

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Abdelhamid
Ibn Badis-Mostaganem
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس
مستغانم
كلية علوم الطبقات والحياة

Département d'AGRONOMIE
MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

BENSTAALI Kenza et MAHI Hadjer

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN AGRONOMIE

Spécialité : **Protection Des Végétaux**

THEME

**ÉVALUATION DES PROPRIÉTÉS BIOFONGIQUES DES HUILES
ESSENTIELLES DE ZESTE DE BIGARADE ET DE PAMPLMOUSSE
CONTRE L'*ALTERNARIA* sp. : IMPACTS SUR LA CRISSANCE ET
LA CONSERVATION POST-RECOLTE DES TOMATES.**

Soutenu publiquement le 27/06/2024

Devant les Jury

Présidente	Dr Saiah Farida	MCB U. Mostaganem
Examinatrice	Dr Badaoui Mahdjouba I.	MCB U. Mostaganem
Directrice de mémoire	Dr Benourad Fouzia	MCA U. Mostaganem

Année universitaire : 2023-2024

Remerciements

Tout d'abord et avant tout, nous remercions Allah qui nous accorde la capacité nécessaire pour achever cette tâche.

Nous tenons à remercier Madame Benourad Fouzia, notre encadrante, pour ses conseils précieux, ses encouragements et ses recommandations qu'elle nous a prodigués tout au long de notre stage de fin d'études.

Nous tenons également à exprimer notre reconnaissance envers les membres du jury, le Dr Saiah Farida et le Dr Badaoui Mahdjoubaa Ikram, qui ont consacré du temps à revoir et à examiner notre travail.

Un remerciement particulier à tous ceux qui nous ont apporté leur soutien pour achever ce travail.

Dédicace

Tout d'abord, je remercie **Alla**, notre créateur de m'avoir donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail modeste.

Je dédie ce travail

Ma mère, la source de tendresse et la lumière qui guide mes routes et qui m'emmène aux chemins de la réussite, pour tous ses sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie

Mon père que je le remercie énormément pour ses efforts, ses conseils et sa surveillance

Mes chers frères : Belkacem et Ibrahim

Ma grand-mère : Fatma

Mes meilleurs amis : Kawtar, Razika, Zoubida, Halima, Fatiha, chaima, Bahia

Tout ce que je connais sans exception

Tous mes enseignants sans exception

Chère binôme, **MAHI Hadjer** m'a supporté tout au long de l'année et accepté d'être avec moi.

Enfin, j'offre mes bénédictions à tous ceux qui m'ont soutenu dans l'accomplissement de ce travail.

Kenza

Dédicace

Tout d'abord, je dois exprimer ma gratitude envers Dieu pour m'avoir accordé le courage de finir ce projet.

Je dédie ce modeste travail à :

Mon Père « ***MAHI HABIB*** » et Ma chère mère « ***FATIHA*** »

Mes sœurs « ***AMINA*** » « ***SAMIRA*** » et mes frères « ***OTMEN*** » « ***YACINE*** »

Ma chère amie « ***BOUTELILISE KAHLA*** »

Madame « ***Saadia*** »

Je vous remercie sincèrement, mes meilleures, d'être constamment présentes à mes côtés.

« ***HADJER MH*** »

Résumé :

La tomate est l'une des variétés les plus étudiées en raison de son importance économique et alimentaire, ainsi que de son exposition à de multiples agents pathogènes. Les pesticides visant à protéger les cultures et les produits agricoles et agroalimentaires ont malheureusement des conséquences néfastes sur l'environnement et la santé humaine. Dans cette étude, les zestes de *Citrus aurantium* L. et *Citrus maxima* L. sont utilisés comme source potentielle de molécules biologiquement actives extraites par hydrodistillation. Deux doses ont été choisies, 0,5 % et 1 %. Des tests d'évaluation du pouvoir biofongicide *in vitro* vis-à-vis *Alternaria sp* par la technique de diffusion sur gélose. Les résultats de l'étude ont montré l'efficacité des huiles essentielles extraites du zeste des agrumes en tant que bioproduit à action fongicide sur la croissance mycélienne de l'agent phytopathogène, avec une diminution de près de 50 % de l'extension mycélienne. *In vivo*, le traitement préventif des semences par exposition aux molécules volatiles a entraîné une augmentation du taux de germination à plus de 50 % par rapport au témoin. D'autre part, les traitements préventifs d'une heure par l'huile essentielle de pamplemousse et par synergie entre les deux huiles essentielles et après un stockage à l'air libre pendant une semaine, les tomates sont jusqu'à 99 % protégées contre une infection induite par rapport à un témoin inoculé pourri de près de 50 %, avec une libération significative d'exsudats. La combinaison des deux huiles essentielles (formulation) permet d'améliorer les résultats, en agissant directement sur l'agent phytopathogène *in vitro*, ou *in vivo* en favorisant la croissance des plants et en préservant les produits agricoles après la récolte.

Mots clés : hydrodistillation, huile essentielle, bigarade, pamplemousse, biofongicide, inhibition, germination, *Alternaria sp*, tomates.

Summary:

The tomato is one of the most studied varieties due to its economic and dietary importance, as well as its exposure to multiple pathogens. Pesticides intended to protect crops and agricultural and agri-food products unfortunately have harmful consequences on the environment and human health. In this study, the peels of *Citrus aurantium* L. and *Citrus maxima* L. are used as potential source of biologically active molecules extracted by hydrodistillation. Two doses were chosen, 0.5% and 1%. *In vitro*, tests are performed to assess the biofungicidal efficacy against *Alternaria sp.* by the agar diffusion technique. The results of the study showed the effectiveness of essential oils from *Citrus* peels as a bioproduct with fungicidal action on the mycelial growth of the phytopathogen, with a reduction of almost 50% in mycelial extension. *In vivo*, preventive treatment of seeds by exposure to volatile molecules resulted in an increase in the germination rate to more than 50% compared to the control. On the other side, preventive treatments of one hour with grapefruit essential oil and by synergy between the two essential oils and after storage in the open air for a week, tomatoes are up to 99% protected against induced infection compared to an inoculated control rotted by almost 50%, with a significant release of exudates. The combination of the two essential oils (formulation) makes it possible to improve results, directly on the plant pathogen *in vitro*, or *in vivo* by promoting the growth of plants and preserving agricultural products after harvest.

Key Words : hydrodistillation, essential oil, bitter orange, grapefruit, biofungicide, inhibition, germination, *Alternaria sp*, tomatoes.

ملخص

الطماطم هي واحدة من أكثر الأصناف التي تمت دراستها بسبب أهميتها الاقتصادية والغذائية، فضلا عن تعرضها لمسببات الأمراض المتعددة. المبيدات الحشرية التي تهدف إلى حماية المحاصيل والمنتجات الزراعية والغذائية الزراعية لها للأسف عواقب ضارة على البيئة وصحة الإنسان. في هذه الدراسة، يتم استخدام قشور *Citrus aurantium* L و *maxima* L *Citrus*. كمصدر محتمل للجزيئات النشطة بيولوجيا المستخرجة عن طريق التقطير المائي. تم اختيار جرعتين، 0.5% و 1%. اختبارات في المختبر لتقييم إمكانات مبيدات الفطريات الحيوية ضد *sp Alternaria*. أظهرت نتائج الدراسة فعالية الزيوت الأساسية لقشر الحمضيات كمنتج حيوي مبيد للفطريات على النمو الفطري للممرض النباتي، مع انخفاض بنسبة 50% تقريبا في الامتداد الفطري. في الجسم الحي، أدت المعالجة الوقائية للبذور عن طريق التعرض للجزيئات المتطايرة إلى زيادة معدل الإنبات إلى أكثر من 50% مقارنة بالشاهد. من ناحية أخرى، فإن العلاجات الوقائية لمدة ساعة واحدة مع زيت الجريب فروت الأساسي ومن خلال التأزر بين اثنين من الزيوت الأساسية وبعد التخزين في الهواء الطلق لمدة أسبوع، فإن الطماطم أصبحت محمية بنسبة تصل إلى 99% ضد العدوى المستحثة مقارنة بالشاهد الملقحة الفاسدة بنسبة 50%. تقريبا، مع افراز كبير من السوائل. مزيج من الزيوت الأساسية (تشكيلية) يحسن النتائج، من خلال العمل مباشرة على مسببات الأمراض النباتية في المختبر، أو في الجسم الحي من خلال تعزيز نمو النباتات والحفاظ على المنتجات الزراعية بعد الحصاد.

الكلمات المفتاحية: التقطير المائي، الزيوت الأساسية، البيغاريد، الجريب فروت، مبيدات الفطريات الحيوية، التنشيط، الإنبات، *sp Alternaria*، الطماطم.

Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Donnée bibliographique

Chapitre I : Généralité sur la tomate

Introduction générale.....	1
I.1.Origine et Historique.....	3
I.2.Importance économique.....	3
I.2.1. La production de la tomate dans le monde.....	3
I.2.2. En Algérie.....	4
I.2.3.A Mostaganem.....	5
I.3. Importance alimentaire.....	5
I.4. Classification.....	5
I.5. Caractéristique morphologique de la tomate.....	6
I.5.1. Racines.....	6
I.5.2. Tiges.....	6
I.5.3. Feuilles.....	6
I.5.4. Fleurs.....	6
I.5.5. Fruit.....	7
I.5.6.graine.....	7
I.6. Cycle phénologique de la tomate.....	8
I.7. Exigences de la culture.....	9
I.7.1. Exigences climatiques.....	9
I.7.2. Exigences pédologiques.....	10
I.7.2. Exigences hydriques.....	11
I.8. Les maladies et les ravageurs de la tomate.....	11
I.9. Les différentes variétés de la culture de tomate.....	17

Chapitre II : les biostimulants

II.1. Définition des biostimulants.....	19
II.2. Différents types de biostimulants.....	20
II.2.1.Biostimulants organiques.....	20
II.2.2Biostimulants microbiens.....	20

II.2.3. Biostimulants inorganiques.....	20
II.3. Nature et classification des biostimulants.....	20
II.4. Les avantages de biostimulant par rapport aux engrais.....	21
II.4.1. Amélioration de la croissance et du développement.....	21
II.4.2. Augmentation de la tolérance aux facteurs de stress.....	21
II.4.3. Stimulation de la croissance des racines.....	22
II.4.4. Augmentation de la résistance aux maladies et aux ravageurs.....	22
II.4.5. Amélioration de la santé du sol.....	22
II.4.6. Augmentation de l'efficacité des engrais.....	22
II.4.7. Réduction de l'impact environnemental.....	23
II.5. Le rôle de biostimulant dans l'agriculture.....	23
II.6. Un système racinaire bien développé, clé de la réussite.....	23

Chapitre II : Généralités sur les *citrus*

III. Généralité sur les agrumes.....	26
III.1. Présentation générale de l'origine des agrumes.....	26
III.2. La production des agrumes.....	27
III.2.1. Dans le monde.....	27
III.2.2. Production en Algérie.....	27
III.2.3. A Mostaganem.....	28
III.3. Morphologie des agrumes.....	28
III.4. Cycle biologique du genre <i>Citrus</i>	29
III.4.1. Croissance végétale.....	29
III.4.2. Fructification.....	29
III.5. Exigences pédoclimatiques.....	30
III.5.1. Températures.....	30
III.5.2. Vent.....	30
III.5.3. Sol.....	30
III.5.4. Eau.....	30
III.6. Position taxonomique.....	30
III.7. Composition chimique du zeste des <i>Citrus</i>	32

Partie Expérimentale

Matériel et Méthodes

□ Objectif

I. Matériel biologique.....	33
I.1. Plantes aromatiques.....	33
I.2. Isolement de l'agent pathogène.....	34
I.3. préparation des huiles essentielles.....	34
I.4. Evaluation du pouvoir biofongicide <i>in vitro</i>	35
I.5. Vérification de l'action fongistatique.....	38
I.6. Evaluation du pouvoir biofongicide et phytostimulante <i>in vivo</i>	38
I.6.1. Traitement préventif sur semences.....	38
I.6.2. Traitement préventif de l'extrait sur les fruits.....	41

Résultats

I. Identification de l'isola.....	42
I.1. Aspect macroscopique.....	42
I.2. Aspect microscopique.....	42
II. Activité <i>in vitro</i> vis-à-vis <i>Alternaria</i>	43
III. Evaluation de l'efficacité antifongique <i>in vivo</i>	44
III.1. Taux de germination.....	44
III. La conservation des fruits.....	45
Discussion.....	47
Conclusion.....	50

