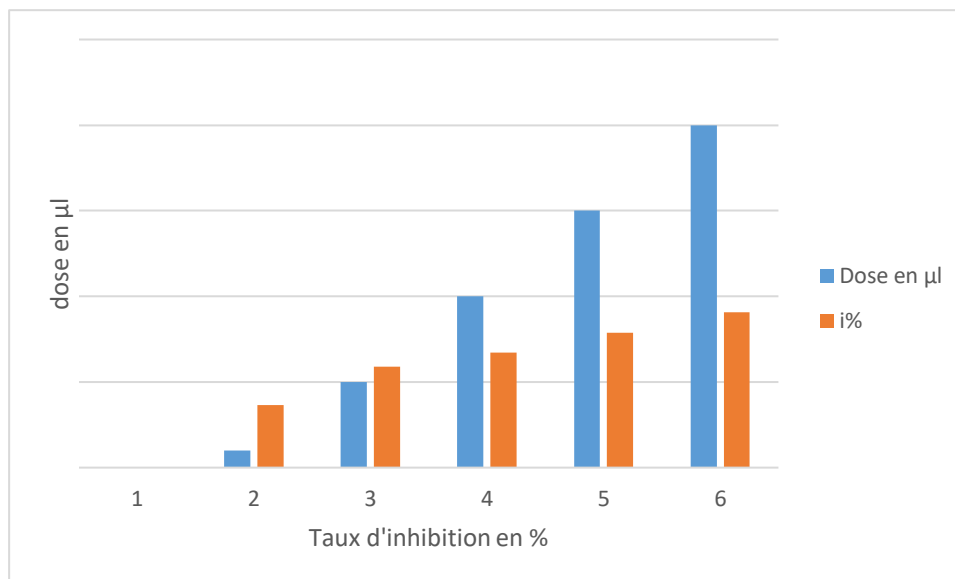


Figure n°7: Taux d'inhibition dans la première répétition

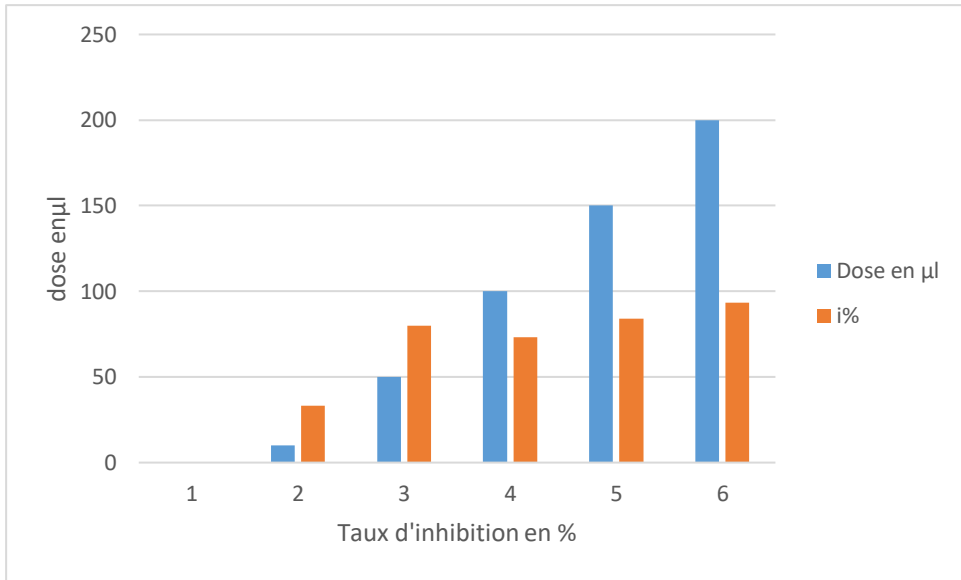


Figure n°8: Taux d'inhibition dans la 2^{ème} répétition

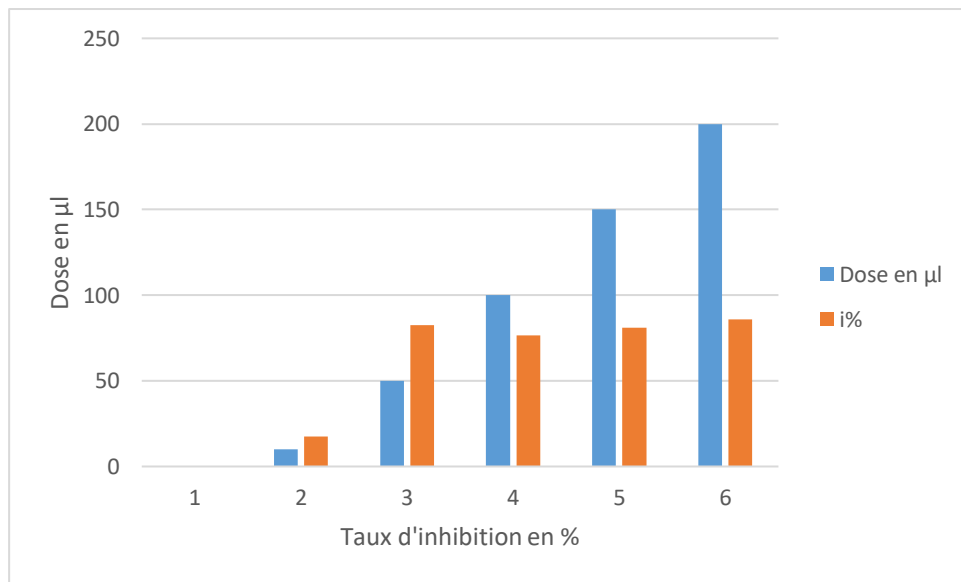


Figure n°9: Taux d'inhibition dans la 3^{ème} répétition

Dans les 3 graphes, le taux d'inhibition augmente quand la dose de l'huile essentielle augmente; le taux d'inhibition dans la dose 200 µl est plus élevé que dans la dose de 10µl ou 0 dose du témoin (sans huile essentielle).

Le maximum de taux d'inhibition dans la 1^{ère} répétition est de 90,58% dans la dose de 200 µl et 0% dans le témoin, la même chose dans les 2 autres répétitions où le minimum est de 0% dans le témoin par contre dans la dose de 200µl, le maximum est de 93,33% dans la 2^{ème} répétition. Le taux d'inhibition est de 85,88% dans la 3^{ème} répétition.

Le maximum du taux d'inhibition dans les 3 répétitions a été observé dans la 2^{ème} répétition.

Ce qui nous emmène à dire que la relation entre le taux d'inhibition et les doses de l'huile essentielle est une relation de corrélation directe c'est-à-dire quand la dose de l'huile essentielle augmente, on remarque une augmentation dans les pourcentages du taux d'inhibition et vice versa.

IV-7 Moyenne du taux d'inhibition :

Évaluer l'efficacité des huiles essentielles à l'aide de contraintes par défaut en précisant un pourcentage parmi les résultats ayant un taux d'inhibition élevé ou égal à 50%. Le test a été répété 3 fois. (Figure n°10)

