

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

en Sciences biologiques

Spécialité : Toxicologie

THEME

Inventaire mycologique et caractérisation des pathogènes fongiques associés au blé (*Triticum durum*)

Présenté Par :

M^{lle} : Atoussi NADA

M^{lle} : Bey WEDJDANE

M^{lle} : Chebrou NOUR EL HOUDA

M^{lle} : Lecheheb ABIR

Soutenue le : 11/06/2026

Devant le jury composé de :

Président	Mme RAMDHAN Farah	MCA	Université d'El Oued
Examineur	Mme BOUKHARI Dalal	MCA	Université d'El Oued
Promoteur	Mme MEKHADEMI Nour El houda	MCA	Université d'El Oued
Co-promoteur	Mme MLIK Randa	MCA	Université d'El Oued

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَعَلَى اللَّهِ تَوَكَّلْتُ

Résumé

Cette étude a porté sur l'isolement et l'identification des champignons associés aux grains de blé dur (*Triticum durum*) stockés dans la wilaya d'Adrar, ainsi que sur l'évaluation de l'activité antifongique des extraits hydro_méthanoliques de la menthe aquatique (*Mentha aquatica*) et de la menthe pouliot (*Mentha pulegium*). Les travaux ont été réalisés au laboratoire du Département de Biologie de l'Université Chahid Hamma Lakhdar d'El Oued. L'approche adoptée a reposé sur des analyses physiques, chimiques et microbiologiques des échantillons de blé, complétées par un criblage phytochimique qualitatif des extraits végétaux et l'évaluation de leur activité inhibitrice contre les souches fongiques isolées. Les résultats ont révélé une contamination fongique dans l'ensemble des échantillons analysés. Plusieurs genres fongiques ont été identifiés, dominés par *Aspergillus*, notamment *A. flavus* et *A. niger*, ainsi que par *Alternaria*, tandis que d'autres genres tels que *Fusarium* et *Penicillium* ont également été observés à des fréquences variables. D'autres genres, tels que *Stemphylium* et *Bipolaris*, ont également été détectés à des fréquences variables. Le rendement d'extraction a été plus élevé chez la menthe aquatique (14,28 %) que chez la menthe pouliot (12,72 %). L'analyse phytochimique a montré la présence de composés bioactifs tels que les tanins, les polyphénols et les terpènes dans les deux extraits, alors que sucres réducteurs n'ont été détectés que dans l'extrait de *Mentha aquatica*. Les deux extraits ont présenté une activité antifongique importante, augmentant avec la concentration. L'extrait de *Mentha pulegium* a enregistré le taux d'inhibition le plus élevé (90 %) contre *Alternaria sp2* à la concentration de 5 mg/ml. Les taux d'inhibition obtenus contre les espèces d'*Aspergillus* et de *Fusarium* ont dépassé 80 %, confirmant ainsi le potentiel de ces extraits, particulièrement celui de *Mentha pulegium*, comme alternative naturelle pour la protection des grains stockés contre les contaminations fongiques.

Mots-clés : Blé dur (*Triticum durum*), stockage, *Mentha aquatica*, *Mentha*

Abstract

This study aimed to isolate and identify fungi associated with stored durum wheat (*Triticum durum*) grains from Adrar Province and to evaluate the antifungal activity of hydro_methanolic extracts of water mint (*Mentha aquatica*) and pennyroyal mint (*Mentha pulegium*). The work was carried out in the laboratories of the Department of Biology at the University of Chahid Hamma Lakhdar, El Oued. The methodology included physical, chemical, and microbiological analyses of wheat samples, as well as qualitative phytochemical screening of the plant extracts and assessment of their inhibitory effects against the isolated fungal strains. The results revealed fungal contamination in all wheat samples analyzed. Several fungal genera were identified, with *Aspergillus* (particularly *A. flavus* and *A. niger*) and *Alternaria* being the most prevalent, while other genera such as *Fusarium* and *Penicillium* were detected at varying frequencies. Other genera, such as *Stemphylium* and *Bipolaris*, were also detected at varying frequencies. Extraction yield was higher for *Mentha aquatica* (14.28%) than for *Mentha pulegium* (12.72%). Phytochemical screening showed that both extracts contained bioactive compounds including tannins, polyphenols, and terpenoids, whereas Reducing sugars were detected only in *Mentha aquatica* extract. Both extracts exhibited strong antifungal activity that increased with concentration. The extract of *Mentha pulegium* achieved the highest inhibition rate (90%) against *Alternaria* sp2 at a concentration of 5 mg/mL. Inhibition rates against *Aspergillus* and *Fusarium* species exceeded 80%, highlighting the promising potential of these plant extracts, particularly *Mentha pulegium*, as natural alternatives for protecting stored grains against fungal contamination.

Keywords: Durum wheat (*Triticum durum*), storage, *Mentha aquatica*, *Mentha pulegium*, fungal contamination, antifungal activity.

الملخص

هدفت هذه الدراسة إلى عزل وتشخيص الفطريات المرتبطة بحبوب القمح الصلب المخزنة بولاية أدرار، وتقييم النشاط المضاد للفطريات للمستخلصين الهيدرو-ميثانوليين لنباتي النعناع المائي *Mentha aquatica* والنعناع البري *Mentha pulegium*. أنجزت هذه الدراسة بمخابر قسم البيولوجيا بجامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي، بالاعتماد على تحاليل فيزيائية وكيميائية وميكروبيولوجية لعينات القمح، إلى جانب دراسة المحتوى الفيتوكيميائي للمستخلصات النباتية واختبار فعاليتها ضد السلالات الفطرية المعزولة. أظهرت نتائج العزل الميكروبيولوجي وجود تلوث فطري في جميع عينات القمح المدروسة، حيث تم تشخيص عدة أجناس فطرية ملوثة، كان أكثرها شيوعاً جنس *Aspergillus* ممثلاً أساساً بالسلالتين *A. niger* و *A. flavus*، بالإضافة إلى أجناس *Alternaria* و *Fusarium* و *Penicillium*، مع تسجيل وجود أجناس أخرى مثل *Stemphylium* و *Bipolaris* بنسب متفاوتة. كما بينت نتائج الاستخلاص تفوق النعناع المائي بعائد استخلاص بلغ 14.28% مقارنة بالنعناع البري (12.72%). وكشف الفحص الفيتوكيميائي عن احتواء المستخلصين على العديد من المركبات الثانوية الفعالة، منها التانينات والبوليفينولات والتربينويدات، في حين تميز مستخلص النعناع المائي بوجود السكر المرجع. وفيما يتعلق بالنشاط المضاد للفطريات، أظهر المستخلصان فعالية تثبيطية ملحوظة ارتفعت بزيادة التركيز، حيث سجل مستخلص النعناع البري أعلى نسبة تثبيط بلغت 90% ضد فطر *Alternaria sp2* عند تركيز 5 ملغ/مل، كما تجاوزت نسب التثبيط المسجلة ضد فطريات *Aspergillus* و *Fusarium* نسبة 80%. وتؤكد هذه النتائج الإمكانيات الواعدة لمستخلصي النعناع، وخاصة النعناع البري، كمصادر طبيعية فعالة في مكافحة الفطريات الملوثة للحبوب المخزنة والحد من خسائر ما بعد الحصاد.

الكلمات المفتاحية: القمح الصلب (*Triticum durum*)، التخزين، *Mentha aquatica*، *Mentha pulegium*.

الفطريات الملوثة للحبوب، النشاط المضاد للفطريات.



Remerciements

Louange à Allah, le Seigneur des Mondes, qui nous a aidés par sa grâce et sa générosité à achever cette œuvre, et louange à Allah, qui a éclairé le chemin de la connaissance et de l'apprentissage pour nous, et que la paix et les bénédictions soient sur le plus honorable des Messagers, notre maître Muhammad, ainsi que sur toute sa famille et ses compagnons.

Nous adressons nos plus sincères remerciements et remerciements à notre professeur distingué, le **Dr. MEKHADEMI Nour El houda** directeur de cette note, et **Dr. MLIK Randa**, directrice adjointe, qui ne nous ont jamais épargnés leur sage accompagnement et leur longue patience tout au long de l'achèvement de cette recherche. Nous tenons à les remercier beaucoup pour leur soutien académique et moral, qui a eu un grand impact sur la réalisation de ce travail

Nous souhaitons également exprimer nos remerciements et notre reconnaissance à la vertueuse **Dr. ZAMOULI Nawal**, et lui adresser les plus hauts signes de gratitude pour la main d'aide toujours tendue, pour avoir accepté nos consultations et questions en tout temps avec un cœur généreux, et pour la grande et précieuse aide qu'elle nous a apportée, afin que Dieu la récompense de tout le meilleur et bénisse son savoir et son temps.

Nos sincères et sincères remerciements s'adressent à tout le personnel du laboratoire universitaire, qui nous a fourni les conditions appropriées et n'a pas hésité à fournir les installations nécessaires ainsi qu'une assistance technique et scientifique pour mener à bien l'aspect pratique de cette recherche.

En conclusion, nous souhaitons adresser nos remerciements et notre reconnaissance à l'Université d'El Wadi - Hama Lakhdar, avec tout son personnel administratif et pédagogique, qui a embrassé notre parcours académique et nous a offert un environnement scientifique fertile pour acquérir la science et les connaissances.

À tous, et à tous ceux qui ont contribué à l'accomplissement de ce travail, qu'ils soient proches ou lointains, j'adresse mes sincères remerciements et ma reconnaissance.

Merci



Dédicace

Qui a dit : « Je suis à elle », reçois-la, et je suis à elle, si elle refuse contre son gré, je l'amène.

Au nom de Dieu, le Très Miséricordieux, le Très Miséricordieux, louange à Dieu, amour et remerciement, gratitude pour le début et la fin, me voici aujourd'hui, grâce à Dieu, debout sur le seuil du rêve tant attendu. Le voyage n'a pas été court, et le chemin n'était pas pavé de fleurs, mais la persévérance m'a accompagné jusqu'au bout

Et avec tout mon amour, je dédie le fruit de ma réussite et de ma remise de diplôme :

- Moi-même d'abord -

À celle qui marchait sur un chemin difficile, et trébuchait souvent mais à chaque fois qu'elle choisissait de se relever, à l'âme qui portait silencieusement ses rêves, au cœur qui n'abandonnait pas le rêve de l'enfance malgré toutes les circonstances.

- Mon cher père -

À ma première fierté et soutien constant, à celui qui n'a pas incliné, et au cœur qui a rendu mon nom fier, qui m'a appris que la science est une arme invincible .

- Ma mère bien-aimée -

Au Jardin d'Éden, dont la supplication était le secret de mon succès, et dont la main tendre a enlevé les épines de mon chemin, qui m'a soutenu quand j'étais faible, à qui je préférais moi-même, ô vous qui étiez la lumière dans les ténèbres de ma lassitude .

- Chères sœurs -

À ces étoiles qui illuminent toujours mon chemin, et à l'épaule sur laquelle je m'appuyais quand mes pas étaient inclinés, à la sécurité sans laquelle je n'aurais pas pu arriver, à ceux avec qui je resserrais mes bras, et qui étaient des sources dont il fallait abreuver, {Maria , Israa , Zainab }

- Mes grands-parents et grands-mères .

Aux bonnes racines, à ceux qui nous ont inculqué l'amour de la science et de la vertu, à leur mémoire qui habite la conscience et leurs prières qui m'entourent toujours.

- Petites amies à vie -

À ceux qui ont partagé avec moi les étapes de ce chemin, et avec qui j'ai partagé les nuits, mes partenaires dans la fatigue, l'anxiété et le succès { Wedjdane , Nour El Houda , Abir , Rioua }.

Et à tous ceux qui m'ont aidé et soutenu.

Louange soit Dieu pour ce qu'Il m'a donné, pour m'aider avec ce qu'Il m'a enseigné, pour m'enseigner ce que je suis ignorant, et pour en faire un argument en ma faveur et non pour moi. J'espère que cela sera un phare pour moi et pour les autres .

Nada

(وَأَخِيرَ دَعْوَاهُمْ أَنْ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ)

Ô Dieu, louange à toi, louange à ceux qui sont reconnaissants, qui se souviennent, merci d'avoir rempli les cieux et la terre, qui a dit que j'ai compris, les étapes du succès ne sont pas encore terminées et ne cesseront pas de chercher, mais nous avons franchi l'une des étapes de la poursuite qui nous était fixée

À ceux qu'Allah Tout-Puissant a dit

(وَقُلْ رَبِّ ارْحَمْهُمَا كَمَا رَبَّيْنِي صَغِيرًا)

À ceux à qui Dieu a confié prestige et dignité, et à ceux qui m'ont soutenu sans limites et m'ont donné sans réciprocité, à ceux qui m'ont appris que le succès ne vient qu'avec patience et détermination, à ceux qui ont inculqué en mon âme la noble morale, mon premier soutien dans ma carrière et ma force après Dieu.

... Mon cher père...

À qui Dieu a fait le paradis sous ses pieds et a facilité l'adversité pour moi avec ses prières au cœur tendre, et la bougie que j'avais dans les nuits sombres est le secret de ma force et de mon succès et la lampe de mon chemin

... Chère mère...

À mes côtes fermes et à la sécurité de mes journées

À ceux avec qui j'ai renforcé mon soutien, et c'étaient des sources dont j'ai arrosé jusqu'à la plus belle de mes jours et les ai filtrées jusqu'à la prunelle de mes yeux, mon cher frère **Ayoub**, mes chères sœurs, **Sara, Retadj**.

À tous ceux qui ont été d'aide et de soutien de cette manière... Aux amis et compagnons fidèles de longue date, qui traversent l'adversité et les crises, **Nada, Wedjdane, Abir, Rioua**

À celui qui m'a rempli de ses sentiments et de ses conseils sincères, mon cher grand-père **Lazhari**

À l'âme pure qui nous a quittés et vit encore en nous, qui a été soutien, prière et un cœur chaleureux à chaque pas de mon cher **Said** grand-père, **Boubakar**, que Dieu ait pitié d'eux

... Voici ma famille...

Je vous dédie cet accomplissement et le fruit de mon succès que j'ai toujours souhaité, me voici aujourd'hui j'ai accompli et achevé ses premiers fruits grâce à lui Tout-Puissant

Louange à Dieu pour ce qu'il m'a donné, pour m'avoir bénie et pour avoir pris soin de moi où que je sois, qui a dit que j'étais pour elle, j'ai compris

Et je suis pour elle, et si elle est venue contre sa volonté, je lui ai apporté, Dieu merci, merci, amour et gratitude pour le début et la fin.

Et la dernière de nos prières est de remercier Dieu, le Seigneur des mondes.

Nour El Houda

Il est temps pour moi d'être fier.

..... À moi-même....

Je suis fier parce que vous vous êtes levé et avez terminé la marche malgré la fatigue, je suis fier de votre force, de votre silence et de votre patience, je suis fier de chaque moment de réfraction où votre œil a larmoyé puis accompli, même si personne ne l'a vu. C'est suffisant pour moi de le voir, c'est une vraie victoire.

.... À mon père....

Je dédie ma remise de diplôme à toi, chaque pas que j'ai franchi est le fruit de tes pas, et chaque succès que je connais aujourd'hui est le fruit de ton travail acharné, de ton amour, cette remise des diplômes n'est pas mon seul témoignage, mais c'est la fatigue de tes années, ton ardeur et ton amour silencieux, qui m'ont suffi pour mille mots, « **Bey Nacer El Dine** »

.... À ma mère....

Cette remise des diplômes n'est pas seulement mon témoignage, mais c'est le fruit de tes yeux vigilants, de la patience de ton cœur et de tes prières qui m'ont élevé chaque fois que je trébuchais. Tu étais ma patrie quand le monde était étroit, ma force quand j'étais faible, et mon espoir quand j'avais peur, je te dédie cette réussite avec fierté, car tu es le début... Et tu arrives « **Bey Souraya** »

.... À mes sœurs et frères

Les sœurs sont les meilleures amies qu'on puisse avoir toute sa vie, grâce à leur foyer, une vie, une âme, un refuge, une inspiration et une vie pour la vie, et ce qui est l'une pour ses frères pour ceux que j'ai renforcés mon soutien, pour qu'ils soient une ombre, une sérénité et un soutien.

Merci d'avoir fait partie de ma vie « **Abdel Rahman, Iman, Najah, Ikram, Akram, Thamer** »

Que Dieu nous enrichisse avec notre famille en existence, en sentiments et en bruit

.... Au compagnon du chemin....

Mon médecin et fiancé **Salemi Salem Djassem** merci d'être mon épaule constante... merci d'être dans ma vie... merci... et merci pour tout... pour le passé et pour l'avenir

.... À mes amis...

Merci car tu as fait partie de mes jours de force et l'une des plus belles années de ma vie. Nous avons vécu des moments simples, mais aujourd'hui c'est devenu nos plus grands souvenirs, même les conflits et la colère entre nous ont un goût particulier, et si tu laisses autour de moi, tu resteras en moi un souvenir qui ne sera jamais oublié « **Nada, Abir, Nour El Houda, Rioua** »

.... Enfin....

Merci, oh mon Dieu, tu as créé pour moi tout ce qui est beau à partir d'événements, de personnes et d'opportunités, et tu as rempli la bénédiction de toutes mes affaires de bénédictions

Tu es louable jusqu'à ce que les louanges atteignent leur fin

Jouda Tira

"وَقُلْ اَعْمَلُوا فَسَيَرَى اللّٰهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ وَسَتَرْجُونَ اِلَى عَالَمِ الْغَيْبِ وَالشَّهَادَةِ فَيُنَبِّئُكُمْ بِمَا كُنْتُمْ تَعْمَلُونَ"

Grâce à Dieu, grâce à Lui, les objectifs sont atteints après L'avoir utilisé et terminé le chemin par Son succès et réalisé le rêve grâce à Lui, le chemin n'a pas été court et la route n'a pas été remplie d'installations. Mais je l'ai fait, grâce à Dieu qui a facilité les débuts pour nous et nous avons atteint les fins grâce à Sa générosité.

Je dédie ce succès d'abord à moi-même, puis à tous ceux qui ont cherché à accomplir ce parcours avec moi, tant que vous serez un soutien pour moi, pas pour toute une vie.

Et avec tout mon amour, je dédie le fruit de mon succès

À ceux que Dieu a bénis de dignité et de dignité, à ceux qui ont orné mon nom des plus beaux titres, à ceux qui m'ont soutenu sans limites, à ceux qui m'ont appris que le monde est une lutte et que son arme est la science et la connaissance, à ceux qui ont inculqué en mon âme la noble morale, mon premier soutien dans mon chemin, et mon soutien et ma force après Dieu, à ma fierté et ma force.

Cher Père : Mosbah

À qui Dieu a fait le paradis sous ses pieds, a embrassé mon cœur devant sa main et a facilité l'adversité pour moi avec ses prières au cœur tendre

Et la bougie que j'avais dans les nuits sombres est le secret de ma force et de mon succès

Chère maman : Farida

À mes côtes fermes et à la sécurité de mes jours, à ceux avec qui je resserrais mes bras, et c'étaient des sources dont je me suis jeté jusqu'au plus beau de mes jours, et leur mystique pour la prunelle de mes yeux.

« **Mes chers frères et sœurs.** »

D'une **manière « spéciale »**

Je dédie les fruits de mes efforts à ceux qui m'ont aidé et soutenu de cette manière... À la femme de l'adversité et des crises, à ceux qui m'ont submergé de ses sentiments sincères et de ses conseils, à ceux qui contenaient mes rêves et espoirs, et à moi quand mes pas trébuchaient, à **ma chère sœur** et mon amie d'âme, **Rania**.

À ceux qui sont absents de mes yeux et présents dans mon cœur, chaque étape de réussite que je ressens est due à vos prières, et que votre âme bénisse mon chemin, **que Dieu ait pitié de vous**

À mes compagnons de voyage, à mes amis qui ont rendu ce voyage plus agréable, merci pour chaque instant, pour chaque mot encourageant, et pour tous les beaux souvenirs que nous avons partagés. Merci d'être dans ma vie , **Wedjdane, Nada, Houda, Rioua**

Je dédie cette réussite et le fruit de mon succès que j'ai toujours souhaité

Me voici aujourd'hui, j'ai complété et complété les premiers fruits grâce à Lui Tout-Puissant, louange à Dieu pour ce qu'Il m'a donné et pour m'avoir fait béni où que je sois, louange à Dieu, grâce à Dieu, amour et gratitude pour le commencement et la fin, et la dernière de nos prières est que louange soit à Dieu, Seigneur des mondes.

Abir

Tableau de matière

N°	Titre	Page
1	Distribution histologique des principaux constituants du grain du blé.	3
2	Classification du Blé	6
3	La classification botanique de la menthe.	26
4	Composition chimique de l'HE de <i>Mentha pulegium</i> .	30
5	Caractéristique des échantillons de blé étudiés selon la zone de collecte, la variété et le mode de stockage.	46
6	Résultats du criblage phytochimique qualitatif des extraits EMMP et EMMA	55
7	Résultat Profile Phytochimique.	56
8	Résultats d'humidité (HR).	57
9	Résultats de Ph.	57
10	Type de champignons dans les échantillons étudiés	59
11	Vitesse de croissance mycélienne (VC) et taux d'inhibition de <i>Aspergillus flavus</i> en présence des extraits EMMP et EMMA	91
12	Vitesse de croissance mycélienne (VC) et taux d'inhibition de <i>Stemphylium sp.</i> En présence des extraits EMMP et EMMA	91
13	Vitesse de croissance mycélienne (VC) et taux d'inhibition de <i>Alternaria sp2.</i> En présence des extraits EMMP et EMMA	91
14	Vitesse de croissance mycélienne (VC) et taux d'inhibition de <i>Aspergillus niger</i> en présence des extraits EMMP et EMMA	92
15	Vitesse de croissance mycélienne (VC) et taux d'inhibition de <i>Alternaria sp1.</i> En présence des extraits EMMP et EMMA	92

Figures sommaire

N°	Titre	Page
1	Carte de diffusion de la culture du blé-dates par rapport à aujourd'hui.	1
2	Cycle biologique du blé.	2
3	Un grain de blé en coupe longitudinale.	4
4	Cycle végétal du blé.	5
5	Feuille de blé infectée par la septoriose (<i>S tritici</i>).	8
6	Symptômes de la rouille brune due à <i>Puccinia triticina</i> .	9
7	Feuille de blé infectée par la rouille jaune <i>Puccinia striiformis</i> .	9
8	Tige du blé infectée par la rouille noire <i>Puccinia graminis</i> f.sp. <i>tritici</i>	9
9	L'oïdium sur épi et feuille de blé.7	10
10	Feuille du blé infectée par la tache auréolée <i>Pyrenophora tritici-repentis</i> .	10
11	Charbon nu du blé <i>Ustilago tritici</i> .	11
12	L'épi du blé carié.	11
13	Illustration de la fission binaire et du bourgeonnement chez les levures.	12
14	Illustration des différentes étapes de la sporulation chez <i>Saccharomyces paradoxus</i>	13
15	Illustration de la reproduction sexuée chez les ascomycètes.	13
16	Fusariose des céréales (blé).	14
17	<i>Aspergillus</i> est l'une des espèces communes d' <i>Aspergillus</i> .	15
18	Caractères macroscopiques de <i>Penicillium chrysogenum</i> .	16
19	Caractères microscopiques de <i>Penicillium chrysogenum</i> .	17
20	Spores d' <i>Alternaria solani</i> , Notez les cloisons transversales.	17
21	Structure générale des aflatoxines.	20
22	Les structures chimiques d'aflatoxine M1 et M2.	21
23	Chemical structure of ochratoxin A (OTA).	21
24	Chemical structure of zearalenone (ZEA).	22
25	La structure chimique de <i>Mentha</i>	26
26	<i>Mentha pulegium</i> (Menthe Pouliot)	29
27	La structure chimique de <i>pulegium</i>	30
28	La structure chimique de l'isomenthone	31
29	<i>Mentha aquatica</i>	33
30	La structure chimique de linalyle.	35
31	La structure chimique de linalool.	35
32	La structure chimique de carvacrol.	36

33	La structure chimique de 1,8-cinéole.	37
34	La situation géographique et administrative de la région d'Adrar.	45
35	Différentes méthodes de stockage du blé.	47
36	Différents aspects morphologiques des grains de blé étudiés.	47
37	Détermination de l'humidité du blé.	48
38	Détermination du pH du blé.	49
39	Stérilisation superficielle des semences.	50
40	Étapes d'ensemencement de grains de blé sur le milieu PDA.	50
41	Préparation du milieu PDA.	51
42	L'apparition des colonies de moisissure.	51
43	Purification et isolement des souches fongiques.	52
44	Résultat Profile Phytochimique	56
45	Vitesse de croissance mycélienne (VC) de <i>Aspergillus flavus</i> en présence des extraits EMMP et EMMA	64
46	Percentages d'inhibition de <i>Aspergillus flavus</i> en présence des extraits EMMP et EMMA	64
47	Vitesse de croissance mycélienne (VC) de <i>Stemphylium</i> sp. En présence des extraits EMMP et EMMA	65
48	Percentages d'inhibition de <i>Stemphylium</i> sp. En présence des extraits EMMP et EMMA	65
49	Vitesse de croissance mycélienne (VC) de <i>Alternaria</i> sp2. En présence des extraits EMMP et EMMA	66
50	Percentages d'inhibition de <i>Alternaria</i> sp2. En présence des extraits EMMP et EMMA	66
51	Vitesse de croissance mycélienne (VC) de <i>Aspergillus niger</i> en présence des extraits EMMP et EMMA	66
52	Percentages d'inhibition de <i>Aspergillus niger</i> en présence des extraits EMMP et EMMA	66
53	Vitesse de croissance mycélienne (VC) de <i>Alternaria</i> sp1. En présence des extraits EMMP et EMMA	67
54	Percentages d'inhibition de <i>Alternaria</i> sp1. En présence des extraits EMMP et EMMA	67
55	Analyse en Composantes Principales ACP des souches fongiques	68
56	Carte thermique (Heatmap) de l'efficacité d'inhibition par traitement et par souche.	70

Liste des abréviations

Abréviations	Signifie
PDA	Potato Dextrose Agar
pH	Potentiel hydrogene
HR	Humidité relative
Mg	Manganèse
ml	Milli litre
mg	Miligramme
g	Gramme
nm	Nanomètre
m	Mètre
Km	Kilomètre
h	Heure
°C	Degré Celsius
%	Pourcentage
R%	Rendement
I (%)	Pourcentage d'inhibition
VC	Vitesse de la croissance mycélienne
DMSO	Diméthylsulfoxyde
EMMP	Extrait méthanolique de <i>Mentha pulegium</i>
EMMA	Extrait méthanolique de <i>Mentha aquatica</i>

Sommaire

Résumé

Abstract

الملخص

Remerciements

Dédicace

Tableau sommaire

figures sommaire

Liste des abréviations

Sommaire

Introduction

Partie I : Synthèse Bibliographique

CHAPITRE 1 : Généralités sur le Blé

I.1. Historique et origine.....	1
I.2. Importance du blé	1
I.2.1. Dans le monde	1
I.2.2. En Algérie	2
I.2.3. A adrar.....	2
I.3. Cycle biologique.....	2
II. Description du blé.....	2
II.1. Caractéristiques morphologiques	2
II.1.1. Grain	2
II.1.2. Appareil végétatif.....	4
II.1.3. Appareil reproducteur.....	5
II.2. Différents stades de développement de blé	5
II.3. Exigences agro-écologiques.....	6
II.3.1. Exigences en eau.....	6
II.3.2. Exigences en température	6
II.3.3. Exigences en sols.....	6
II.3.4. Exigences en photopériode	6
III. Classification du blé.....	6
III.1. Classification botanique	6
III.2. Classification génétique	7
IV. Maladies du blé.....	7
IV.1. Types de maladies.....	7
IV.2. Maladies les plus rencontrées du blé	8
IV.2.1. Les septorioses.....	8
IV.2.2. Rouilles.....	8
IV.2.3. Oïdium	10
IV.2.4. Tache auréolée	10
IV.2.5. Charbon nu.....	11
IV.2.6. Carie commune	11
V.1. Morphologie et cycle de reproduction.....	12

V.1.1. Reproduction asexuée	12
V.1.2. Reproduction sexuée	13
V.2. Genres à potentiel toxique.....	14
V.2.1. <i>Fusarium</i>	14
V.2.2. <i>Aspergillus</i>	14
V.2.3. <i>Penicillium</i>	15
V.2.4. <i>Alternaria</i>	17
VI. Facteurs favorisant la prolifération fongique	17
VI.1. Facteurs physiques et chimiques.....	17
1/ Température	18
2/ pH	18
4/ Aw.....	18
5/ Nutriments	18
VI.2. Facteurs de stockage	19
VI.3. Facteurs agronomiques.....	19
VII. Toxicologie de mycotoxine.....	19
VII.1. Définition	19
VII.2. Principales classes de mycotoxines.....	19
VII.2.1. Aflatoxine	19
VII.2.2. Ochratoxines	21
VII.2.3. Zearalenone	21
VII.3. Mécanisme d'action de mycotoxines	22
CHAPITRE 2 : Généralités sur le genre <i>Mentha</i>	
I. Description de la plante de la Menthe.....	25
I.1. Généralités	25
I.2. Etude botanique	26
I.3. Caractéristiques du genre <i>Mentha</i>	26
I.4. propriétés bioactives	27
I.5. Usages de la menthe	27
I.5.1. Usages médicaux de la plante.....	27
II. Propriétés des plantes étudiées.....	28
II.1. <i>Mentha pulegium</i>	28
II.1.1. Origine et répartition géographique	28
II.1.2. Description botanique.....	29
II.1.3. Propriétés et emplois.....	29
II.1.4. Composition chimique	30
II.1.5. Propriétés biologiques de l'huile essentielle de <i>Mentha pulegium</i>	30
II.1.6. Toxicologie	32
II.2. <i>Mentha aquatica</i>	32
II.2.1. Origine et répartition géographique	32
II.2.2. Description botanique.....	33
II.2.3. Propriétés et emplois.....	33
II.2.4. Composition chimique	35
II.2.5. L'effet de <i>Mentha aquatica</i> comme insecticide	35
II.2.6. Toxicologie	37

Partie II: Partie expérimentale

CHAPITER 1: Matériels et Méthodes

I. La menthe	41
I. 1. Description de la Plante étudier	41
I. 1.1 Emplacement géographique de la collecte d'échantillons.....	41
I. 1.2 <i>Mentha aquatica</i> : Menthe d'eau	41
I. 1.3 <i>Mentha pulegium</i> : Fleo	41
I. 2. Préparation des extraits.....	41
I. 3. Calcul du rendement d'extraction.....	42
I. 4. Screening phytochimique.	42
I. 4. 1. Test des polyphénols.....	43
I. 4. 2. Test des flavonoïdes.....	43
I. 4. 3. Test des tannins.....	43
I. 4. 4. Test des sucres réducteurs	43
I. 4. 5. Test des saponosides	43
I. 5. Dosage des composées phytochimiques	43
I. 5.1 Dosage des polyphénols totaux (PPT).....	43
I. 5. 2. Dosage des flavonoïdes Totaux (FVT)	44
I. 5. 3. Dosage des concentrations de tanins condensés :	45
II. Les solvants des champignons associés de stockage de blé	45

II. 1. Description de la zone d'étude d'Adrar.....	45
II. 2. caractéristiques morphologiques des grains de blé étudiés	47
II. 3. Echantillonnage.....	47
II. 3.1. Choix des échantillons	48
II. 4. Analyses physicochimiques	48
II. 4.1. Détermination de l'humidité relative (HR).....	48
II. 4.2. Détermination du pH	49
II. 5. Préparation de l'échantillon.....	49
II. 5.1. Méthode d'Ulster.....	49
II. 5. 2. Stérilisation superficielles des semences	49
II. 5. 3. Méthode d'Ulster modifiée :	50

CHAPITRE 2: résultats et discussion

I. Rendement d'extraction des extraits de Mentha	55
II. Résultats du criblage phytochimique	55
II.1. Mise en évidence des métabolites secondaires	55
II.2. Dosage des composés phytochimique.....	55
III. Résultats des analyses physicochimique du blé.....	57
III.1. Teneur en humidité (HR)	57
III.2. Ph des échantillons	57
IV. Résultats de l'analyse microbiologique	59
IV.2. Genre <i>Alternaria</i>	60
IV.3. Genre <i>Aspergillus</i>	60
IV.4. Genre <i>Fusarium</i>	61
IV.5. Genre <i>Trichoderma</i>	62

IV.6. Genre <i>Penicillium</i>	62
IV.7. Genre <i>stimpfii</i>	63
IV.8. Genre <i>bipolaris</i>	63
V. Résultats de la vitesse de la croissance mycélienne (VC)	64
Discussions.....	71
Conclusion	
Référence	
Annexes	



Introduction

Introduction

L'étude de la qualité du durum (*Triticum durum*) est très importante, étant donné les risques que la contamination innée pendant le stockage pose pour la sécurité alimentaire et la santé publique. Cette étude vise à évaluer la situation microbiologique du blé dans l'état d'Adrar et à explorer la possibilité d'utiliser des extraits de *Mentha aquatica* et de *Mentha pulegium* Comme alternatives naturelles pour combattre ces infirmières (**Ammar, 2015**).