Liste des figures

Figure 01: Répartition et production de la tomate dans le monde.....	3
Figure02 : Production de tomates fraîches dans le monde entre 1994 et 2020	4
Figure03 : Production de tomates fraîches en Algérie entre 1994 et 2020.....	4
Figure04 : Schéma représentant le cycle de croissance d'une plante de tomate	9
Figure05 : symptômes de mildiou	11
Figure06: l'oïdium.....	12
Figure07: Alternariose sur feuille.....	12
Figure08 : symptômes de pourriture.....	13
Figure09 : Fusariose des racines et du collet de Tomate.....	14
Figure10 : Verticilliose sur les feuilles de tomate	14
Figure11 : Lésions de la moucheture bactérienne	15
Figure12 : feuilles jaunes en cuillère sur tomate	16
Figure13: Des racines de la tomate infectées par des nématodes à galle	17
Figure14: Acarien sur feuille de tomate	17
Figure15 : avantages constatés sur les différentes parties d'une plante après l'application des biostimulante	19
Figure16: Quelques exemples de Nature et classification des biostimulants.....	21
Figure17 : Application de biostimulant sur blé	21
Figure18 : l'application de biostimulant sur pomme de terre.....	22
Figure19 : Origine et aire de répartition des agrumes dans le monde	26
Figure20: Répartition de la production des agrumes en Algérie	27
Figure21: (A) fruit de bigarade, (B) fruit de pamplemousse.....	32
Figure22 : Fruits de deux variétés des agrumes utilisés	33
Figure23 : Etapes d'isolement de l'agent phytopathogène.....	34
Figure 24: technique d'hydrodistillation utilisée pour la récupération des huiles essentielles.....	35

Figure25 : l'application de traitement sur les semences	39
Figure26 : Semis après l'application de différents traitements préventifs	39
Figure27 : Traitement in vivo sur les fruits de tomate	41
Figure 28 : Aspect macroscopique <i>d'Alternaria sp</i>	42
Figure29 : Aspect microscopique <i>d'Alternaria sp</i>	43
Figure 30 : Effet de bio- fongicide des huiles essentiel sur la croissance mycélienne <i>d'Alternaria sp</i>	44
Figure31 : Effectif des plantules développées pour chaque traitement	44
Figure32 : le résultat de test in vivo entre Temoin inoculé et Temoin négatif.....	45

Liste des Planches

Planche01 : morphologique de la tomate.....	7
Planche02 : Schéma récapitulatif représentant les différentes formes d'action des biostimulants.....	24
Planche 03 : les étapes du test d'évaluation de l'activité biofongicide <i>in vitro</i>	37
Planche04 : étapes du test <i>in vivo</i> d'évaluation du pouvoir biofongicide et phytostimulante des huiles essentielles extraites des zestes d'agrumes et appliquées préventivement sur semences	40
Planche05 : Résultat d'évaluation biofongicide des huiles essentielles pamplemousse et bigarade <i>in vitro</i>	43
Planche 06 : les résultats des tomates traité précédemment par différent traitement inoculée par l'isolat d' <i>Alternaria</i>	46

Liste des Tableaux

Tableau 01 : Un récapitulatif de la durée du cycle de la tomate en fonction des différentes étapes culturales et biologiques de la plante.....	9
Taleau02 : Principaux composés chimique des zestes des citrus.....	32

Liste des abréviations

FAO : Organisation des Nations Unies de l'Agriculture et de l'Alimentation.

CE : Conductivité électrique

D.S.A: Direction des Services Agricoles

EBIC : Conseil européen de l'industrie des biostimulants

HAP : Hydrocarbure aromatique

Bg: brigade

Pm: pamplemousse

F: Formulation

T: temion

Ti: temion inoculé

HE: huile essenceil

Introduction

Introduction

La tomate est une culture largement répandue à l'échelle mondiale, en particulier en méditerranée, après la pomme de terre, que ce soit pour la production ou la consommation. De manière générale, elle est consommée comme un légume ou comme un fruit. (Chanforan 2010) a souligné la contribution de la tomate à de nombreuses recherches scientifiques en tant que plante modèle pour les études sur les fruits charnus.

Cette culture est exposée aux menaces d'un large éventail d'agents pathogènes microbiens indigènes tels que des bactéries, des virus et des champignons, ou d'autres insectes tels que des parasites, des arthropodes et des insectes.etc. (Hutton et *al.*, 2021).

En raison de l'expansion de l'industrie de transformation et de la conserve (la tomate d'industrie), la production de tomates en Algérie a connu une augmentation, ce qui demande de grandes quantités (FAOSTAT 2023). Dans le but de protéger les différentes productions agroalimentaires les agriculteurs utilisent différents produits pour lutter contre les agents pathogènes, la plupart des produits utilisés sont toxiques et peuvent causer de sérieux problèmes pour l'environnement et la santé publique.

La stimulation biologique de la croissance et/ou de la santé des plantes pourrait représenter un nouveau bénéfice pour les agriculteurs. Afin d'assurer la durabilité de l'activité et de s'engager davantage dans une agriculture durable. De plus en plus, les biostimulants jouent un rôle essentiel dans la diminution des utilisations d'engrais en tant qu'outils agronomiques. Selon les travaux de Catello et al. (2022), ils ont la capacité d'améliorer les performances des systèmes de culture ou de prévenir les pertes de rendement des cultures soumises à des stress.

L'objectif de cette étude est d'évaluer un potentiel biostimulant d'un produit composé d'huiles essentielles extraites du zeste d'agrumes sur des plantules de tomate cultivées dans des conditions contrôlées et des tomates en stock.

Dans ce document, nous avons deux parties distinctes. La première partie est dédiée à la synthèse bibliographique qui comprend trois chapitres : généralités sur la tomate, les biostimulants et généralités sur les Citrus. La deuxième partie est la partie expérimentale qui présente deux parties. L'étude *in vitro* de l'activité antifongique sur *Alternaria sp.* et l'étude *in vivo* de l'impact d'un traitement préventif sur les semences de tomates sur la stimulation de la germination et de la croissance des plants développés, ainsi que sur l'impact de ces mêmes bioproduits sur les fruits de tomate en stock. Une troisième partie présente les résultats des diverses expériences et une discussion. Et enfin, le document se termine par une synthèse générale.

Partie bibliographie

Chapitre I

Généralités sur la tomate

I. Généralités sur la tomate

I.1. Origine et Historique

La tomate est une plante annuelle herbacée appartient à la famille de solanacée (dont fait également partie ; les pommes de terre, les poivrons et les aubergines), originaire des Andes d'Amérique du Sud. Elle fut domestiquée au Mexique, puis introduite en Europe en 1544. De là, sa culture s'est propagée en Asie du Sud et de l'Est, en Afrique et en Moyen Orient (Figure 01).

En 1905, la tomate est introduite en Algérie par les Espagnols dans la région Ouest « Oran » (Rey & Costes, 1965). Et elle s'étendit par la suite vers le centre, notamment au littoral algérois (Latigui, 1984).

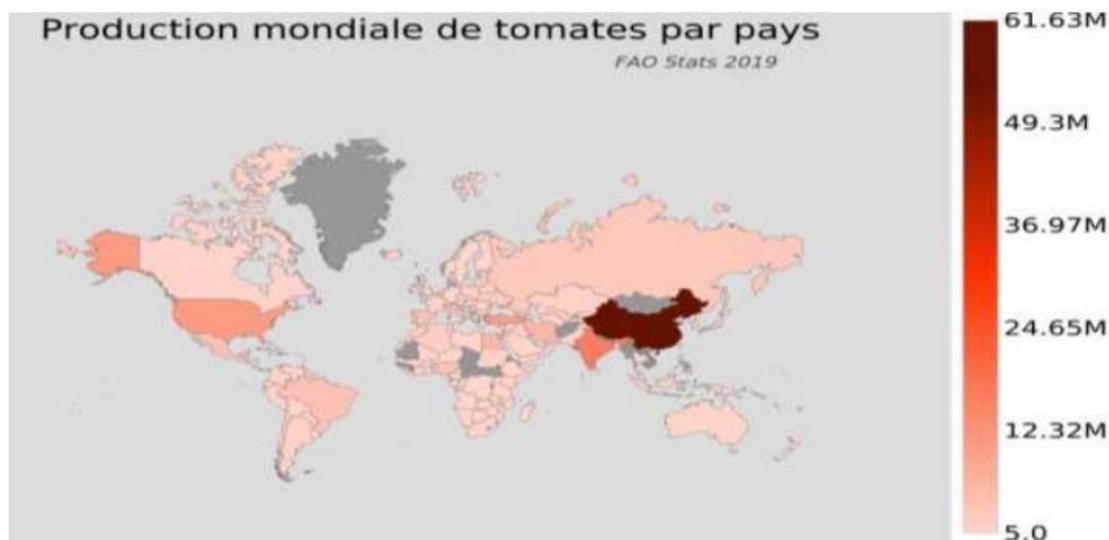


Figure 01: Répartition et production de la tomate dans le monde selon FAO STAT, 2019

I.2. Importance économique

I.2.1. La production de la tomate dans le monde

La production de la tomate s'est répandue dans tous les pays du monde. Sa production est en augmentation depuis plusieurs années. C'est le deuxième légume produit dans le monde avec une production d'à peu près 189 millions de tonnes en 2020. Les principaux pays producteurs sont la Chine, l'Inde, la Turquie et les États-Unis d'Amérique (FAOSTAT, 2023).

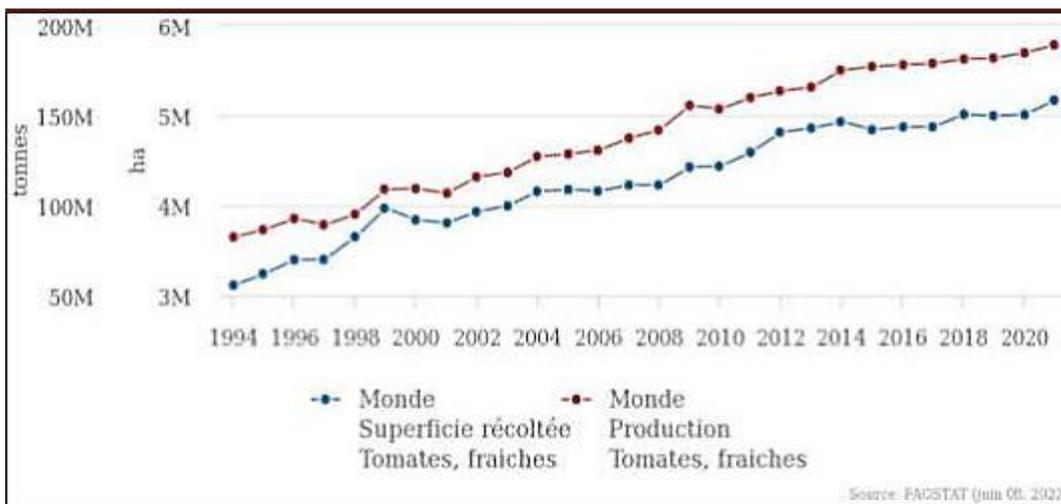


Figure02 : Production de tomates fraîches dans le monde entre 1994 et 2020 (FAOSTAT2023)

I.2.2. En Algérie

La production nationale de la tomate fraîche s'est établie à 1 million 600 de tonne en 2020 (FAOSTAT, 2023) (Figure03). Les plus grandes wilayas productrices de la tomate fraîche sont Biskra, Mostaganem, Tipaza, and Ain Defla. Outre la tomate fraîche, la production de la tomate industrielle (destinée à la transformation) a été de 15,4 millions de qx durant la campagne 2017-2018, avec un rendement de 651 qx/ha. Les plus grandes wilayas productrices de la tomate industrielle sont Skikda avec une production of 4,7 million qx, Taref 3,5 million qx, Guelma 2,1 million qx, et Ain Defla avec une production 1,7 million qx (MADR 2018).

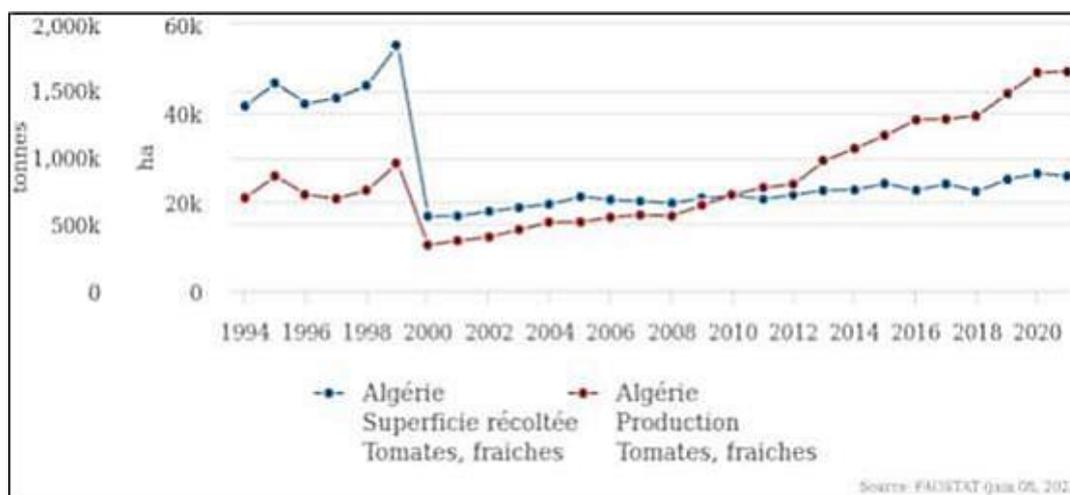


Figure03 : Production de tomates fraîches en Algérie entre 1994 et 2020 (FAOSTAT 2023)

I.2.3.A Mostaganem

Selon les statistiques de la Direction des services agricoles « DSA », la wilaya de Mostaganem est classée parmi les premiers producteurs de tomate en Algérie. Cette wilaya enregistrant une production de 1,33 millions de qx sur une superficie de 2438,5 ha, on distingue que la culture de tomate occupe une place très importante dans la production maraichère sur le plan de la superficie et par conséquent sur la production. (Anonyme, 2022).