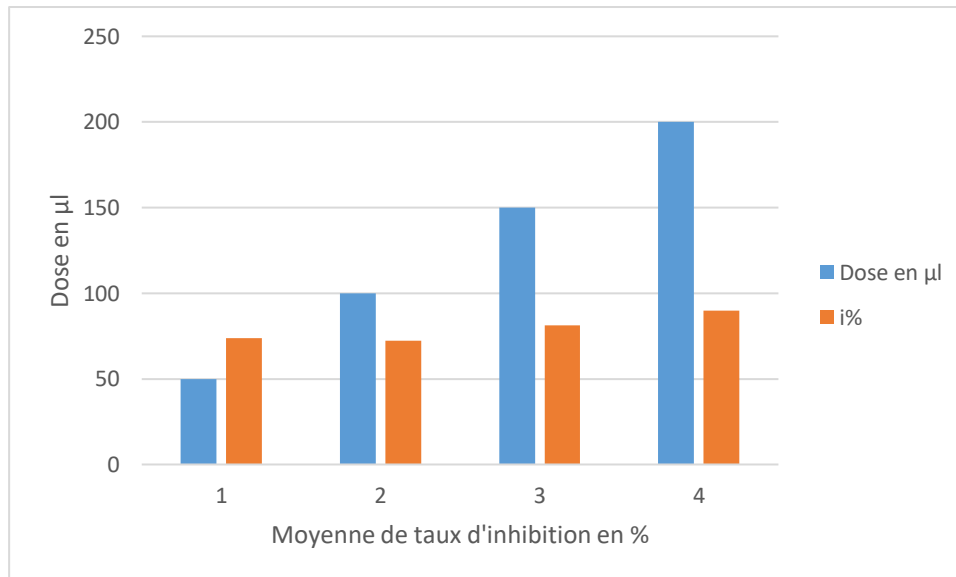


Figure n°10: Moyenne du taux d'inhibition dans les 3 répétitions

Les résultats représentent la somme des trois répétitions où chaque dose est divisée par 3. Les résultats égaux ou supérieurs à 50% sont pris en considération alors que les résultats inférieurs à 50% ne sont pas pris en compte car les résultats sont liés par une relation de corrélation directe. On voit la valeur la plus élevée à la dose de 200 μ l (de 98, 93%) et un faible pourcentage remarqué à la dose de 50 μ l (avec 73,72%).

IV-8 Milieu liquide (sans Agar-agar):

Après 7 jours de la culture de l'échantillon dans un milieu liquide (sans Agar-agar), on n'observe aucun changement dans les tubes à essais (Photo n°25)



Photo n°24: Résultats de culture en milieu liquide (sans Agar-agar)

(© Atailia et Bendjaouahdou 2023)

D'après notre expérience, l'huile essentielle a donné un bon résultat et une efficacité en utilisant un milieu solide (avec Agar-agar), alors qu'avec un milieu liquide (sans Agar-agar), nous n'avons obtenu aucun résultat. La culture des échantillons dans les tubes à essai n'a montré aucun changement après 7 jours de culture.

Les résultats de notre étude ont montré que l'huile essentielle de mandarine avait une forte activité antifongique contre les moisissures du blé. Nous avons observé une diminution significative de la croissance fongique dans tous les échantillons traités avec l'huile essentielle de la mandarine.

De plus, nous avons constaté que la concentration de d'huile essentielle avait un effet significatif sur l'activité antifongique. Les concentrations plus élevées avaient un effet plus fort sur la croissance fongique. Cependant, il y avait une limite supérieure à l'effet antifongique, au-delà de laquelle l'huile essentielle de mandarine n'avait plus d'effet supplémentaire.

Cette étude n'a jamais été effectuée auparavant par d'autres scientifiques, c'est pour cette raison qu'on n'a pu discuter les résultats obtenus avec d'autres travaux ultérieurs. Notre expérience a donné des résultats significatifs quant à l'utilisation de l'huile essentielle de la mandarine qui possède une bonne activité antifongique.

Les autres travaux ont été effectués sur l'activité antifongique de l'huile essentielle des fleurs sèches de *Lavandula officinalis* et son application sur les moisissures des légumes secs comme les travaux de LAIB, 2012.

Activité antifongique des huiles essentielles de quelques espèces de la famille des lamiaceae les travaux de HAFAYED, 2021.

Evaluation de l'activité antifongique de certaines huiles essentielles sur certaines moisissures de blé les travaux de ACHOUR., BOUDEBRBALA et BOURAS, 2004.

Activité antifongique des huiles essentielles de trois plantes aromatiques: *Lavandula stoechas* L., *Myrtus communis* L., *Pistacia lentiscus* L. en vue d'une valorisation phytopharmaceutique les travaux de HEZIL et REMMIT, 2018.