Le travail est divisé en deux parties intégrées ; la première est consacrée au cadre théorique à travers deux chapitres : la première traite des propriétés agricoles du blé et de ses agents pathogènes fongiques les plus importants, tandis que la seconde passe en revue les propriétés chimiques et biologiques des plants de menthe et leur capacité à fixer les champignons.

La deuxième partie se concentre sur l'aspect appliqué, où le troisième chapitre présente la méthodologie utilisée dans l'échantillonnage, l'extraction chimique et le diagnostic microbiologique. Le quatrième et dernier chapitre est consacré à la présentation et à la discussion des résultats, à l'évaluation de l'efficacité des extraits dans l'inhibition des champignons isolés, et conduit à des conclusions sur la faisabilité de ces solutions biologiques dans la conservation des céréales.

Dans ce contexte, la présente étude intitulée « Inventaire mycologique et caractérisation des pathogènes fongiques associés au blé (*Triticum durum*.) vise à isoler, identifier et caractériser les principales espèces fongiques associées au blé dans la région étudiée. Cette étude a également pour objectifs d'évaluer la diversité mycologique des isolats obtenus et de contribuer à une meilleure compréhension des maladies fongiques affectant cette culture.

Les résultats obtenus pourraient constituer une base scientifique utile pour le développement de stratégies de lutte intégrée plus efficaces et durables, contribuant ainsi à l'amélioration de la production céréalière et à la protection phytosanitaire du blé dans les conditions agroécologiques algériennes (**Schumann & D'Arcy, 2010 ; Lamara, 2025**).



Partie I

Synthèse Bibliographique

CHAPITRE 1

Généralités sur le blé

I.1. Historique et origine

La découverte du blé remonte à environ 15 000 ans dans le croissant fertile, où l'engrain (*Triticum monococcum*) fut progressivement domestiqué entre 9500 et 8500 av. J.-C. Depuis, le blé est devenu une céréale essentielle dans l'alimentation humaine, tout en conservant un intérêt génétique important à travers certaines espèces sauvages encore étudiées.

Au fil du temps, le blé a aussi acquis une valeur symbolique liée à la fertilité et à l'agriculture. Le genre *Triticum* regroupe différentes espèces classées selon leur niveau de ploïdie : diploïdes ($2n = 14$), tétraploïdes ($2n = 28$) et hexaploïdes ($2n = 42$) (**Bourenane & Nechla, 2009**).

I.2. Importance du blé

I.2.1. Dans le monde

Les céréales, notamment le blé, font partie des principales productions agricoles mondiales et constituent l'alimentation de base d'environ 35 % de la population. Le blé occupe la troisième place mondiale en termes de production, après le riz et le maïs. (**Hamel, 2010**).

Dans la région méditerranéenne, avec une production d'environ 36 millions de tonnes et un rendement atteignant 7 t/ha. D'autres pays méditerranéens, ainsi que l'Arabie Saoudite, ont également enregistré une amélioration des rendements du blé (**Jacquemin, 2012**).

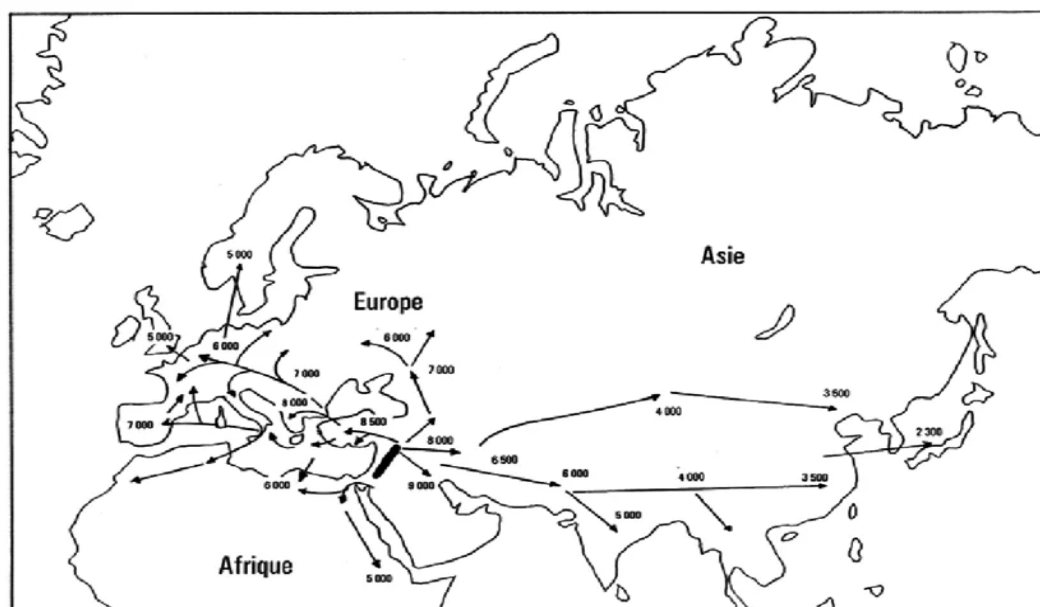


Fig 1 : Carte de diffusion de la culture du blé-dates par rapport à aujourd'hui (Bonjean, 2001).

I.2.2. En Algérie

Actuellement, l'Algérie est parmi les principaux importateurs de blé et reste dépendante du marché international, une situation qui pourrait perdurer en raison des faibles rendements agricoles et de l'augmentation de la consommation liée à la croissance démographique (Nadjem, 2012).

I.2.3. A adrar

La wilaya d'Adrar a connu une extension des superficies céréalières sous pivot avec une amélioration progressive des rendements, passant d'environ 30 q/ha (2000–2012) à 45 q/ha actuellement, avec des valeurs de 42,79 à 45,25 q/ha entre 2019 et 2022. Malgré cette progression, les rendements restent jugés insuffisants par rapport à ceux obtenus en conditions pluviales à Sétif, atteignant environ 45 q/ha (Derbal *et al.*, 2015).

I.3. Cycle biologique

Le cycle de développement du blé comprend deux grandes phases : une phase végétative, qui englobe la germination, le prétaillage et le tallage, ainsi qu'une phase reproductrice comprenant le redressement, la montaison, l'épiaison, la floraison et la maturation (Henry & Buyser, 2000).

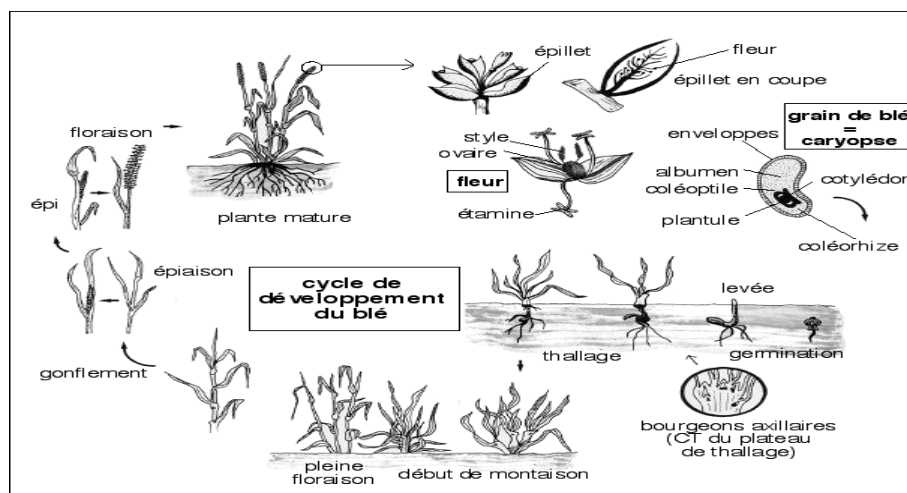


Fig 2 : Cycle biologique du blé (Henry & Buyser, 2000).

II. Description du blé

II.1. Caractéristiques morphologiques

II.1.1. Grain

Le grain de blé est composé de trois parties principales : le germe, l'albumen et les enveloppes. Il est principalement constitué d'amidon (environ 70 % de la matière sèche) localisé surtout dans l'albumen, de protéines (10 à 15 %) réparties dans tout le grain avec une

concentration plus élevée dans le germe et la couche à aleurone, ainsi que de pentosanes (2 à 3 %) qui forment l'essentiel des parois cellulaires de l'albumen (**Debiton, 2011**).

▪ **Le germe** : résulte de la fusion des gamètes mâle et femelle. Il est constitué, d'une part, de l'axe embryonnaire, à l'origine de la tigelle, du mésocotyle et de la radicule, et d'autre part du scutellum, qui correspond au cotylédon (**Evers & Millar, 2002 ; Surget & Barron, 2005**).

▪ **L'albumen** : constitue un tissu de réserve caractérisé par une forte teneur en protéines. Les cellules de l'albumen amylopectique présentent des parois fines et peuvent être réparties en trois grandes catégories (**Evers & Millar, 2002**).

- Les cellules périphériques situées sous la couche à aleurone et mesurant 60µm
- Les cellules prismatiques situées sous les cellules périphériques qui mesurent entre 128-200µm de long et 40-60µm de large
- Les cellules situées dans la partie centrale de l'albumen qui sont de forme arrondie ou polygonale mesurant entre 72-144µm de long et 69-120µm de large.

▪ **Les enveloppes** : du grain de blé sont constituées de six tissus distincts : l'épiderme du nucelle, le tégument séminal, les cellules tubulaires, les cellules croisées, le mésocarpe et l'épicarpe. Elles représentent environ 13 à 17 % de la composition du grain (**Feillet, 2000**).

Tableau 01 : Distribution histologique des principaux constituants du grain du blé. (Sara et al., 2008)

	Grain	Péricarpe		Aleurone		Albumen		Germe	
	G%	T%	G%	T%	G%	T%	G%	T%	G%
Protéines	13.7	10	4.4	30	15.3	12	73.5	31	6.8
Lipides	2.7	0	0	9	23.6	2	62.9	12	13.5
Amidon	68.9	0	0	0	0	82	100	0	0
Sucres réducteurs	2.4	0	0	0	0	1.8	62.7	30	37.3
Pentosanes	7.4	43	35.1	46	43.8	1.6	18.3	7	2.9
Cellulose	2.8	40	87.1	3	7.6	0.1	3.1	2	2.2
Minéraux	1.9	7	22.6	12	43.6	0.5	22.6	6	9.7

- **G%** = % du constituant dans le grain

- **T%** = % du constituant dans le tissu ;

- **(1) %** du tissu dans le grain.

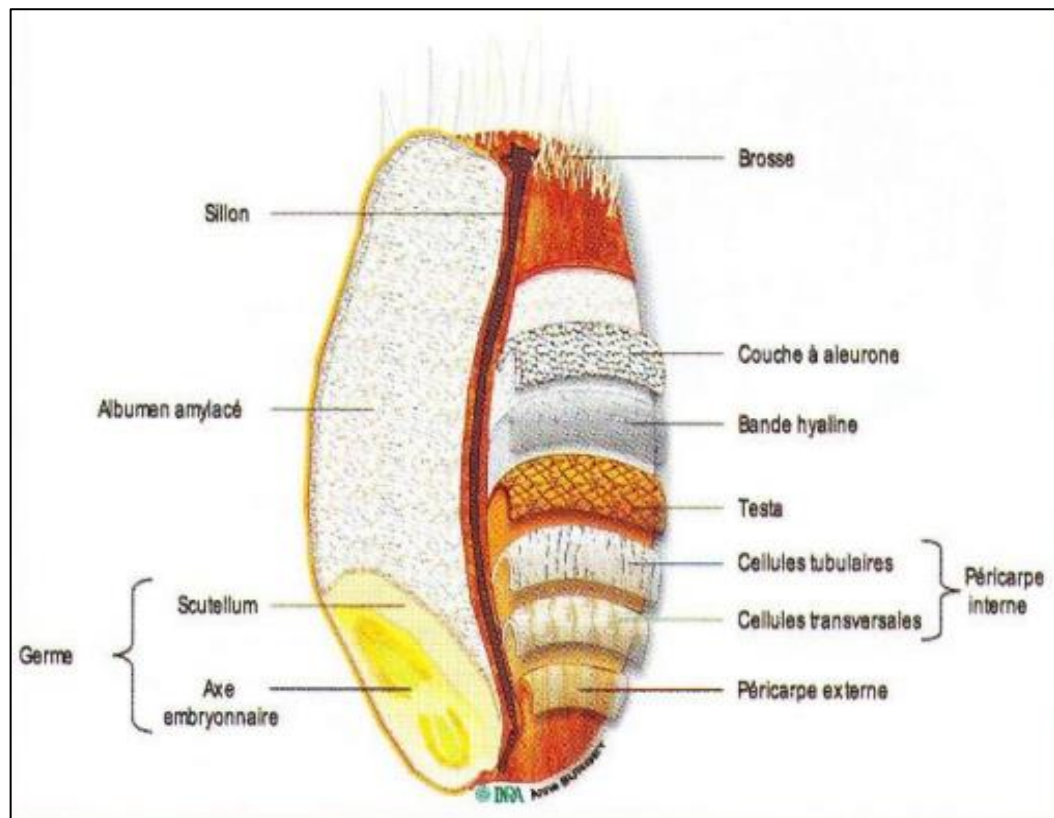


Fig 3 : un grain de blé en coupe longitudinale.1

II.1.2. Appareil végétatif

L'appareil végétatif du blé se compose, dans sa partie souterraine, d'un système racinaire, tandis que la partie aérienne est constituée de tiges creuses appelées chaumes, portant des feuilles engainantes (**Bednarek, 2013**).

II.1.2.1. Système racinaire

D'après **Belaid, 1996** toute céréale, dispose au cours de son développement de deux systèmes racinaires consécutifs :

-Le système racinaire primaire: Le système racinaire est actif de la germination jusqu'au début du tallage. La racine principale disparaît rapidement et est remplacée par des racines adventives assurant la nutrition et la croissance de la plante.

-Le système racinaire secondaire: apparaît lors de l'émission des talles. Il est de type fasciculé et se développe de manière importante.

II.1.2.2. Le système aérien

Le système racinaire fonctionne de la germination au début du tallage, puis la racine principale est remplacée par des racines adventives assurant la nutrition de la plante. (**Bednarek, 2013**).

II.1.3. Appareil reproducteur

Le grain de blé est un grain nu dont la couleur varie selon la variété. Il présente une face plane avec un sillon médian et une face convexe portant le germe à sa base (**Aidani, 2015**).

II.2. Différents stades de développement de blé

- **Levée** : Apparition de la première feuille qui traverse la coléoptile.
- **Début tallage** : La plante possède 3 à 4 feuilles et le tallage débute avec l'apparition de la première talle.
- **Plein tallage** : Les plantes développent des talles successives et atteignent le plein tallage lorsque plusieurs talles sont formées.
- **Épi à 1 cm** : **Les plantes se redressent** : Le stade « épi à 1 cm » marque le passage du tallage à la montaison.
- **Gonflement** : L'apparition de la dernière feuille est suivie de la montée de l'épi dans la gaine, entraînant un renflement appelé gonflement.
- **Épiaison** : S'étend de l'apparition des épis à la sortie complète de tous les épis hors de la gaine de la dernière feuille.
- **Floraison** : Apparition des étamines hors des épillets. C'est la fin de la montaison, la croissance des tiges est terminée.
- **Formation du grain** : Cette période comprend trois stades :
 - Grain laiteux : À ce stade, les enveloppes du grain se forment et sa taille est déterminée.
 - Grain pâteux : Le poids de 1000 grains est acquis grâce au remplissage des grains, environ 300°C après le stade laiteux (750°C depuis l'épiaison).
 - Grain mûr : Obtenu après la dessiccation du grain (**Hamadache, 2001**).

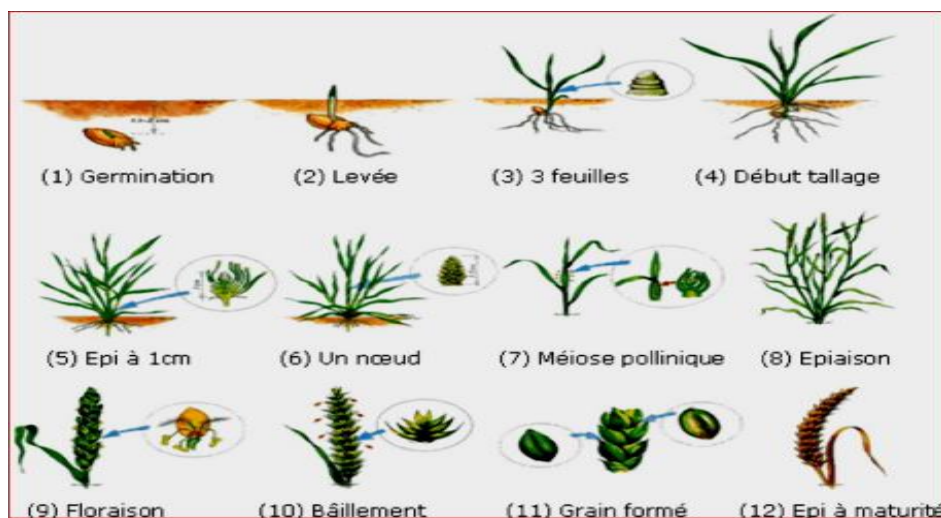


Fig4 : Cycle végétal du blé.2

II.3. Exigences agro-écologiques

II.3.1. Exigences en eau

L'eau est essentielle à la croissance du blé, avec des besoins particulièrement élevés durant la période allant du stade « épi 1 cm » jusqu'à la floraison, qui est la phase la plus critique du développement (Laib, 2011).

II.3.2. Exigences en température

Elle doit être comprise entre - 6°C et +20°C. L'idéal étant un temps chaud avant la croissance et des conditions d'ensoleillement au cours des étapes ultimes (Zeitoun, 2011).

II.3.3. Exigences en sols

Le blé est une plante herbacée qui se développe favorablement dans des sols limono-argileux profonds et riches en colloïdes. La profondeur idéale varie de 12 à 25 cm dans les sols limoneux et de 20 à 25 cm dans les autres types de sols (Chellali, 2007 ; Laib, 2011).

II.3.4. Exigences en photopériode

Le blé nécessite une photopériode d'environ 12 heures par jour pour initier l'élongation des épis. En dessous de cette durée, la formation des épillets est limitée et la plante poursuit surtout son développement végétatif. (Simon *et al.*, 1989).

III. Classification du blé

III.1. Classification botanique

Le blé appartient à la famille des Poaceae, qui regroupe environ 2 500 espèces réparties dans le monde et caractérisées par une grande homogénéité morphologique. (Mosiniak *et al.*, 2006).

Selon la classification phylogénétique de "l'Angiosperm Phylogeny Group III" (2009), le blé est classé comme suit :

Tableau 02 : Classification du Blé (Anguek & Zellagui, 2012)

Etage de classification	Nom
Sous-règne	Cormophyte
Embranchement	<i>Spermaphytes</i>
Sous- embranchemen	<i>Angiospermes</i>
Classe	Monocots
Ordre	Commeliniflorales
Sous- ordre	Poales
Famille	Poacées
Genre	<i>Triticum</i>

III.2. Classification génétique

Trois groupes de *Triticum* sont connus, répartis selon le nombre de leurs chromosomes (EL hadef el okki, 2015) :

- Le groupe diploïde ($2n=14$ chromosomes AA) comprend *Triticum monococcum* et *T. spontaneum*, qui sont caractérisées par des épis grêles où les grains restent enveloppés par les glumelles.
- Le groupe tétraploïde ($2n=28$ chromosomes AABB) comprend *T. dicoccoïdes* (amidonnier sauvage), *T. dicoccum* (amidonnier), *T. turgidum* et *T. durum* (blé dur), à épis denses dont les graines riches en gluten
- Le groupe hexaploïde ($2n=42$ chromosomes AABBDD), représenté par *T. vulgare*, ou *T. aestivum* (blé tendre) et *T. spelta*, à épis assez larges et aux graines riches en amidon.

IV. Maladies du blé

Une maladie végétale correspond à un ensemble de perturbations affectant les cellules et tissus des plantes sous l'effet d'un micro-organisme ou de facteurs environnementaux, entraînant des altérations fonctionnelles ou structurelles pouvant aller jusqu'à la mort de la plante ou de certaines de ses parties (Anonyme, 2005).

IV.1. Types de maladies

A/ Maladies bactériennes

Une maladie végétale est une perturbation des cellules et tissus de la plante causée par des micro-organismes ou des facteurs environnementaux, pouvant entraîner des altérations ou la mort de certaines parties de la plante (Prescott *et al.*, 1987).

B/ Maladies fongiques

Une maladie cryptogamique, également appelée maladie fongique, est une affection provoquée par un champignon parasite. Cette appellation provient de l'ancienne classification qui regroupait les champignons parmi les plantes cryptogames. Les maladies cryptogamiques représentent environ 90 % des maladies touchant les végétaux du jardin (Prescott *et al.*, 1987).

C/ Maladies virales

Les virus sont les plus petits agents pathogènes. Les viroses sont souvent difficiles à détecter car les hôtes infectés ne présentent pas toujours de symptômes visibles ou ceux-ci sont identiques à de nombreuses anomalies physiologiques ou génétiques (Prescott *et al.*, 1987).

D/ Maladies à nematode

De nombreux ravageurs s'attaquent au blé et au triticale, mais seules quelques espèces provoquent des dégâts importants sur de vastes superficies. La majorité de ces ravageurs n'occasionne que des dommages ponctuels ou reste limitée à certaines régions. Par ailleurs, les informations disponibles concernant les insectes et les acariens en tant que ravageurs demeurent parfois insuffisantes (Prescott *et al.*, 1987).

IV.2. Maladies les plus rencontrées du blé

IV.2.1. Les septorioses

⇒ Description de la maladie:

La septoriose est une maladie fongique qui touche principalement le blé, mais peut aussi affecter le seigle, le triticale et certaines graminées. Elle est causée par deux champignons imparfaits, *Septoria tritici* et *Stagonospora nodorum*, qui se distinguent par leurs symptômes et leur biologie (Eyal *et al.*, 1987., Hennouni, 2012).

⇒ **Agent causal:** *Septoriatritici/ Mycosphae rellagraminicola*:



Fig 5 : Feuille de blé infectée par la septoriose (S tritici).4

IV.2.2. Rouilles

⇒ Description:

Selon Anonyme (2013), trois espèces de rouilles s'attaquent au blé :

A/ Rouille brune :

La rouille brune est une maladie fongique causée par *Puccinia recondita*, pouvant apparaître soudainement et provoquer des dégâts importants. Elle se manifeste par de petites pustules circulaires ou ovales, de couleur orange à brune, correspondant aux urédospores, principalement visibles sur la face supérieure des feuilles, mais aussi parfois sur la face inférieure (Anonyme, 2013).

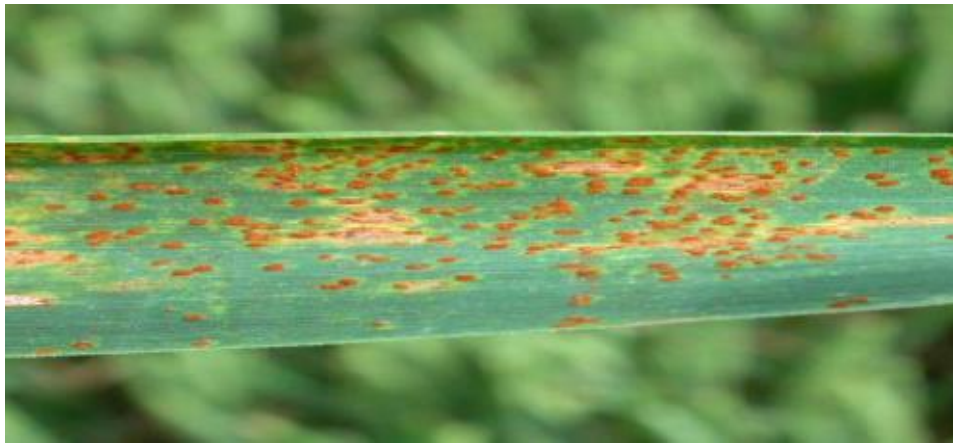


Fig 6 : Symptômes de la rouille brune due à *Puccinia tritici*.3

B/ Rouille jaune :

La rouille jaune du blé, causée par *Puccinia striiformis*, se manifeste par des pustules jaunes à orange en stries sur les feuilles, pouvant aussi toucher les épis et les grains. (Anonyme, 2009 ; Anonyme, 2013).



Fig 7 : Feuille de blé infectée par la rouille jaune *Puccinia striiformis*.5

C/ Rouille noire ou rouille des tiges :

L'agent causal est *Puccinia graminis* sp. tritici, cette maladie du blé a pour symptômes des pustules sporulées de couleur brune qui apparaissent sous forme de noire (Anonyme, 2013).



Fig 8 : Tige du blé infectée par la rouille noire *Puccinia graminis* sp. tritici. 6

IV.2.3. Oïdium

⇒ Description et préjudice:

L'oïdium du blé est causé par *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici*, un champignon ascomycète, dont les souches sont spécifiques au blé et ne sont pas transmissibles par les semences (Anonyme, 2009). Il se manifeste par un duvet blanchâtre ou gris pâle sur les feuilles basales, pouvant s'étendre aux feuilles supérieures, aux gaines foliaires et parfois aux épis. Les cléistothèces constituent la forme de conservation du pathogène. Cette maladie entraîne généralement des pertes faibles, estimées entre 0 et 10 q/ha (Anonyme, 2013).

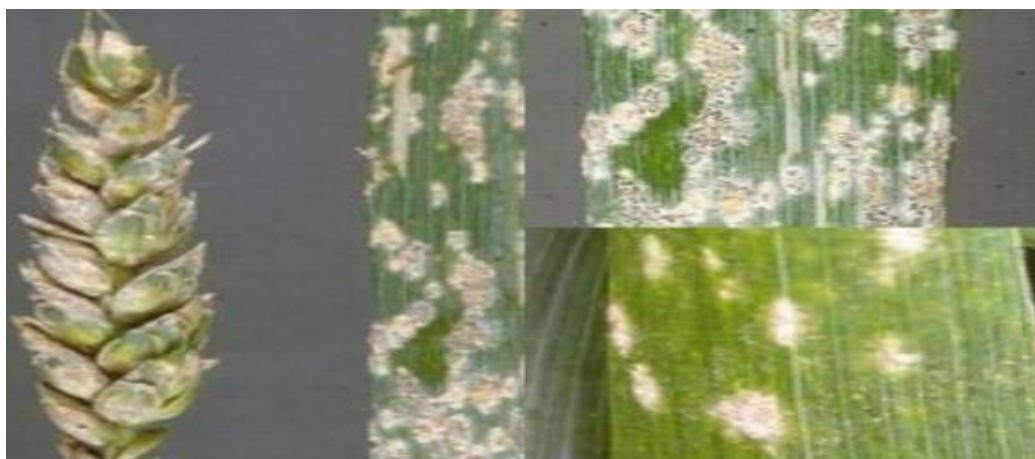


Fig 9 : L'oïdium sur épi et feuille de blé.7

IV.2.4. Tache auréolée

⇒ Description et préjudice:

Cette maladie, causée par *Pyrenophora tritici-repentis*, a longtemps eu une importance limitée mais tend à se développer avec l'augmentation du semis direct et du non-labour. Elle se manifeste par des taches brunes ovales entourées d'un halo jaune, souvent avec un point brun foncé au centre, pouvant évoluer vers la fusion des lésions et la formation de larges zones nécrotiques sur les feuilles (Sutton, 1990).



Fig 10 : Feuille du blé infectée par la tache auréolée *Pyrenophora tritici-repentis*.8

IV.2.5. Charbon nu

⇒ Description et préjudice:

Cette maladie, causée par *Ustilago tritici*, touche toutes les zones de culture du blé et n'affecte que l'épi, tandis que le reste de la plante reste sain. Les épis infectés émergent normalement et sont remplacés par une masse de spores brun foncé, sauf l'axe central de l'épi (Anonyme, 1984).



Fig 11 : Charbon nu du blé *Ustilago tritici*.9

IV.2.6. Carie commune

⇒ Description et préjudice:

La carie du blé, causée par *Tilletia caries*, se manifeste au stade de remplissage du grain par la transformation des grains en une masse poudreuse noire. Elle présente aussi des symptômes au niveau des épis et constitue une maladie transmissible par les semences (Anonyme, 2009).