I.3. Importance alimentaire

La tomate tient une place importante dans l'alimentation humaine. C'est un aliment diététique, très riche en eau et très pauvre en calories, riche en éléments minéraux et en vitamines (A.C.E), ces antioxydants en font un formidable rempart contre les affections. (Anonyme, 2009)

I.4. Classification

La tomate appartient aux plantes à fleurs de la famille des solanacées. Les solanacées comprennent plus de 3000 espèces. Il existe plus de 7000 variétés de tomates à elles seules. Mais toutes ne constituent qu'une seule espèce de tomates. Cette espèce est appelée *Solanum lycopersicum*

Règne: Planta

Sous règne: Trachnobionta

Embranchement: Magnoliophyta

Classe: Magnoliopsida

Sous classe : Asteridae

Ordre : Solanales

Famille : Solanaceae

Genre : Solanum

Espèce : *Solanum lycopersicum*

(Cronquist, 1981)

I.5. Caractéristique morphologique de la tomate

La tomate est une plante vivace dans sa région d'origine mais en culture on la considère comme une plante annuelle (Chaux et Foury, 1994). La tomate est une plante herbacée composée de plusieurs parties :

I.5.1. Racines

Le système racinaire est pivotant, très puissant et ramifié sur les trente premiers centimètres. Selon Chaux et Foury (1994), la racine principale génère une grande quantité de racines latérales et adventices. La plante est stable grâce aux racines qui absorbent l'eau et les nutriments du sol et conservent les réserves de nourriture. Les racines ont la capacité de s'adapter à divers sols et conditions environnementales, garantissant ainsi la survie de la plante (Tomate).

I.5.2. Tiges

Le port de croissance de la plante atteint une longueur de 2 mètres. La peau est épaisse, très poilue et glandulaire (Wageningen, 2005). Son rôle est de fournir un soutien structurel et de transporter l'eau et les nutriments des racines vers les parties supérieures de la plante.

La tige continue de se développer tout au long de la saison, avec de nouvelles feuilles, fleurs et fruits.

I.5.3. Feuilles

Les feuilles sont jaunâtres, alternes et sont formées de 5 à 7 folioles ovales (Naika et al., 2005). La plante produit 7 à 14 feuilles avant la floraison. Elles sont efficaces pour prévenir les dégâts causés par l'ensoleillement excessif et les attaques de parasites.

La lumière solaire est convertie en énergie par les feuilles sous forme de glucose, ce qui permet à la plante de croître. Elles favorisent la production de vapeur d'eau, maintiennent la température interne de la plante et contribuent à prévenir la déshydratation.

I.5.4. Fleurs

Les fleurs sont hermaphrodites et composées de trois à huit fleurs, avec cinq sépales jaunes, cinq pétales, cinq étamines et deux carpelles (Reeves, 1973).

La production de fruits repose sur la pollinisation des fleurs, qui peut être effectuée par le vent, les insectes ou manuellement. Les fleurs deviennent des petits fruits verts qui, à maturité, deviennent les tomates juteuses que nous consommons.

I.5.5. Fruit

La tomate est un fruit charnu à forme arrondie, ovale ou globulaire. Le diamètre varie considérablement, passant de 1,5 cm pour la tomate cerise à plus de 10 cm. Après la pollinisation, les fruits se transforment en couleur et en texture pour signaler leur préparation à la récolte. La récolte des tomates se fait lorsque le fruit est entièrement coloré et ferme, prêt à être mangé ou transformé.

Les tomates se retrouvent dans de nombreuses recettes, qu'elles soient crues en salade, cuites en sauce ou en conserve.

I.5.6. graine

Selon Chaux et Foury(1994), chaque fruit contient un nombre important de graines qui varie de 80 à 500 graines par fruit. La graine est petite (250 à 350 graines par gramme) et velue (Naika et *al.*, 2005) (Planch01).

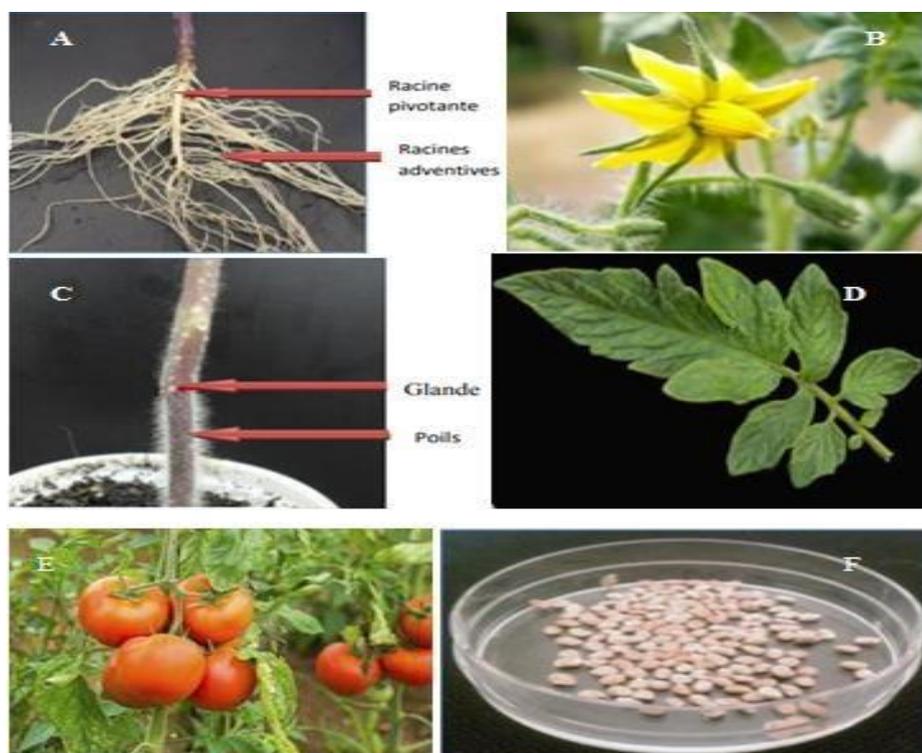


Planche01 : morphologie de la tomate :(A) Système racinaire, (B) fleur (Chaïb, 2007), (C) Tige (D) Feuilles, (E) fruit (Danneyrolles, 1999), (F) Graines (Naika et al, 2005).

I.6. Cycle phénologique de la tomate

La tomate appartient aux angiospermes, elle se reproduit sexuellement. Le cycle de la tomate est très variable, sa durée totale s'étend de quatre mois à sept mois et demi, en fonction des conditions de culture et de la variété (Figure04, Tableau01).

- **La germination** : C'est le passage de la vie ralentie à la vie active qui se traduit par la sortie des racines radicales et l'émergence de l'hypocotyle en surface. Les réserves sont hydrolysées et fournissent à l'embryon les métabolites nécessaires à ses synthèses et ses divisions cellulaires. La germination effectue au bout de 6 à 8 jours après le semis à une température ambiante entre 18 et 24°C (Heller, 1996).
- **La croissance** : D'après Laumonier (1979), la croissance se déroule en deux étapes dans deux environnements distincts : à la pépinière et en plein champ ou sous serre.
- En pépinière, la graine est levée jusqu'au stade de 6 feuilles, où la plante forme des racines fonctionnelles qui servent à fournir à la plante de l'eau et des nutriments. Au niveau aérien, la tige s'étire et se développe en feuilles. Dès que la plante atteint le stade de six feuilles, elle est transférée de la pépinière pour être repiquée en plein champ et poursuivre sa croissance. La tige se développe et le nombre de feuilles augmentera.
- **La floraison** : Selon Rey et Costaes (1965). La floraison correspond à l'apparition et le développement des ébauches florales qui se traduit par la transformation du méristème apical en passant de l'état végétatif à l'état reproducteur.
- **La fructification** : de la pollinisation à la fécondation varie de 2 à 3 jours. La nouaison est optimale lorsque la température nocturne est comprise entre 13°C et 15°C. Les nuits avec une température inférieure à 22 °C sont peu propices à la nouaison. (Rey et Costaes, 1965).
- **Développement et de maturation des fruits** : La maturation se caractérise par grossissement du fruit, un changement de couleur du vert ou rouge. La lumière intense permet la synthèse active des hydrates de carbone transportés rapidement vers les fruits en croissance, pour cela, une température de 18°C la nuit et 27°C le jour est nécessaire. (Rey et Costaes, 1965)

Tableau 01 : Un récapitulatif de la durée du cycle de la tomate en fonction des différentes étapes culturales et biologiques de la plante (Direction de l'agriculture B.P.100) :

Levée	Repiquage	Plantation	1ères fleurs	Nouaison	Récolte	Fin récolte
1 semaine	2 semaines	1 à 1,5mois	1,5 à 3 mois	2,5 à 3 mois	3 à 4,5 mois	3,5 à 7 mois

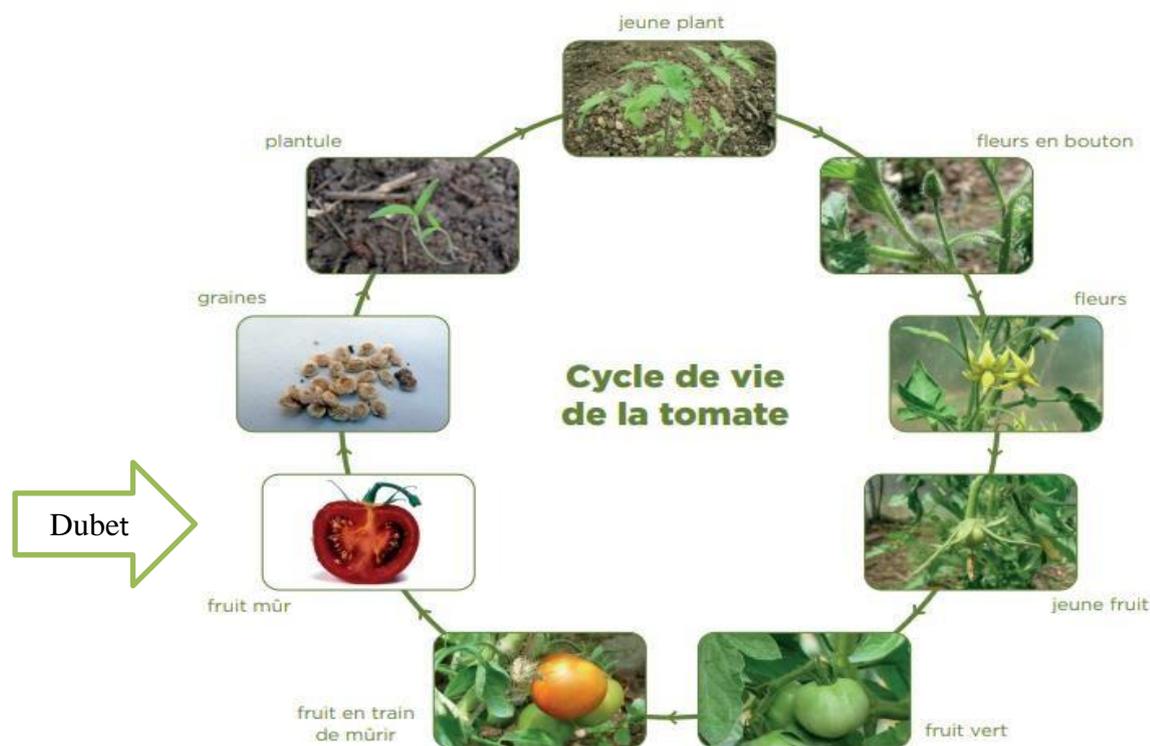


Figure04 : Schéma représentant le cycle de croissance d'une plante de tomate (Viron, N, 2010)

I.7. Exigences de la culture

La tomate est une plante sensible aux changements détectés dans son environnement. Ces changements peuvent affecter le cycle biologique et menacer la survie de la plante.

I.7.1. Exigences climatiques

- **La température** : La tomate est une plante des saisons chauds, elle est exigeante en chaleur pour assurer son cycle végétatif complet, la température optimale pour sa croissance est de 18°C à 25°C pendant la journée et de 15°C à 16°C pendant la nuit. Selon Lambert (2006) la formation des organes florales et la floraison s'arrêtent à une température au-dessous de 10°C, et au-dessus de 38°C les tissus des plantes seront endommagés (Naika et *al.*, 2005).