Conclusion

Les fongicides chimiques ont certainement permis d'augmenter les rendements agricoles et protéger les denrées stockées. Cependant, leur mauvaise utilisation a conduit à l'émergence à long terme de la résistance aux médicaments, ainsi qu'à la pollution de l'environnement. Par conséquent, la recherche constante de nouveaux produits antifongiques reste une exigence incontournable, de sorte que des stratégies de développement de nouvelles molécules à partir de matières végétales pourraient être intéressantes (**Amri et al., 2013**).

Notre étude a été réalisée au niveau de la station régionale de la protection des végétaux d'El kous , commune d'El Chatt où nous avons testé l'efficacité d'un produit bio, à savoir l'huile essentielle de la mandarine et son application aux moisissures du blé dur. Ce travail constitue une première et une initiation dans ce domaine de lutte biologique.

Après l'isolement de l'échantillon de blé dur, nous avons obtenu une souche de champignon de *Fusarium rosée*. Cette étude constitue une lutte biologique pour préserver l'environnement et la santé humaine.

Nous avons travaillé avec 5 doses de l'huile essentielle de la mandarine (de 10, 50, 100, 150 et 200 μ l) où nous avons remarqué une diminution du diamètre de champignon quand on augmente la dose de l'huile essentielle.

Le taux d'inhibition possède une relation de corrélation relative avec les différentes doses utilisées de l'huile essentielle de la mandarine. Le taux d'inhibition augmente avec l'augmentation de la dose de l'huile.

L'huile essentielle montre une efficacité très forte dans la lutte contre les moisissures de *Fusarium* de blé dans le milieu solide.

Par contre dans le milieu liquide, le milieu sans Agar-agar les résultats obtenus sont non significatifs et on ne remarque aucun changement, même dans le témoin.

Notre étude montre que l'huile essentielle de la mandarine peut être utilisée comme agent antifongique très efficace contre la moisissure du blé, ce qui peut avoir des implications importantes pour l'agriculture et la production alimentaire.

Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour déterminer l'efficacité de l'huile essentielle de mandarine dans différentes conditions environnementales et également pour évaluer ses effets sur la santé humaine et animale.

Enfin, nos recherches suggèrent que l'utilisation d'huile essentielle pourrait être une alternative naturelle aux pesticides chimiques pour la protection des cultures, nous pouvons apporter des solutions pour les maladies fongiques en agriculture.

Références bibliographiques

A

Abdelmadjid Hamadache, 2013 : Grande cultures; principaux itinéraires techniques des principales espèces de grandes cultures pluviales cultivées en Algérie et en Afrique du Nord (agriculture conventionnelle): LE blé ; P 3-18, 19-30, 49-60.

Abdelmadjid Hamadache, 2016 : Grandes cultures; principaux itinéraires techniques des principales espèces de grandes cultures pluviales cultivées en Algérie et en Afrique du nord (agriculture conventionnelle). Ressources Fourragères ; P 69-73, P 140, et P 260.

Abdelmadjid Hamadache, 2018 : Grandes cultures: principaux itinéraires techniques des principales espèces de grandes cultures pluviales cultivées en Algérie et en Afrique du Nord (agriculture conventionnelle). Protection raisonnée des grandes cultures ; P 6-10, 29-33, 77-78, 86-89, 122, 166-167.

Alem. K., Amrouche. D., 2016 : Études de l'activité antifongique de l'extrait aqueux des pépins du pomélo *citrus paradisi* (Rutaceae) vis-à-vis du *Fusarium tricinctum* du blé dur selon les modes in vitro et in vivo. Mémoire de master2.

Amri. I., Hamrouni. L., Hanana. M., Gargouri. S et Jamoussi. B, 2013 : Propriétés antifongiques des huiles essentielles de *Biota orientalis* L. Springer- Verlag France. Phytothérapie 1-5.

B

Bouزيد. N, 2008 : Principales maladies fongiques des céréales et des légumineuses en Tunisie, Centre de publication universitaire, P 65.