Fig 12 : L'épi du blé *carié*.10

V.1. Morphologie et cycle de reproduction

La reproduction des champignons est un processus complexe qui reflète la diversité de leurs modes de vie. Elle peut être sexuée ou asexuée, et certaines espèces alternent entre ces deux types de reproduction (Bouznad, 1989).

V.1.1. Reproduction asexuée

La reproduction asexuée se fait sans fusion de gamètes. C'est un mode de reproduction commun à presque tous les champignons. La reproduction asexuée chez les champignons peut se faire par bourgeonnement, fission binaire, fragmentation, ou par formation de spores (Allard & Bill, 1993).

V.1.1.1. Le bourgeonnement et la fission binaire

Le bourgeonnement et la fission binaire sont deux formes simples de reproduction asexuée. Le bourgeonnement produit une cellule fille plus petite que la cellule mère par division inégale du cytoplasme, tandis que la fission binaire donne deux cellules identiques. Ces deux processus sont basés sur la mitose (Figure 13) (Allard, 2001).

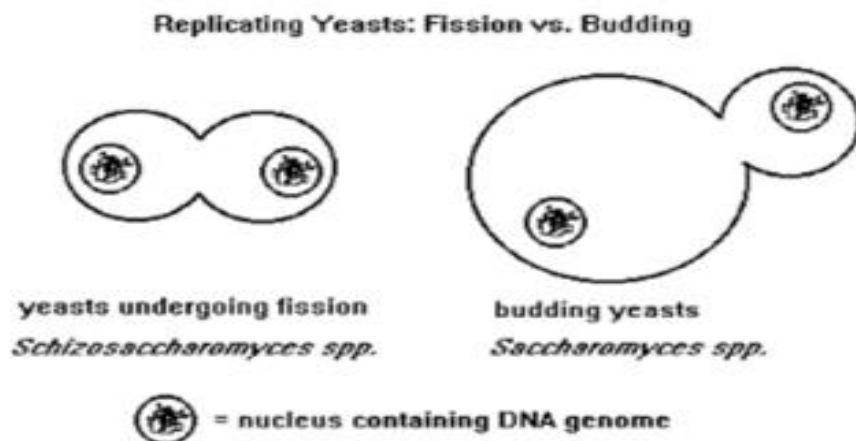


Fig 13 : Illustration de la fission binaire et du bourgeonnement chez les levures (Androsoff, 1997).

V.1.1.2. La fragmentation et la sporulation

La fragmentation est une reproduction asexuée où un nouvel organisme provient d'un fragment du parent. La sporulation, principale chez les champignons, produit des spores asexuées (mitospores) qui, après dispersion, germent en nouveaux organismes (Allard & Bill, 1993).

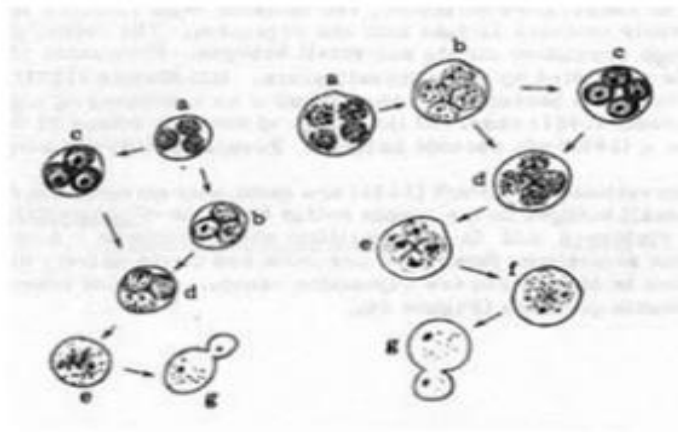


Fig 14 : Illustration des différentes étapes de la sporulation chez *Saccharomyces paradoxus* (Androsoff, 2007).

Après fragmentation du protoplasme en plusieurs parties (a, b), il se forme des parois autour des prospores (c) puis la maturation s'arrête et les parois disparaissent. Le protoplasme devient moins dense (d) et les prospores fusionnent (e) pour donner une nouvelle cellule végétative (f) puis le bourgeonnement commence (g).

V.1.2. Reproduction sexuée

La reproduction sexuée chez les champignons repose sur la fusion de deux noyaux haploïdes formant un noyau diploïde, suivie d'une méiose assurant la variabilité génétique. Elle conduit à la formation de spores sexuées (ascospores, basidiospores et zygosporos selon les groupes) (Figure 15) (Allard, 2001).

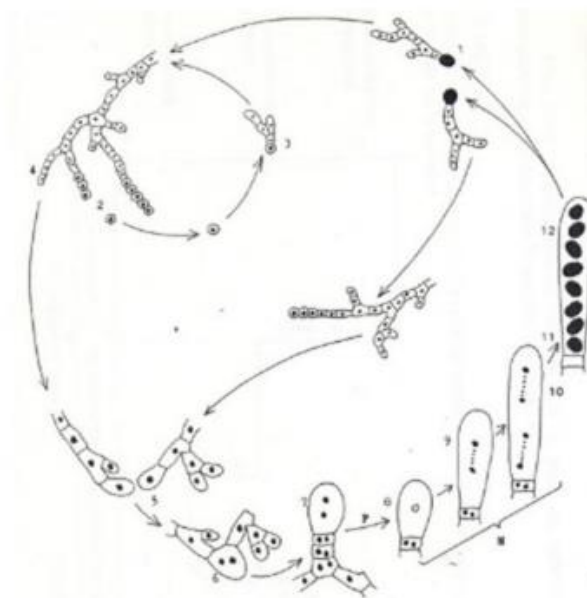


Fig 15 : Illustration de la reproduction sexuée chez les ascomycètes (Allard, 2009).

1 germination des spores. 2 libérations des conidies. 3 germinations de la conidie ; 4 mycéliums du champignon ; 5 rapprochements de deux filaments provenant de spores différentes ; 6 fusions des deux cellules à deux noyaux à n chromosomes ; 7 filament ascogène à 2 noyaux à n chromosomes ; 8 fusions des deux noyaux ($2n$) ; 9 deux noyaux à n obtenus après la première division de la méiose ; 10 4 noyaux à n (deuxièmes divisions de la méiose) ; 11 mitoses ; 12 asque contenant 8 ascospores à n chromosomes chacune

V.2. Genres à potentiel toxique

V.2.1. *Fusarium*

1/Classification

Le genre *Fusarium* est classé dans le phylum des *Ascomycota*, la classe des *Pezizomycotina*, l'ordre des *Hypocreales* et la famille des *Nectriaceae* (O'Donnell *et al.*, 2015).

2/ Pouvoir pathogène et potentiel toxinogène

Le genre *Fusarium* regroupe des espèces phytopathogènes infectant de nombreuses plantes, surtout les céréales, et provoquant des fusarioses (Hocquette *et al.*, 2015 ; Askun, 2018). Elles colonisent différentes parties de la plante et entraînent notamment le flétrissement des épis et des grains altérés ou couverts d'un duvet rosé, avec une forte influence des conditions humides lors de la floraison (Morlais, 2005).



Fig 16 : Fusariose des céréales (blé) (Morlais, 2005).

3/ Principales espèces phytopathogènes appartenant au genre *Fusarium*

- *Fusarium oxysporum*
- *Fusarium solani*
- *Fusarium proliferatum*
- *Fusarium roseum*
- *Fusarium nivale*

V.3.2. *Aspergillus*

1/ Classification

Règne : Fungi

Division : *Ascomycota*

Classe : *Eurotiomycetes*

Sous-classe : *Eurotiomycetidae*

Ordre : *Eurotiales*

Famille : *Trichocomaceae*

Genre : *Aspergillus*

Espèce : 837 espèces

Les plus fréquentes sont : *A. fumigatus*, *A. flavus*, *A. niger*, *A. terreus*, *A. nidulans*, *A. versicolor*, *A. glaucus*, *A. candidus*.

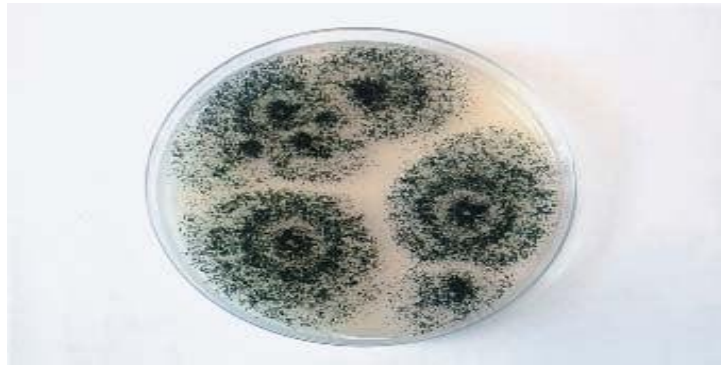


Fig 17 : *Aspergillus* est l'une des espèces communes d'*Aspergillus*. 11

2/ Taxonomie

Les *Aspergillus* sont des champignons autrefois classés parmi les Deutéromycètes (Hyphomycètes à mycélium hyalin), mais certaines espèces présentant une forme sexuée sont désormais rattachées aux Ascomycètes, avec des asques contenus dans des cleistothèces. Le genre *Aspergillus* appartient à la famille des Aspergillacées (HAMOUDA 2005).

3/ Structure morphologique

Les *Aspergillus* se caractérisent par des conidiophores formés d'un stipe terminé par une vésicule portant des phialides, responsables de la production des conidies. Ces spores asexuées sont regroupées en une tête aspergillaire dont la forme et la couleur varient selon les espèces, constituant ainsi le mode principal de reproduction asexuée.

La reproduction sexuée se manifeste par la formation de cleistothèces sphériques contenant des asques renfermant des ascospores. Ces structures peuvent être entourées de cellules sclérifiées appelées « hull cells », issues de l'épaississement des hyphes périphériques (HAMOUDA 2005).

V.2.3. *Penicillium*

1/ Classification

Règne : Champignons

Division : *Ascomycota*

Classe : Eurotiomycetes

Ordre : Eurotiales

Famille : Trichomaceae

Genre : *Penicillium*

Espèce : *Penicillium chrysogenum* (Thom, 1910).

2/ Caractères cultureux

Penicillium chrysogenum se caractérise par une croissance rapide, atteignant 4 à 5 cm de diamètre en environ dix jours à 25 °C sur gélose de Czapek. Ses colonies, planes et de texture veloutée à cotonneuse, présentent une coloration variable évoluant du blanc ou vert-jaune pâle vers des tons bleu-vert, gris olive, jaunes ou parfois rosés (Cardinal, 2003 ; Patterson & McGinnis, 2009) .

Avec le vieillissement, les colonies développent souvent une bordure périphérique blanche de mycélium ainsi que des gouttelettes d'exsudat à la surface, généralement jaunes ou parfois translucides. Elles dégagent une odeur aromatique et fruitée, tandis que leur revers est le plus souvent blanc à jaunâtre (Ellis, 2007 ; Samson & Hoekstra, 1984).

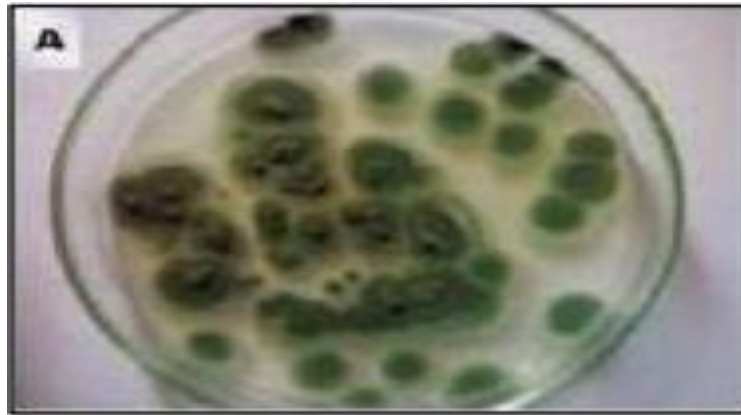


Fig 18 : Caractères macroscopique de *Penicillium chrysogenum*. 12

3/ Morphologie microscopique

Les conidiophores sont formés d'un stipe lisse supportant un pénicille terverticillé, lequel produit des chaînes irrégulières de conidies ellipsoïdales, lisses et de couleur verte (Figure 19). Cette espèce présente des similitudes morphologiques avec *P. expansum* et *P. brevicompactum*, ainsi qu'une affinité avec *P. citrinum* (Pitt, 1979).



Fig 19 : Caractères microscopique de *Penicillium chrysogenum*. 12

V.2.4. *Alternaria***1/ Classification**

Selon SORAUEUR, 1867, la classification du genre *Alternaria* s'établi comme suit :

Règne : Fungi

Division : *Ascomycota*

Classe : Dothideomycetes

Ordre : Pleosporales

Famille : Pleosporaceae

Genre : *Alternaria*

Espèce : *Alternaria solani*

2/ Caractéristiques morphologiques

Alternaria solani appartient au groupe des espèces à grandes spores de la section Porri du genre *Alternaria*. Elle produit des conidies solitaires, parfois en chaînes de deux, portées par des conidiophores simples et cloisonnés, mesurant généralement 150 à 200 µm de longueur (Neergaard, 1945 ; Ellis et Gibson, 1975). Cette espèce est principalement responsable de la brûlure foliaire de la pomme de terre (Simmons, 2007).

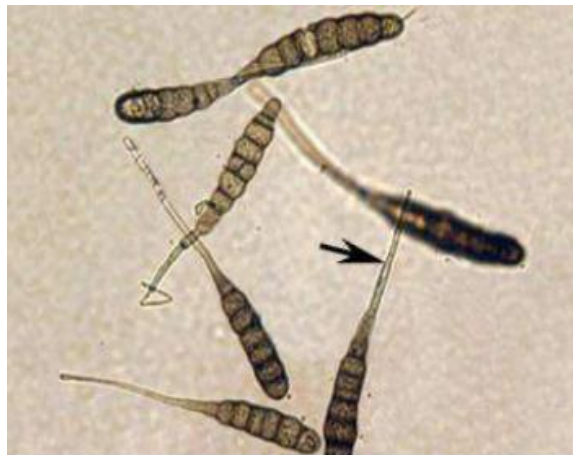


Fig 20 : Spores d'*Alternaria solani*, Notez les cloisons transversales (Wharton et Kirk, 2007).

VI. Facteurs favorisant la prolifération fongique**VI.1. Facteurs physiques et chimiques**

Les champignons possèdent un métabolisme actif lié à une nutrition par absorption (Moreau, 1996). Leur développement dépend des substrats disponibles (cellulose, lignine, etc.) ainsi que des conditions du milieu, notamment la température, l'activité de l'eau (a_w), le pH et la disponibilité en oxygène (Gibson *et al.*, 1994 ; Reboux *et al.*, 2010).

1/ Température

Chaque micro-organisme possède une gamme de températures cardinales comprenant une température minimale, optimale et maximale de croissance. Les moisissures sont généralement mésophiles, se développant entre 5 °C et 35 °C, avec une croissance stoppée et une destruction vers 40 °C. Cependant, certaines espèces sont thermophiles ou thermotolérantes et peuvent se développer au-delà de 50 °C, tandis que d'autres sont psychrophiles ou psychrotolérantes et préfèrent les basses températures (**Dix & Webster, 1995**).

2/ pH

La majorité des champignons se développent préférentiellement dans des milieux acides. En général, leur croissance s'effectue dans une gamme de pH comprise entre 4,5 et 8, avec un optimum situé entre 5 et 6. Certaines espèces, telles que *A. niger*, sont capables de se développer à des valeurs de pH très faibles, pouvant atteindre 1,7 à 2 (**Dix & Webster, 1995**).

3/ Aération

Les champignons sont généralement des organismes aérobies, mais certaines espèces peuvent tolérer de faibles teneurs en oxygène et sont dites anaérobies facultatives. D'autres peuvent se développer en absence totale d'oxygène et sont qualifiées d'anaérobies strictes (**Alexopoulos et al., 1996**).

4/ Aw

La disponibilité en eau, notamment l'activité de l'eau (aw), est essentielle au développement des moisissures, qui nécessitent généralement une aw plus faible que les bactéries. La croissance de *P. martensii* et *A. nidulans* est limitée à une aw minimale de 0,8, tandis que *A. candidus* peut se développer jusqu'à 0,75 (**Carlile & Watkinson, 1996**).

5/ Nutriments

Les éléments essentiels à la croissance des moisissures sont le carbone et l'azote, ainsi que des ions minéraux (K, P, Mg, Ca), indispensables malgré leur faible concentration (**Roquebert, 1984**).

Ces nutriments, largement disponibles dans l'environnement, sont utilisés par les moisissures pour assurer leur développement. Par ailleurs, elles modifient le substrat en y prélevant les éléments nécessaires à la formation de leurs structures et à la production d'énergie.

VI.2. Facteurs de stockage

Le stockage des grains en silos peut favoriser le développement de la flore fongique en cas de mauvaises conditions, notamment lorsque la ventilation est insuffisante pour réguler la température. La contamination est surtout liée à des champignons capables de se développer sur des substrats contenant 10 à 18 % d'humidité. Bien que peu exigeants, les champignons nécessitent la combinaison de certains facteurs nutritionnels et environnementaux pour leur développement (Oswald., 2000).

VI.3. Facteurs agronomiques

Les champignons phytopathogènes infectent les cultures au champ avant la récolte, surtout en conditions de forte humidité, et leur présence dépend de la culture, du climat et de la région. Parmi les principaux genres figurent *Alternaria*, *Helminthosporium*, *Fusarium* et *Cladosporium* (Kaufmann & Christensen, 1969).

Alternaria peut indiquer l'âge et les conditions de la culture, tandis qu'*Helminthosporium* est un contaminant majeur des graminées provoquant la décoloration des grains et des dégâts sur les plantes. Les espèces de *Fusarium* diminuent généralement durant le stockage selon l'humidité et l'âge de la récolte (Kaufmann & Christensen, 1969).

VII. Toxicologie de mycotoxine

VII.1. Définition

Les mycotoxines sont des composés de faible poids moléculaire, très toxiques même à faibles concentrations, produits principalement par les genres *Aspergillus*, *Penicillium* et *Fusarium* (Chen *et al.*, 2020). Ce sont des métabolites secondaires formés en fin de croissance fongique, peu solubles dans l'eau et résistants aux traitements physiques et chimiques (Bennett & Klich, 2013).

Leur production dépend de nombreux facteurs environnementaux intervenant au champ, lors de la récolte et pendant le stockage. Les principales mycotoxines comprennent les aflatoxines, l'ochratoxine A, la patuline, les trichothécènes, les fumonisines et la zéaralénone, dont la toxicité varie et peut être renforcée en cas de co-contamination (Alassane-Kpembé *et al.*, 2017).

VII.2. Principales classes de mycotoxines

VII.2.1. Aflatoxine

VII.2.1.1. Définition et structure chimique

Le terme aflatoxine est un acronyme formé de « A » pour *Aspergillus* et de « FLA » pour flavus, en référence à l'espèce responsable de la contamination alimentaire liée à la «

Turkey X disease », *Aspergillus flavus*. Il est complété par le mot anglais « toxin » signifiant poison (El Khoury, 2007).

Les recherches menées sur les aflatoxines ont établi la prévalence de deux principaux types d'aflatoxines :

- Les aflatoxines du type B (AFB1 et AFB2)
- Les aflatoxines du type G (AFG1 et AFG2)

Les aflatoxines du type M, non moins importantes que les premières, ont été détectées pour la première fois dans le lait comme métabolites des aflatoxines du type B (Nikiéma, 1993).

Le groupe des aflatoxines comprend environ 16 composés identifiés, mais seules les principales (AFB1, AFB2, AFG1, AFG2 et AFM1) font généralement l'objet d'une surveillance. D'autres aflatoxines, comme P1, Q1, B2a et G2a, ont également été décrites, notamment comme produits de biotransformation chez les mammifères (Mahnine, 2017 ; Binder & Krska, 2012).

Une des plus célèbres mycotoxines est possédant le profil toxicologique le plus sérieux, l'aflatoxine B1 (AFB1) dont le nom chimique est le suivant :

6Méthoxydifurocoumarone2,3,6aa,9aa-tétrahydro-4 méthoxycyclopenta [c] furo [3',2' :4,5] furo [2,3-h] [l] benzopyran -1,11- dione (El Khoury, 2016).

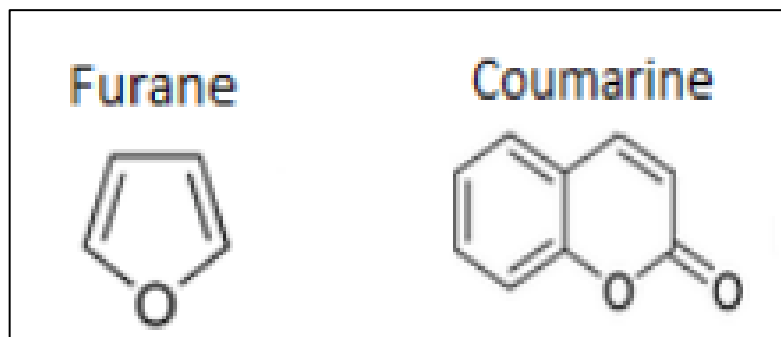


Fig 21 : Structure générale des aflatoxines (Gauthier, 2016).

Les aflatoxines présentent une structure chimique basée sur un noyau coumarine associé à des cycles furaniques. Les types G possèdent un cycle lactone, tandis que les types B sont caractérisés par un cycle cyclopentanone. Elles sont aussi classées en groupes 1 et 2 selon la présence ou non d'une double liaison C8–C9. Les aflatoxines de type M possèdent également un cycle cyclopentanone, avec un hydroxylation en C10 (Coelho, 2014).

Par ailleurs, le cycle lactone de l'AFB1 est considéré comme l'un des principaux responsables de sa toxicité (El Assaoui, 2018).

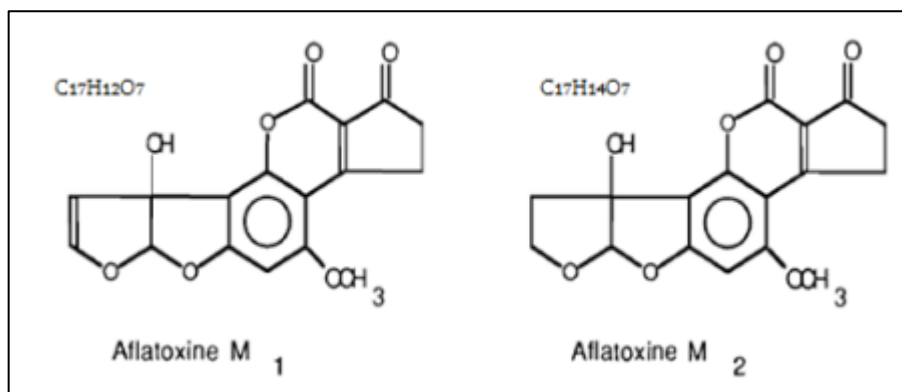


Fig 22 : Les structures chimiques d'aflatoxine M1 et M2 (Nikiéma, 1993).

VII.2.2. Ochratoxines

L'ochratoxine A (OTA) est une mycotoxine produite principalement par *Aspergillus ochraceus* et *Penicillium verrucosum*, pouvant contaminer divers aliments, surtout en conditions de stockage favorables au développement fongique. Elle est principalement néphrotoxique et peut aussi provoquer des lésions hépatiques à fortes doses, et est suspectée d'être impliquée dans la néphropathie endémique des Balkans associée à des tumeurs rénales. (Richard, 2007).

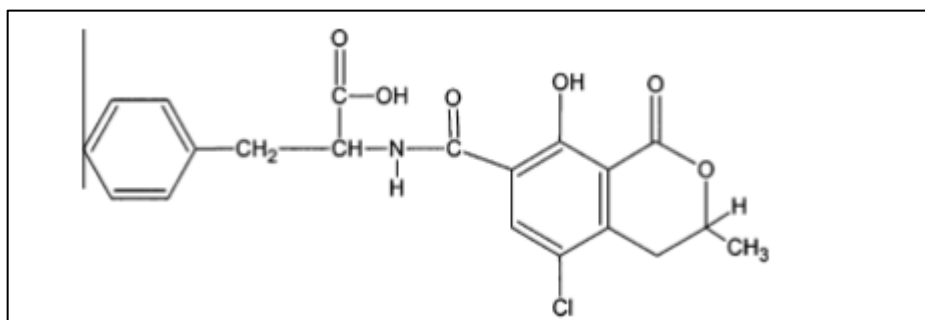


Fig 23: Chemical structure of ochratoxin A (OTA) (Zain, 2010)

VII.2.3. Zearalenone

La zéaralénone (ZEA) est une mycotoxine produite par des espèces du genre *Fusarium*, notamment *Fusarium graminearum* (Hagler, 2005). Elle possède une structure similaire aux œstrogènes, ce qui explique ses effets hormonaux et les troubles de la reproduction chez certaines espèces animales comme le porc (Whitlow *et al.*, 2001). Elle se retrouve dans plusieurs céréales et fourrages, notamment le maïs, l'ensilage et le foin.

Sa production est favorisée par une humidité de 22 à 25 % et une température de 10 à 15 °C. Bien qu'elle soit faiblement toxique en elle-même, la ZEA présente un impact important sur la santé animale en raison de son activité œstrogénique (Abbas *et al.*, 1930 ; Tabuc, 2007 ; Whitlow *et al.*, 2001).

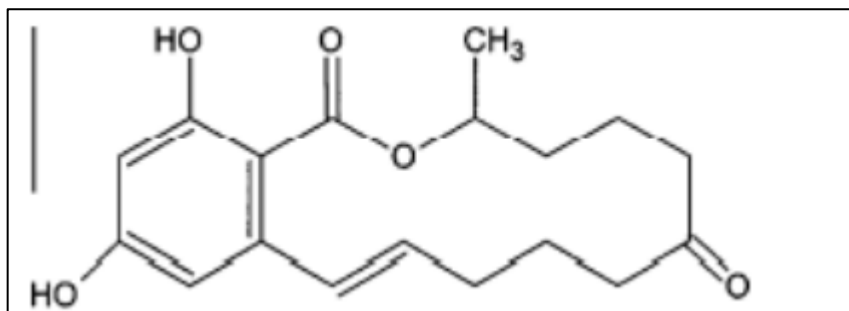


Fig 24. Chemical structure of zearalenone (ZEA) (Zain, 2010).

VII.3. Mécanisme d'action de mycotoxines

Les mycotoxines exercent leur toxicité par plusieurs mécanismes cellulaires et moléculaires, notamment l'inhibition de la synthèse des protéines, l'interaction avec l'ADN, la perturbation des membranes cellulaires et l'induction du stress oxydatif, pouvant aussi agir comme perturbateurs endocriniens et entraîner des effets graves sur les fonctions biologiques (Chinaza *et al.*, 2021).

- Aflatoxines (AFs)

Les aflatoxines, notamment l'AFB1, sont métabolisées dans le foie en AFB1-8,9-époxide par le cytochrome P450 (Chinaza *et al.*, 2022). Ce métabolite réactif se lie à l'ADN (surtout la guanine) et aux protéines, provoquant des mutations, un stress oxydatif et un risque accru de cancer du foie.

La toxicité des aflatoxines est liée à leur structure chimique, notamment la double liaison C8–C9 et le cycle lactone, qui facilitent la formation d'adduits avec l'ADN et les protéines. L'AFB1 est la plus toxique et la plus cancérigène (Chinaza *et al.*, 2022).

- Ochratoxine A (OTA)

L'ochratoxine A (OTA) agit principalement au niveau des reins, où elle pénètre dans les cellules rénales via des transporteurs spécifiques et inhibe la synthèse protéique en compétition avec la phénylalanine au niveau de la phénylalanine-ARNt synthetase (Chinaza *et al.*, 2021).

Elle provoque un stress oxydatif et des lésions de l'ADN, et sa forte liaison aux protéines augmente sa toxicité rénale et le risque de cancers urinaires. (Tiago *et al.*, 2024).

- Trichothécènes

Les trichothécènes (DON, toxine T-2) inhibent la synthèse des protéines en se fixant sur la sous-unité 60S des ribosomes, bloquant l'élongation des chaînes protéiques et perturbant indirectement la synthèse de l'ADN et de l'ARN (Selma &Gülden, 2008).

Ces toxines affectent les cellules à renouvellement rapide et provoquent des troubles digestifs, une immunodépression et des lésions cellulaires. (Selma &Gülden, 2008).

- **Zéaralénone (ZEA)**

La zéaralénone est une mycotoxine produite par les espèces de *Fusarium*, dont la structure est similaire à celle de l'estradiol, ce qui lui permet de se lier aux récepteurs des œstrogènes dans différents tissus (Chinaza *et al.*, 2022).

Après transformation, la ZEA agit comme une hormone œstrogénique et provoque des troubles de la reproduction et des perturbations endocriniennes. (Chinaza *et al.*, 2022).

- **Fumonisines**

Les fumonisines, notamment la FB1, perturbent le métabolisme des sphingolipides en inhibant la céramide synthase, une enzyme essentielle à la formation des membranes cellulaires et à la signalisation intracellulaire (Yuhang *et al.*, 2022).

Cette inhibition entraîne une accumulation de sphinganine et de sphingosine, provoquant des altérations membranaires, l'apoptose et des dysfonctionnements tissulaires. Les fumonisines sont associées à des atteintes hépatiques et rénales chez les animaux, ainsi qu'à un risque accru de cancer de l'œsophage et à certaines malformations congénitales, notamment du tube neural (Chinaza *et al.*, 2022).

CHAPITRE 2

Généralités sur le genre *Mentha*

I. Description de la plante de la Menthe

I.1. Généralités

Le genre *Mentha*, appartenant à la famille des Lamiacées (anciennement Labiées), constitue l'un des groupes les plus importants du règne végétal. Cette famille regroupe plus de 200 genres et environ 3500 espèces (**Talahagcha, 2008**). Originaires d'Europe et d'Asie, les espèces de menthe se sont progressivement disséminées à l'échelle mondiale à la faveur des migrations humaines et des échanges, atteignant ainsi l'Amérique du Nord, l'Australie et le Japon.

En raison de sa position géographique, l'Algérie bénéficie de conditions naturelles favorables, notamment une diversité de facteurs de pédogenèse, des variations climatiques marquées ainsi que des ressources hydriques relativement abondantes. Ces éléments contribuent au développement optimal des cultures intensives de la menthe (**Boukhatem, 2010**).

Les espèces du genre *Mentha* sont aisément reconnaissables grâce à leur odeur caractéristique. Toutefois, leur identification précise demeure complexe en raison de l'existence de nombreuses formes intermédiaires issues d'hybridations naturelles (**Benayad, 2008**). Le genre comprend environ 18 espèces et 11 hybrides, subdivisés en sous-espèces, formes, variétés, sous-variétés, cultivars et sélections (**Sutour, 2010**).