- **Lumière et vent** : La tomate n'est pas sensible au photopériodisme mais exigeante en énergie lumineuse. La longueur de l'obscurité est essentielle pour contrôle de la croissance et le développement de la plante. Un faible rayonnement lumineux réduit le nombre de fleurs par bouquet et affecte la fécondation (Cirad, 2002). Les vents chauds peuvent occasionner des brûlures sur les feuilles et des nécroses sur les fruits, en plus des dégâts causés par les vents forts telle la cassure des tiges (Grissa, 2010).
- **L'humidité** : La tomate est une plante très sensible à l'hygrométrie. Elle ne tolère pas les sols engorgés ni l'humidité élevée (plus de 80%). Une hygrométrie relativement ambiante de 60% à 65% soit la meilleure. En effet, lorsque l'humidité est trop élevée, le pollen est difficilement libéré. Par ailleurs, le développement des maladies cryptogamiques est fortement lié à des fortes humidités accompagnées de la chaleur (Laumonier, 1979). Il est essentiel de prévoir un apport d'eau suffisant pendant la fructification, le stress causé par une carence d'eau et durant des longues périodes fait tomber les bourgeons et les fleurs et provoque le fendillement des fruits (Munro et *al.*, 1998).

I.7.2. Exigences pédologiques :

Type de sol : La tomate demande de sols profonds, frais mais humides, riches en humus et en matières fertilisantes, légers et légèrement acides. Dans les sols lourds, il faut prévoir un drainage suffisant. La qualité du sol n'est pas prédominante pour la tomate. Il lui suffit d'avoir un sol profond et bien drainé. Les sols argileux ne donnent que de très faibles rendements (Andry, 2010).

- **pH du sol** : La culture de tomate préfère un sol légèrement acide ($5,8 < \text{pH} < 6,8$). Alors qu'un sol à pH basique ($\text{pH} > 7$) peut bloquer l'absorption de certains microéléments par la plante (Fe, Mn, Zn, Cu). La carence la plus fréquente étant celle du fer, elle apparaît en général à un stade avancé de la culture. Dans ce cas, une correction ferrique par un apport d'engrais foliaire ou en fertilisation est nécessaire (Grissa, 2010).
- **La salinité** : la plante est moyennement sensible à la salinité ; les engrais chlorurés semblent cependant ne pas lui convenir (Letard, 1995). La culture de tomate tolère une conductivité électrique (CE) de l'ordre de 3 à 4,5 mmohs/cm. L'impact de la salinité est plus grave sur le rendement suite à la réduction du calibre du fruit. Donc elle doit être maintenue entre 1 et 2 mmohs/cm à 25°C en fonction du stade de la culture et de la saison (Skiredj, 2006 et Ammari, 2012).

I.7.2. Exigences hydriques

Les besoins en eau de la tomate se situent entre 4000 et 5000 m³/ha. Cependant 3 phases physiologiques correspondant à des besoins en eau différents sont à distinguer :

- ✓ **De la plantation à la 1^{ère} floraison** : phase de croissance lente, les besoins en eau sont peu élevés.
- ✓ **De la floraison à la maturation** : phase de croissance rapide, les besoins en eau sont élevés.
- ✓ **De fin de récolte** : phase de vieillissement, les besoins en eau sont réduits (Anonyme, 1995).

I.8. Les maladies et les ravageurs de la tomate

Les principales maladies de la tomate sont classées ci-dessous :

- **Les maladies cryptogamiques**

- **Le Mildiou**

La maladie causée par *Phytophthora infestans*, c'est un champignon phytopathogène répandu dans toutes les régions du monde et particulièrement dans les régions à condition climatique fraîches et humides. Parmi les symptômes de la maladie l'apparition de grandes taches brunes sur les feuilles et les tiges (Figure05).



Figure05 : symptômes de mildiou : (A) sur la tige, (B) sur la feuille (Anonyme, 2024)

➤ L'Oïdium

C'est une Maladie fongique causée par *Leveillula taurica* et *Oïdium neolycopersici*. Les symptômes de *Leveillula taurica* se manifestent par des taches vert pâle à jaunes sur la face supérieure des feuilles basses et par un duvet blanc sur la face inférieure sur les taches. Les signes ne se manifestent que sur le feuillage. Et pour *Oïdium neolycopersici*, il provoque des taches poudreuses sur la face supérieure des feuilles, qui finissent par se dessécher. Les fruits ne sont pas touchés par la maladie (Figure06).



Figure06: l'oïdium :(A) *Oïdium neolycopersici*, (B) *Leveillula taurica* (Anonyme, 2017)

➤ L'Alternariose

Est une maladie cryptogamique causée par *Alternaria sp.* La maladie se manifeste par des symptômes variés à tous les stades du développement de la plante, Des taches noires apparaissent sur les feuilles et s'agrandissent en cercles concentriques. Sur les tiges, les taches sont brunes ou grises concentriques et elliptiques(Figure07).

Les *Alternaria* sont des champignons fréquents dans notre environnement. Ils appartiennent aux moisissures atmosphériques. Ils peuvent être isolés de végétaux très divers. *Alternaria* comprend près de 275 espèces (Simmons, 2007) avec des modes de vie saprophytes et phytopathogènes qui peuvent affecter les cultures sur champ ou les produits végétaux pendant la récolte et post-récolte (Logrieco et al., 2009). Autant que parasites de faiblesse, les *Alternaria* sont capables de mener une existence saprophytique pendant des périodes plus ou moins longues. Certains, tels qu'*A. chartarum*, *A. consortiale*, *A. tenuis*, etc., ont un habitat le plus souvent saprophytique et se rencontrent couramment sur des débris organiques ou les végétaux morts. Quelques espèces, comme *A. solani*, *A. dauci* et ses formes, *A. linicola*, *A. zinniae*, etc., vivent contrairement à l'état de parasites sur des plantes encore

apparemment vigoureuses (Messiaen et al., 1991). Ce sont des champignons mésophiles, leurs activités prédominantes disparaissent lorsque la température s'élève (Botton et al., 1990).

➤ **Classification**

Règne : fungi

Division : Ascomycota

Sous-division : Pezizomycotina

Classe : Dothideomycetidae

Sous-classe : Pleosporomycetidae

Ordre : pleosporales

Famille : Pleosporaceae

Genre : *Alternaria* .

➤ **Cycle de développement**

Le champignon *Alternaria* passe l'hiver dans les débris contaminés qui se trouvent dans le sol et peut être propagé par des semences contaminées. Durant la saison de croissance, les spores et le mycelium sont disséminés par le vent, l'eau, la pluie et les machines agricoles. L'agent pathogène s'attaque aux vieilles feuilles et la maladie se manifeste plus tardivement que la brûlure cercosporéenne. Les contaminations évoluent lentement jusqu'à ce que les conditions y soient favorables. Quand il fait chaud et humide, les taches foliaires peuvent progresser très rapidement au fur et à mesure que l'agent pathogène se propage (Figures08). Les plantes endommagées et carencées en azote sont plus vulnérables à l'infection (Bélangier M. et al., 2003).

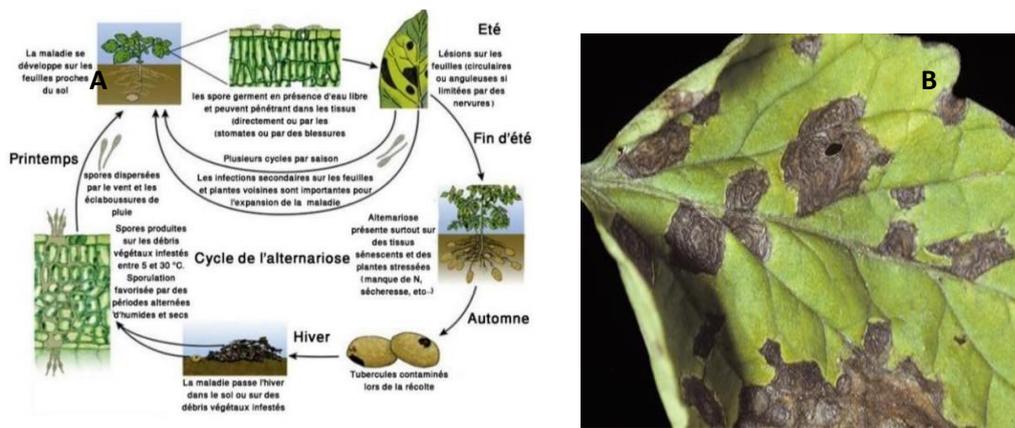


Figure 07:(A) cycle de développement de *Alternariat sp.* (Warton and kirk,2012).

(B)Alternariose sur feuille

➤ La pourriture grise

Cette maladie est causée par l'agent phytopathogène *Botrytis cinerea*, elle se manifeste pendant les périodes humides. Il peut causer l'apparition de taches brunâtres sur toutes les parties de la plante (les feuilles, les fruits, la tige, les fleurs). Et généralement elle entraîne le pourrissement des tissus infectés. (Williamson et al., 2007)(Figure08).



Figure08 : symptômes de pourriture grise :(A) sur fruit, (B) sur feuille, (C) sur tige (Anonyme, 2024)

➤ Fusariose

La fusariose des racines et du collet est causée par *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici* (FORL) mais également par d'autres espèces de *Fusarium*, en particulier *F. solani*. Elle affecte essentiellement la tomate de serre et à un degré moindre la tomate de champ. Le champignon induit la pourriture du système racinaire entraînant le jaunissement du feuillage à partir du bas de la plante puis le dessèchement (Figure 09).



Figure09 : Fusariose des racines et du collet de Tomate (Anonyme, 2024).

➤ Verticilliose

Elle est causée par deux champignons *verticillium dahlia* et *verticillium albo-atrum*, cette maladie peut attaquer la partie aérienne et se manifeste au niveau des feuilles inférieures vers la partie supérieure (Dobinson et *al.*, 1998). Parmi les symptômes de la verticilliose le flétrissement accompagné d'un jaunissement et dessèchement des feuilles de la base. (Snoussi, 2010)(Figure10).



Figure10 : Verticilliose sur les feuilles de tomate (Anonyme, 2024).

- **Les maladies bactériennes**

- **Flétrissement bactérien (*Ralstonia solanacearum*)**

Ralstonia solanacearum, agent de flétrissement bactérien, est une maladie bactérienne redoutable qui peut se trouver sur plusieurs cultures, notamment la pomme de terre et la tomate. Cette maladie conduit au flétrissement rapide des jeunes feuilles aux moments les plus chauds de la journée, souvent réversible durant la nuit dans un premier temps, puis devient permanent. Des brunissements entre nervures peuvent être observés sur certaines folioles.

- **La gale bactérienne ou tâche bactérienne**

C'est la bactérie phytopathogène *Xanthomonas compestris* qui est responsable de la gale bactérienne. Parmi les symptômes l'apparition de taches brunâtres entourées d'un halo jaune sur les feuilles ce qui provoque la chute des feuilles (Snoussi, 2010).

- **La moucheture bactérienne**

La moucheture bactérienne est causée par *Pseudomonas syringae pv.tomato*. Les symptômes sont très difficiles à différencier de ceux de la tache bactérienne. Ils ressemblent aussi beaucoup aux premiers symptômes de la brûlure alternarienne. Sur les feuilles, la moucheture bactérienne se manifeste par de petits points noirs qui, habituellement, ne font pas plus de 2 mm de diamètre et sont entourés d'une auréole jaune. Ils déforment parfois les feuilles en restreignant l'expansion des tissus foliaires(Figure11).



Figure11 : Lésions de la moucheture bactérienne (A) sur feuille, (B) sur fruit (Anonyme, 2021).

- **Les maladies virales**

- **La Virose apicale TYLCV :** (Tomato Yellow Leaf Curl Virus) ou la maladie des feuilles jaunes en cuillère. Maladie virale provoquée par le virus *Begomovirus* ; elle se transmet exclusivement par l'aleurode *Bemisiatabaci* communément appelée Mouche Blanche. Marquée essentiellement par un ralentissement de la croissance et jaunissement des pétioles, avec de nombreuses petites taches chlorotiques sur la face inférieure des feuilles (Figure12).



Figure12 : feuilles jaunes en cuillère sur tomate (: Boris L et *al.*, 2014).

- **Les ravageurs de la tomate**

- ❖ **La mineuse de la tomate (*Tuta absoluta*)**

Tuta absoluta est un macrolépidoptère de la famille des Gelichiidae. qui cause les plus grosses pertes économiques, Ce ravageur s'attaque à la famille de solanacée. principalement aux feuilles, tiges et fruits en creusant des galeries de couleur blanchâtre qui ensuite se nécrosent et brunissent. Elles provoquent des nécroses importantes empêchant la consommation et la vente des fruits.

- ❖ **Le puceron**

Les pucerons sont de petits insectes à corps mou qui se nourrissent de la sève des plantes. Ce sont un ravageur courant des tomates, et peuvent causer de graves dommages aux plants de tomates, par un affaiblissement des plantes en prélevant leur sève et transmettre d'autres maladies. Les pucerons excrètent également une substance sucrée appelée miellat, qui peut favoriser la croissance de la fumagine.

❖ Les nématodes à galle

Les nématodes à galles sont un type de nématode qui s'attaque aux plants de tomate, Ils sont microscopiques. Ils infectent les racines de la plante et provoquent des nodosités dessus ce qui entraîne le développement de la galle, cette infection peut être fatale à la plante, elle entraîne également un ralentissement la de croissance (Figure13).