Benmehidi et Boukkabache, 2018 : Pépinière des principales maladies fongiques du blé dur dans la région de Constantine.

Botarela, 2012 : Blé tendre, froment (*Triticum aestivum*); épeautre, grand épeautre (*Triticum aestivum* subs p. *spelta*), P 12-13.

Boulal. H., Zaghouane. O., El mourid. M et Rezgui. S, 2007 : Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blé et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie), P21-22.

C

CNRS, 2011 : Communiqué de presse [en ligne] sur le thème domestication du blé, quand l'évolution des gènes fait bien les choses. Presse CNRS [T01449651] Presse@cnrs-dir.fr.

Cheurfi. A., Benhannachi. R, 2019 : Étude de quelques activités métaboliques des souches fongiques isolées à partir de Sebkhia d'EL Maghier de la région de Biskra Algérienne.

E

Eckwall. EC et Schottel. JL, 1998: Isolation and characterization of an antibiotic produced by the scab disease-suppressive streptomyces diastatochromogenes strain pon SSII. J Ind Microbiol biotechnol, P 19; P 522.

F

Feillet. P, (2000) : Le grain de blé composition et utilisation; paris, P312.

H

Hamlaoui .S., Benamer. K, 2018 : Étude comparative de quelques paramètres morphologiques et biochimiques chez sept variétés de blé dur (*Triticum durum. Desf*) dans la région de Constantine. Mémoire master : biologie et physiologie de la reproduction végétale. Constantine: université des frères Mentouri constantine, 76P.

Hamel. A, 2016 : Étude de l'antagonisme de *Trichoderma sp* vis-à-vis le *Fusarium sp* agent de la fusariose du blé en Algérie. Mémoire de master : moyen de lutte et bio régulateur. Boumerdès , 99P.

I

- **Institut National de la Protection des Végétaux, 2023** : La Fusariose des céréales.

- **International Journal of Food Microbiology, 2023** : P94; 329-334.

K

K. Bouakaz et Y. Oussaid, 2020 : Reconnaissance et identification des principales maladies cryptogamiques du blé et de l'orge.

L

L'ITGC et l'INPV en relation avec la firme syngenta en 2011, 2012 et 2013 et les travaux du département de botanique et de pathologie végétale relatives aux fusarioses des céréales en Algérie.

Laib Imène, 2012 : Étude des activités antioxydantes et antifongiques de l'huile essentielle des fleurs sèches de *Lavandula officinalis*: application aux moisissures des légumes secs.

Lis- Balchin. M, 2002: Lavender: the genus *lavandula*. Taylor and Francis, London; P37, 40, 50,155-200.

Lazzarini. A., Cavaletti. L., Toppo. G et Marinelli. F, 2001: Rare genera of Actinomycetes as potential producers of new antibiotics. Antonie van leeuwenhoek : 79P, 399-405.

M

Meghazi, 2015 : Activité antifongique de quelques huiles essentielles sur les moisissures du blé stocké.

Matougui et Benzagouta, 2020 : Évaluation de l'activité antifongique de l'huile essentielle d'*Eucalyptus glouulus* vis-à-vis de *Fusarium spp*. D'intérêt médical: Étude prospective.

Magan. N., et Olsen. M, 2004 :Mycotoxines in food: Detection and Control, Wood Head Publishing in Food Science and Technology; P 190-203.

N

Nasraoui. B, 2006 : Les champignons parasites des plantes cultivées, biologie, systématique, pathologie, maladies, chapitre 4: maladies. 363-427. Centre de Publication Universitaire, Tunisie.

Nasraoui. B, 2015 : Les champignons et pseudo champignons pathogènes des plantes cultivées: biologie, nouvelle systématique, interaction pathologique ; 199p.

Nguefacka. J., Leth. V., Amvam zollo. P.H et Mathur. S.B, 2004: Evaluation of five essential oils from aromatic plants of cameroon for controlling food spoilage and mycotoxin producing fungi.