Sur le plan écologique, les menthes se développent préférentiellement sur des sols légers et humides. Elles présentent une préférence pour un enracinement à l'ombre, tandis que leurs parties aériennes bénéficient d'une exposition ensoleillée. Il s'agit généralement de plantes herbacées vivaces, caractérisées par une tige quadrangulaire, des feuilles opposées, persistantes et dentées, ainsi que par des racines stolonifères assurant une propagation végétative importante. Leur croissance peut être très étendue en raison de la formation continue de nouveaux pieds. Riches en huiles essentielles, ces plantes sont fortement aromatiques. Leur hauteur varie de quelques centimètres à près d'un mètre selon les espèces. En période estivale, les fleurs, regroupées en épis ronds ou allongés et de couleur lilas, blanche ou rose, attirent les insectes pollinisateurs, notamment les abeilles (**Anton, 2005**).

Historiquement, les feuilles et les sommités fleuries des menthes étaient utilisées à des fins thérapeutiques dès les XVI^e et XVII^e siècles. Elles sont reconnues pour leurs propriétés digestives, carminatives, antiseptiques, toniques et stimulantes. Elles contribuent à l'équilibre du système digestif et à l'amélioration du tonus général. De nos jours, leur utilisation s'est largement diversifiée (**El Fadl, 2010**).

Dans le domaine alimentaire, elles entrent dans la préparation de divers produits tels que les crèmes, les chocolats, les confiseries, les gommes à mâcher et les desserts. En

parfumerie et en cosmétique, les produits à base de menthe ont connu un essor considérable, notamment dans la fabrication des dentifrices, des bains de bouche, des crèmes, des rouges à lèvres et des mousses à raser (El Fadl, 2010).

I.2. Etude botanique

Le classement scientifique des différentes espèces de menthe étudiées de manière générale est représenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3. La classification botanique de la menthe (APG III, 2009 ; Dupont, 2012).

Règne	Plantae
Embranchement	Embryophytes
Sous-embranchement	Trachéophytes
Super-classe	Spermatophytes
Classe	Angiospermes
Sous-classe	Astéridées
Ordre	Lamiales
Famille	Lamiaceae
Genre	<i>Mentha</i>

I.3. Caractéristiques du genre *Mentha*

Le genre *Mentha* regroupe des plantes herbacées vivaces dont la hauteur varie généralement entre 10 et 50 cm. Elles présentent une tige dressée, de section quadrangulaire, ainsi que des feuilles pétiolées, lancéolées, vertes et finement dentées (Harma & Maatouk, 2021).

Les fleurs, regroupées en inflorescences, peuvent être de couleur mauve, rose ou blanche. Sur le plan organoleptique, ces plantes se distinguent par une odeur fine, intense et fortement aromatique. Leur saveur est caractérisée par une sensation chaude, piquante et légèrement âcre, tout en laissant en bouche une impression de fraîcheur agréable et persistante.

Sur le plan phytochimique, les espèces du genre *Mentha* contiennent plusieurs composés bioactifs, notamment le menthol, la menthone, le menthène, la carvone, la pulégone, le limonène ainsi que des tanins (Harma & Maatouk, 2021).

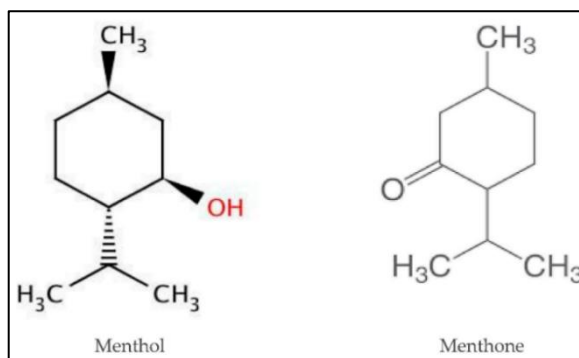


Fig 25 : La structure chimique de *Mentha*. 14

I.4. Propriétés bioactives

- La menthe est une plante riche en vitamine C, en fer et en manganèse, ce qui lui confère des propriétés digestives, antiseptiques et stimulantes. Elle est recommandée notamment aux femmes enceintes *et* allaitantes, ainsi qu'aux personnes souffrant de troubles digestifs ou de douleurs abdominales.
- Grâce à sa teneur élevée en composés antioxydants, elle contribue à réduire les risques de maladies cardiovasculaires ainsi que ceux liés au vieillissement cellulaire.
- La menthe possède également des propriétés insecticides naturelles efficaces.
- Utilisée au niveau des ouvertures des habitations, elle constitue une barrière répulsive contre les moustiques (Harma & Maatouk, 2021).

I.5. Usages de la menthe

En général, une plante médicinale est définie comme une plante utilisée pour ses propriétés thérapeutiques. Cela implique qu'au moins une de ses parties (feuille, tige, racine, etc.) peut être exploitée à des fins de traitement ou de soin. L'utilisation de ces plantes remonte à plusieurs millénaires, puisqu'elles sont employées par l'Homme depuis au moins 7 000 ans avant notre ère, constituant ainsi la base de la phytothérapie (Handbook, 1990).

L'efficacité des plantes médicinales repose sur la diversité et la richesse de leurs composés chimiques, qui varient considérablement selon les espèces et correspondent à différents principes actifs (Handbook, 1990).

Il est également intéressant de noter que certaines observations ont mis en évidence la consommation de plantes à usage thérapeutique chez les grands singes, suggérant un comportement instinctif lié à l'automédication (Handbook, 1990).

I.5.1. Usages médicaux de la plante

- La menthe est principalement reconnue comme une plante médicinale aux nombreux bienfaits pour la santé, possédant des propriétés thérapeutiques positives.

- Selon certaines sources, elle était déjà utilisée au Moyen Âge par divers praticiens, notamment les chirurgiens, en raison de ses effets calmants.
- Associée à l'opium, elle était employée pour apaiser les patients et réduire les douleurs.
- Considérée comme une plante aromatique, la menthe est utilisée depuis longtemps comme remède naturel efficace contre les troubles digestifs.
- Sous forme d'infusion, elle permet de soulager les affections gastriques et peut aider en cas d'indigestion.
- Grâce à ses propriétés stimulantes et relaxantes, elle favorise également le sommeil et induit un état de détente générale.
- Certaines recherches ont mis en évidence des propriétés antibactériennes de la plante.
- Cela explique son utilisation traditionnelle chez certaines populations, notamment les Arabes, qui l'ajoutaient à l'eau de boisson afin d'en améliorer la conservation.
- La menthe peut également être utilisée par inhalation après la préparation d'une décoction.
- Ses effets rafraîchissants sont bénéfiques pour les voies respiratoires et contribuent à un effet décongestionnant (**Nicolas Jean-Baptiste, 1826**).

II. Propriétés des plantes étudiées

II.1. *Mentha pulegium*

II.1.1. Origine et répartition géographique

À l'origine, *Mentha pulegium* est une espèce d'origine méditerranéenne. Actuellement, sa répartition s'étend à plusieurs régions du monde, notamment l'Europe de l'Ouest, du Sud et centrale, les îles Canaries, l'ouest de l'Asie ainsi que le continent américain. Cette espèce est communément appelée « menthe pouliot ». Son nom dérive du latin *pulegium*, lui-même issu de *pulex* signifiant « puce », en référence à ses propriétés répulsives contre ces insectes (**Anton, 2005**).

Cette plante est généralement rencontrée dans les milieux humides. Elle se développe préférentiellement sur des sols sablonneux et acides, tout en présentant une sensibilité importante au gel (**Anton, 2005**). Elle peut parfois être cultivée comme plante condimentaire en raison de l'arôme intense de ses feuilles. Malgré son utilisation traditionnelle dans l'aromatisation des sauces, des desserts et des boissons, son intérêt économique reste relativement limité.

Sur le plan de la production et du commerce, les principaux pays producteurs sont les États-Unis, le Maroc et l'Espagne. Cependant, les parties aériennes de la plante sont peu

commercialisées, tandis que l'huile essentielle constitue le principal produit d'exportation, notamment par les États-Unis (**Boukenna & Bouzidi, 2007**).

II.1.2. Description botanique

La menthe pouliot (*Mentha pulegium*) est une plante vivace aromatique et fertile. Elle présente une tige dressée, ramifiée, de section quadrangulaire et de coloration rougeâtre. Sa hauteur peut atteindre environ 30 à 40 cm.

Les organes responsables de la synthèse et de l'accumulation de l'huile essentielle sont principalement les cellules épidermiques des feuilles et des fleurs, qui évoluent en glandes sécrétrices où se concentre l'huile essentielle (**Benazzouz & Hamdane, 2012**).



Fig 26: *Mentha pulegium* (Menthe Pouliot).13

II.1.3. Propriétés et emplois

La menthe pouliot (*Mentha pulegium*) est une plante reconnue pour ses propriétés antispasmodiques et toniques. À faible dose, elle exerce une action stimulante sur le système nerveux, tandis qu'à forte dose, elle peut devenir convulsivante.

Cette espèce figure parmi les plantes les plus utilisées en médecine traditionnelle. Elle favorise la stimulation des sécrétions gastriques, réduit les flatulences et les coliques, et contribue à limiter les fermentations intestinales. Elle est considérée comme une boisson digestive efficace, particulièrement bénéfique pour les personnes souffrant d'insuffisance hépatique, et elle est également utilisée pour l'élimination des parasites intestinaux.

Par ailleurs, elle aide à faire baisser la fièvre, favorise la sécrétion des muqueuses et constitue un remède traditionnel contre les céphalées ainsi que certaines infections respiratoires bénignes. En infusion, elle est utilisée pour apaiser les démangeaisons, les irritations cutanées telles que l'eczéma, ainsi que les douleurs liées au rhumatisme et à la goutte. Elle est également employée dans le traitement de certaines affections oculaires, notamment pour améliorer la clarté de la vision, ainsi que contre les taches de rousseur (**Talahagcha & Kassa, 2008**).

En outre, la menthe pouliot possède des propriétés insecticides naturelles, permettant de lutter contre les poux, les moustiques et les puces. Elle est également utilisée pour protéger, rafraîchir et nettoyer la peau lorsqu'elle est ajoutée à l'eau du bain (Guy, 2005).

Sur le plan culinaire, les feuilles de menthe pouliot, fraîches, séchées ou confites, sont utilisées pour aromatiser et décorer divers plats, sauces et soupes. Elle entre également dans la préparation des tisanes. Enfin, cette plante est largement exploitée dans l'industrie agroalimentaire et cosmétique, notamment pour parfumer les savons, les détergents ainsi que les dentifrices (Boukenna & Bouzidi, 2007).

II.1.4. Composition chimique

Tableau 4 : Composition chimique de l'HE de *Mentha pulegium* (Guy, 2005).

Hydrocarbures terpéniques		Alcools	
β-phellandré	trace à 2%	Néomenthol	0 à 1,5%
Limonène	0,4 à 1%	Terpinéol	0 à 1,4%
Cétones		Esters	
Menthone	0,1 à 30,8%	Acétate de néoisomenthyle	0 à 2,5% 4%
Iso-mentho	1,9 à 25,4%	Acétate de menthyle	/
Pipéritone	0,4 à 87%	Autres composés	/
Pulégone	36 à 74,4%	Menthofurane	0 à 0,8%
Pipériténone	0 à 2,5%	Acétate de linalyle	/

II.1.5. Propriétés biologiques de l'huile essentielle de *Mentha pulegium*

II.1.5.1. Propriétés antibactériennes

L'activité antibactérienne des huiles essentielles de *Mentha pulegium* a été largement mise en évidence contre plusieurs bactéries pathogènes telles que *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Listeria monocytogenes*. Cette propriété antimicrobienne est principalement attribuée à la richesse de l'huile essentielle en composés actifs majeurs, notamment la *pulégone*, la menthone et l'isomenthone, reconnus pour leurs effets inhibiteurs sur le développement bactérien (Sokovic *et al.*, 2009). Par ailleurs, Selles *et al.* (2020) ont rapporté que les extraits méthanoliques de cette plante présentent également une activité antibactérienne significative in vitro, en limitant efficacement la croissance de plusieurs souches bactériennes.

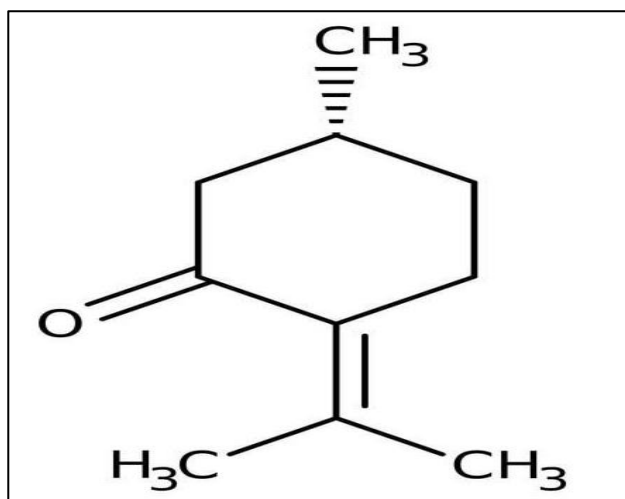
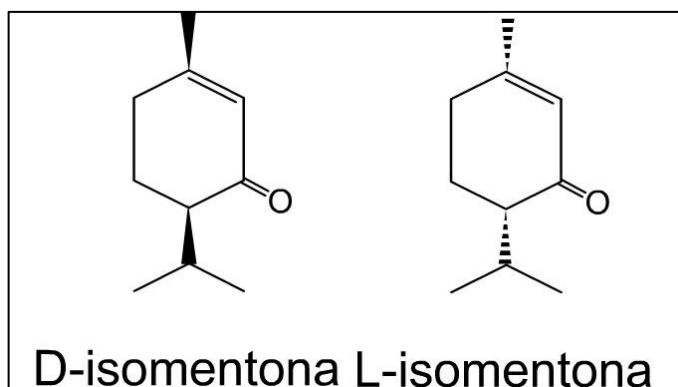
Fig 27 : La structure chimique de *pulegium*. 14

Fig 28 : La structure chimique de l'isomenthone. 14

II.1.5.2. Propriétés antifongiques

Mentha pulegium possède également des propriétés antifongiques importantes. Les huiles essentielles de cette plante ont montré une activité inhibitrice contre plusieurs champignons pathogènes, notamment *Candida albicans*, *Aspergillus niger* et *Fusarium oxysporum*. Cette activité biologique est principalement liée à la présence de composés terpéniques, en particulier la pulégone et certains monoterpènes, capables d'altérer l'intégrité de la membrane cellulaire des champignons et de provoquer la fuite des constituants intracellulaires, conduisant ainsi à l'inhibition de leur croissance (Cosentino *et al.*, 1999 ; Sokovic *et al.*, 2009).

II.1.5.3. Propriétés antioxydantes

Les extraits de *Mentha pulegium* se distinguent par une importante activité antioxydante attribuée principalement à leur richesse en composés phénoliques, notamment les flavonoïdes et les acides phénoliques. Ces substances bioactives possèdent la capacité de neutraliser les radicaux libres et de réduire le stress oxydatif au niveau cellulaire, contribuant

ainsi à la protection des cellules contre les dommages oxydatifs (**Ghorbani et al., 2011**). Grâce à cette propriété, *Mentha pulegium* suscite un intérêt croissant dans les domaines agroalimentaire et cosmétique, où elle peut être utilisée comme source naturelle d'antioxydants.

II.1.5.4. Propriétés insecticides

Les huiles essentielles de *Mentha pulegium* sont largement connues pour leur activité insecticide efficace contre plusieurs espèces d'insectes, notamment *Culex pipiens* et *Aedes aegypti*, considérés comme vecteurs de nombreuses maladies humaines, ainsi que contre divers ravageurs agricoles. Cette activité biologique est principalement liée à la présence de la pulégone, un monoterpène doté de propriétés neurotoxiques capables de perturber le fonctionnement du système nerveux central des insectes, provoquant ainsi leur paralysie puis leur élimination (**Isman, 2000 ; Benelli et al., 2015**).

II.1.6. Toxicologie

L'utilisation des parties aériennes de la menthe pouliot comme condiment, aux doses usuelles, ne présente généralement pas de risque de toxicité, ni aiguë ni chronique.

Cependant, son huile essentielle (HE) est considérée comme hépatotoxique en raison de sa richesse en pulégone. Des cas d'intoxication ont été rapportés après l'ingestion d'environ 5 g d'essence, et des cas mortels ont été observés après l'absorption de 30 ml.

Pour cette raison, l'utilisation de la menthe pouliot dans la préparation de tisanes de consommation courante n'est pas recommandée (**Anton, 2005**).

II.2. *Mentha aquatica*

II.2.1. Origine et répartition géographique

Mentha aquatica L. est une plante herbacée vivace appartenant au genre *Mentha*, largement répandue en Europe, en Afrique du Nord-Ouest et en Asie du Sud-Ouest (**Boz et al., 2013 ; Do et al., 2015**). Elle se développe principalement dans des zones tempérées et humides (**Safaiee et al., 2019**), notamment le long des cours d'eau, des rivières, ainsi que dans les lacs et les milieux aquatiques stagnants ou courants (**Boz et al., 2013**).

Cette espèce présente une large aire de distribution. Elle est originaire de vastes régions comprenant une grande partie de l'Europe, le sud-ouest de l'Asie et le nord-ouest de l'Afrique, et a été introduite par la suite en Australie, à Madère, ainsi qu'en Amérique du Sud et du Nord (**Bunsawatt, 2002 ; Hamed, 2017**). Il s'agit d'une plante à croissance rapide, souvent invasive, que l'on retrouve principalement sur les berges des rivières, au bord des eaux courantes, dans les étangs, les lacs ainsi que dans les habitats humides environnants. Elle

montre cependant une préférence pour les sols calcaires (Guşuleac, 1961 ; Andro, 2011 ; Ivan, 2012).

II.2.2. Description botanique

Les rhizomes de *Mentha aquatica* L. possèdent des racines fibreuses et présentent une capacité de propagation importante. Les tiges feuillées sont généralement de couleur verte ou pourpre et peuvent s'étendre au ras du sol. Les fleurs sont petites, denses et tubulaires, avec une coloration variant du rose au lilas (Do *et al.*, 2015).

Sur le plan taxonomique, *Mentha aquatica* L. appartient à la section *Mentha* du genre *Mentha*, au sein de la famille des Lamiaceae, de la sous-famille des Nepetoideae et de l'ordre des Lamiales (Harley, 1963 ; Takhtadzhian *et al.*, 1997), selon une étude de synthèse des espèces du genre *Mentha* réalisée par Sanja Carva *et al.*, (2021).



Fig 29 : *Mentha aquatica*. 15

II.2.3. Propriétés et emplois

II.2.3.1. Médicinaux

À l'échelle mondiale, les menthes sont largement utilisées en médecine traditionnelle. En France, elles font partie des plantes médicinales usuelles. Selon l'ethnobotaniste Pierre Lieutaghi (Pierre, 1966), « les menthes sont toniques, stimulantes et antispasmodiques ; longtemps considérées comme des panacées, elles ont connu un certain déclin, si bien que la plupart des personnes qui les consomment aujourd'hui en infusion ignorent qu'il s'agit de l'une des meilleures plantes médicinales ».

Les menthes sont traditionnellement reconnues pour leurs propriétés aromatiques (toniques et fortifiantes) ainsi que pour leurs effets digestifs, notamment dans le traitement des lourdeurs, des ballonnements, des gaz, des dyspepsies, des spasmes gastro-intestinaux et biliaires, ainsi que des symptômes du côlon irritable (Bruneton, 2009).

Des études pharmacologiques portant sur l'utilisation combinée de l'huile essentielle de menthe poivrée et de carvi ont mis en évidence une réduction des symptômes douloureux

associés à la dyspepsie (May, 1996 ; Madisch, 1999). Toutefois, ces résultats ne peuvent être généralisés à *Mentha aquatica*, dont la composition en principes actifs diffère sensiblement. Pour être reconnue comme officinale, l'huile essentielle de menthe poivrée (Bruneton, 2009) doit contenir entre 30 et 55 % de menthol, 14 à 32 % de menthone et 1 à 9 % de menthofurane. En revanche, le chémotype européen de *Mentha aquatica* (Andro *et al.*, 2013) se caractérise par l'absence ou la présence à l'état de traces de menthol et de menthone, tandis que le menthofurane constitue son composé majoritaire.

Les menthes sont également utilisées en application externe, notamment sous forme de frictions, pour soulager les symptômes du rhume, certains types de céphalées, des irritations cutanées ainsi que des douleurs musculaires et rhumatismales. Traditionnellement, *Mentha aquatica* est surtout destinée à un usage externe, ce qui explique ses appellations de « baume vert », « baume d'eau » ou « baume de rivière ».

Cependant, sa forte teneur en menthofurane, composé à la fois peu apprécié sur le plan organoleptique et potentiellement hépatotoxique, limite son utilisation (Marie, 2003). À cet égard, la menthe poivrée, issue de l'hybridation entre *Mentha aquatica* et la menthe crêpue, présente une qualité aromatique supérieure.

Les menthes peuvent être utilisées sous différentes formes, notamment en tisanes, en inhalations ou en application externe. Elles sont également employées sous forme d'huiles essentielles, d'onguents contenant entre 5 % et 20 % d'huile essentielle, ainsi que de teintures renfermant entre 5 % et 10 % d'huile essentielle. Toutefois, l'huile essentielle de menthe ne doit pas être appliquée pure à proximité des yeux ni utilisée chez les enfants au niveau des voies respiratoires, en raison des risques de réactions allergiques ou de spasmes laryngés et bronchiques chez les sujets sensibles (Andro *et al.*, 2013).

À l'échelle mondiale, seules quatre espèces de menthes sont cultivées à des fins commerciales : *Mentha arvensis*, *Mentha piperita*, *Mentha spicata* et *Mentha citrate*, ce qui exclut *Mentha aquatica* de cette exploitation à grande échelle (Marie, 2003).

II.2.3.2. Usages horticoles et écologiques

La menthe aquatique est particulièrement adaptée à la culture en milieux humides, notamment en bordure de bassins, de mares ou d'étangs. Elle se multiplie aisément par division des touffes, généralement au printemps ou à l'automne.

Par ailleurs, cette espèce est reconnue comme une plante mellifère, contribuant ainsi à l'alimentation des insectes pollinisateurs, en particulier les abeilles.

Enfin, des études récentes ont mis en évidence le potentiel dépolluant de *Mentha aquatica*. Grâce aux propriétés carboxylates de ses tissus, notamment au niveau des racines,

elle est capable de fixer et d'agrégier divers polluants, tels que les métaux lourds, les pesticides ainsi que d'autres contaminants présents dans l'environnement.¹³

II.2.4. Composition chimique

L'huile essentielle de *Mentha aquatica* est obtenue par distillation à la vapeur d'eau des parties aériennes de la plante. L'analyse réalisée par **Andro et al., (2013)**, sur des échantillons collectés dans le sud-ouest de la Roumanie, a permis d'identifier 41 composés, dont les proportions varient en fonction du stade de développement de la plante, notamment les phases végétatives, de floraison et de sénescence.

II.2.5. L'effet de *Mentha aquatica* comme insecticide

Mentha aquatica L., appartenant à la famille des Lamiaceae, est une plante aromatique riche en huiles essentielles biologiquement actives, largement étudiée pour ses propriétés biopesticides. Les huiles essentielles extraites de cette espèce contiennent principalement du linalool, de l'acétate de linalyle, du 1,8-cinéole, du carvacrol et d'autres monoterpènes responsables de nombreuses activités biologiques, notamment insecticides, répulsives et antimicrobiennes. Ces composés naturels suscitent un intérêt croissant dans le domaine de la lutte biologique en raison de leur faible impact environnemental comparativement aux pesticides chimiques conventionnels (Andro *et al.*, 2013).

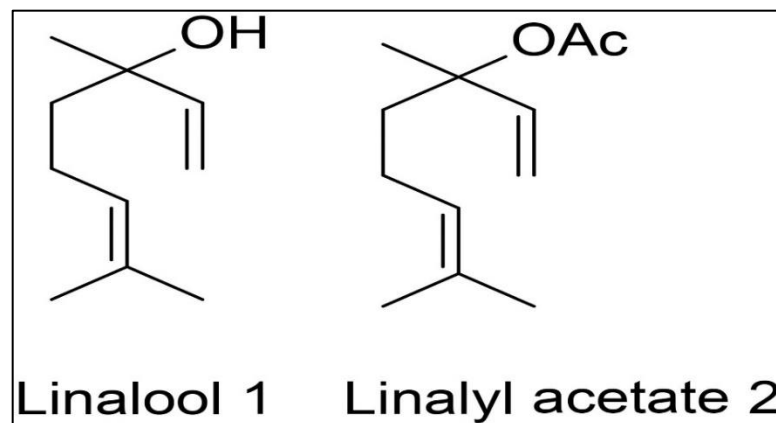


Fig 30 : La structure chimique de linalyle. 14

L'activité insecticide de *Mentha aquatica* a été démontrée contre plusieurs insectes vecteurs de maladies humaines ainsi que contre des ravageurs agricoles. **Ferrati *et al.*, (2023)** ont montré que l'huile essentielle de *Mentha aquatica* possède une forte toxicité contre les larves de *Culex quinquefasciatus*, un moustique vecteur de nombreuses maladies, ainsi que contre plusieurs ravageurs agricoles tels que *Spodoptera littoralis*, *Metopolophium dirhodum* et *Tetranychus urticae*. Les auteurs ont attribué cette activité à la présence élevée de linalool et d'acétate de linalyle, capables d'agir sur le système nerveux des insectes en perturbant leurs fonctions physiologiques et respiratoires.

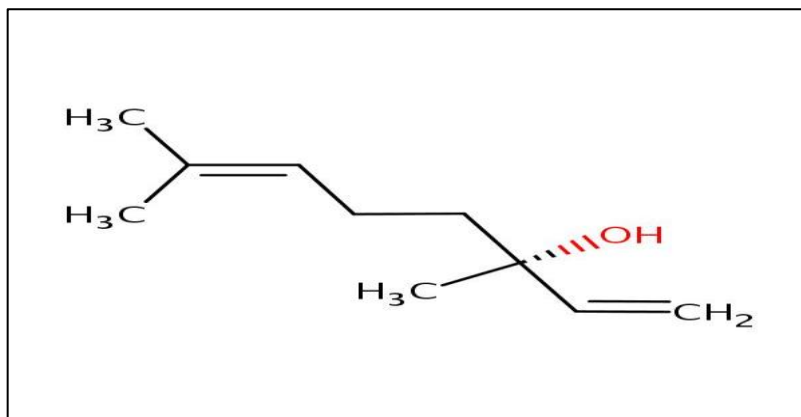


Fig 31 : La structure chimique de linalool. 14

Les huiles essentielles de *Mentha aquatica* exercent également un important effet répulsif contre différents insectes nuisibles. Les composés volatils présents dans l'huile essentielle interfèrent avec les récepteurs sensoriels des insectes, réduisant ainsi leur capacité d'orientation et d'alimentation. Cette propriété répulsive permet d'envisager l'utilisation de cette plante dans les programmes de protection intégrée des cultures et dans la conservation des denrées stockées (Senatore *et al.*, 2005).

Par ailleurs, plusieurs études ont mis en évidence les propriétés antifongiques et antibactériennes de *Mentha aquatica*. Senatore *et al.* (2005) ont rapporté que l'huile essentielle de cette plante présente une activité antibactérienne notable, particulièrement contre les bactéries Gram positives, grâce à la présence majoritaire du 1,8-cinéole et du carvacrol. Ces composés agissent en altérant la membrane cellulaire des microorganismes et en perturbant leur métabolisme cellulaire.

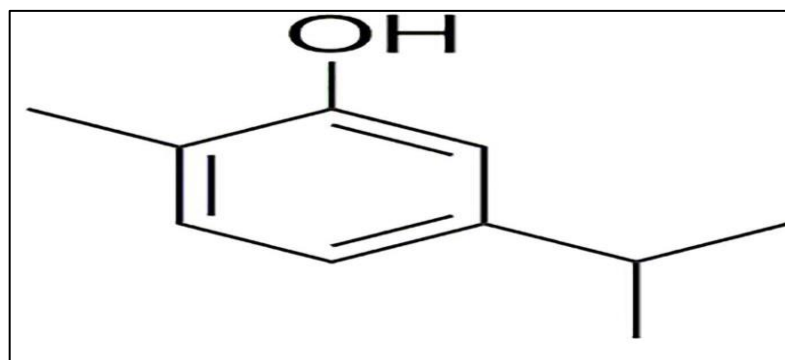


Fig 32 : La structure chimique de carvacrol.14

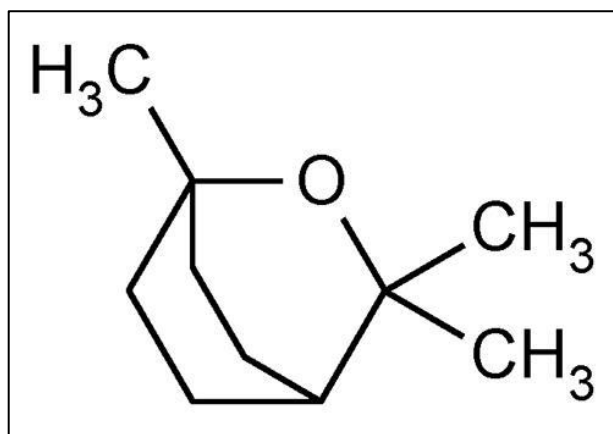


Fig 33 : La structure chimique de 1,8-cinéo.¹⁴

De plus, les huiles essentielles du genre *Mentha* possèdent une activité antifongique importante contre plusieurs champignons pathogènes. **Stringaro *et al.*, (2018)** ont indiqué que les composés terpéniques présents dans les huiles essentielles des espèces de menthe peuvent inhiber la croissance fongique et empêcher la formation des biofilms microbiens. Cette activité antifongique renforce l'intérêt de *Mentha aquatica* comme agent naturel de biocontrôle dans les domaines agricole et pharmaceutique.

Ainsi, les propriétés insecticides, répulsives, antibactériennes et antifongiques de *Mentha aquatica* confèrent à cette plante un potentiel considérable pour le développement de biopesticides naturels destinés à la protection des cultures agricoles et à la lutte contre les insectes vecteurs de maladies, tout en limitant les effets néfastes des pesticides synthétiques sur l'environnement et la santé humaine (**Senatore *et al.*, 2005**).