Figure13: Des racines de la tomate infectées par des nématodes à galle (Anonyme, 2019)

❖ Acariens (*Tetranychus urticae*)

Ces minuscules insectes, difficilement visibles à l'œil nu, causent des décolorations, dessèchement et la déformation des feuilles pouvant aller jusqu'à la mort du plant entier(Figure14).



Figure14: Acarien sur feuille de tomate (Anonyme, 2016)

I.9. Les différentes variétés de la culture de tomate :

Les différentes variétés de tomates incluent :

- **Tomates cerise :**
 - ✓ Variété 1 : douce et juteuse, idéale pour les salades et les apéritifs.
 - ✓ Variété 2 : saveur plus acidulée, parfaite pour les salades et les plats cuisinés.

✓ Variété 3 : très productive, avec des fruits doux et juteux.

• **Tomates rondes pour salades et croque-au-sel :**

✓ Marmande : grosse tomate côtelée, idéale pour les salades et les sandwiches.

Saint-Pierre : tomate ronde et charnue, parfaite pour les salades.

✓ Supersteak : énorme tomate parfaite pour les tranches dans les burgers.

• **Tomates allongées ou "Roma" pour sauces et conserves :**

✓ Roma : classique pour les sauces, avec une chair dense et une peau fine.

✓ San Marzano : variété italienne appréciée pour les sauces tomate et les pizzas.

✓ Principe Borghese : tomate italienne séchée au soleil, parfaite pour les conserves.

• **Tomates apéritives :**

✓ Cerise : petites tomates rouges ou jaunes, très sucrées.

✓ Sungold : variété de tomate cerise orangée, exceptionnellement douce.

✓ Black Cherry : tomates cerise de couleur pourpre foncé, avec une saveur riche.

• **Tomates tardives :**

✓ Ananas : grosse tomate côtelée, parfumée et sucrée.

✓ Cornue : cornue, savoureuse, douce et peu acide.

✓ Corazon : cotelée, charnue et parfumée.

• **Tomates précoces :**

✓ Cobra : ronde, calibrée, chair ferme.

✓ Fournaise : ronde, calibrée.

✓ Gold Win : petite ronde, saveur douce.

• **Tomates résistantes :**

✓ Merveille des Marchés : fruits résistants à l'éclatement.

✓ Miel du Mexique : résistante à la sécheresse.

✓ Gold Dust : résistante aux maladies.

• **Tomates populaires :**

✓ Rose de Berne : peau fine, chair sucrée et juteuse.

✓ Ananas : grosse tomate côtelée, parfumée et sucrée.

✓ Cœur de Bœuf Géant : grosse tomate côtelée, charnue et juteuse

Ces variétés de tomates offrent une grande diversité de formes, de tailles, de couleurs et de saveurs, répondant à différents besoins et préférences des jardiniers et des cuisiniers.

Chapitre II

Les biostimulants

II.1. Définition des biostimulants

Selon l'EBIC (Conseil Européen de l'Industrie des Biostimulants), les biostimulants sont des produits conçus de manière très différente. Ils peuvent contenir des composés, une (des) substance(s) et/ou micro-organisme(s) dont la fonction, quand appliqué aux plantes ou à la rhizosphère permettra d'améliorer la vigueur des cultures, la qualité des récoltes en stimulant les processus naturels pour améliorer/avantager l'absorption des nutriments, l'efficacité des nutriments, la tolérance aux stress abiotiques, indépendamment du contenu en nutriments du biostimulant. (Povero *et al.*, 2016)

Le terme biostimulant a été inventé par des spécialistes de l'horticulture pour décrire des substances favorisant la croissance des plantes sans être des nutriments, des amendements de sol ou des pesticides. Ces substances naturelles ou synthétiques peuvent être appliquées sur les graines, les plantes ou à même le sol (CDA, 2021) (Figure15).

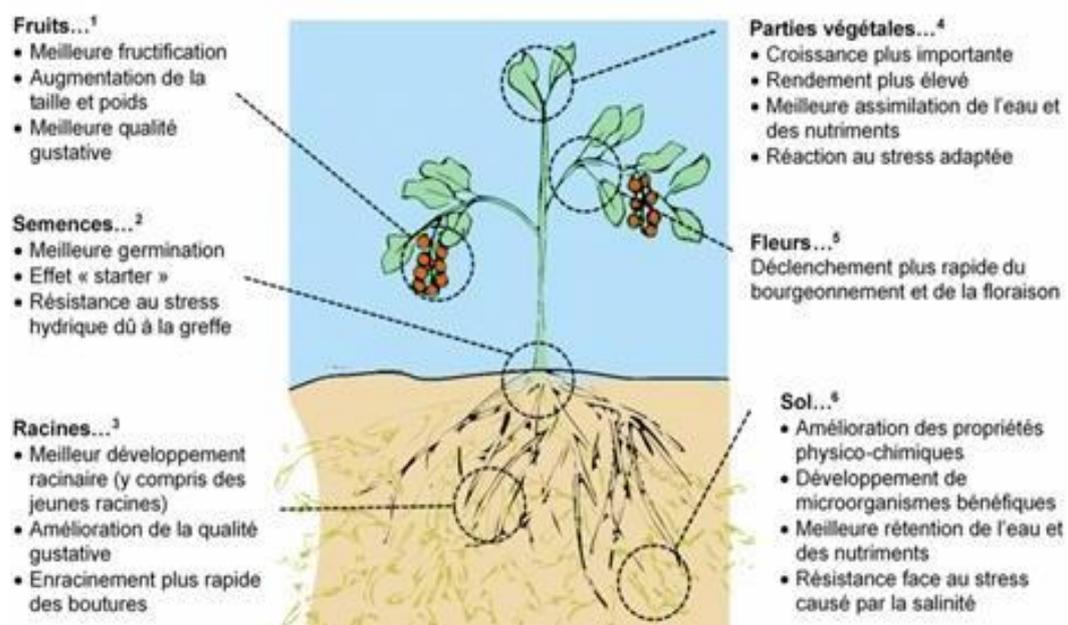


Figure15 : avantages constatés sur les différentes parties d'une plante après l'application des biostimulants (Povero *et al.*, 2016)

Un biostimulant est un produit qui stimule les processus de nutrition des végétaux indépendamment des éléments nutritifs, des substances de croissance, des composés de protection des plantes connus qu'il contient, et est utilisé afin d'améliorer une ou plusieurs caractéristiques des végétaux. Lesquelles sont : la résistance aux stress abiotiques, les

caractéristiques qualitatives, l'efficacité d'utilisation des nutriments et leur disponibilité (Anonyme, 2019 ; Yakhin et *al.*, 2017).

Les Biostimulants Réduit considérablement l'utilisation de pesticides et les engrais. Leur utilisation est l'une des clés de systèmes agricoles plus durables (Rouphael et Colla, 2020). Ce sont des produits naturels qui visent à optimiser la physiologie et la résistance des plantes, complémentaires aux engrais et pesticides traditionnels.

II.2. Différents types de biostimulants

II.2.1. Biostimulants organiques :

Ces produits peuvent être dérivés de diverses sources organiques, telles que les extraits de plantes, les acides aminés, les algues marines, les extraits de compost et les substances microbiennes.

II.2.2. Biostimulants microbiens :

Ils comprennent des organismes microscopiques comme les mycorhizes, *Trichoderma*, des bactéries qui favorisent la croissance des plantes, fixent l'azote, solubilisent les éléments, ainsi que des enzymes et des levures.

II.2.3. Biostimulants inorganiques :

Ils peuvent être des composés silicates ou d'autres substances non organiques.

Ces différentes catégories de biostimulants ont des origines variées et des modes d'action divers, agissant sur l'amélioration du métabolisme physiologique des cultures pour favoriser leur croissance et leur résistance aux stress environnementaux.

Ils peuvent s'utiliser seuls ou en apport au sol ou pulvérisation sur les plantes et enfin être disposés en enrobage de semences (Wikiagri, 2018).

II.3. Nature et classification des biostimulants:

Les biostimulants ont différentes origines, qui sont, des produits naturels (Figure 16).

- **Extraits d'algues ou de plantes** : par exemple, acides aminés de luzerne ou de betterave, substances humiques.
- **Extraits de produits animaux** : par exemple, acides aminés dérivés du cuir.

- **Micro-organismes** : l'exemple le plus connu Bacillus.
- **Produits minéraux** : comme le silice.

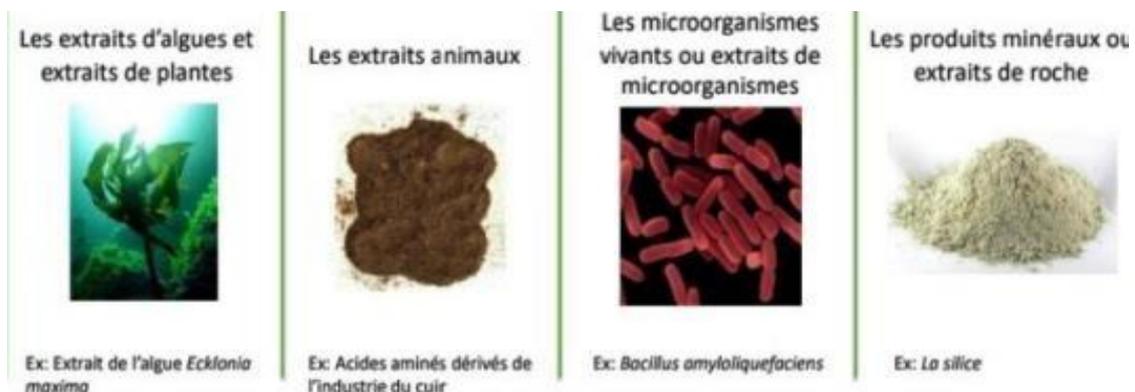


Figure16: Quelques exemples de Nature et classification des biostimulants (Anonyme, 2017)

II.4. Les avantages de biostimulant par rapport aux engrais

II.4.1. Amélioration de la croissance et du développement

Les biostimulants jouent un rôle crucial en facilitant l'absorption efficace des nutriments par les plantes, favorisant ainsi une meilleure croissance et développement. Cette amélioration de l'absorption des nutriments peut se traduire par des rendements plus élevés, une plus grande résistance et une meilleure qualité des cultures (Figure17).



Figure17 : Application de biostimulant sur blé (CAS, une clé pour produire mieux avec moins d'intrants, 2015)

II.4.2. Augmentation de la tolérance aux facteurs de stress :

Les biostimulants peuvent aider les plantes à mieux résister aux facteurs de stress abiotiques tels que la sécheresse, la chaleur et le froid, Ils favorisent la production de

substances de défense contre le stress et stimulent le métabolisme des plantes, les rendant ainsi plus résistantes aux conditions de stress.

II.4.3. Stimulation de la croissance des racines :

Les biostimulants peuvent favoriser la croissance des racines, permettant aux plantes de mieux absorber l'eau et les nutriments du sol. Cela améliore la santé et la vitalité générales des plantes (Figure 18).



Figure 18 : l'application de biostimulant sur pomme de terre (CAS, une clé pour produire mieux avec moins d'intrants, 2015)

II.4.4. Augmentation de la résistance aux maladies et aux ravageurs :

Grâce à leur action générale de renforcement des plantes, les biostimulants peuvent aider les plantes à devenir naturellement plus résistantes à certains champignons et maladies. Il est important de noter qu'un biostimulant ne combat pas directement la maladie elle-même, mais renforce plutôt la plante et donc les processus de défense naturels de cette plante.

II.4.5 Amélioration de la santé du sol :

Les biostimulants peuvent contribuer à améliorer la santé du sol en favorisant l'activité des micro-organismes bénéfiques du sol et en contribuant à une meilleure structure et fertilité du sol.

II.4.6. Augmentation de l'efficacité des engrais :

Les biostimulants peuvent améliorer l'efficacité des engrais en aidant les plantes à mieux absorber et utiliser les nutriments. Cela se traduit par une réduction de la nécessité d'utilisation d'engrais et un rendement plus élevé.

II.4.7. Réduction de l'impact environnemental :

L'utilisation de biostimulants peut contribuer à réduire l'impact environnemental en réduisant la nécessité de produits chimiques et d'engrais. Cela peut conduire à des pratiques agricoles plus durables.

II.5. Le rôle de biostimulant dans l'agriculture

Le but d'utilisation des biostimulants est similaire à celui des engrais il s'agit d'avoir de meilleurs rendements et des cultures plus qualitatives.

- ✓ Stimuler la germination des graines et ainsi améliorer la qualité de la production en condition non optimale.
- ✓ Contribuer à améliorer l'absorption des nutriments. Certains acides aminés contenus dans les biostimulants peuvent s'associer aux micronutriments, ce qui aide notamment la plante à tirer les nutriments dans des sols à pH élevés.
- ✓ Apporter une meilleure résistance aux stress abiotiques comme les variations climatiques, les carences en minéraux, une salinité excessive, la sécheresse ou encore l'excès d'eau.

Ces attributs dépendent de la composition des biostimulants (CDA, 2021).