O

Orilici . Z et Benkara. O, 2018 : Contribution à l'étude de la flore fongique des semences de blé dur de compagnie dans la région Nord de Constantine. Mémoire de master: Microbiologie, 83P.

R

Rezine et Boukezioua, 2021 : les champignons phytopathogènes du blé et les moyens de lutte.

Rotimi. V.O., B.E. Laughon, J.S. Barlet et H.A.Mosadomi 1988: Activity of Nigerian chewing sticks extracts against *Bacterioides gingivalis* and *Bacterioides melaninogenicus*. Thèse de Doctorat (1988), 119P.

S

Solter. P, 1988 : Les grandes productions végétales. Les collections sciences et techniques agricoles, ED. 16ème éditions, P464.

Station régionale de la protection des végétaux, 2023 : Présentation du site et Notice technique des céréales. www. profert. dz edition 5.2020.

T

Toutah. D, 2017 : Études Comparatives de l'activité antifongique de trois huiles essentielles et d'un traitement antimycosique de synthèse vis-à-vis de quelques dermatophytes.

Z

Zaghouane. O; Zaghouane-Boufenar.F ; Harkati.N et Makhlouf.M, 2005 : Procédés traditionnels et coûts de fabrication du frik de blé dur dans l'exploitation de la région des hauts-plateaux de Sétif P6, P7.

Sites consultés

- 1- <https://www.cairn.info/revue-herodote-2015-1-page-125.htm> consulté le 12/2/2023
- 2- <https://www.atlasbig.com/fr-fr/pays-par-production-de-blé> consulté le 12/2/2023
- 3- <https://fr.statista.com/infographie/26932/principaux-producteurs-de-blé-dans-le-monde/> consulté le 13/2/2023
- 4- <https://www.cairn.info/revue-herodote-2015-1-page-125.htm> consulté le 19/2/2023
- 5- <https://www.agenceecofin.com/céréales/0610-101795-Algérie-la-production-de-blé-pourrait-grimper-a-3-3-millions-de-tonnes-en-2022/2023#:~:text=En%20Alg%C3%A9rie%2C%20la%20r%C3%A9colte%20de,pays%20d'Afrique%20du%20Nord.> Consulté le 14/2/2023
- 6- <https://www.Algérie-eco.com/2022/07/13/céréales-l'Algérie-a-importé-106-millions-de-tonnes-durant-la-campagne-2021-2021/> consulté le 14/2/2023
- 7- <https://agrichem.dz/culture/5/%D8%A7%D9%84%D9%82%D9%85%D8%AD/> consulté le 14/2/2023
- 8- <https://agrichem.dz/48/les-fusarioses-infeodées-au-blé-en-Algérie/> consulté le 15/2/2023
- 9- <https://www.nasraouibouzid.tn/Livres/Livre6Francais.pdf> consulté le 15/2/2023
- 10- <https://www.agrireseau.net/lab/documents/Maladies%20c%C3%A9r%C3%A9ales%20et%20luzerne.pdf> consulté le 16/2/2023
- 11- <https://agronomie.info/%D8%A7%D9%86%D8%AA%D8%B4%D8%A7%D8%B1-%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%85%D8%B1%D8%A7%D8%B6-%D8%A7%D9%84%D9%86%D8%A8%D8%A7%D8%AA%D9%8A%D8%A9/> consulter le 16/2/2023
- 12- https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fusariose_du_bl%C3%A9 consulter le 17/2/2023
- 13- https://scholar.google.com/scholar?hl=fr&lr=lang_fr&as_sdt=0%2C5&q=fusarium+de+bl%C3%A9&oq=fusar#d=gs_qabs&t=1676309101573&u=%23p%3Duqcs8qqelaAJ consulté le 17/2/2023
- 14- <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR2021061503> consulté le 18/2/2023
- 15- <https://phyteis.fr/maladie/fusariose-de-lepi-du-ble> consulté le 6/3/2023
- 16- <https://agronomie.info/fr/le-genre-fusarium/> consulté le 6/3/2023