II.2.6. Toxicologie

Le menthofurane, composé reconnu pour sa toxicité élevée, confère à la plante une odeur particulièrement intense. Il constitue le composé majoritaire tout au long du cycle de développement, suivi par le limonène et le trans- β -ocimène, dont la teneur augmente durant la phase de floraison, ainsi que par le β -caryophyllène, le ledol et le β -pinène. Le menthol n'a pas été détecté, tandis que la menthone n'est présente qu'à l'état de traces, uniquement durant la phase de sénescence. D'autres analyses de *Mentha aquatica* (**Andro *et al.*, 2013**), réalisées dans différentes régions, ont montré des profils chimiques similaires, caractérisés par une prédominance du menthofurane. Toutefois, certains chémotypes distincts ont été identifiés, notamment celui décrit par **Akbar *et al.*, (2006)**, qui ont mis en évidence, chez des échantillons prélevés dans la région de Mazandaran (Iran), une composition dominée par le β -caryophyllène (12 %), le viridiflorol (11 %), le 1,8-cinéo (10 %), le germacrène D (7,7 %) et la carvone (5,7 %). Contrairement aux populations européennes, ces spécimens iraniens se caractérisent par l'absence de menthofurane.

Le menthofurane est fréquemment associé au pulégone dans plusieurs espèces du genre *Mentha*, telles que *Mentha × piperita*, *Mentha pulegium* et *Mentha aquatica*. Il est issu de l'oxydation du pulégone par une mono-oxygénase de type cytochrome P450 (**Brian, 2006**). À son tour, le menthofurane peut être oxydé en isomintlactone et en mintlactone, deux composés capables de former des liaisons covalentes avec les protéines hépatiques, entraînant ainsi leur altération. Il convient toutefois de noter que le pulégone présente une hépatotoxicité plus marquée que le menthofurane.

Selon l'Agence européenne des médicaments, l'exposition journalière acceptable (**HMPC, 2005**) au pulégone et au menthofurane est estimée à 0,07 mg/kg de poids corporel. Ainsi, pour un adulte de 50 kg, la dose maximale recommandée est d'environ 3,5 mg par personne et par jour.



Partie II

Partie expérimentale

CHAPITRE 1

Matériels et Méthodes

Matériel végétal :

Le matériel végétal utilisé comprend dix types de blé dur et deux types de plante médicinale (*Mentha pulegium*, *Mentha aquatica*).

I. La menthe**I. 1. Description de la Plante étudiée****I. 1.1 Emplacement géographique de la collecte d'échantillons**

La collecte des échantillons de plantes a été effectuée dans la région de Hassi Khalifa, appartenant à la wilaya d'El Oued (sud-est de l'Algérie). Cette région se caractérise par un climat désertique sec et un sol sableux, offrant un environnement favorable au développement des plantes aromatiques et médicinales.

I. 1.2 *Mentha aquatica* : Menthe d'eau

C'est une plante herbacée vivace qui pousse généralement dans les milieux humides, notamment au niveau des berges des cours d'eau. L'échantillon a été prélevé dans la région de Hassi Khalifa, et seule la partie aérienne de la plante (feuilles et tiges) a été utilisée dans cette étude.

I. 1.3 *Mentha pulegium* : Fleo

Connue localement sous le nom de « Fleo », c'est l'une des plantes aromatiques les plus répandues dans la région. L'échantillon a été prélevé dans la région de Hassi Khalifa, et la partie aérienne de la plante (feuilles et tiges) a été utilisée dans cette étude.

- Les parties de la plante (tiges et feuilles) sont soigneusement collectées pour exclure les parties infectées, puis lavées à l'eau distillée pour éliminer les impuretés et séchées à l'aide de papier filtre pour empêcher la croissance de champignons.

- La Plante sont étalées en fines couches sur du papier propre, dans un endroit bien ventilé et à l'abri de la lumière du soleil, pendant 15 jours.

- Une fois la plante complètement séchée, elle est broyée à l'aide d'un broyage électrique pour obtenir une poudre fine, puis soumise à un processus de trempage.

I. 2. Préparation des extraits

Le processus d'extraction est une étape cruciale dans l'isolement des composés secondaires métaboliques des tissus végétaux, et cette étude s'est appuyée sur la technique de macération pour son efficacité à maintenir la stabilité des composés sensibles à la chaleur.

25 g des parties de l'air de la (*Mentha aquatica*) et de la plante (*Mentha pulegium*) ont été pesées à l'aide de la balance. Le matériel végétal a été immergé dans un mélange

d'extraction composé de 80 ml de méthanol et 20 ml d'eau distillée pour obtenir un dissolvant hydro-méthanol dans un rapport de volume (80 :20, V/V).

Pour assurer une extraction optimale, le mélange a été trempé dans une tasse en verre recouverte de feuille d'aluminium et protégé de la lumière (dans l'obscurité totale) pendant 24 heures à température ambiante. Il s'agit d'éviter l'oxydation des composés phénoliques et la détérioration des pigments végétaux sous l'influence de la lumière. Pour épuiser complètement le matériau végétal, le processus d'extraction a été répété trois fois de suite avec la régénération du solvant à chaque cycle.

À la fin du processus, les extraits résultants ont été filtrés à l'aide de papier filtre stérile, puis les filtres ont été collectés pour obtenir un extrait final homogène, en préparation de la phase concentration à l'aide d'un évaporateur rotatif (Rotavapor).

La solution d'extrait d'hydro-méthanol a été concentrée à l'aide de l'évaporateur rotatif à une température de (40°C) et sous basse pression jusqu'à ce que le solvant soit complètement retiré. Transférez ensuite l'extrait brut dans four de séchage à une température de (35–40°C) pour le séchage final jusqu'à ce qu'une masse constante soit obtenue.

Conserver l'extrait sec dans des flacons recouverts d'aluminium à une température de 4°C au réfrigérateur, en préparation des analyses ultérieures.

I. 3. Calcul du rendement d'extraction.

Le rendement d'extraction, comme il est défini par **Cheurfa *et al.*, (2013)**, représente le pourcentage de la masse de l'extrait obtenu après évaporation du solvant par rapport à la masse initiale de la poudre de la plante soumise à l'extraction. Il est calculé selon la formule suivante :

$$- R (\%) = (M / M_0) \times 100$$

Sachant que :

- **R** : rendement en pourcentage
- **M** : poids en gramme de l'extrait sec résultant
- **M₀** : poids en gramme du matériel végétal sec de départ

I. 4. Screening phytochimique.

Le criblage chimique regroupe diverses méthodes et techniques dédiées à la préparation et à l'analyse des substances organiques naturelles extraites des plantes. Ces méthodes permettent d'identifier les différentes familles de métabolites secondaires présents, grâce à une série de réactions chimiques, de colorations ou de précipitations utilisant des réactifs chimiques spécifiques appliqués sur l'extrait (**Chaima & Selma, 2023**).

I. 4. 1. Test des polyphénols

0,1 g de chaque extrait a été dissous dans 3 ml de son solvant d'origine. Ensuite, 5 gouttes de FeCl_3 à 2 % ont été ajoutées. La présence de composés phénoliques a été indiquée par l'apparition d'une couleur bleu-verdâtre (Zineb *et al.*, 2023).

I. 4. 2. Test des flavonoïdes

On ajoute 1 ml de HCl, 1 ml d'eau distillée, et 1 ou 2 morceaux de Mg à quelques millilitres de la solution d'extrait dans un tube à essai. La présence de flavonoïdes libres est indiquée par une coloration rose orangé (flavones), rose violacé (flavonones), ou rouge cerise (flavonols) dans la couche surnageant du mélange (Chaima & Selma, 2023).

I. 4. 3. Test des tannins

À 1 ml de l'extrait brut, 0,5 ml d'une solution à 1 % de chlorure ferrique (FeCl_3) a été ajouté ; Une couleur bleu-vert ou bleu-noir indique la présence de tanins (Abid, 2023).

I. 4. 4. Test des sucres réducteurs

Prélevez 1 ml de l'extrait et mélangez-le à 2 ml de solution de Fehling. Placez les tubes dans Un bain-marie pendant 20 minutes. Une couleur rouge brique indique un résultat positif (Akram, 2018).

I. 4. 5. Test des saponosides

Les saponosides sont identifiés en préparant un mélange de 1 ml d'extrait et de 1 ml d'eau distillée. Si, après avoir agité le mélange pendant 15 secondes, une mousse persistante de plus de 1 cm apparaît, cela indique la présence de saponosides (Aida et Mbarka, 2022). 'alcaloïdes (Zineb *et al.*, 2023).

I. 5. Dosage des composées phytochimiques

I. 5.1 Dosage des polyphénols totaux (PPT)

La méthode de dosage des polyphénols totaux a été réalisée par spectrophotométrie, en utilisant la méthode colorimétrique avec le réactif de Folin-Ciocalteu. Ce dosage repose sur la quantification de la concentration totale des groupements hydroxyles présents dans l'échantillon. Parallèlement, une courbe d'étalonnage a été établie dans des conditions 30 opératoires identiques, en utilisant l'acide gallique à diverses concentrations (Fetni Fatma, 2022).

❖ Principe du test :

Le réactif de Folin-Ciocalteu est un acide de couleur jaune, composé d'un mélange d'acide phosphotungstique ($\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($\text{H}_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$). Lors

de l'oxydation des phénols, le réactif subit une réduction, produisant un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène. La coloration résultante, dont l'absorption maximale se situe dans le domaine du proche infrarouge, est proportionnelle à la concentration des composés phénoliques oxydés présents dans les extraits végétaux (**Mohammed & Ahlem, 2020**).

❖ Mode opératoire :

Dans le cadre de l'analyse chimique, la détermination des phénols totaux constitue une étape fondamentale. La méthode de dosage des polyphénols par spectrophotométrie, selon la méthode Folin-Ciocalteu, a été employée. Pour ce faire, un volume de 200 µL de l'extrait a été introduit dans des tubes à essai, avec un volume de 800 µL de réactif de Folin-Ciocalteu (10 fois dilué par de l'eau distillée). Dans un second temps, 1 millilitre de carbonate de sodium, ou (Na_2CO_3 / 7.5%), ont été ajoutés à la solution. Dans le cadre de l'expérience, les différentes solutions ont été maintenues dans l'obscurité pendant une durée de 30 minutes (**Bouabid *et al.*, 2020**). Chaque solution préparée est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible de type BIOCHROM LIBRA S6, à une longueur d'onde de 765 nm, en utilisant un blanc comme référence. Les valeurs d'absorbance sont proportionnelles à la quantité de polyphénols présente dans nos extraits, et les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique par gramme de l'extrait sec (**Aya *et al.*, 2018**).

I. 5. 2. Dosage des flavonoïdes Totaux (FVT)

Les teneurs en flavonoïdes ont été mesurées en utilisant le trichlorure d'aluminium (AlCl_3) comme réactif (**Bougheouat *et al.*, 2018**).

❖ Principe du test

Les concentrations en flavonoïdes ont été déterminées selon une méthode adaptée de (**Aya *et al.*, 2018**). En utilisant le chlorure d'aluminium (AlCl_3) comme réactif.

❖ Mode opératoire

Afin d'effectuer le dosage, il a été nécessaire de mélanger 1 ml de l'extrait à 1 ml d' AlCl_3 , puis d'incuber le mélange à température ambiante pendant 20 minutes. L'absorbance de chaque solution préparée a été mesurée dans le même spectrophotomètre à une longueur d'onde de 430 nm, en utilisant un blanc comme référence. Les valeurs d'absorbance obtenues sont proportionnelles à la quantité de flavonoïdes présentes dans l'extrait étudié. Les résultats sont exprimés en milligrammes équivalents de quercétine par gramme de l'extrait sèche.

I. 5. 3. Dosage des concentrations de tanins condensés :

❖ Principe du test :

Le principe repose sur la réaction de la vanilline avec les unités de flavan-3-ols (les briques élémentaires des tanins condensés).

❖ Mode opératoire :

Cette méthode repose sur la réaction de condensation entre la vanilline et les unités flavan-3-ol (tanins) en milieu fortement acide, formant un complexe coloré dosé par spectrophotométrie. Concrètement, 1 mL d'échantillon méthanolique est mélangé à 5 mL de réactif (un mélange équimolaire de vanilline à 1 % et d'HCl à 8 %), puis 5 mL d'HCl à 4 % sont ajoutés sous agitation rapide. Après incubation à l'obscurité pendant 20 minutes, l'absorbance est mesurée à 500 nm afin de déterminer la concentration en tanins à partir de l'intensité de la coloration obtenue.

II. Les solvants des champignons associés de stockage de blé

II. 1. Description de la zone d'étude d'Adrar

La wilaya d'Adrar se situe au sud-ouest algérien dans le Sahara central à une

Distance d'environ 1543 km de la capitale Alger, à une altitude de 279 m. En latitude de 27° 49 'Nord et longitude de 0° 11' Est (INRAA, 1998) (figure 34). Elle couvre une

Superficie globale d'environ 427,971 km² soit 19,97% du territoire national (DUBOST, 2002) .Elle est limitée par le Mali au Sud-ouest, la Mauritanie au Sud- Est, la wilaya de Tamanrasset à l'Est, par la wilaya d'El-Bayad et par la wilaya de Bécharr au Nord-Ouest ,la wilaya de Ghardaïa au Nord et à l'Ouest par la wilaya de Tindouf.

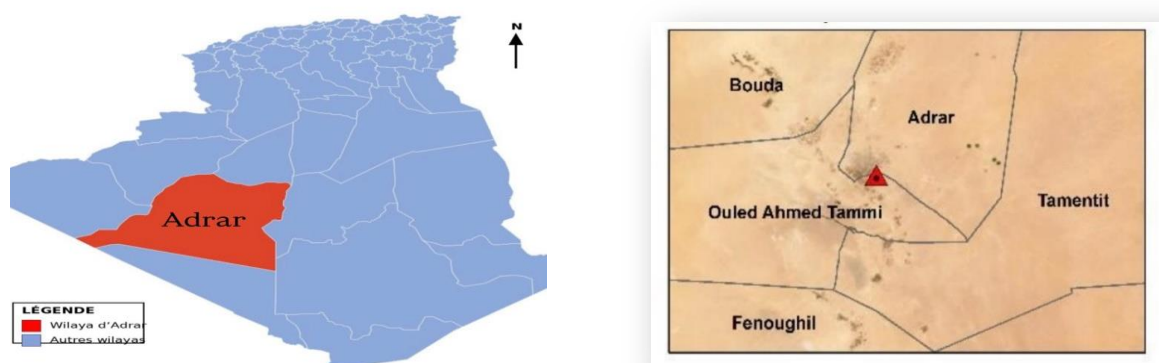


Fig 34 : La situation géographique et administrative de la région d'Adrar.

Tableau 05 : caractéristique des échantillons de blé étudiés selon la zone de collecte, la variété et le mode de stockage.

Code Region		Variété	Méthode de stockage
A	Talmine, Djedir	Ouled Kadour	Sac de rangement en argile pour garage
B	Talmine, Briller	Ouled Kadour	Sac de rangement en argile pour garage
C	Talmine, Djedir	Ouled Kadour	Sac ventilité
D	Talmine, GLOU	Ouled Kadour	Bocal
E	Fenoughil	Blemabrouk	Sac en plastique
F	Fixé	Belmabrouk	Filet métallique
J	Fenoughil, Menssour	Mixt	Fut en plastique
H	Fixé	Mixt	Sac à Farine
I	Fenoughil,Menssour	Mixt	Filet métallique
K	Le département	Oulad hadj Mansoura (Sabaga)	Filet métallique

Le tableau 05 représente caractéristiques des échantillons de blé qui ont été étudiés en fonction de la zone de collecte, de la variété et de la méthode de stockage, où nous observons une nette différence dans la fréquence des variétés, où dans la catégorie des Ouled Kadour, nous notons sa présence dans le tableau pour un plus grand parent, car elle comprend 4 échantillons complets (A B C D) et sa présence était géographiquement limitée à la zone de Talmine avec stockage entre les(sacs et Bocal) Et à la deuxième place de la répétition vient la classe mixte avec 3 échantillons (J H I) et cette variété est répartie entre les régions de Fenoughil et en ce qui est de la catégorie (Belmabrouk) qui ne comprenait que deux échantillons (E F) dans les zones de Fenoughil également, et en retour, l'apparition de la classe des Oulad hadj Menssour (Sabaga) comme la catégorie la moins représentée avec un seul échantillon (K) dans la région de Tamnit, ce qui peut indiquer la spécificité et la limitation de la propagation de cette variété par rapport à d'autres espèces telles que Ouled Kadour.

Une structure de stockage est un espace clos approprié dont la finalité est de renfermer et préserver les denrées pendant une durée donnée. Dans le cas des céréales, que le stockage soit paysan ou commercial, quatre structures ont été identifiées :

- A** : représente le stockage traditionnel
- B** : représente un silo souterrain de stockage
- C** : représente le stockage en sac
- D** : représente le stockage en vrac des céréales.



Fig 35 : Différentes méthodes de stockage du blé.

II. 3. Caractéristiques morphologiques des grains de blé étudiés

La **figure 36** suivante montre les différences morphologiques apparentes entre les différentes variétés utilisées dans Cette étude. Les échantillons codés par lettres ont été disposés sur un papier graphique précis pour faciliter la comparaison directe, car les grains diffèrent par leurs propriétés structurales de base telles que la taille, la forme elliptique et la couleur, en plus de la texture et de l'apparence de la couche extérieure.

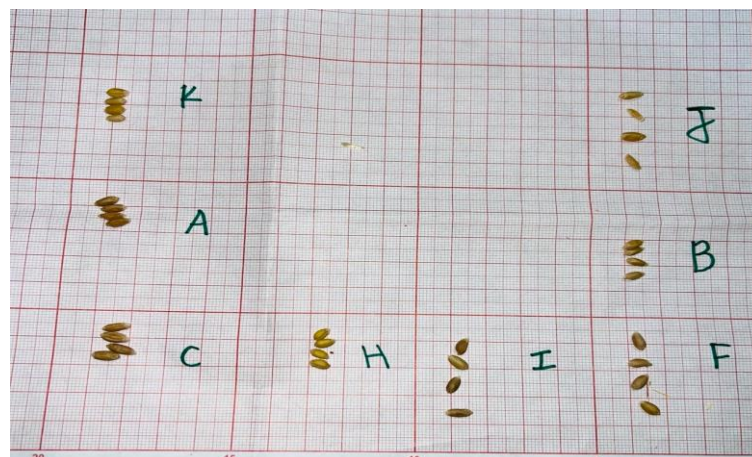


Fig 36 : Différents aspects morphologiques des grains de blé étudiés.

II. 4. Echantillonnage

Il est possible de connaître les caractéristiques d'une masse de grains dans son ensemble, On doit donc se limiter à l'étude d'un échantillon dont la qualité première doit être

sa représentativité : c'est là tout le problème de l'échantillonnage ; ensemble des opérations qui à partir d'une masse de grains permet d'obtenir un échantillon sur lequel sont faites les analyses.

II. 4.1. Choix des échantillons

Partant du principe de notre travail qu'est l'étude des produits céréaliers stockés, destinés à l'alimentation humaine et animale, le choix des échantillons est prélevé, sur blé dur local.

- Les prélèvements sont faits le **25/09/2025**.

II. 5. Analyses physicochimiques

II. 5.1. Détermination de l'humidité relative (HR)

Le principe consiste à une déshydratation de 5g de chaque échantillon par séchage à l'étuve 105°C, la pesée s'effectuera toutes les 2 heures après séchage complet, jusqu'à l'obtention d'un poids constant .

Le taux de L'HR est donné par la formule suivante.

$$HR = (Po - P.) - (P, - P.) / \times 100$$

Po : Poids de la tare et l'échantillon.

P1 : Poids constant après séchage multiple.

P : Poids de la tare.



Fig 37 : Détermination de l'humidité du blé.

II. 5.2. Détermination du pH

L'alcalinité ou l'acidité de nos échantillons est estimée tout en préparant des Solutions à base de 45ml d'eau distillée et 5g de chaque échantillon, placés dans des flacons, après deux heures, la mesure est effectuée à l'aide d'un pH mètre.



Fig 38 : Détermination du pH du blé.

Analyse microbiologique :

II. 6. Préparation de l'échantillon

II. 6.1. Méthode d'Ulster

L'expérimentation consiste à utiliser des boîtes de Petri stériles, avec le milieu de plantation approprié sur lequel, 45 grains (de chaque échantillon) pris au hasard sont disposées à raison de 10 grains par boîte, après cela, la stérilisation de surface des graines est effectuée.

II. 6. 2. Stérilisation superficielles des semences

Après avoir sélectionné 45 graines de chaque variété blé dur. Les semences sont stérilisées Superficiellement pour éviter les contaminations épiphytes, pour cela nous avons adopté le protocole de **Helander *et al.*, (1994)**

- Mettre les graines dans l'eau de javel pendant 2 minutes) ;
- Rincer avec l'eau distillée stérilisée ;
- Mettre les graines dans l'éthanol pendant 2 minutes ;
- Rincer avec l'eau distillée stérilisée ;



Fig 39 : Stérilisation superficielle des semences.

II. 6. 3. Méthode d'Ulster modifiée :

q45 grains pris au hasard de chaque échantillon, est divisé en 30 grains entiers et 15 pilules divisées en deux moitiés de longueur. Après le processus de stérilisation donc disposé sur du papier filtre à des fins de séchage, puis placés dans des boîtes de Petri contenant un milieu de culture PDA, dans la zone stérilisée et chaque boîte contient 10 grains de blé. Après cela les boîtes sont fermées et incubées dans à 25°C pendant (**7 jours**) Pour la croissance de la spore.

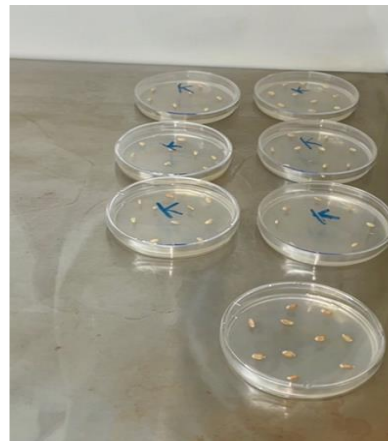


Fig 40 : Étapes d'ensemencement de grains de blé sur le milieu PDA.

- Préparation du milieu de culture PDA :

Le milieu de culture PDA à base de pomme de terre, de glucose, et d'Agar-agar, est un milieu nutritif microbiologique utilisé couramment pour cultiver les champignons. Pour la préparation de ce milieu nous avons un protocole qui est le suivant :

- Eplucher et couper en petits dés 200grammes de pomme de terre.
- Ajouter 100 ml d'eau distillée et mettre à cuire pendant 20 minutes .
- Après la cuisson, filtrer le mélange.

- Mélanger à l'extrait de la pomme de terre 20 grammes de glucose et 20 grammes d'Agar agar et ajuster avec de l'eau distillée jusqu'à 1000 ml et mettre encore en agitation pendant 30 minutes.
- Verser le milieu de culture dans les flacons puis les mettre dans l'étuve à 120 °C durant 30 minutes.

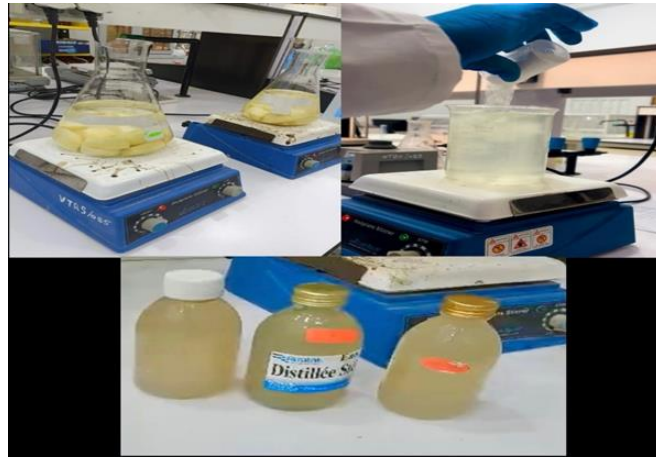


Fig 41 : Préparation du milieu PDA.

- Surveillance et suivi de la croissance innée :

Des signes de croissance fongique commencent à apparaître 48 à 72 heures après l'incubation, représentés par l'émergence de filaments de mycélium minuscules libérés des grains de blé vers le milieu du PDA. Au fur et à mesure que l'incubation se poursuit, cette croissance s'intensifie radialement pour couvrir la surface du plat, ou elle passe d'une texture de coton blanc à des colonies colorées pour coïncider avec l'étape de sporulation. Le contraste des couleurs et des formes apparentes met en évidence la biodiversité des champignons associés à l'échantillon et leur capacité active à consommer le milieu nutritif.

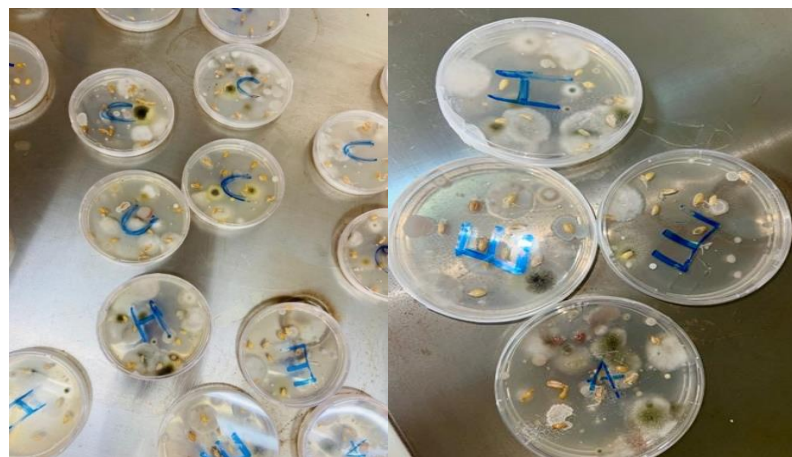


Fig 42 : L'apparition des colonies de moisissure.

- Purification et isolement des souches fongiques :

Après la période d'incubation et l'apparition de colonies fongiques primaires sur le PDA, le processus d'isolement sélectif commence à obtenir des fermes pures (Pure cultures) ce processus en transférant un disque (D'un diamètre d'environ 5 mm) à partir du bord de la croissance fongique active à l'aide d'une pipette pasteur stérile ou d'un scalpel de laboratoire, et replanté (Repiquage) dans de nouvelles boîtes de pétri contenant le même milieu de culture.

Cette étape vise à séparer les différentes souches microbiennes, permettant la croissance d'une colonie homogène et unique. Le processus de transfert est répété plusieurs fois pour s'assurer que l'isolement est complètement pur, en préparation de la réalisation d'études morphologique et de la définition microscopique précise des champignons associés aux grains blé.

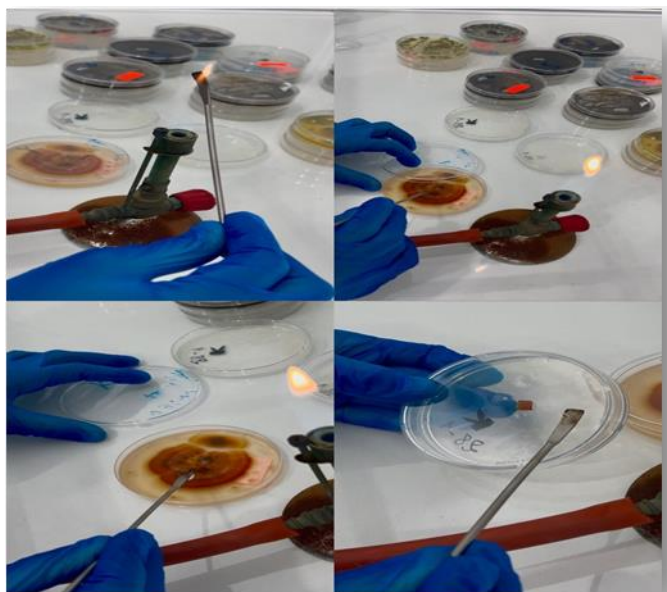


Fig 43 : Purification et isolement des souches fongiques.

- Activité antifongique

L'étude de l'activité antifongique des extraits naturels a été effectuée selon la technique définie par **Bautista-Baños et al., (2002)** légèrement modifiée. Cette méthode consiste à préparer une solution mère avec une concentration initiale de 100mg/ml DMSO (dilué 10%), après, deux doses (500 µl et 250 µl et 50 µl) ont été sélectionnées pour évaluer la capacité antifongique de nos extraits. Après l'écoulement et le refroidissement du milieu de culture PDA dans des boîtes de Petri (24 heures), une quantité de 500 µl et 250 µl et 50 µl a été dispersée sur la surface de ce milieu de culture et laissée sécher 20 à 30 min. Après, des disques de 5 mm de diamètre des champignons testés (culture jeune de sept jours max) est déposée sur le milieu de culture pour suivre la croissance mycélienne de ceux-ci. L'incubation

a été faite à une température de 27°C. L'essai est considéré terminé lorsque la boîte du témoin est remplie par la colonie du champignon. Les manipulations ont été faites dans des conditions aseptiques. Trois répétitions ont été effectuées pour chaque test. Le témoin est constitué de trois boîtes qui contiennent le PDA seulement.

- **Détermination de la vitesse de la croissance mycélienne (VC)**

Selon **Bakan *et al.*, (2002)**, la vitesse de la croissance mycélienne du champignon est déterminée par la formule suivante :

$$VC = [D1/Te1] + [(D2-D1) /Te2] + [(D3-D2) /Te3] + ... + [(Dn-Dn-1) / Ten]$$

Où : **D** : est le diamètre de la zone de la croissance mycélienne journalière.

Te : est le temps de l'incubation du champignon

- **Calcul du taux d'inhibition**

Les taux d'inhibition ont été calculés pour comparer l'efficacité des extraits des plantes en utilisant la formule de **Hmouni *et al.* (1996)** :

$$I (\%) = [(A-B) /A] \times 100$$

Où : **I** : est le pourcentage d'inhibition des champignons testés ;

A : est le diamètre moyen de la croissance mycélienne du champignon du témoin

B : Diamètre moyen de la croissance mycélienne du champignon en présence de l'extrait.

CHAPITRE 2

Résultats et discussion

I. Rendement d'extraction des extraits de *Mentha*

Les résultats obtenus concernant le rendement d'extraction des extraits végétaux montrent une variation entre les deux espèces étudiées.

En effet, l'extrait de *Mentha pulegium* obtenu par macération dans un mélange hydro-méthanolique (80/20, v/v) a présenté un rendement de 12,72 %, tandis que celui de *Mentha aquatica* a atteint un rendement plus élevé de 14,28 %.

Ainsi, les résultats indiquent que *Mentha aquatica* possède une capacité d'extraction légèrement supérieure à celle de *Mentha pulegium*, ce qui pourrait refléter une richesse plus élevée en composés extractibles.

II. Résultats du criblage phytochimique

II.1. Mise en évidence des métabolites secondaires

Les résultats de la détection qualitative des familles chimiques d'extraits préparés ont montré une variation de la teneur chimique entre les deux types de *Mentha pulegium* Et *Mentha aquatica*. Les deux plantes ont enregistré une présence positive pour les deux tanins, les polyphénols. Terpénoïdes, indiquant la valeur biologique élevée Pour ces types.