II.6. Un système racinaire bien développé, clé de la réussite

- **Explorer le plus de sol :**

Dans le contexte de l'utilisation d'un biostimulant, "explorer le plus de sol" se réfère à maximiser la pénétration et l'efficacité du biostimulant dans le sol pour favoriser la croissance des plantes

- **Maximiser le volume racinaire**

Crucial pour favoriser une croissance végétale vigoureuse et une absorption efficace des nutriments

- **Valoriser au mieux les ressources du sol**

Implique d'optimiser l'efficacité de ce dernier pour favoriser la santé des plantes tout en préservant et en améliorant la qualité du sol

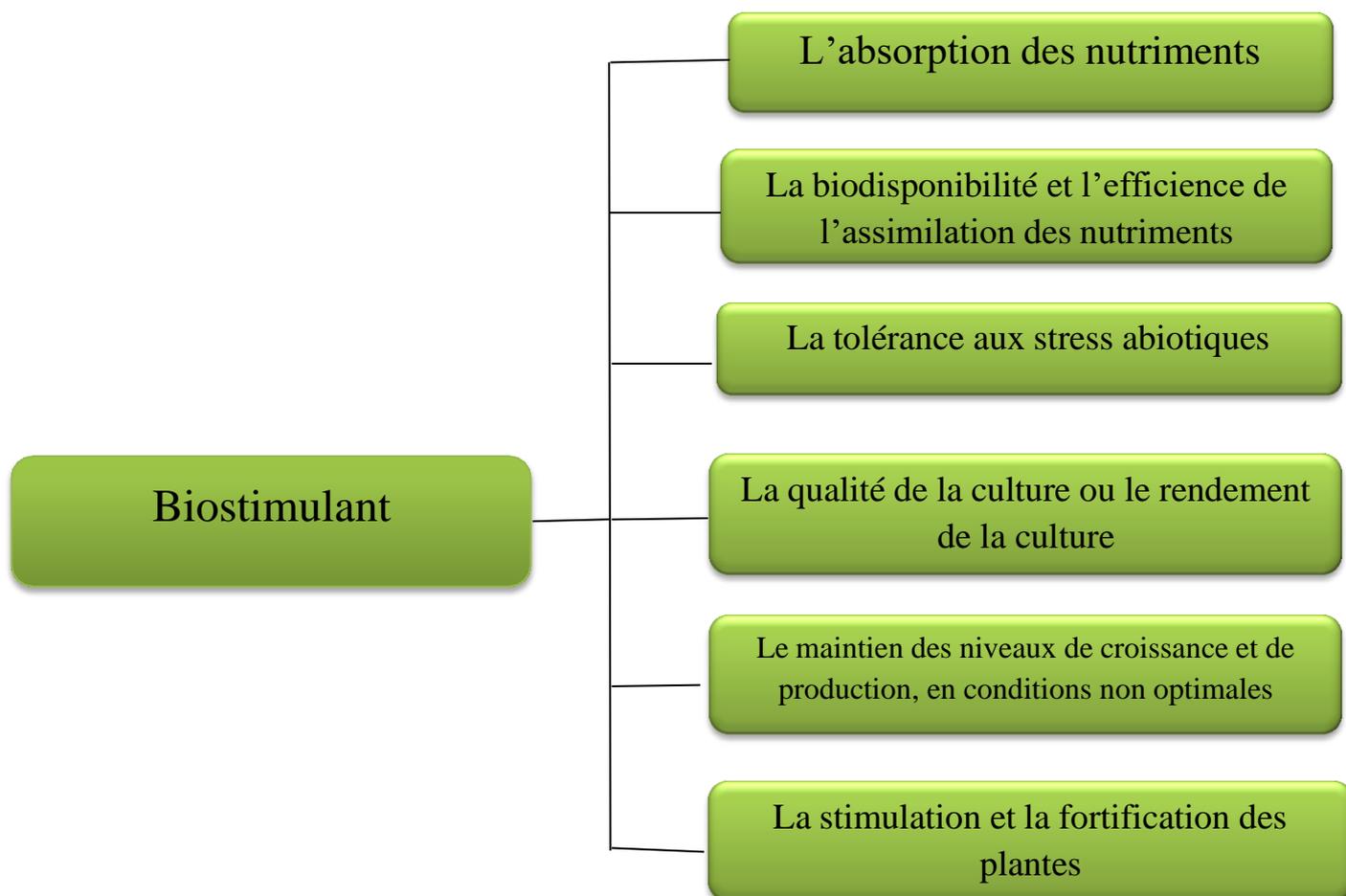


Planche02 : Schéma récapitulatif représentant les différentes formes d'action des biostimulants (RITTMO, 2016).

II.8. Inconvénient de biostimulants

Les biostimulants sont régulièrement considérés comme des produits plus « naturels », moins nocifs pour l'Homme et l'environnement, et ce même s'ils sont de synthèse.

L'origine des biostimulants peut parfois susciter des questionnements au sujet de leur innocuité : les lieux d'extraction peuvent subir des pollutions ou les processus de fabrication peuvent engendrer la présence de résidus nocifs. Par exemple, une pollution accidentelle des sites de ramassage des algues peut provoquer la présence d'HAP (hydrocarbure aromatiques polycycliques), molécules toxiques qui peuvent éventuellement se retrouver

dans le produit fini. La présence de polluants, tels que des contaminants cationiques (ETM, HA P, radionucléides atmosphériques, etc.), peut aussi être supposée dans les substances humiques puisque ce sont d'excellents complexant. L'utilisation de résidus animaux tels que les résidus de cuir pour la production d'acides aminés soulèvent également la question de la présence de chrome utilisé lors du tannage. (Guilayn, et al, 2020)

Pour cela, l'utilisation de biostimulants naturels, tels que ceux provenant des plantes médicinales et aromatiques ou fabriqués à partir des écorces des fruits tels que la grenade et les zestes d'agrumes, est très estimée.

➤ **But de biostimulants**

Les biostimulants agricoles représentent une nouvelle génération d'intrants biosourcés des cultures destinées à améliorer la croissance, le développement des plantes, la qualité des productions et/ou leur résistance ou résilience vis-à-vis des stress abiotiques. Ils peuvent être biostimulants du sol ou de la plante.

Chapitre III
Généralité sur les *Citrus*

III. Généralité sur les agrumes

III.1. Présentation générale de l'origine des agrumes

Le mot agrume vient de l'italien agrume, qui dérive lui-même du mot latin *acrumen*, qui signifie « acide ». En général, les agrumes ont une pulpe acidulée, voire vraiment acide.

Les agrumes sont originaires du Sud-Est asiatique (De Rocca Serra et Ollitrault, 1992). Cependant, les données historiques plaident en faveur de l'existence de trois centres de diversification primaire (Scora, 1988) :

- La diversification de *Citrus medica* et l'émergence de *Citrus aurantifolia*, *Citrus limon*, *Citrus aurantium* auraient été observées dans le Nord-Est de l'Inde, les régions proches de la Birmanie et de la Chine.
- La Malaisie et l'Indonésie sont citées comme centre d'origine de *Citrus grandis*.
- le Vietnam, le Sud de la Chine et le Japon seraient la zone de diversification de *Citrus reticulata* (F.A.O, 1998).

Les agrumes ont un grand intérêt économique, ils sont utilisés en large échelle dans l'industrie pharmaceutique, cosmétique, alimentaire, en médecine traditionnelle, et les boissons (Rao *et al.*, 2021) (Figure19).

En Algérie, au début du XX^{ème} siècle Le 1^{er} clémentinier issu d'un croisement entre mandarinier et l'orange amère fut créée par un missionnaire français en le père Clément DOZIER, d'où l'origine de son appellation.

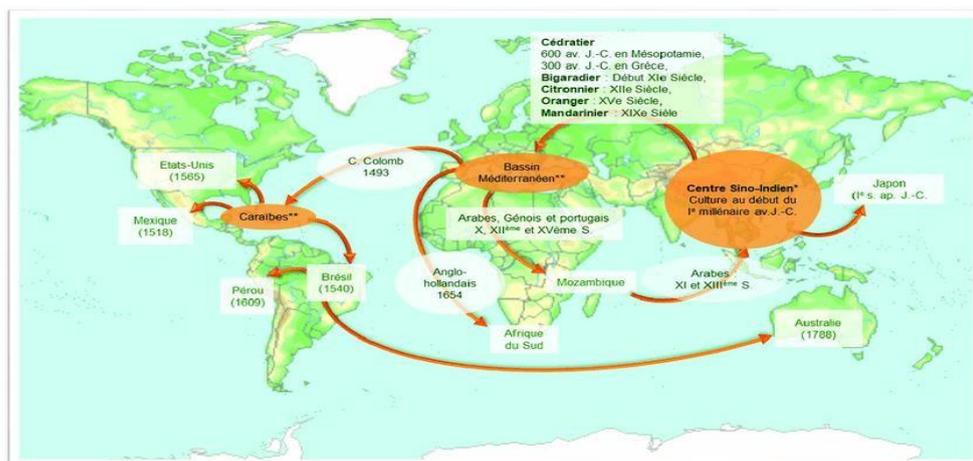


Figure19 : Origine et aire de répartition des agrumes dans le monde (Praloran, 1971).

III.2. La production des agrumes

III.2.1. Dans le monde

La production d'agrumes a été déclarée par « Citrus World Statistics » égale à 158,5 millions de tonnes en 2021 avec la Chine comme premier producteur, suivi du Brésil, l'Inde et Mexique. Également 52 % des exportations d'agrumes ce qui équivaut à 7,2 millions de tonnes proviennent de la région méditerranéenne citons l'Espagne, l'Afrique du Sud, la Turquie et l'Égypte. Par ailleurs, l'Europe, le Royaume-Uni, la Norvège et la Suisse dominent les importations qui ont une tendance stable (OMD, 2022).

III.2.2. Production en Algérie

L'agrumiculture est l'une des principales activités de l'arboriculture algérienne ; elle représente 9,8% des surfaces arboricoles, occupant ainsi la quatrième place après l'olivier (35,9%), les espèces à noyaux et à pépins (24,9%) et le palmier dattier (21,7%). La région de la Mitidja est classée première avec 37% de la production totale des agrumes (Dahmane & Fertala, 2022). En raison de leurs exigences en eau et qualité des sols, les agrumes sont localisés essentiellement dans les plaines irrigables : telles que la plaine de la Mitidja (44 %), le périmètre de la Mina et le Bas Chelif (14 %) ; le périmètre de Bouna Moussa et la plaine de Safsaf (16%) ; la plaine de Habra et Mascara (25 %) (Kerboua, 2002)(Figure20).

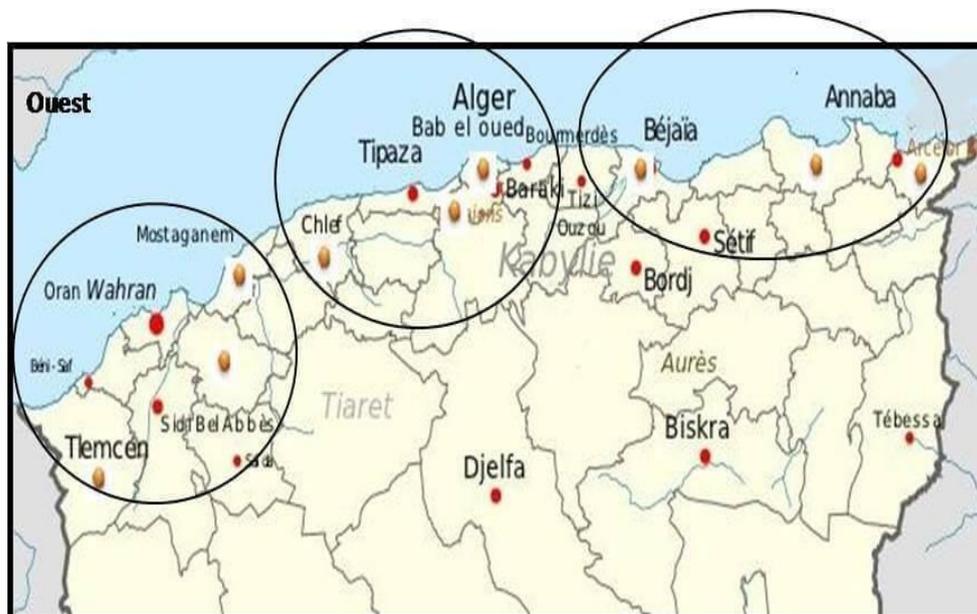


Figure20: Répartition de la production des agrumes en Algérie (Khen, 2014).

III.2.3. A Mostaganem

Différentes variétés de *Citrus* sont plantées sur 4570 hectares dans la région de Mostaganem ; cependant, la production totale est de 1118300 tonnes en 2012-2013 toutes espèces confondues. Selon les données de la direction des services agricoles (Anonyme, 2017) la wilaya de Mostaganem a connu une progression nette dans les superficies grâce aux subventions de l'état avec les programmes FNDA et ETTAHADI.

III.3. Morphologie des agrumes

Les agrumes sont de petits arbres qui poussent à une distance de 1 m (arbres semés) ou plus (arbres greffés). Pouvant atteindre 5 m de hauteur

➤ Système racinaire :

L'enracinement des *Citrus* est d'abord fortement pivotant. Le pivot, simple ou multiple s'enfonce à plus de 1,5 m et n'émet de racines secondaires que dans sa partie supérieure, entre, 0,15 m et 0,80 m avec le maximum à 0,50 m de profondeur. Les racines secondaires les plus longues (6 à 7 m) sont les plus superficielles (FAO, 2000)

➤ Partie aérienne :

La morphologie générale des agrumes est déterminée par le fonctionnement des bourgeons. On note la présence dans le tronc et les branches, de bourgeons adventices endogènes. L'arbre a un seul tronc presque cylindrique avec un port buissonnant plus ou moins sphérique ou conique (Ouedraogo, 2002).

Selon FAO (2000), le feuillage des agrumes est généralement vert foncé et les feuilles contiennent des glandes à huile essentielle.

Les feuilles des agrumes sont normalement trifoliolées, même si ce caractère n'est apparent que dans le genre *Poncirus*. Elles sont persistantes sauf pour le genre *Poncirus* où elles sont caduques.

Dans les conditions normales de milieu (température et humidité), les agrumes manifestent dans l'année trois flux végétatifs nettement marqués.

Les fleurs axillaires des agrumes sont généralement seules ou en petits groupes sur les jeunes pousses. Elles peuvent être ou non accompagnées d'une ou de quelques feuilles petites

ou grandes (Loussert, 1989). La floraison chez les agrumes peut être abondante et suivie d'une chute importante des boutons et des fleurs même après nouaison (Ouedraogo, 2002).

Les fruits des agrumes sont des baies de forme, de taille, de coloration et de composition variables selon l'espèce et la variété (Ouedraogo, 2002).

III.4. Cycle biologique du genre *Citrus*

Le cycle de développement des agrumes se caractérise par la succession de deux phénomènes : la croissance végétale et la fructification (Rebour, 1950).

III.4.1. Croissance végétale :

C'est un phénomène qui se produit chaque année et pendant toute la durée de vie de la plante. Cette dernière est très variable en fonction de l'entretien, des maladies et des ravageurs (Benttayeb, 2011). Elle se manifeste sur les jeunes ramifications de trois périodes :

- **La première poussée de sève (PS1) au printemps** : c'est la prédominante (fin février-début mai), elle est la pousse la plus importante, non seulement par le nombre et la longueur des rameaux émis, mais aussi par le fait qu'elle est la pousse florifère.
- **La pousse d'été (PS2) (juillet-août)** : généralement elle est moins importante que celles de printemps.
- **La pousse d'automne (PS3) (Octobre-fin Novembre)** : elle assure le renouvellement des feuilles.

III.4.2. Fructification :

Elle se caractérise par quatre phases distinctes :

- **La floraison** : Elle a lieu de printemps (fin mars-début mai). Le nombre des fleurs portées par un arbre est très important. Il est estimé par arbre adulte d'orange à 6000 (Loussert, 1987), mais seulement 1 % de ces fleurs donnera des fruits (Boukhobza, 2016).
- **La pollinisation et la fécondation** : Elle a lieu durant les mois de mai et juin.
- **La nouaison et la fructification** : Le grossissement des fruits est très rapide après la nouaison. Il a lieu mai-juin, il dépend de l'âge de l'arbre, des conditions climatiques et de l'alimentation hydrique (Boukhobza, 2016).
- **La maturation des fruits** : Le fruit atteint son calibre final en octobre, après une continuité de grossissement pendant juillet-août-septembre. La maturité est marquée par changement de couleur et par la qualité de la teneur de jus de sa pulpe (Boukhobza, 2016).

III.5. Exigences pédoclimatiques

III.5.1. Températures :

Les températures moyennes favorables à la culture des agrumes sont de l'ordre de 10 à 12°C, pour les moyennes hivernales et de 22 à 30°C, pour les moyennes estivales. Les températures négatives leurs sont néfastes. (Loussert, 1989).

III.5.2. Vent

Les vents fort et froids provoquent la chute des fleurs, des fruits, des feuilles et arrivent même à dégarnir les rameaux. Il cause de grands dommages surtout au moment de la chute biologique et la récolte (Loussert, 1989).

III.5.3. Sol

Les agrumes se développent bien en sols légers, perméables, profonds et sains. Contrairement aux sols riches en calcaire actif, le taux de ce dernier ne doit pas dépasser 12%. Le pH du sol doit être voisin de la neutralité. En pH alcalin, l'absorption des oligo-éléments, devient déficiente et les agrumes manifestent des carences en ces éléments. (Loussert, 1989).

III.5.4. Eau

Les agrumes sont des cultures exigeantes en eau. Une moyenne de 1200 mm par ans est nécessaire pour le bon déroulement du cycle de culture dans le bassin méditerranéen. Les agrumes sont sensibles à la salinité, ils craignent la stagnation d'eau qui cause l'asphyxie des racines et la maladie de gommoses pour les porte-greffes sensibles (Loussert, 1989).

III.6. Position taxonomique

Règne : Plantae

Sous règne : Tracheobionta

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous classe : Rosidae

Ordre : Sapindales

Famille : Rutaceae

Genre : *Fortunella*, *Poncirus*, *Citrus*

(Praloran, 1971)

Selon (Loussert, 1989) Le groupe de Citrinae se subdivise en 3 genres : *Citrus*, *Fortunella* et *Poncirus*. Et chaque genre se subdivise en espèces, les différentes espèces sont citées ci-dessous :

- Le genre *Fortunella* comprend six espèces dont deux seulement sont cultivées : *Fortunella japonica* et *Fortunella margarita*, dont les fruits sont connus sous le nom de kumquats.
- Le genre *Poncirus* est un genre monospécifique, représenté par une seule espèce qui est *Poncirus trifoliata*. Il est essentiellement utilisé comme porte-greffe des variétés cultivées.
- Le genre *Citrus* il renferme les principales espèces cultivées, et parmi les espèces les plus connus, il y a :

Les orangers : *Citrus sinensis*

Les citronniers : *Citrus lemon*

Les mandariniers : *Citrus reticulata*

Les clémentiniers : *Citrus clementina*

Les pomelos : *Citrus paradisi*

Les cédratiers : *Citrus nedica*

Les bigaradiers : *Citrus aurantium*

Bigaradier :

La bigarade, également connue sous le nom scientifique de *Citrus aurantium*, est une variété d'orange amer. Elle est originaire d'Asie et est cultivée principalement pour son écorce. Cette dernière est utilisée dans divers produits tels que l'huile essentielle, les confitures et les liqueurs comme l'eau de fleur d'orange et le curaçao. La bigarade se distingue des autres variétés d'oranges par sa saveur amère prononcée. Elle est également appréciée pour ses propriétés médicinales, notamment pour ses effets calmants et digestifs utilisés en médecine traditionnelle.

Bien que comestible, la bigarade n'est généralement pas consommée crue en raison de son amertume caractéristique. Elle est surtout utilisée cuite, en confiture, sirop ou marmelade. L'huile essentielle extraite du zeste est également très utilisée en parfumerie et pour aromatiser certains alcools comme le triple sec, le Grand Marnier ou le Cointreau.

Le bigaradier est originaire des pentes méridionales de l'Himalaya. Ses fleurs blanches très parfumées sont très prises des parfumeurs, notamment pour la fabrication de l'absolu de fleur d'oranger, de l'eau de fleur d'oranger et de l'essence de néroli

Pamplemoussier

Praloran (1971) souligne que bien que cette espèce forme deux espèces différentes, le pamplemoussier et le pomelo sont assez étroitement apparentés et plusieurs auteurs considèrent que le pomelo n'est qu'une sous-espèce ou une variété botanique de *Citrus gran Loussert dit*. Il se distingue par plusieurs caractères comme de jeune rameau et pétiole pubescents, axe creux, pulpe ferme et croquante, fruits volumineux, saveur très variable et pépin mono-embryonnés, leur importance commerciale est très limitée

Le pamplemousse est un agrumes de la famille des Rutacées. C'est un fruit de forme ronde, avec une peau épaisse et une chair juteuse et acidulée. Voici quelques informations clés sur le pamplemousse :

Caractéristiques du Pamplemousse

Origine : Le pamplemousse est originaire des Caraïbes et d'Asie du Sud-Est.

Couleur : La peau peut être de couleur jaune, rose ou rouge selon la variété.

Taille : Le pamplemousse mesure généralement entre 10 et 15 cm de diamètre.

Saveur : La chair est juteuse, acidulée et amère. Les variétés roses et rouges sont plus sucrées.

Utilisation : Le pamplemousse peut être consommé frais, en jus, en salade ou dans des desserts.

Bienfaits du Pamplemousse

Riche en vitamine C, en fibres et en antioxydants. Peut aider à réduire le cholestérol et le risque de maladies cardiovasculaires. Possède des propriétés anti-inflammatoires et peut soulager certains symptômes. Contribue à une meilleure digestion grâce à sa teneur en fibres.

Donc en résumé, le pamplemousse est un fruit savoureux et sain à intégrer dans une alimentation équilibrée. N'hésitez pas à essayer différentes manières pour profiter de tous ses bienfaits

III.7. Composition chimique du zeste des *Citrus*

Le zeste est une fine couche extérieure de la peau de l'agrume. C'est la partie colorée et parfumée qui renferme une grande quantité d'huiles essentielles. Aromatique et frais, le zeste est largement utilisé en cuisine. Le zeste de *Citrus* contient une concentration plus élevée de vitamines et de minéraux comme vitamine (A, B) par rapport à la pulpe ou au jus. C'est aussi une riche source de fibres comme les pectines (Shelly, 2023). Le tableau02 représentent les principaux composés chimiques des zestes des *citrus*.

Taleau02 : Principaux composés chimique des zestes des *citrus*

Zeste	Composition chimique
Bigarade	D-limonene, beta-ocimene, 1-octanol, trans-linaloloxide (furanoid), (+)-2-carene, 1,6-octadien-3-ol, 3,7-dimethyl, L-alpha-terpineol, decanal, aceticacide, octyl ester, linalyl acetale, cyclohexene, 4-ethyenyyl-1-4-methyl-3-(1-methylethenyl)
Pamplemousse	Lycopène, β -carotène, Naringine, Limonène, Caryophyllène, Narirutine, Vitamine C, Potassium, Calcium, Magnésium

Partie expérimentale

Matériel et méthodes

➤ Objectif

L'objectif de cette étude est de valoriser les sous produits, tels que les zestes des agrumes, des bigarades et des pamplemousses dans le secteur de l'agriculture. La première étape consiste à étudier l'effet biofongicide des extraits *in vitro* sur un agent phytopathogène. La deuxième étape consiste à évaluer *in vivo* le pouvoir biostimulant de la croissance et/ou de la santé en appliquant les extraits préventivement sur la semence de tomate. L'objectif de cette étude est également de vérifier la possibilité d'utiliser les huiles essentielles comme un produit naturel pour préserver les fruits et légumes en entrepôts.

I. Matériel biologique

I.1. Plantes aromatiques

Dans le cadre de cette étude, les fruits pamplemousse et bigarade (Figure22) sont utilisés comme source des substances naturellement actives.

Pour la bigarade, le prélèvement est effectué le 04 mars 2024 À l'université de Mostaganem, EX-ITA. Par contre des fruits de pamplemousse ont été prélevés en avril 2024 à Barigou, wilaya de Mostaganem.

Les zestes ont été séparés manuellement à l'aide d'un ustensile de cuisine éplucheur.



Figure22 : Fruits de deux variétés des agrumes utilisés : (A) bigarades, (B) pamplemousse (original, 2024)

I.2. Isolement de l'agent pathogène

Les feuilles de pommes de terre provenant d'une exploitation agricole de la commune de Bouguirat (Mostaganem) présentant les symptômes caractéristiques d'*Alternariose* ont été collectés afin d'isoler l'agent causal de la maladie.

L'isolement a été réalisé en plusieurs étapes, débutant par la désinfection de l'échantillon. Pour cela, les feuilles de pomme de terre sont rincées à l'eau de robinet pendant une minute ensuite désinfectée avec l'eau de javel diluée à 2 % (v/v) pendant une minute suivie de trois rinçages par l'eau distillée stérile (Figure23), puis séchés avec un papier stérile. Pour terminer, il faut déposer environ trois fragments découpés longitudinalement en petits morceaux dans quatre boîtes Pétri contenant le milieu PDA (purée de pommes de terre-glucose-Agar).

Après dix jours d'incubation à 25 °C, les colonies sont identifiées à l'aide d'une analyse macroscopique et microscopique de leur morphologie.