D'autre part, les résultats ont révélé que l'extrait de *Mentha aquatica* se caractérise par la présence de (flavonoïdes) et (sucres réduits) Ce sont des composés qui sont absents dans l'échantillon d'herbe à chat (*Mentha pulegium*).

En ce qui concerne les saponosides, les résultats ont enregistré une absence complète de ce composé dans les deux types étudiés. Cette variation observée de la composition chimique est due à la différence génétique entre les deux espèces, en plus des conditions environnementales et climatiques qui peuvent directement affecter le métabolisme secondaire de la plante.

Tableau 06 : Résultats du criblage phytochimique qualitatif des extraits EMMP et EMMA

C. Phytochimique	EMMP	EMMA
Polyphenols	+++	+++
Flavonoides	++	+++
Tannins	+++	+++
Sucres réducteurs	-	++
Saponosides	-	-
Terpenoides	++	++
(-), Absence of phytochemicals; (+), presence of phytochemical.		

II.2. Dosage des composés phytochimique

Les composés phytochimiques des extraits de *Mentha pulegium* (EMMP) et de *Mentha aquatica* (EMMA) ont été évalués à travers le dosage des polyphénols totaux, des

flavonoïdes totaux et des tanins condensés. Les résultats du profil phytochimique révèlent que les deux extraits végétaux présentent des teneurs élevées en composés bioactifs. La teneur en polyphénols totaux (TPC) est relativement similaire entre les deux espèces, avec une légère supériorité observée chez *Mentha pulegium* (490,20 mg Eq AG/g ES) par rapport à *Mentha aquatica* (487,86 mg Eq AG/g ES). En revanche, *Mentha aquatica* présente des teneurs plus élevées en flavonoïdes totaux (TFC) et en tanins condensés (TCT), atteignant respectivement 423,78 mg Eq Qr/g ES et 258,83 mg Eq catéchine/g ES. Ces résultats suggèrent que *Mentha aquatica* est particulièrement riche en métabolites secondaires à forte activité biologique (Tab 04). La richesse de ces extraits en polyphénols, flavonoïdes et tanins pourrait expliquer leurs potentielles propriétés antioxydantes et antifongiques, largement rapportées dans la littérature scientifique pour les espèces du genre *Mentha*.

Tableau 07 : Résultat Profile Phytochimique.

	EMMP	EMMA
TPC (mg Eq AG/g ES)	490.20 $\pm$ 4.33	487.86 $\pm$ 1.22
TFC (mg Eq Qr/g ES)	355.02 $\pm$ 0.04	423.78 $\pm$ 0.017
TCT (mg Eq Catechin/g ES)	202.72 $\pm$ 5.49	258.83 $\pm$ 4.90

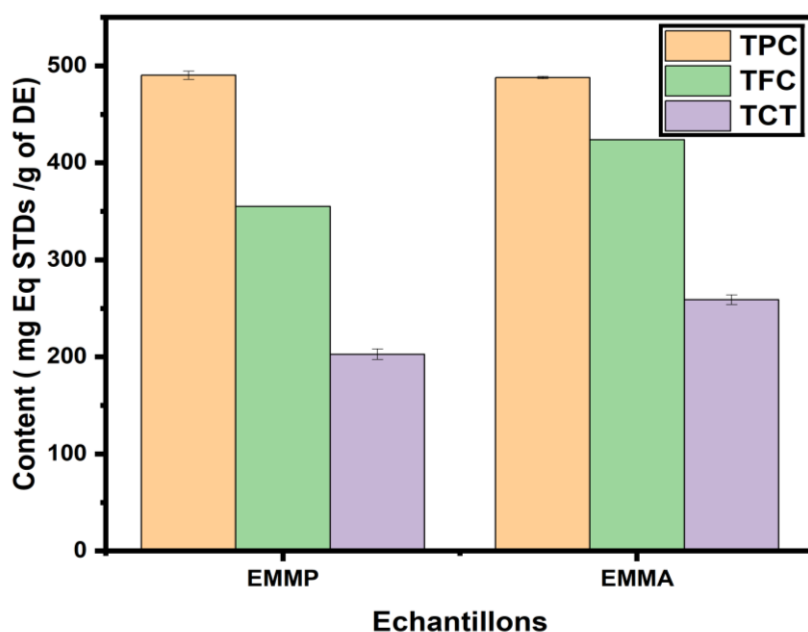


Figure 44 : Résultat Profile Phytochimique

III. Résultats des analyses physicochimique du blé

III.1. Teneur en humidité (HR)

Tableau08 : Résultats d'humidité (HR).

Type de blé	Avant	Après 2h	Pourcentage
B	5g	4.8305g	3.50%
F	5g	4.8400g	3.30%
K	5g	4.7842g	4.51%
D	5g	4.7338g	5.62%
I	5g	4.7583g	5.07%
C	5g	4.7793g	4.61%

En comparant les résultats obtenus avec les normes algériennes en vigueur (IANOR et Journal Officiel), il apparaît que les teneurs en humidité de tous les échantillons analysés (variant de 3,30 % à 5,62 %) sont nettement inférieures à la limite maximale autorisée de 14,5%.

III.2. Ph des échantillons

Les résultats obtenus montrent une augmentation générale du pH dans tous les échantillons après deux heures d'incubation. Les valeurs sont passées d'un milieu légèrement acide (pH moyen de 6,69) vers des valeurs proches de la neutralité, voire légèrement basiques, comme dans l'échantillon B (pH = 7,13).

Tableau09 : Résultats de Ph.

Type de blé	Avant	Après 2h
B	6.71	7.13
F	6.69	6.76
K	6.73	6.98
D	6.71	6.86
I	6.68	6.90
C	6.63	6.75

Cette évolution du pH pourrait être attribuée à des réactions biochimiques se produisant dans le milieu au cours de la période d'incubation, notamment l'activité enzymatique ou microbienne susceptible de modifier l'équilibre acido-basique des échantillons.

Les paramètres physico-chimiques des échantillons de blé, notamment la teneur en humidité et le pH, jouent un rôle déterminant dans la stabilité microbiologique et la susceptibilité à la contamination fongique.

Les résultats obtenus montrent que la teneur en humidité des échantillons est relativement faible (3,30 % à 5,62 %), et largement inférieure au seuil critique de 14,5 %

recommandé pour le stockage des céréales. En général, une faible humidité limite le développement des champignons, car l'eau disponible constitue un facteur essentiel pour la germination des spores et la croissance mycélienne. Ainsi, les faibles valeurs enregistrées suggèrent une réduction potentielle du risque de contamination fongique dans les échantillons étudiés.

Par ailleurs, les mesures de pH ont montré une légère augmentation après incubation, passant d'un milieu légèrement acide (pH moyen 6,69) vers des valeurs proches de la neutralité, voire légèrement basiques. Cette variation peut être liée à des activités biochimiques ou métaboliques, notamment la dégradation de composés organiques présents dans le grain ou l'activité de micro-organismes éventuellement présents.

Il est important de noter que les champignons phytopathogènes, tels que ceux du genre *Fusarium*, se développent généralement de manière optimale dans des conditions de pH légèrement acides à neutres et en présence d'une humidité suffisante. Ainsi, même si l'humidité mesurée reste faible, toute augmentation locale de l'humidité ou déséquilibre du pH peut favoriser l'activité fongique.

De plus, l'interaction entre ces deux facteurs est essentielle : une humidité plus élevée peut augmenter la disponibilité des nutriments et faciliter les réactions enzymatiques, ce qui peut à son tour modifier le pH du milieu. Inversement, les changements de pH peuvent influencer la germination des spores et la production de métabolites fongiques.

En conclusion, bien que les échantillons analysés présentent globalement des conditions peu favorables au développement fongique (faible humidité et pH proche de la neutralité), ces paramètres restent dynamiques et peuvent évoluer lors du stockage. Cela souligne l'importance d'un contrôle rigoureux des conditions de conservation afin de limiter la contamination fongique et la détérioration des grains.

IV. Résultats de l'analyse microbiologique

Tableau 10 : Type de champignons dans les échantillons étudiés

Code Region	Variety	Storage méthode	
A	Talmine, Djedir	Ouled Kadour	Sac de rangement en argile pour garage <i>Alternaria</i> sp- <i>Alternaria</i> sp <i>Aspergillus flavus</i> – <i>Aspergillus neiger</i> – <i>penicillium</i> sp <i>Fusarium</i> sp - <i>stimphylium</i> sp – <i>bipolaris</i> sp
B	Talmine, Briller	Ouled Kadour	Sac de rangement en argile pour garage <i>Alternaria</i> sp - <i>Trichoderma</i> sp
C	Talmine, Djedir	Ouled Kadour	Sac ventilité <i>Alternaria</i> sp- <i>Alternaria</i> sp <i>Aspergillus flavus</i> – <i>Aspergillus neiger</i> – <i>penicillium</i> sp <i>Fusarium</i> sp - <i>stimphylium</i> sp – <i>bipolaris</i> sp
D	Talmine, GLOU	Ouled Kadour	Bocal <i>Alternaria</i> sp- <i>Alternaria</i> sp <i>Aspergillus flavus</i> – <i>Aspergillus neiger</i> – <i>penicillium</i> sp <i>Fusarium</i> sp - <i>stimphylium</i> sp – <i>bipolaris</i> sp
E	Fenoughil	Blemabrouk	Sac en plastique <i>Alternaria</i> sp- <i>Alternaria</i> sp <i>Trichoderma</i> sp
F	Fixé	Belmabrouk	Filet métallique <i>Fusarium</i> sp – <i>Aspergillus flavus</i> – <i>Aspergillus neiger</i> <i>Alternaria</i> sp- <i>Alternaria</i> sp
J	Fenoughil, Menssour	Mixt	Fut en plastique <i>Alternaria</i> sp- <i>Alternaria</i> sp <i>Aspergillus flavus</i> – <i>Aspergillus neiger</i> –
H	Fixé	Mixt	Sac à Farine <i>Alternaria</i> sp- <i>Alternaria</i> sp <i>Aspergillus flavus</i> – <i>Aspergillus neiger</i> – <i>penicillium</i> sp <i>Fusarium</i> sp - <i>stimphylium</i> sp – <i>bipolaris</i> sp
I	Fenoughil, Menssour	Mixt	Filet métallique <i>Alternaria</i> sp- <i>Alternaria</i> sp <i>Aspergillus flavus</i> – <i>Aspergillus neiger</i>
K	Le département	Oulad hadj Mansoura (Sabaga)	Filet métallique <i>Alternaria</i> sp- <i>Alternaria</i> sp <i>Aspergillus flavus</i> – <i>Aspergillus neiger</i> – <i>penicillium</i> sp <i>Fusarium</i> sp - <i>stimphylium</i> sp – <i>bipolaris</i> sp

IV.2. Genre *Alternaria*

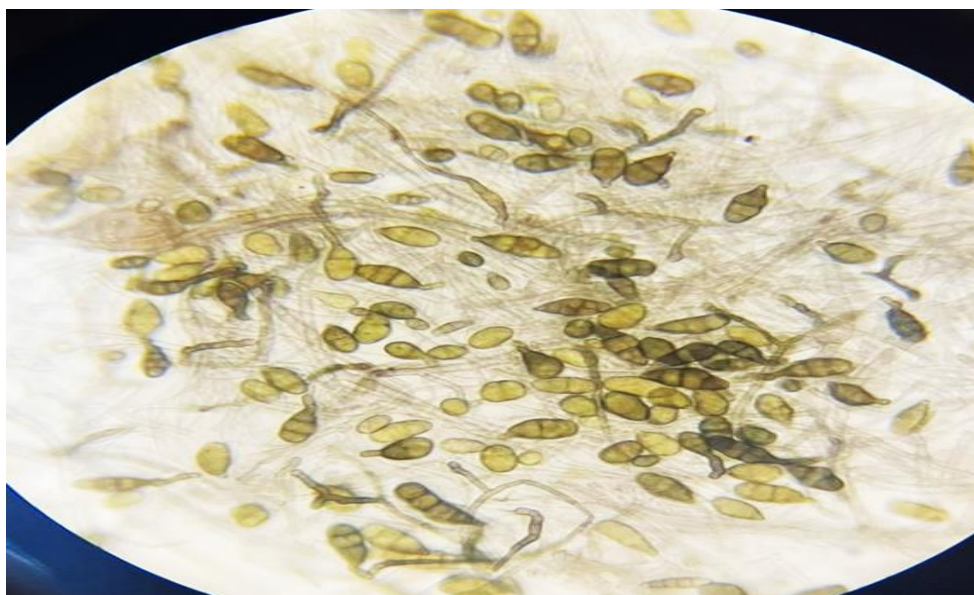
Les *Alternaria* sont des champignons filamenteux appartenant à la classe des ascomycota (Emlab, 2007 ; patterson *et al.*, 2009). Les *Alternaria* sont ubiquitaires, saprophytes ou parasites de plantes (Emlab, 2007 ; patterson *et al.*, 2009 ; UniProt Consortium ; 2009).

- Aspect macroscopique :

Les *Alternaria* forment des colonies gris-vert foncé. La colonie est plate, duveteuse à laineuse et elle est recouverte d'hyphes aériens courts et grisâtres devenant noir verdâtre (Larone, 1987). Le revers de la colonie est brun (Larone, 1987 ; Pattersons *et al.*, 2009).

- Aspect microscopique :

Les *Alternaria* sont caractérisés par des filament septés, lisses, ramifiés, de couleur brune. Les conidiophores portent des conidies pluricellulaire, ovoïdes, segmentés par des cloison (septa) transversales et longitudinales (Larone, 1987 ; Patterson *et al.*, 2009)



IV.3. Genre *Aspergillus*

Les *Aspergillus* sont cosmopolites, C'est un genre appartenant à la classe des Ascomycota. Ce genre comprend environ 185 espèces réparties en 18 groupes morphologiquement, génétiquement et physiologiquement proches (Raper et Fennell, 1965 ; Botton *et al.*, 1990 ; Roquebert, 1998).

Les *Aspergillus* ont une large répartition géographique, mais sont plus souvent associés aux régions à climat chaud (Castegnaro et Pfohl-Leszkowicz ,2002) ; ils se

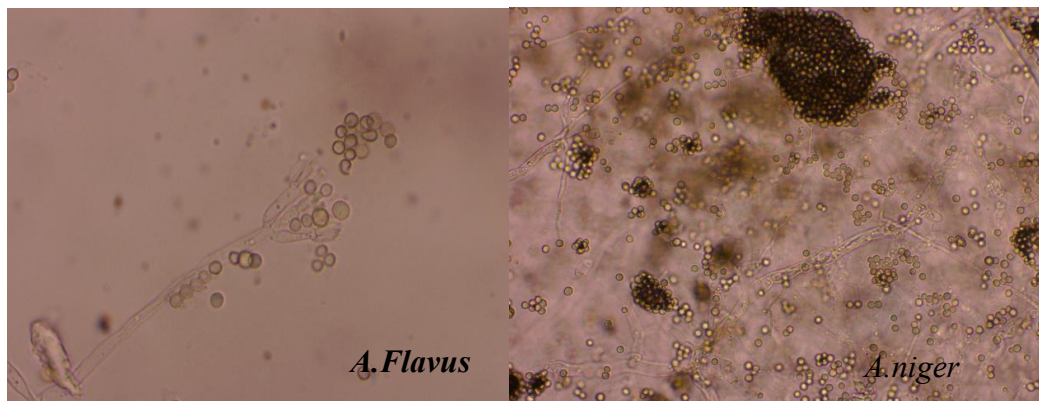
développent sur la matière organique en décomposition, dans le sol et les denrées alimentaires.

- **Aspect macroscopique :**

Les *Aspergillus* forment des colonies souvent poudreuses ou granuleuses et plates. Les colonies vont prendre leur teinte caractéristique brune ou noire (Samson *et al.*, 2004).

- **Aspect microscopique :**

Les *Aspergillus* sont caractérisés par un appareil végétatif (thalle) formé de filaments mycéliens hyalins, de diamètre fin et régulier*, septés et ramifiés (Larone, 1987 ; Fiedler *et al.*, 2001). Sur les filaments végétatifs prennent naissance des filaments dressés, non cloisonnés (conidiophores) qui se terminent par une vésicule de forme variable sur laquelle sont disposées les cellules conidiogènes ou phialides. Les phialides peuvent être insérées directement sur la vésicule (têtes unisériées) ou portées par des petites structures insérées sur la vésicule (têtes bisériées) nommées métules ou stérigmates (Samson *et al.*, 2004 ; Patterson *et al.*, 2009).



IV.4. Genre *Fusarium*

Les *Fusarium* sont des champignons cosmopolites. Les formes parfaites ou téléomorphes de quelques espèces de *Fusarium* sont connues, et appartiennent à la classe des Ascomycota (ordre des Hyphocreales, famille des Nectriaceae). Le genre comprend près de 40 espèces souvent largement répandues dans la nature et vivant en saprophytes (Nelson *et al.*, 1985).

- **Aspect macroscopique :**

Les *Fusarium* forment des colonies duveteuses ou cotonneuses de couleur variable (jaune ou rose) selon les espèces. Le revers peut être crème ou rouge. Les pigments diffusent souvent dans la gélose (de Hoog et Guarro, 1995 ; Sutton *et al.*, 1999).

- **Aspect microscopique :**

Le principal caractère microscopique des *Fusarium* est présence de macroconidies fusiformes et cloisonnées (Nucci & Anaissie, 2007). Les conidiophores sont ramifiés, forment sur le thalle des coussinets (sporodochies) et portent des masses de spores. Les phialides sont plus ou moins allongées (Larone, 1987 ; Sutton *et al.*, 1999).

IV.5. Genre *Trichoderma*

Trichoderma est un genre appartenant aux Ascomycota. C'est un champignon cosmopolite avec une distribution mondiale. Actuellement, il existe 89 espèces dans le genre *Trichoderma* (Samuels et Gary, 2006).

- **Aspect macroscopique**

Les colonies sont d'abord transparentes sur les milieux. Elles sont à l'origine hyalines à blanches, avec des touffes vertes. La texture de la colonie est laineuse (Harman *et al.*, 2004)

- **Aspect microscopique**

Les conidiophores sont hautement ramifiés et hyalins, à touffes lâches ou compactes, souvent formés dans des anneaux concentriques distincts. Le conidiophore se termine par une ou quelques phialides. Les conidies sont vertes, lisses ou rugueuses (Harman *et al.*, 2004).

IV.6. Genre *Penicillium*

Ce genre réunit des champignons filamenteux, appartenant au phylum des Ascomycota. Ce genre comprend environ 227 espèces définies essentiellement d'après les caractères du thalle, des pénicilles et des spores (Pitt, 1998).

- **Aspect macroscopique**

Les penicilliums se développent et facilement sur les milieux de culture. Les colonies sont plates, duveteuses ou poudreuses. Après 3_4 jours d'incubation, la sporulation va conférer aux colonies leur teinte (vert bleu ou vert-gris) (Samson *et al.*, 1984 ; Samson *et al.*, 2004 ; Ellis, 2007 ; Patterson *et al.*, 2009)

- **Aspect microscopique**

Les *Penicillium* se distinguent par leur organisation en pinceau. Le thalle, formé de filaments mycéliens septés et hyalins, porte des conidiophores lisses ou granuleux, simples ou ramifiés qui se terminent par un pénicille inséré sur le conidiophore par l'intermédiaire des métules et possèdent des conidies de forme rondes (Samson *et al.*, 1984 ; Larone, 1987 ; Patterson *et al.*, 2009).



IV.7. Genre *stimpfii*

• Aspect macroscopique:

Stemphylium sp. Des colonies fongiques apparaissent. * Sur les environnements alimentaires tels que PDA ou SAB en brun foncé, avec des bords gris-blanc ou gris verdâtre. La texture de la colonie est douce pour le coton, et peut ne pas s'élever trop au-dessus de la surface du milieu. Les champignons poussent à un rythme modéré, car la colonie peut mûrir en 5 jours environ. Le dos de la colonie est généralement noir.

• Aspect microscopique

Les fils fongiques (hyphae) se caractérisent par le fait qu'ils sont queevés (septate) et ont acquis une couleur brun clair à foncé avec l'âge du champignon, mais les porteurs fongiques (conidiophores) sont de couleur foncée et enflés au gre membres. En raison de la croissance répétée (prolifération percurrent) Ces porteurs produisent des spores sexuelles (conidia) de forme ronde à ovale et de couleur multicellulaire. Les spores individuelles peuvent d'abord apparaître en chaînes courtes.



IV.8. Genre *bipolaris*

• Aspect macroscopique:

Des colonies de champignons apparaissent **Bipolaris* sp. * Sur des milieux alimentaires tels que SDA ou PDA avec une croissance rapide à modérée, gris à brun foncé ou

noir. La texture de la colonie est généralement lisse à la laine ou au coton, et peut être dispersée (effuser) ou regroupée. L'arrière de la colonie est noir la plupart du temps. La colonie peut apparaître brun verdâtre foncé dans certains cas.

• Aspect microscopique

Les fils innés (hyphae) ils sont caractérisés par le fait d'être cheating et (septate) et leur couleur est brun clair à foncé porteurs de graines (conidiophores) qui sont du type (geniculate) et produisent de grandes spores sexuelles rectangulaires à ovales avec des barrières transversales. Les spores sont généralement sans bosse à la base de l'attachement (hilum) et sont caractérisées par une plante à deuxième polaire (bipolar germination)

V. Résultats de la vitesse de la croissance mycélienne (VC)

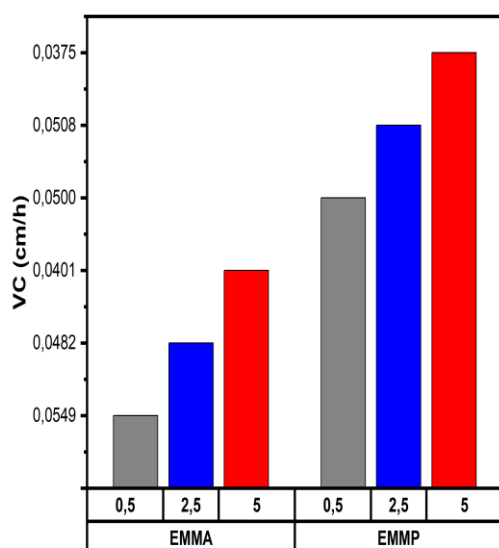


Figure 45 : Vitesse de croissance mycélienne (VC) de *Aspergillus flavus* en présence des extraits EMMP et EMMA

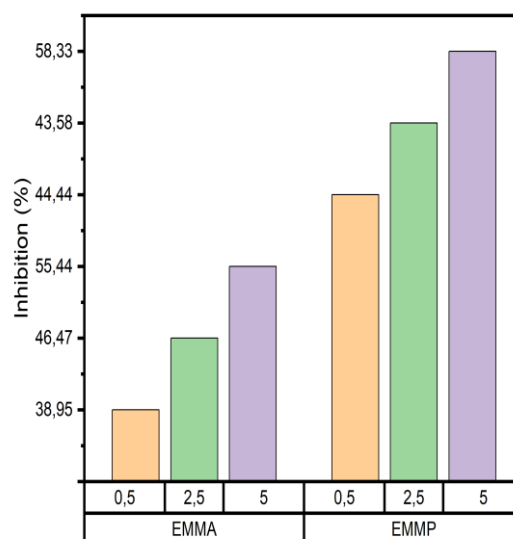


Figure 46 : Percentages d'inhibition de *Aspergillus flavus* en présence des extraits EMMP et EMMA

Les résultats montrent que les deux extraits végétaux ont exercé un effet inhibiteur sur la croissance mycélienne de *Aspergillus flavus*. La vitesse de croissance mycélienne (VC) a diminué avec l'augmentation de la concentration des extraits, traduisant une relation dose-dépendante. L'extrait EMMP a présenté l'activité antifongique la plus élevée à la concentration de 5 mg, avec un taux d'inhibition de 58,33 % et une vitesse de croissance de 0,0375 cm/h. L'extrait C a également montré une activité importante au même dosage, avec une inhibition de 55,44 % et une vitesse de croissance de 0,0401 cm/h.

Ces résultats suggèrent que les composés bioactifs présents dans les deux extraits sont capables de réduire significativement le développement mycélien de *A. flavus*.

L'augmentation progressive du taux d'inhibition avec la concentration confirme l'efficacité antifongique des extraits testés, particulièrement à la dose de 5 mg, qui s'est révélée la plus performante pour limiter la croissance du champignon.

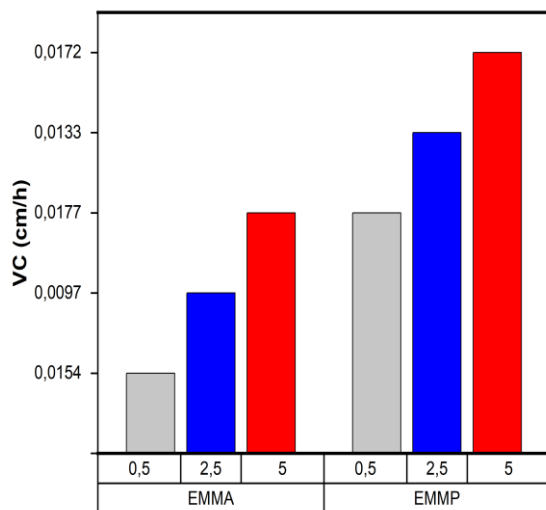


Figure 47 : Vitesse de croissance mycélienne (VC) de *Stemphylium* sp. En présence des extraits EMMP et EMMA

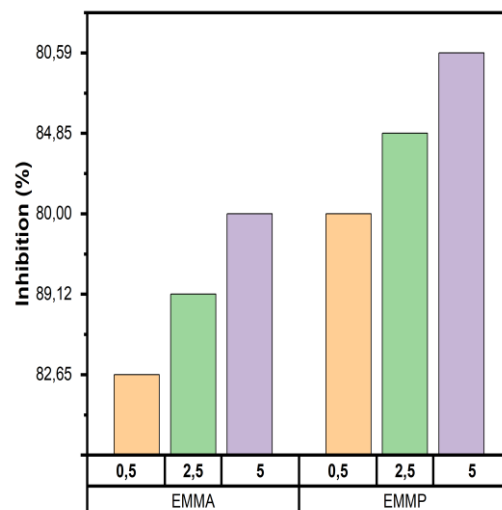


Figure 48 : Pourcentages d'inhibition de *Stemphylium* sp. En présence des extraits EMMP et EMMA

Les résultats obtenus montrent que les extraits EMMP et EMMA ont exercé une forte activité antifongique contre *Stemphylium* sp. Les diamètres mycéliens enregistrés après 96 h d'incubation sont restés très faibles par rapport au témoin (8,5 cm), traduisant une réduction importante de la croissance fongique.

L'extrait EMMA s'est révélé le plus efficace à la concentration de 2,5 mg, avec un diamètre moyen de 0,93 cm, une vitesse de croissance mycélienne de 0,0097 cm/h et un taux d'inhibition de 89,12 %. Pour l'extrait EMMP, la meilleure activité a également été observée à 2,5 mg, avec une inhibition de 84,85 % et une vitesse de croissance de 0,0133 cm/h. Globalement, *Stemphylium* sp. S'est montré très sensible aux deux extraits végétaux testés, les taux d'inhibition dépassant 80 % pour toutes les concentrations. Ces résultats suggèrent que les composés bioactifs présents dans les extraits possèdent un potentiel antifongique élevé capable de limiter efficacement le développement mycélien de ce phytopathogène.

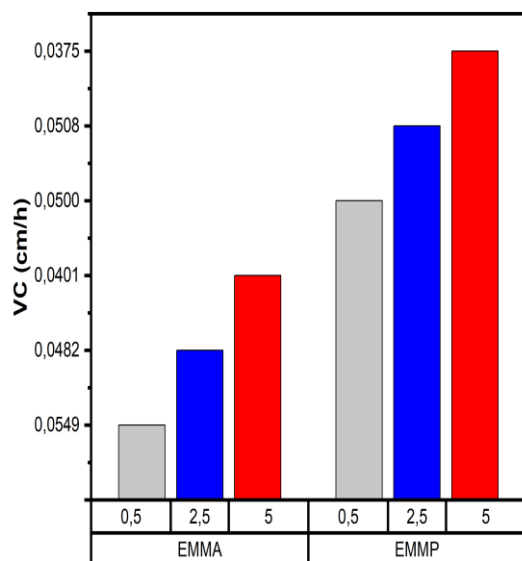


Figure 49 : Vitesse de croissance mycélienne (VC) de *Alternaria* sp2. En présence des extraits EMMP et EMMA

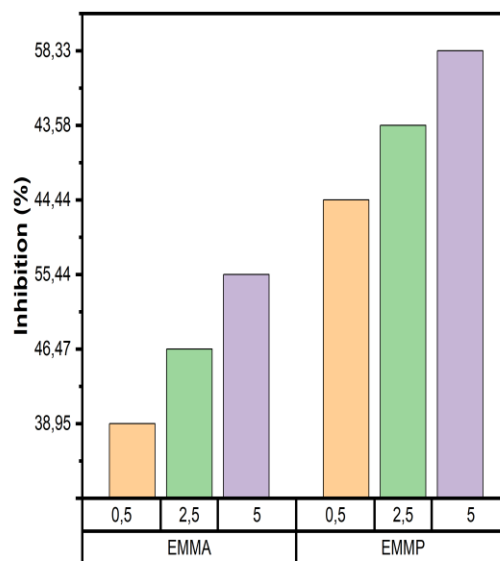


Figure 50 : Percentages d'inhibition de *Alternaria* sp2. En présence des extraits EMMP et EMMA

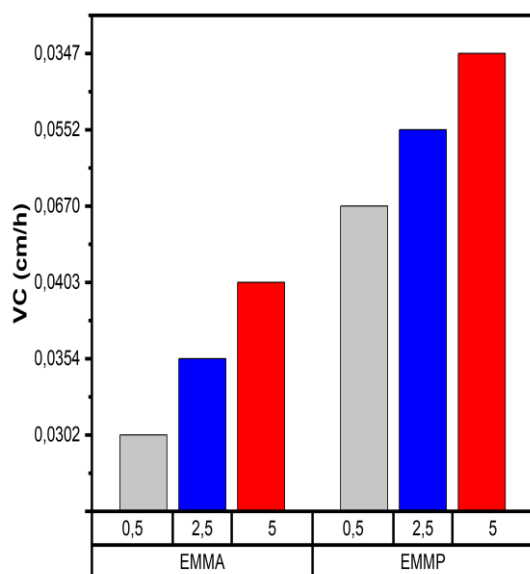


Figure 51 : Vitesse de croissance mycélienne (VC) de *Aspergillus niger* en présence des extraits EMMP et EMMA

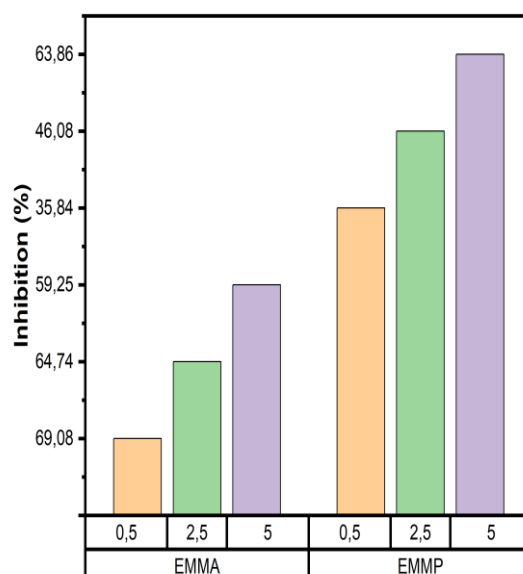


Figure 52 : Percentages d'inhibition de *Aspergillus niger* en présence des extraits EMMP et EMMA

Les résultats obtenus montrent que les extraits EMMP et EMMA ont exercé une activité antifongique notable contre *Aspergillus niger*. Les diamètres mycéliens enregistrés après 96 h d'incubation sont restés faibles par rapport au témoin (8,7 cm pour l'extrait EMMA et 8,3 cm pour l'extrait EMMP), traduisant une réduction significative de la croissance fongique. L'extrait EMMA s'est révélé le plus efficace à la concentration de 0,5 mg, avec un

diamètre moyen de 2,68 cm, une vitesse de croissance mycélienne de 0,0302 cm/h et un taux d'inhibition de 69,08 %. Pour l'extrait EMMP, la meilleure activité a été observée à la concentration maximale de 5 mg, avec une inhibition de 63,86 % et une vitesse de croissance de 0,0347 cm/h.

Globalement, *Aspergillus niger* a manifesté une sensibilité distincte face aux deux extraits végétaux testés. Tandis que l'extrait EMMP affiche un profil dose-dépendant classique où l'efficacité augmente avec la concentration, l'extrait EMMA présente une efficacité optimale dès la plus faible dose. Ces résultats suggèrent que les composés bioactifs présents dans ces extraits possèdent un potentiel antifongique élevé capable de limiter le développement mycélien de ce champignon.

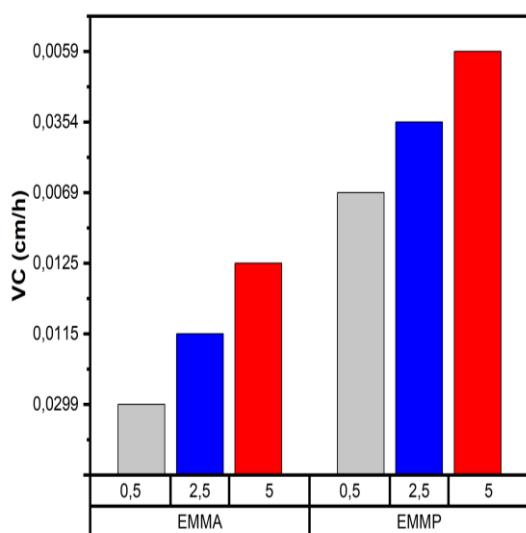


Figure 53 : Vitesse de croissance mycélienne (VC) de *Alternaria* sp1. En présence des extraits EMMP et EMMA

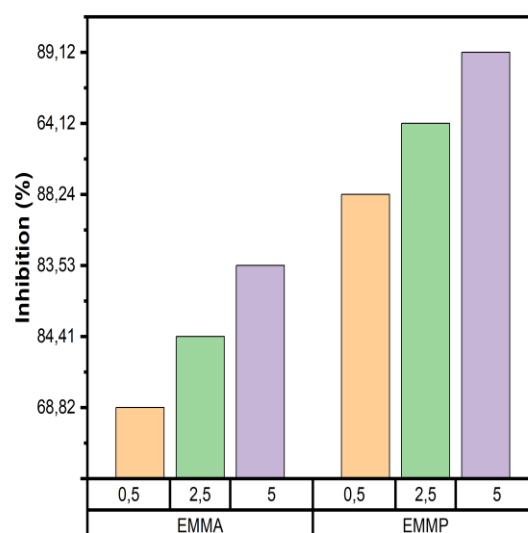


Figure 54 : Pourcentages d'inhibition de *Alternaria* sp1. En présence des extraits EMMP et EMMA

Les résultats obtenus montrent que les extraits EMMP et EMMA ont exercé une forte activité antifongique contre *Alternaria* sp1. Les diamètres mycéliens enregistrés après 96 h d'incubation sont restés très faibles par rapport au témoin (8,50 cm), traduisant une réduction importante de la croissance fongique. L'extrait EMMA s'est révélé le plus efficace à la concentration de 2,5 mg, avec un diamètre moyen de 1,32 cm, une vitesse de croissance mycélienne de 0,0115 cm/h et un taux d'inhibition de 84,41 %. Pour l'extrait EMMP, la meilleure activité a été observée à la concentration de 5 mg, avec une inhibition de 89,12 % et une vitesse de croissance de 0,0059 cm/h.

L'espace *Alternaria* sp1 s'est montré très sensible aux deux extraits végétaux testés, les taux d'inhibition dépassant 64 % pour toutes les concentrations. Ces résultats suggèrent que les composés bioactifs présents dans les extraits possèdent un potentiel antifongique élevé capable de limiter efficacement le développement mycélien de ce phytopathogène.

Comparaison entre les souches selon leur sensibilité aux traitements antifongiques:

L'analyse comparative des profils dose-réponse et des structures de sensibilité met en évidence une hétérogénéité marquée dans la réponse des cinq souches fongiques étudiées (*Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Stemphylium* sp., *Alternaria* sp1 et *Alternaria* sp2) vis-à-vis des extraits EMMP et EMMA de menthe (**Fig 55. et Fig.56**).

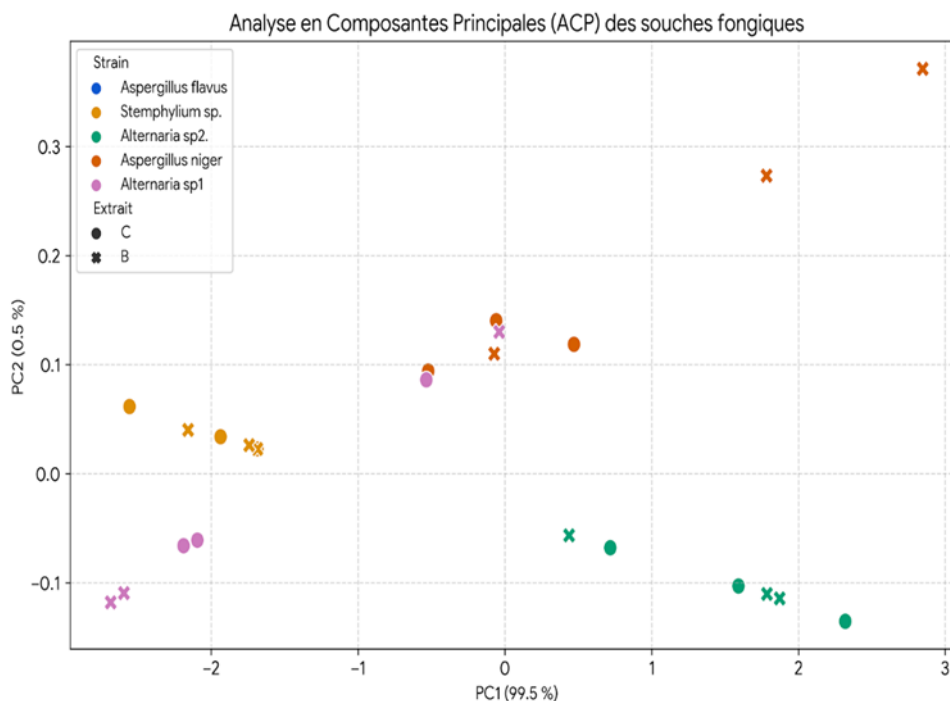


Figure 55 : Analyse en Composantes Principales ACP des souches fongiques

L'analyse comparative des profils dose-réponse et des structures de sensibilité met en évidence une hétérogénéité marquée dans la réponse des cinq souches fongiques étudiées (*Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Stemphylium* sp., *Alternaria* sp1 et *Alternaria* sp2) vis-à-vis des extraits EMMP et EMMA de menthe (**Figure 56**).

Le comportement d'*Aspergillus niger* constitue un modèle biologique particulièrement intéressant. Une diminution de l'efficacité de l'extrait EMMA à la dose élevée (5 mg) par rapport à la dose faible (0,5 mg) suggère un effet biphasique évoquant une réponse de type hormétique. Ce profil pourrait s'expliquer par l'induction initiale d'un stress oxydatif subléta, suivi de l'activation de mécanismes d'adaptation cellulaire permettant au champignon de limiter l'impact des composés bioactifs. Parmi ces mécanismes potentiels figurent notamment des systèmes enzymatiques de détoxification (tels que les catalases et les superoxyde dismutases) ainsi que des modifications structurales de la paroi cellulaire, comme l'augmentation de la mélanisation. À l'inverse, l'extrait EMMP présente un profil strictement

dose-dépendant, suggérant une action progressive des composés actifs jusqu'à saturation des sites cellulaires cibles, notamment au niveau des structures membranaires.

L'analyse interspécifique révèle également une proximité de comportement entre *Aspergillus flavus* et *Alternaria* sp2, qui présentent une sensibilité modérée et relativement stable aux deux extraits. Les taux d'inhibition maximaux observés dans ces deux souches se stabilisent autour de 55 % à 58 % à la dose de 5 mg. *Aspergillus flavus* conserve par ailleurs un profil globalement dose-dépendant pour les deux extraits. Cette résistance relative pourrait être liée à des caractéristiques structurales de la paroi cellulaire, notamment sa composition hydrophobe, ainsi qu'à l'efficacité potentielle de systèmes d'efflux membranaire de type transporteurs ABC, capables de réduire l'accumulation intracellulaire des composés antifongiques.

À l'opposé du spectre de sensibilité, *Stemphylium* sp. et *Alternaria* sp1 se distinguent par une forte vulnérabilité aux deux extraits étudiés. Ces deux souches présentent des taux d'inhibition élevés dès les faibles concentrations, dépassant 80 % et atteignant jusqu'à 89,12 %. Pour *Stemphylium* sp., l'extrait EMMA atteint son efficacité maximale à 2,5 mg (89,12 %), avant une légère diminution à 5 mg (80 %), reproduisant partiellement le comportement observé chez *Aspergillus niger*. Concernant *Alternaria* sp1, l'extrait B induit une inhibition quasi totale de la croissance mycélienne à 5 mg ($VC = 0,0059$ cm/h). Cette forte sensibilité suggère une interaction marquée entre les composés actifs des extraits (tels que le menthol, la menthone et les composés phénoliques) et les structures membranaires fongiques, entraînant une altération de la perméabilité cellulaire, des perturbations métaboliques et une inhibition sévère de la croissance.

Globalement, les profils dose-réponse révèlent une divergence nette entre les deux extraits. L'extrait EMMP présente un comportement classique dose-dépendant, caractérisé par une augmentation progressive de l'activité antifongique avec la concentration (de 35,84 % à 63,86 %). À l'inverse, l'extrait EMMA montre une efficacité maximale à faible dose (69,08 % à 0,5 mg), suivie d'une diminution de son activité aux concentrations plus élevées. Ce comportement pourrait s'expliquer soit par une possible saturation ou agrégation des composés bioactifs à forte concentration, soit par l'induction de mécanismes d'adaptation chez certaines souches fongiques, traduisant une réponse de type hormétique.

En conclusion, ces résultats mettent en évidence une forte variabilité interspécifique de la sensibilité fongique et soulignent que l'efficacité antifongique des extraits de menthe dépend à la fois de leur composition chimique et des mécanismes de défense propres à chaque espèce.

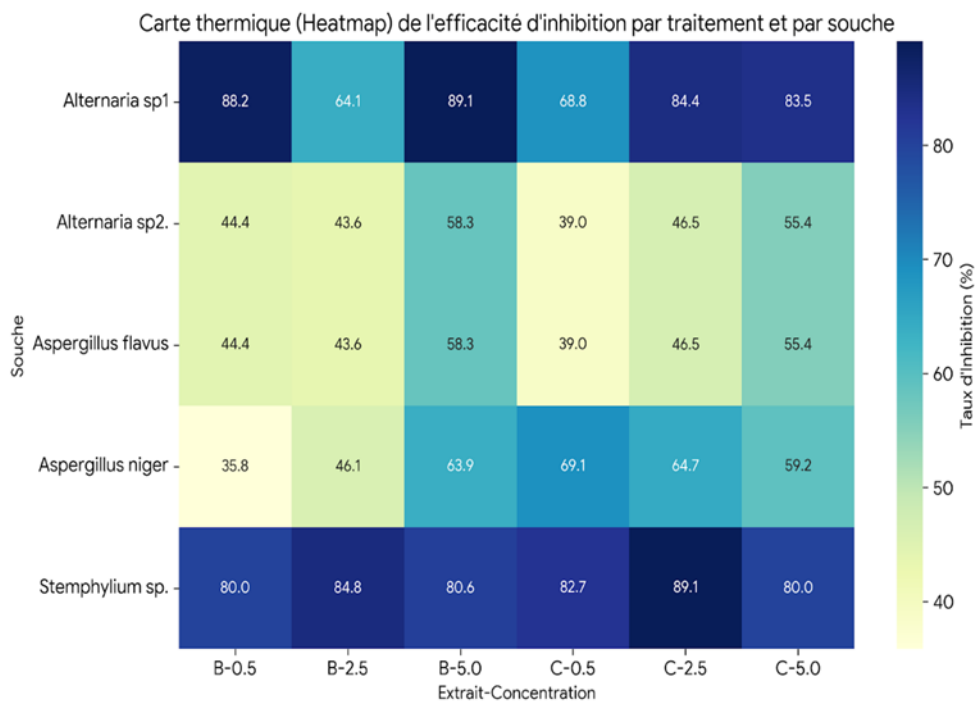


Figure 56 : Carte thermique (Heatmap) de l'efficacité d'inhibition par traitement et par souche.

Discussions

Une étude fongique a été menée sur des grains de blé de nombreuses variétés de la région d'Adrar et les résultats de cette analyse ont révélé la présence de contamination fongique dans tous les échantillons. De nombreuses souches ont été détectées dans les grains de blé, où chaque variété a produit de nombreuses races. Cette différence de contamination fongique entre les échantillons de blé peut s'expliquer par différents facteurs environnementaux et climatiques et conditions de stockage (humidité, température, système de ventilation) ce qui peut conduire à une modification qualitative et quantitative des champignons (Le Bars *et al.*, 1987). (Wilson *et al.*, 2002), ils ont signalé que la contamination fongique des grains dans le champ ou pendant le stockage est directement liée aux conditions hydrothermales. Le fluor fongique total des grains de blé se compose principalement de filamenteux, hautement moisissures, avec un grand potentiel de prolifération, dont les genres les plus courants sont *Aspergillus* et *Alternaria*. Les différents types de moisissures que nous avons pu identifier sont des polluants d'aliments mal manipulés, en particulier des aliments mal conservés ; les polluants de stockage des céréales et leurs dérivés sont pris en compte (Bertier et Valla, 1998). La présence du genre *Aspergillus* dans la contamination fluora trouvée dans les céréales a été rapportée dans plusieurs études (Riba *et al.*, 2005 ; Le Bars *et al.*, 1987). Par conséquent, les espèces du genre *Aspergillus* sont considérées comme un type de moisissure qui infecte les grains pendant le stockage (Withlow, 2001). Les espèces d'*Aspergillus* rencontrées dans cette étude sont *Aspergillus niger* et *Aspergillus flavus* ; il a été rapporté dans la littérature que l'espèce appartenant au genre *Aspergillus* avec une grande domination est *Aspergillus niger* suivie d'*Aspergillus flavus*. D'autres souches isolées des échantillons analysés appartiennent aux genres *Alternaria* et *Fusarium*, qui sont naturellement présentes sur les cultures au niveau du champ et dans le sol (Withlow *et al.*, 2001).

L'objectif de notre travail est principalement d'utiliser les plantes médicinales *Mentha pulegium* et *Mantha Aquatica* comme fongicide contre les souches fongiques (moisissures) existantes, c'est-à-dire le blé stocké. Les résultats obtenus dans cette étude ont montré que les deux types de menthe ont des potentiels phytochimiques et antifongiques isolés des grains de blé stockés, de sorte que nous avons révélé que le rendement d'extraction de *Mentha pulegium* (12,72) est similaire à celui obtenu par Fatima Al-Zahra et son collègue 2024, et *Mentha Aquatica* (14,28) est légèrement plus élevé que celui obtenu par Radhia et ses collègues 2024.

L'activité de l'extrait végétal dépend de plusieurs facteurs, y compris la concentration d'ingrédients actifs. L'examen phytochimique a révélé la présence de flavonoïdes, de

polyphénols, de tannins et de terpénoïdes dans les extraits. Des études ont montré que les extraits de *Mentha Aquatica* sont soutenus par la présence de terpénoïdes, de composés phénoliques et de flavonoïdes ce qu'il a confirmé **(de Olivera Braga et autres, 2022)**. L'absence du complexe de saponine dans les deux espèces peut être attribuée à des facteurs génétiques ou environnementaux qui affectent directement les voies biosynthétiques du métabolisme secondaire.

Les résultats de l'examen quantitatif montrent des teneurs élevées en polyphénols totaux, en flavonoïdes totaux et en tanins intensifs des extraits d'EMMP et d'EMMA. La teneur élevée en polyphénols est liée aux capacités des extraits antioxydants et antimicrobiens. L'extrait d'EMMA contient une teneur plus élevée en flavonoïdes et en tanins intenses, ce qui peut expliquer son anti-efficacité, de sorte que nous avons constaté que les résultats que nous obtenons sont cohérents avec de nombreuses études qui ont montré que les types de mentha étudiés par **Radhia et ses collègues**

2024 et Fatima Al-Zahra et son collègue 2024 ont des concentrations élevées de composés phénoliques.

Les extraits de menthe poivrée EMMP et EMMA ont démontré une forte efficacité pour inhiber la croissance fongique de diverses souches fongiques. Les taux d'inhibition les plus élevés ont été enregistrés aux concentrations de 5 mg/ml et 2,5 mg/ml, notamment contre *Aspergillus flavus* et *Alternaria Alternaria*. Ces résultats concordent avec l'étude menée par **Hajlaoui et al. (2009)** et sont confirmés par Ouraini et al. [23, 35] dans leurs travaux, en particulier contre *Aspergillus niger* et *Fusarium*. Une forte activité antifongique a été observée contre les champignons testés. Cette activité s'est avérée dose-dépendante, l'inhibition augmentant avec la concentration. Ces résultats peuvent s'expliquer par la présence de polyphénols, de flavonoïdes et de terpénoïdes, qui perturbent l'intégrité des membranes cellulaires fongiques, inhibant ainsi leur croissance. De plus, une diminution progressive de l'efficacité inhibitrice a été observée au fil du temps pour certaines souches fongiques, comme *Aspergillus niger*. Cette diminution pourrait être attribuée à la capacité des champignons à s'adapter physiologiquement aux composés actifs, ou à l'apparition progressive de substances antifongiques dans le milieu de culture. Ces résultats concordent avec des études antérieures, notamment celles de **Bautista Baños et al. (2002, 2008, 2016)**, qui ont montré que les extraits de plantes présentent généralement une forte activité initiale, suivie d'un déclin progressif de leur efficacité pendant la période de protection. Ces résultats confirment que les espèces de menthe étudiées constituent une source naturelle prometteuse de composés bioactifs pouvant être utilisés comme agents antifongiques naturels pour protéger les grains stockés. Cette

approche pourrait offrir une alternative écologique aux fongicides chimiques, souvent responsables de problèmes environnementaux et de résistances microbiennes.



Conclusion

Conclusion

Dans ce travail, nous nous intéressons principalement à :

- 1) L'étude physique et chimique du blé dur tirée de plusieurs régions de l'État d'Adrar.
- 2) Isolation, purification et identification de différentes souches fongiques de blé dur
- 3) Étude de l'activité antifongique des extraits méthanoliques de *Mentha pulegium* et de *Mentha aquatica* feuilles et de tiges contre la croissance mycète des moisissures isolées à partir de blé dur stocké.

Les résultats des propriétés physiques et chimiques ont révélé que le pH du blé dur est de 6,69, tandis que le niveau d'humidité a atteint 4,43%. Les expériences menées en laboratoire ont permis d'isoler et de purifier de nombreux types de moisissures que l'on trouve dans le blé dur stocké, à savoir *Fusarium*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Alternaria*. Les résultats ont prouvé que les extraits méthanoliques de la menthe *pulegium* et de la menthe *aquatica* présentaient d'importants effets antifongiques. EMMA a montré une efficacité d'inhibition plus élevée et plus stable à des concentrations élevées et moyennes. Les taux d'inhibition dépassent le seuil de 80 % à 88 % contre certaines souches telles que *Aspergillus flavus* et *Alternaria* sp2. Il se caractérise également par sa capacité à maintenir des niveaux d'inhibition en hausse ou stables au fil du temps dans la plupart des cas. Bien que l'EMMP ait un fort effet inhibiteur dans les premières heures, en particulier contre (*Fusarium* et *Aspergillus niger*), il a montré une baisse significative et forte des taux d'inhibition après 48h à 72h contre certains champignons, reflétant la possibilité d'une diminution de l'efficacité des composés actifs qu'il contient au fil du temps ou la capacité du champignon à y résister.



Référence

"A"

ABBAS, H.K., R.A. MIROCHA, J.D. MERONUCK, S.L. POKORNY, and T. KOMMEDAHL, (1988) Mycotoxins and *Fusarium* spp. associated with infected ears of corn in Minnesota. Applied and Environmental Microbiology. 54 : p. 1930-19

Abe A, Asano K et Sone T. (2010). "Une taxonomie moléculaire basée sur la phylogénie du genre *Rhizopus*". Biosciences, biotechnologie et biochimie. 74 (7) : 1325-1331.

Adam, K., Sivropoulou, A., Kokkini, S., Lanaras, T. and Arsenakis, M., (1998) . Antifungal activities of *Origanum vulgare* subsp. *hirtum*, *Mentha spicata*, *Lavandula angustifolia*, and *Salvia fruticosa* essential oils against human pathogenic fungi. J.Agr.FoodChem., 46(5): 1739-1745.

afaiee P, Taghipour A, Vahdatkhoram F, Movagharnejad K. (2019). Extraction of phenolic compounds from *Mentha aquatica*: The effects of sonication time, temperature and drying method. Chemical Papers, 73(12), 3067-3073.

Aida, K., & Mbarka, H. (2022). Activité biologique (antioxydante et anti Microbienne) des sirops de dattes. 17. FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE, OUARGLA : UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.

Aidani H;(2015)Effet des attaques de Capucin des grains (*Rhizopertha dominica*) sur les céréales stockées. « Estimation sur la perte pondérale et le pouvoir germinatif Cas de blé dur dans la région de Tlemcen » thèse de magister page 82.p13, 15

Akbar Esmaeili and Abdolhossein Rustaiyan, Shiva Masoudi, Kobra Nadji. (2006). « Composition of the Essential Oils of *Mentha aquatica* L. and *Nepeta meyeri* Benth. from Iran », J. Essent. Oil Res., vol. 18.

AKIN M., AKTUMSEK A., and NOSTRO A., (2010), Antibacterial activity and composition of the essential oils of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. And *Myrtus communis* L. growing in Northern Cyprus, African Journal of Biotechnology, 9 (4), 531-535.

Akram, M. M. (2018). Évaluation des activités biologiques des extraits de la plante : *Atractylis flava* Desf. 33. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Batna : UNIVERSITE MUSTAFA BEN BOULAID - BATNA 2 –

Alexopoulos, C. J., Mims, C. W., & Blackwell, M. (1996). *Introductory Mycology*. John Wiley & Sons, New York.

Allard, C., Bill, L., Touraud, G., (1993). L'antracnose du poids : revue bibliographique de synthèse. Agronomie (13) : p 5-24.

Amina Taalbi., (2015) : Variabilité chimique et intérêt économique des huiles essentielles de deux menthes sauvages : *Mentha pulegium* (Fliou) et *Mentha rotundifolia* (Domrane) de l'ouest algérien.

Anca-Raluca Andro, Irina Boz1, Maria-Magdalena Zamfirache and Ioan Burzo, (2013). « Chemical composition of essential oils from *Mentha aquatica* L. at different moments of the ontogenetic cycle », Journal of Medicinal Plants Research, vol. 7, no 9.

Andro AR, Boz I, Zamfirache MM, Burzo I. (2011). Comparative research regarding the chemical composition of volatile oils from *Mentha longifolia* (L.) Huns. Oltenia Journal for Studies in Natural Sciences, 23-27.

Androsoff, G.L., Van Kessel, C., and Pennock, D.J., (1995). Landscape-scale estimates of dinitrogen fixation by *Pisum sativum* by nitrogen-15 natural abundance and enriched isotope dilution. Biol Fertil. Soils. (20). p :33-40.

Anguek A. et Zellagui M., (2012) : Etude de l'antagonisme de *Trichoderma* sp vis-à-vis le *Fusarium* sp agent de la fusariose du blé en Algérie Mémoire en Microbiologie Université M'hamed Bougera Boumerdes

Anonyme ; (2013) : Recueil des principales maladies fongiques des céréales en Algérie : symptômes, développement et moyens de lutte, Edition : I.T.G.C. : 56 p.

Anonyme, (1984) : les charbons du blé, de l'orge, de l'avoine et du seigle : 12P.

Anonyme, (2009) : Guide des maladies des céréales. Chambre de l'agriculture, pays de la Loire : 25 p.

Anton R et Annelise L (2005). Plantes aromatiques : épices, aromates, condiments et huiles essentielles, lavoisier, édition Tec &Doc.

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, p105-121.

Askun T (2018). Introductory Chapter: *Fusarium*: Pathogenicity, Infections, Diseases, Mycotoxins and Management. In: *Fusarium*: Plant Diseases, Pathogen Diversity, Genetic Diversity, Resistance and Molecular Markers, P 1, 2-12.

"B"

Bakan B., Melcion D., Richard-Molard D., Cahagnier B., (2002). Fungal growth and *Fusarium* mycotoxin content in isogenic traditional maize and genetically modified maize grown in France and Spain. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50(4), 728-731.

Bednarek J ; (2013) : Analyse fonctionnelle de TaGW2, une E3 ligase de type RING, dans le développement du grain de blé tendre (*Triticum aestivum*).

Benayad N (2008). Les huiles essentielles extraites des plantes médicinales marocaines : moyen efficace de lutte contre les ravageurs des denrées alimentaires stockées. Université Mohammed V – Agadir.

Benazzouz A, Hamdane A. (2012). Etude et analyse des plantes médicinales Algérienne : *Mentha pulegium*, *Mentha rotundifolia* et *Mentha spicata* L. MEMOIRE Présenté pour obtenir le Grade de MASTER. Juillet 2012.

Benelli, G., Pavela, R., Maggi, F., Petrelli, R., & Nicoletti, M. (2019): Commentary: Making green pesticides greener? The potential of plant products for nanosynthesis and pest control Industrial Crops and Products, 130, 398405.

Bessadat, N., Hamon, B., Bataillé-Simoneau, N., Colou, J., Mabrouk, K., & Simoneau, P. (2022). Characterization of *Stemphylium* spp. associated with tomato foliar diseases in Algeria. Phytopathologia Mediterranea, 61(1), 39-53.

- Binder, E. M., & Krska, R. (2012).** Romer Labs guide to mycotoxins.
- Botton B, Bretton A, Fever M, Gauthier S, Guy Ph, Larpent J.P, Reymond P, Sanglier J.J, Vayssier Y et Veau P. (1990).** Moisissures utiles et nuisibles, importance industrielle, (edn) Masson, Paris.
- Bougheouat, A., & al, e. (2018).** Étude in vitro de l'activité inhibitrice des extraits de quelques plantes locales sur l' α -amylase. 18. FACULTE DES SCIENCES, LAGHOUAT : UNIVERSITE AMAR TELIDJI.
- Boukenna M et Bouzidi M (2007).** Extraction et analyse de l'huile essentielle de *Mentha viridis*L (menthe verte) et de la *Mentha pulegium* (menthe pouliot). Thèse d'Ingéniorat en Agronomie UMMTO.
- Boukhatem M.N., Hamaidi M.S., Saidi F et Hakim Y (2010).** Extraction, composition et propriétés physico-chimiques de l'huile essentielle du Géranium Rosat (*Pelargonium graveolens* L.) cultivé dans la plaine de Mitidja (Algérie). Nature et Technologie, n° 03.
- Bourenane A, Nechla I.(2009.)** Induction des cals chez le blé dur « *Triticum durum* Desf » et le blé tendre « *Triticum aestivum*.L ». Mémoire de master : 2p. Université 8 mai 1945 de Guelma.
- Bouznad, Z., (1989).** Contribution à la connaissance du genre *Ascochyta* cas particulier de l'étude biologique, ultrastricrale et cytochimiques des reactions hôte parasite chez le couple *Pisum sativum* L. *Ascochyta pisi* Lib. Thèse de doctorat : Université Pierre et Marie curie : Paris, 185p.
- Boz I, Zamfirache MM, Burzo I. (2013).** Chemical composition of essential oils from *Mentha aquatica* L. at different moments of the ontogenetic cycle. Journal of Medicinal Plants Research, 7(9), 470-473.
- Brian M. Lawrence, Mint. (2006).** The Genus *Mentha*, CRC Press, 13 décembre 2006
- Bruneton, J., (2009).** Pharmacognosie - Phytochimie, plantes médicinales, 4e éd., revue et augmentée, Paris, Tec & Doc - Éditions médicales internationales, 1288 p.
- Bunsawatt J, (2002).** *Mentha* (Lamiaceae) Phylogenetic Analysis Using Chloroplast TRNL-TRNF and Nuclear Ribosomal DNA ITS Sequences (Masters Theses & Specialist Projects 621).

"C"

- Carlile, M. J., Watkinson, S. C., & Gooday, G. W. (1996).** *The Fungi*. Academic Press, London.
- Castegnaro M et Pfohl-Leszkowicz A. (2002).** Les mycotoxines : contaminants omniprésents dans l'alimentation animale et humaine, dans La sécurité alimentaire du consommateur, Lavoisier, Tec et Doc.
- Chaima, A., & Selma, B. (2023).** Crème cicatrisante naturelle à base de la plante *Atractylis* (Screening phytochimique, évaluation de l'activité antimicrobienne et cicatrisante). Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Constantine : Université frères mentouri constantine 1.

Chellali B. (2007). Marché mondial des céréales : l'Algérie assure sa sécurité alimentaire. <http://www.lemaghrebdz.com/admin/folder01/une.pdf>. (31.05.2008).

Chen, Bo, Yanlei Sun, Feifei Luo, and Chengshu Wang. (2020). "Bioactive Metabolites and Potential Mycotoxins Produced by Cordyceps Fungi: A Review of Safety." *Toxins* 12(6) :1–13. Doi : 10.3390/toxins12060410.

Cheurfa, M., Allem, R., Sebaihia, M. Et Belhireche, S. (2013). Effet de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* sur les bactéries pathogènes responsables de gastro-entérites. *Phytothérapie*, 11, 154-160.

Chinaza G, A, Erick N, Chukwuka U, Anjani K, Katarzyna B, Charles O, R, O, Malgorzata K, Raquel P. (2021) Mycotoxins Affecting Animals, Foods, Humans, and Plants: Types, Occurrence, Toxicities, Action Mechanisms, Prevention, and Detoxification Strategies—A Revisit. *Jun 3 ;10(6) :1279*. doi: [10.3390/foods10061279](https://doi.org/10.3390/foods10061279)

Chinaza G, A, Erick N, Chukwuka U, Anjani K, U, Katarzyna B, Charles O, R, O, Malgorzata K, Raquel P. (2022). Mycotoxins Affecting Animals, Foods, Humans, and Plants: Types, Occurrence, Toxicities, Action Mechanisms, Prevention, and Detoxification Strategies—A Revisit. *Feb 24 ;14(3) :167*. doi: [10.3390/toxins14030167](https://doi.org/10.3390/toxins14030167)

Committee on Herbal. (2005). Medicinal Products (HMPC), « Public statement on the use of herbal medicinal products containing pulegone and menthofuran », EMA/HMPC/138386/2005.

controlled double-blind equivalence study. *Arzneimittelforschung* Nov ;49(11) :925-32

Cosentino, S., Tuberoso, C.I., Pisano, B., Satta, M., Mascia, V., Arzedi, E., Palmas, F. (1999) : in vitro antimicrobial activity and chemical composition of Sardinian thymus essential oils." *Letters in Applied Microbiology*, 29(2), 130135.

"D"

De Hoog G et Guarro J. (1995). Atlas of clinical fungi. Baarn, Centraalbureau voor Schimmel cultures.

Debiton C. (2011) Identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum* L.) favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées isogéniques waxy.

Derbal N., Benbelkacem A., Tahar A., (2015). Spatial variation of quality in Algeria durum wheat cultivated in different environments *African journal of agricultural research*. Vol. 120 (09) pp. 919-925.

Dix, N. J., & Webster, J. (1995). *Fungal Ecology*. Chapman & Hall, London.

Do ND, Tran DT, Essien EE, Oladimeji O. (2015). Study on essential oil of *Mentha aquatica* L. from Vietnam. *American Journal of Essential Oils and Natural Products*, 12-16.

Dr HAMOUDA O. *Aspergillus* et aspergilloses. <https://staff.univ-batna2.dz/>.

Dupont Frédéric, (2012) Guignard Jean-Louis Botanique : Les familles de plantes, Elsevier, Masson, Issy-les-Moulineaux.

"E"

E. Zain, M., (2010). Impact of mycotoxins on humans and animals. Journal of Saudi Chemical Society, 15(2), 129-144.

El Assaoui, M. (2018). Contamination des aliments par les mycotoxines : Méthodes de prévention, de lutte et de décontamination. [Thesis].
<http://ao.um5.ac.ma/xmlui/handle/123456789/16443>

El Fadl A et Chtaina N (2010). Etude de base sur la culture de la menthe au Maroc.

El hadef el okki L ; (2015) valeurs d'appréciation de la qualité technologique et biochimique des nouvelles obtentions variétales de blé dur en Algérie p76.

El Khoury, A. (2007). Champignons Mycotoxinogènes et Ochratoxine A (OTA) et Aflatoxine B1 (AFB1) dans les vignobles libanais : Occurrence et Origine [Phd].
<http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00000575/>

El Khoury, R. (2016). Maîtrise du risque aflatoxique : Utilisation d'extraits naturels et mise en évidence de leurs mécanismes d'action [Thesis, Toulouse, INPT]. In [Http://www.theses.fr. http://www.theses.fr/2016INPT0058](http://www.theses.fr. http://www.theses.fr/2016INPT0058)

Ellis, D. (2007). Mycology online. University of Adelaide. School of molecular & biomedical science. The University of Adelaide

Emlab. (2007). Environmental Microbiology Laboratory, Inc. (Emlab): An index of some commonly encountered fungal genera.

Evers, T., Millar, S., (2002). Cereal grain structure and development: some implication for quality. Journal of Cereal Science 36, 261-284.

"F"

Feillet P ;)2000). Le grain de blé. Composition, utilisation. Edition INRA, Paris, 308p

Fetni Fatma, Z. (2022). Caractéristique physicochimiques et biologique de Psyllium issus de Plantago ciliata récolté dans la région de Zelfana. 39. Faculté des Sciences de nature et de la vie, OUARGLA : UNIVERSITÉ KASDI MERBAH.

Fiedler K, Schutz E et Geh S. (2001). Detection of microbial volatile organic compounds (MVOCs) produced by moulds on various materials. Int J Hyg. Environ Health. 204(2-31, .111-121. Food Res Int; 43(7): 1902-1914.

Frih, B. (2026). Assessment of Pituranthos species' adaptation to edaphic and climatological factors in Algerian Sahara (Doctoral thesis, University of El Oued, Faculty of Natural and Life Sciences). University of El Oued.

"G"

G., Bellanger A., Roussel S., Grenouillet F. et Million L., (2010). Pollution atmosphérique, Moisissures et habitat : risques pour la santé et espèces impliquées, Revue française d'allergologie 50. Pp :611–620.

Gauthier, A. (2016). Les mycotoxines dans l'alimentation et leur incidence sur la santé. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01315198>.

Ghorbani, A., Rakhshandeh, H., Sadeghnia, H. R. (2011) : Protective effect of *Mentha pulegium* against oxidative stress-induced cytotoxicity in PC12 cells." Pharmacognosy Magazine, 7(27), 254–259.

Gibson A., Baranyi J., Pitt J., Eyles M. et Roberts T., (1994). Predicting fungal growth: the effect of water activity on *Aspergillus flavus* and related species. Food Microbiology 23 (1994). Pp :419-431.

Guşuleac M. (1961). Labiate in Flora Republicii Populare Române. Ed. Academiei RPR. Bucureşti, 8(82), 394.

Guy G (2005). Les plantes aromatiques et huile essentielle a graisse, édition l'Harmattan.

"H"

HAGLER, W.A. (2005). Mycotoxins in dairy cattle: occurrence, toxicity, prevention and treatment. In Southwest Nutrition Conference.

Hamadache, A, (2013)Elément de phytotechnie générale-Grandes cultures-Tome I : le blé, 1 e éd.algerie 2013.p 49-50.

Hamed Karami MR. (2017). Effect of Drying Temperature and Air Velocity on the Essential Oil Content of *Mentha aquatica* L. Journal of Essential Oil-Bearing Plants, 20(4), 1131-1136.

Hamel L. 2010. Appréciation de la variabilité génétique des blés durs et des blés apparentés par les marqueurs biochimiques. Thèse de Magister en génomique et techniques avancées des végétaux. Université Constantine 1. 83 pages.

Hanouni, N, (2012) : Evaluation du métabolisme respiratoire et enzymatique des racines de blé dur (*Triticum durum* Desf) issue de plantes infectée par les maladies cryptogamiques et des plantes traitées avec un fongicide (ARTEA EC 330). Université : Badji Mokhtar Annaba. Thèse : Doctorat. Spécialité : biologie. Option : toxicologie cellulaire : 142p.

Harley RM. (1963). Taxonomic studies in the genus *Mentha* (Ph.D. Thesis). Oxford University, England.

Harma Y, Maatouk A. (2021). Étude Phytochimique De La Menthe (*Mentha spicata* L.) cultivée dans la région Adrar Et Sidi Bel Abbès. De fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master. Juin 2020,2021. ([Http://pmb.univ.saida.dz](http://pmb.univ.saida.dz))

Harman G.E, Howell C.R, Viterbo A, Chet I, Lorito M. (2004). "Trichoderma species-opportunistic avirulent plant symbionts". Nature Reviews Microbiology. 2 (1) : 43-56.

Henry, Y. & de Buyser, J. (2000). « L'origine des blés », Pour la Science, Hors-série n°26, janvier 2000, pp. 60–62.

Hmouni A., Hajlaoui M.R., Mlaiki A., (1996). Résistance de Botrytis cinerea aux benzimidazoles et aux dicarboximides dans les cultures abritées de tomate en Tunisie. 52. 53. 54. EPPO bulletin, 26(3-4), 697-705.

"I"

Isman, M. B. (2020): Pesticide Outlook, 11(4), 154158.

"J"

J. W., and M. Klich. (2013). "Micotoxinas." Clinical Microbiology Reviews 18(6) :1607–6079. Doi : 10.1128/CMR.16.3.497.

Jacquemin L. 2012 .Production d'hémicelluloses de pailles et de sons de blé à une échelle pilote Étude des performances techniques et évaluation environnementale d'un agro procédé. Thèse de doctorat en Sciences des Agroressources. Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse). 345 pages.

"K"

Kaufmann, H. H., & Christensen, C. M. (1969). *Grain storage and mold development / or studies on storage fungi in cereals*. (Publication on storage fungi in grains).

"L"

Lahlou, R. A., Carvalho, F., Pereira, M. J., Lopes, J., & Silva, L. R. (2024). Overview of Ethnobotanical-Pharmacological Studies Carried Out on Medicinal Plants from the Serra da Estrela Natural Park: Focus on Their Antidiabetic Potential. Pharmaceutics, 16(4), 454.

Laib saad. (2011). Contribution à l'étude de l'influence des types et doses d'engrais phosphatés sur le prélèvement du potassium par une culture de blé dur dans la région d'el goléa. Thèse de diplôme d'ingénieur d'état en agronomie saharienne. Université kasdi merbah. Ouargla. 104 pages.

Larone D.H. (1987). Medically important fungi. A guide to identification. 2nd edition, New York-Amsterdam-London, Elsevier Science Publishing Co., Inc. 230.

"M"

Madisch A, Heydenreich CJ, Wieland V, Hufnagel R, Hotz J. (1999). Treatment of functional dyspepsia with a fixed peppermint oil and caraway oil combinationpreparation as compared to cisapride [archive]. A multicenter, reference

Mahnine, N. (2017). Etude de la contamination des produits céréaliers par les mycotoxines : Cas des aflatoxines, de l'ochratoxine A, des fumonisines et des mycotoxines.

Manamgoda, D. S., Cai, L., Crous, P. W., Madrid, H., Chukeatirote, E., Shivas, R. G., & Hyde, K. D. (2012). A phylogenetic and taxonomic re-evaluation of the Bipolaris-Cochliobolus-Curvularia complex. *Fungal Diversity*, 56(1), 131-144.

Marie-Pierre Arvy. (2003). François Gallouin, Épices, aromates et condiments, Belin,

May B, Kuntz HD, Kieser M, Kohler S. (1996). Efficacy of a fixed peppermint oil/caraway oil combination in non-ulcer dyspepsia [archive]. *Arzneimittelforschung* Dec ;46(12) :1149-53.

Mohammed, M. H., & Ahlem, B. (2020). synthèse, caractérisation des nanoparticules d'argent à base d'extrait des feuilles de plantes et évaluation de leur activité antioxydante et antimicrobienne. Faculté des Sciences et Technologies, Ghardaïa : Université de Ghardaïa.

Moreau C., (1996). Les mycotoxines. In : Bourgeois C. M., Mescle J.-F., Zucca J. (coord.). *Microbiologie alimentaire : Aspects microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments*. Ed : Technique et Documentation Lavoisier, Paris. Pp.176-185.

Morlais JY et Trottet M (2005). Evaluation au champ de la résistance du blé à la fusariose de l'épi. *Cahier des Techniques*. P 69-72

Mosiniak et al., (2006) : Etude de l'antagonisme de *Trichoderma* sp vis-à-vis le *Fusarium* sp agent de la fusariose du blé en Algérie Algérie Mémoire en Microbiologie Université M'hamed Bougera Boumerdes.

"N"

Nadjem K, (2012) .Contribution à l'étude des effets du semis direct sur l'efficacité d'utilisation de l'eau et le comportement variétal de la culture de blé en région semi-aride. Thèse de Magister en Production Végétale et Agriculture de Conservation. Université Ferhat Abbas Sétif, 131 pages.

NEERGAARD, P. (1945). -Danish species of *Alternaria* and *Stemphylium*: taxonomy, parasitism, economic significance. Oxford University Press, London. 2- à 287.Ness, VonEsenbeck, GG. (1817). *System der Pilze UridSchwamme*, Wurzburg. p234

Nelson P.E, Kichn T.E, Bernard E.M, Edwards F.F, Koziner B et Armstrong D. (1985). Catheter-associated fungemia caused by *Fusarium chlamydosporum* in a patient with lymphocytic lymphoma. *J Clin Microbiol*. 21(4), 501-504.

Nicolas Jean-Baptiste G (1826) .Histoire abrégée des drogues simples. Guibourt, page 41.

Nikiéma, P. A. (1993). Etude des aflatoxines au Burkina Faso : Détermination quantitative et qualitative des aflatoxines de l'arachide par des tests biochimiques et immunologiques [Université de Ouagadougou].

<http://savoirs.cames.online/jspui/handle/20.500.12177/1148>

nonyme (b) : Helminthosporiose du blé : rapide pouvoir de contamination : Bayer-Agri Piétin verse : risque lié à la parcelle Disponible sur : <http://www.agriculture.gouv.fr>

Nucci M et Anaissie E. (2007). *Fusarium* infections in immunocompromised patients. Clin Microbiol Rev. 20[4], 695-704.

"O"

O'Donnell K, Ward TJ, Robert VA, Crous PW, Geiser DM and Kang S (2015). DNA sequence-based identification of *Fusarium*: current status and future direction. Phytoparasitica, 43 (5) : 583-595.

Oelho, A. (2014). Rôle des Cytochromes P450 dans la perception sensorielle et le métabolisme de la caféine chez *Drosophila melanogaster* [These pour obtenir le grade de Docteur, Biochimie, Biologie Moléculaire. Université de Bourgogne,]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01128320>.

Onjean A. (2001). Histoire de la culture des céréales et en particulier de celle du blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Eds. le perchec S., Guy P. et Fraval A. Agriculture et biodiversité des plantes. Dossier de l'environnement de l'INRA, n°21, P 29-37. David, W.-M. (2004 : Bioinformatics: Sequence and genome analysis. Cold Spring Harbor Laboratory Press.

OSWALD, I, P. (2000) Mycotoxines et immunotoxicité. Association pour la Recherche en Toxicologie, Actualités 2000, numéro de décembre ; 32-34.

OURAINI D., AGOUMI A., ISMAILI-ALAOUI M., ALAOUI K., CHERRAH Y., ALAOUI M.A. et BELABBAS M.A., (2007), Activité antifongique de l'acide oléique et des huiles essentielles de *Thymus saturejoides* L. et *Mentha pulegium* L., comparée aux antifongiques dans les dermatoses mycosiques, Phytothérapie, 1, 6-14.

"P"

Parry, D.W., Jenkinson, P., McLeod, L., (1995). *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereal - Review. Plant Pathol, p 207-238.

Paterson R.R.M et Lima N. (2009). How will climate change affect mycotoxins in food?

Patterson T.F, McGinnis, M.R. (2009). The fungi: description. Site Doctor Fungus. Mycoses Study Group.

Pembi, Imourana, Gerd Schatzmayr, Ionelia Taranu, Daniela Marin, Olivier Puel, and Isabelle Paule Oswald. (2017). "Mycotoxins Co-Contamination: Methodological Aspects and Biological Relevance of Combined Toxicity Studies." Critical Reviews in Food Science and Nutrition 67(16) :3489–3507. Doi: 10.1080/10408398.2016.1140632.

Pierre Lieutaghi, (1966). Le livre des Bonnes Herbes, Marabout service, Robert Morel éditeur.

Pitt J.I. (1988). Laboratory guide to common *Penicillium* species, Academia Press editor, London.

Pitt, J.I. (1979). The genus *Penicillium* and its teleomorphic states *Eupenicillium* and *Talaromyces*. Academic Press, London, U.K. p.324.

Prescott J.M., P.A. Burnett, E.E. Saari, J. Ransom, J. Bowman, W. de Milliano, R.P. Singh, G. Bekele, (1987) : Maladies et ravageurs du blé : guide d'identification au champ. CIMMYT. Mexico, D.F., Mexico.p 54-62-66

Programme national de santé publique (2003-2012) (PNSP). Massé, R and Gilbert, L. msss.qc.ca. Québec, Direction générale de la santé publique, Ministère de la Santé et des Services sociaux.

"R"

Raper K et Fennell D.J. (1965). The genus *Aspergillus*", Williams and Wilkins editors, Baltimore.

Richard, J.L., (2007). Some major mycotoxins and their mycotoxicoses: An overview. International Journal of Food Microbiology, 119 (1-2), 3-10.

Roquebert M.F. (1998). Taxonomie des moisissures ; Méthodes de culture et techniques d'observation ; Identification", in "Moisissures des aliments peu hydratés", Ed. Tec & Doc, 39-95.

Roquebert, M. F. (1984). *Les moisissures et leur environnement / ou travaux en mycologie appliquée.*

"S"

Samson R.A et Hoekstra E.S. (1984). Introduction to food and airborne fungi. 6th, Baarn, Centralalbureau voor Schimmell cultures, Institute of the Royal Nether lands Academy of Arts and Sciences. 389.

Samson R.A, Hockstra E.S et Frisvad J.C. (2004). Introduction to food and airborne fungi. 7th, Baar, Centralalbureau voor Schimmellcultures, Institute of the Royal Nether lands Academy of Arts and Sciences. 389.

Samson, RA., Hoekstra ES. (1984). Introduction to food and airbornefungi.6th,389 p. Baarn, CentralalbureauvoorSchimmellcultures, Institute of the Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences

Samuels Gary J. (2006). "*Trichoderma*: Systematics, the Sexual State, and Ecology". Phytopathology. 96 (2) : 195-206.

Sara, et al (2008) : Comportement morphologique, physiologique et biochimique de trois variétés de blé dur (*Triticum durum*.desf) sous traitement par un fongicide.Université de souk ahras.D.E.S.mémoire online, p6.

Selles, S.M., Bouhrim, M., El Makhoukhi, B., Kharchoufa, L., Mechchate, H., et al. (2020). "Chemical Composition, Antimicrobial and AntioxidantActivities of Essential Oils from *Mentha pulegium* Grown in Morocco." Plants, 9(10), 1316.

Selma Yazar and Gülden Z. Omurtag. (2008). Fumonisin, Trichothecenes and Zearalenone in Cereals Int. J. Mol. Sci. 2008, 9(11), 2062-2090; <https://doi.org/10.3390/ijms9112062>

SIMMONS, EG., (2007)-*Alternaria*. An Identification Manual: CBS Biodiversity Series No. 6. CBS Fungal Biodiversity Centre, Utrecht, the Netherlands 775 • Strandberg. JO. 1992. *Alternaria* species that attack vegetable crops: biology and options for disease management: In: Chelkowski J, Visconti A(eds) *Alternaria* biology, plant disease and metabolites. Elsevier, Amsterdam. 175-208.

Simon H., codaccion P. Et lecoeur X. (1989). Produire des céréales à paille. Agriculture d'aujourd'hui. Eds.lavoisier, paris. 346 pages.

Sokovic, M., Glamoclija, J., Marin, P. D., Brkic, D., & van Griensven, L. J. (2009): Antibacterial effects of the essential oils of commonly consumed medicinal herbs using an in-vitro model. *Molecules*, 15(11),75327546.

SORAUEUR, (1867)- Catalogue of life

Surget A, et Barron C ; (2005). Histologie du grain de blé, Industrie des céréales 145.

Sutour. S (2010). Etude de la composition chimique d'huiles essentielles et d'extraits de menthes de corse et de kumquats. Thèse de doctorat, l'Université de Corse.

Sutton D.A, Timm W.D, Morgan-Jones G et Rinaldi M.G. (1999). Human phaeohyphomycotic osteomyelitis caused by the coelomycete *Phomopsis saccharo* 1905: criteria for identification, case history, and therapy. *J Clin Microbiol.* 37(3), 807-811.

Sutton, J.C., (1990) : Maladies des feuilles du blé d'automne. Université de Guelph ; L.A. Hunt. Fiche technique. Imprimeur de la Rein pour l'Ontario.

"T"

TABUC, C., (2007) Flore fongique de différents substrats et conditions optimales de production des mycotoxines. Institut national polytechnique de Toulouse et de l'université de Bucarest. Toulouse.

Takhtadzhian AL, Takhtajan LA, Takhtajan A. (1997). Diversity and classification of flowering plants. Columbia University Press. New York

Talahagcha Kh et KASSA S (2008). Extraction et caractéristiques organoleptiques et chimiques de l'huile essentielle de *Mentha pulegium*. (Menthe pouliot). D. E. S en biologie.

Tebibel, N., Bouras, N., et Ould El Hadj, M. D. (2012). *Caractéristiques des principaux embranchements des mycètes.*

Thom, C. (1910). Cultural studies of species of *Penicillium*. Bulletin of the Bureau of Animal Industry, USDA 118, p. 1–109.

Tiago M, Nazareth ORCID, Elisa S, Pérez C, Luz ORCID, Giuseppe Meca and Juan M, Quiles O. (2024). Comprehensive Review of Aflatoxin and Ochratoxin a

Dynamics: Emergence, Toxicological Impact, and Advanced Control Strategies. 13(12), 1920; <https://doi.org/10.3390/foods13121920>

"U"

Uette A., Grondin M., Bertout S and Mallié M (2005), champignons des genres *Acremonium*, *Beauveria*, *Chrysosporium*, *Fusarium*, *Onychocola*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Scedosporium* et *Scopulariopsis* Responsables de hyalohyphomycoses. *Acremonium*, *Beauveria*, *Chrysosporium*, *Fusarium*, *Onychocola*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Scedosporium* and *Scopulariopsis* Fungiresponsible for hyalohyphomycosis p139-149.

UniProt Consortium. (2009). Taxonomy: fungi metazoa group. Site d'UniProt. 4-6-2009.

"V"

Van ASchanzer MV. (2012). Genetic diversity and natural hybridization in populations of clonal plants of *Mentha aquatica* L. (Lamiaceae). *Wulfenia*, 131-139.

"W"

Wharton P. And Kirk W., (2007). Early Blight. Michigan potato diseases. Extension Bulletin E-2991. 6p.

WHITLOW, W. and W.M. HAGLER. (2001) Mycotoxin contamination of feedstuffs - An additional stress factor for dairy cattle. In 25e symposium sur les bovins laitiers. Quebec.

"Y"

Yuhang S, Kehe H, Miao L, Shuhua Y, Ying Z. (2022). An update on immunotoxicity and mechanisms of action of six environmental mycotoxins. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2022.112895>.

"Z"

Zeitoun rawan. (2011). Procédés de fractionnement de la matière végétale application à la production des polysaccharides du son et de la paille de blé. Thèse en vue de l'obtention du doctorat de l'université de toulouse en science des agro-ressources. L'université de toulouse. 291 p.

Zineb, G. H., & al, e. (2023). Contribution à l'étude phytochimique et les activités biologiques "in vitro et in vivo" de l'extrait aqueux de *Pituranthos chloranthus* (Ghezze). 50. Faculté des sciences de la nature et de la vie, El Oued : Université Echahid Hamma Lakhdar.

Site internet:

1. Un grain de blé en coupe longitudinale :
<https://www.google.dz/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&act=8&ved=0ahUKEwjfn4CMj6HNAhUE6RQKHda9B8oQjRwIBQ&url=http%3A%2F%2F>

bu.univouargla.dz/%2Fmaster%2Fpdf%2Fmaster_benhaniazhour.pdf%3Fidmemoire%3D4139&bvm=bv.124272578, d.d2s&psig=AFQjCNGGhFFVhJExHQ91AHRVLmbJCJ1sLg&ust=1465773 789053047 (Consulter le 22/04/2016).

2. Cycle végétal du blé :

http://www.unctad.info/upload/Infocomm/Images/wheat/FR_Ble-stade-developpement.gif (Consulter le : 22/04/2016).

Symptômes de la rouille brune due à *Puccinia triticina* :

<http://www.google.fr/url?source=imglanding&ct=img&q=http://presse.basfagro.fr/galerie/imagess/cereales/2013/septoriose-rouille-brune-sur-ble1.jpg&sa=X&ei=a59wVeyUH8L6UIq7gMgN&ved=0CAkQ8wc&usg=AFQjCNGLCxBN89M-LJukanT1kB9d6W4WA> (Consulter le : 25/05/2015).

3. [2] Feuille de blé infectée par la septoriose (*S tritici*) :

http://www.agro.basf.fr/agroportal/fr/media/productcatalogue/pests/septoriose-septoriatritici-ble_2.jpg (Consulter le : 25/05/2015)

4. Tige du blé infectée par la rouille noire *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* :

http://www.google.fr/url?source=imglanding&ct=img&q=http://www.consostatic.com/wpcontent/uploads/2011/06/ug99-pathogeneble.jpg&sa=X&ei=fKBwVa_hFYG2UKKLgLAD&ved=0CAkQ8wc&usg=AFQjCNEzmQFShXurSLGTDHQZekrHvG8CQ (Consulter le : 25/05/2015).

5. Feuille de blé infectée par la rouille jaune *Puccinia striiformis* :

<http://www.google.fr/url?source=imglanding&ct=img&q=http://www3.syngenta.com/country/fr/SiteCollectionImages/Parasites/Datapro/rouille-jaune2.jpg&sa=X&ei=C6BwVayKCYetU6GNg8AE&ved=0CAkQ8wc&usg=AFQjCNG4oJQVrKeJYR5hIyDOnG7UsFJnhQ> (Consulter le : 25/05/2015)

6. *oïdium* sur épi et feuille de blé :

<http://www.google.fr/url?source=imglanding&ct=img&q=http://www.agroforever.com/wp-content/uploads/2014/08/maladies-du-ble.jpg&sa=X&ei=76BwVfiCYGtU5OmgdAC&ved=0CAkQ8wc4EQ&usg=AFQjCNFSfBTyQvdeA4VodjzVa3oxJk>

7. Feuille du blé infectée par la tache auréolée *Pyrenophora tritici-repentis* :

http://www.dirceugassen.com/images/fotos/sgrd/drechslera%20tritici-repentis_04.jpg (Consulter le : 25/05/2015).

8. [8] charbon nu du blé *Ustilago tritici* :

<http://pim.bayercropscience.ch/pathogen.image?image=728&folder=784x784&type=pathogen&lang=de&subFolder=272> (Consulter le : 25/05/2015).

9. Le site de la parcelle d'essai Google Maps.

10. <https://www.researchgate.net/>

11. (<http://mycota-crcc.mnhn.fr>).

12. <https://www.researchgate.net/>

13. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>

14. https://www.researchgate.net/figure/Mentha-aquatica-11_fig2_346127258

15. « *Mentha aquatica* - Menthe d'eau, Menthe aquatique [archive] », 3 juillet 2015



Annexes

Tableau 11 : Vitesse de croissance mycélienne (VC) et taux d'inhibition de *Aspergillus flavus* en présence des extraits EMMP et EMMA

Extrait	Concentration (mg)	Diamètre moyen à 96 h (cm)	VC (cm/h)	Inhibition (%)
C	0,5	5,28 ± 0,58	0,0549	38,95
C	2,5	4,63 ± 1,00	0,0482	46,47
C	5	3,85 ± 0,24	0,0401	55,44
B	0,5	4,80 ± 0,36	0,0500	44,44
B	2,5	4,88 ± 0,37	0,0508	43,58
B	5	3,60 ± 0,94	0,0375	58,33

Tableau 12 : Vitesse de croissance mycélienne (VC) et taux d'inhibition de *Stemphylium* sp. En présence des extraits EMMP et EMMA

Extrait	Concentration (mg)	Diamètre moyen à 96 h (cm)	VC (cm/h)	Inhibition (%)
C	0,5	1,48 ± 0,10	0,0154	82,65 ± 1.18
C	2,5	0,93 ± 0,14	0,0097	89,12 ± 1.96
C	5	1,70 ± 0,34	0,0177	80,00 ± 4.04
B	0,5	1,70 ± 0,54	0,0177	80,00 ± 4.39
B	2,5	1,28 ± 0,29	0,0133	84,85 ± 3.11
B	5	1,65 ± 0,40	0,0172	80,59 ± 2.01

Tableau 13 : Vitesse de croissance mycélienne (VC) et taux d'inhibition de *Alternaria* sp2. En présence des extraits EMMP et EMMA

Extrait	Concentration (mg)	Diamètre moyen à 96 h (cm)	VC (cm/h)	Inhibition (%)
C	0,5	0,58 ± 5,28	0,0549	38,95
C	2,5	1,00 ± 4,63	0,0482	46,47
C	5	0,24 ± 3,85	0,0401	55,44
B	0,5	0,36 ± 4,80	0,0500	44,44
B	2,5	0,37 ± 4,88	0,0508	43,58
B	5	0,94 ± 3,60	0,0375	58,33

Tableau 14 : Vitesse de croissance mycélienne (VC) et taux d'inhibition de *Aspergillus niger* en présence des extraits EMMP et EMMA

Extrait	Concentration (mg)	Diamètre moyen à 96 h (cm)	VC (cm/h)	Inhibition (%)
C	0,5	2,68 ± 0,97	0,0302	69,08
C	2,5	3,05 ± 0,33	0,0354	64,74
C	5	3,52 ± 0,38	0,0403	59,25
B	0,5	5,32 ± 0,74	0,0670	35,84
B	2,5	4,48 ± 0,50	0,0552	46,08
B	5	3,00 ± 0,41	0,0347	63,86

Tableau 15 : Vitesse de croissance mycélienne (VC) et taux d'inhibition de *Alternaria* sp1. En présence des extraits EMMP et EMMA

Extrait	Concentration (mg)	Diamètre moyen à 96 h (cm)	VC (cm/h)	Inhibition (%)
C	0,5	2,65 ± 0,13	0,0299	68,82
C	2,5	1,32 ± 0,22	0,0115	84,41
C	5	1,40 ± 0,00	0,0125	83,53
B	0,5	1,00 ± 0,00	0,0069	88,24
B	2,5	3,05 ± 0,10	0,0354	64,12
B	5	0,93 ± 0,10	0,0059	89,12