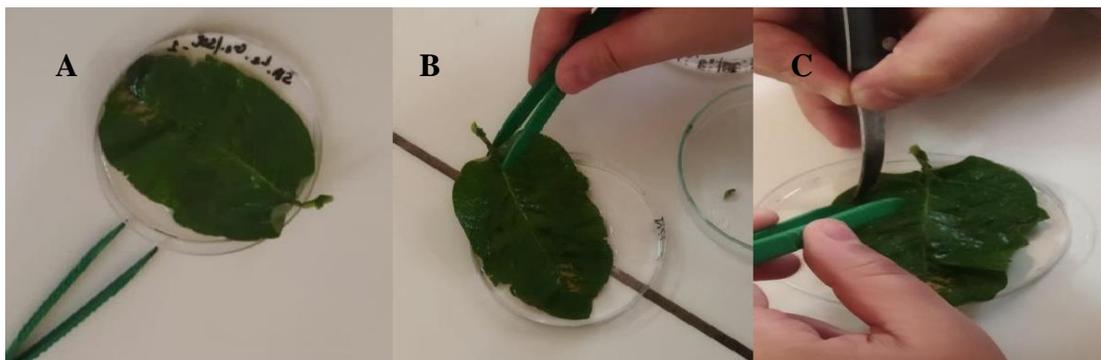


Figure23 : Etapes d'isolement de l'agent phytopathogène :(A) Désinfection des feuilles avec l'eau de robinet puis l'eau de javel, (B) Rinçage par l'eau distillée stérile, (c) découpée longitudinalement en petits fragments (original, 2024)

I.3. Extraction des huiles essentielles

L'hydrodistillation consiste à chauffer un ballon rempli d'eau et de l'espèce végétale dont on souhaite extraire l'huile jusqu'à ce qu'ils ébullissent. Sous l'effet de la chaleur, les cellules végétales éclatent et libèrent leur huile, puis les vapeurs d'eau et d'huile vont s'élever pour atteindre un réfrigérant constitué de deux tubes, le premier dans lequel passe la vapeur pour se liquéfier et le second qui l'entoure et qui dispose d'une entrée et d'une sortie à travers lesquelles on fait circuler de l'eau à température ambiante en continu pour refroidir. Le distillat peut alors être récupéré dans un récipient tel qu'une burette ou une éprouvette. Il y a

deux phases, car l'eau et l'huile sont non miscibles. L'huile essentielle apparaît alors sur le dessus, car elle est moins dense que l'eau (Figure 24).

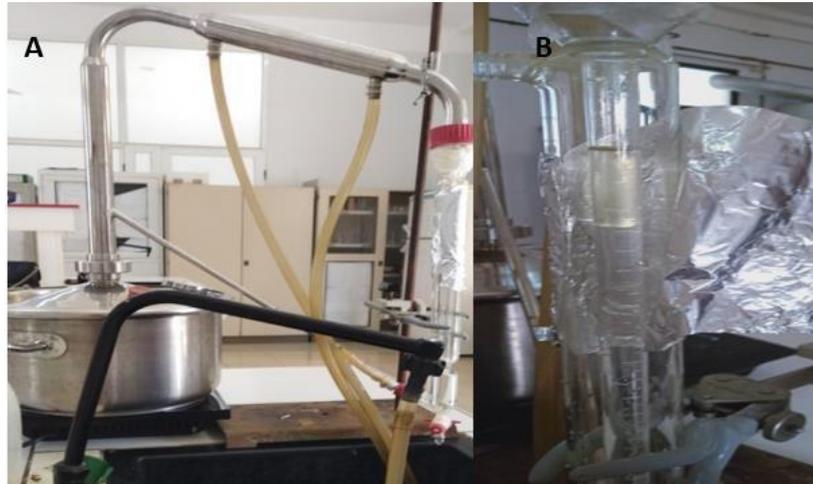


Figure 24: technique d'hydrodistillation utilisée pour la récupération des huiles essentielles
(A) appareil d'hydrodistillation, (B) huile essentielle récupérée (originale, 2024)

Détermination du rendement

Le rendement en huile essentielle (R) est défini comme étant le rapport entre la masse d'huile essentielle obtenue après l'extraction (M') et la masse de la matière végétale utilisée (M). Ce dernier est exprimé en pourcentage selon la formule:

$$R = (M' / M) \times 100\%$$

1.4. Evaluation du pouvoir biofongicide *in vitro*

Dans le but d'évaluer l'efficacité biofongicide de chaque huile essentielle (Bg/Pm), il est essentiel de préparer les différentes concentrations choisies pour ce test. Premièrement, une solution mère à 1% est préparée en ajoutant 1 ml d'huile essentielle (Bg/Pm) à 99 ml de milieu PDA. Cette dernière est utilisée comme la concentration la plus élevée. On choisit la deuxième concentration comme la plus faible, on la prépare en diluant à moitié le milieu de culture additionné de l'huile à 1%. Et un témoin qui ne contient que le milieu PDA. Un explant de 5mm de diamètre est prélevé, puis placé au centre de chaque boîte Petri. Trois répétitions sont préparées pour chaque extrait. Les boîtes sont placées en incubation à une température de 25C° pendant une durée de dix jours (Figure24). Dès le troisième jour après l'incubation, les diamètres de l'extension mycélienne sont mesurés quotidiennement dans chaque jusqu'au dixième jour.

Les résultats obtenus servent à déterminer le taux d'inhibition de l'extension mycélienne en utilisant la formule suivante : **$Ti = (Dt - De) / Dt \times 100$**

Dont :

Ti : Taux d'inhibition de l'extension mycélienne.

Dt: Diamètre de la croissance mycélienne des témoins.

De: Diamètre des colonies des boites contenant l'extrait/ pesticide de synthèse.

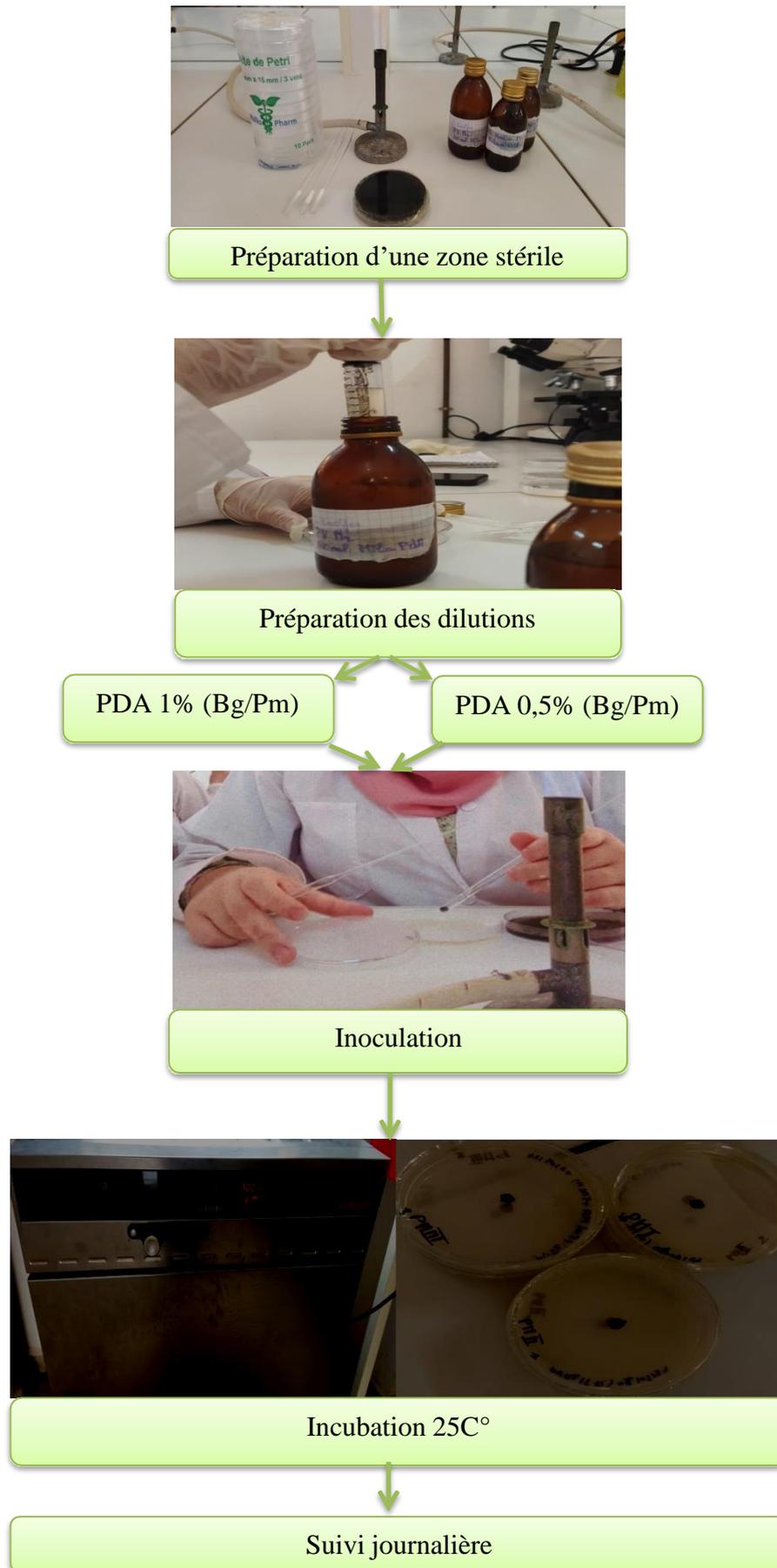


Planche 03 : les étapes du test d'évaluation de l'activité biofongicide *in vitro* (original, 2024)

I.5. Vérification de l'action fongistatique

Lors du test *in vitro* visant à évaluer l'action biofongicide des huiles essentielles de pamplemousse et de bigarade, les résultats qui montrent un arrêt complet de la croissance mycélienne pour une ou pour les deux concentrations, sont à réutiliser pour ce test d'évaluation de l'action fongistatique. En retirant les explants des boîtes déjà utilisées pour et en les plaçant directement dans des boîtes contenant PDA, si l'isolat reprend sa croissance dans ce nouveau milieu, cela indique que l'action de l'huile essentielle aux doses appliquées était fongistatique plutôt que fongicide.

I.6. Evaluation du pouvoir biofongicide et phytostimulante *in vivo*

I.6.1. Traitement préventif sur semences

Dans cette partie de l'étude, les semences de tomates de la variété Saint-Pierre sont utilisées, dont la date de fermeture est Mars 2020. Le traitement préventif est réalisé en exposant directement les semences aux substances volatiles d'huile essentielle pendant une heure. Trois traitements sont appliqués individuellement dans des boîtes de Pétri. Pour ce faire, trois gouttes (équivalent à un microlitre) de chaque huile sont versées sur une rondelle de papier filtre de 5 mm de diamètre, chaque boîte contient dix graines de tomate. Les boîtes sont fermées immédiatement et laissées à l'obscurité pendant une heure. Pour le troisième traitement (F), les deux huiles sont associées pour former le groupe de formulation. Un témoin, traité uniquement avec de l'eau distillée stérile, est également utilisé.

Après une heure de traitement, les semences sont transplantées dans des pots contenant du terreau. Un suivi quotidien est effectué pour évaluer l'efficacité du traitement, en commençant par la germination et en observant ensuite l'impact sur la santé des plants en développement.



Figure25 : l'application de traitement sur les semences (original, 2024)

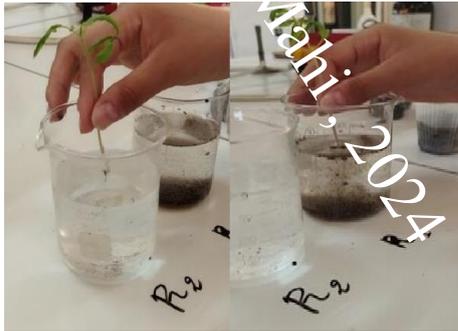


Figure26 : Semis après l'application de différents traitements préventifs (original, 2024)

Après 20 jours de suivi, et en se basant sur les résultats obtenus, tous les plants développés dans les différents groupes sont placés dans des tubes contenant la solution Knop, afin de favoriser la croissance des plants de faible taille développés dans le groupe témoin et le groupe traité par l'huile essentielle du zeste de bigarade, avant de procéder à l'inoculation de l'agent responsable de l'Alternariose.



Enlèvement de la plante



Rinçage du système racinaire



**Mesure de la hauteur de la
partie aérienne**



**Transfère des plants dans des
tubes contenant la solution de
knop**

Planche04 : étapes du test *in vivo* d'évaluation du pouvoir biofongicide et phytostimulante des huiles essentielles extraites des zestes d'agrumes et appliquées préventivement sur semences. (Originale, 2024)

I.6.2. Traitement préventif de l'extrait sur les fruits

Les fruits de tomate sont soumis à une exposition directe aux composés volatils d'huile essentielle pendant une heure et 24 heures. Les fruits ont été rincés par l'eau de javel diluée 1 % (v/v.) et par l'eau distillée stérile. Les trois types de traitement ont été utilisés : l'huile essentielle de pamplemousse (HE Pm), l'huile essentielle de bigarade (HE Bg), la formulation (F) dans des boîtes en plastique, deux boîtes sont considérées comme des témoins (T/Ti) (Figure 27).

Directement après l'application du traitement, les fruits sont inoculés par l'agent phytopathogène *Alternaria* sp. à l'aide d'un explant prélevé d'une culture âgée de plus de deux semaines.



Figure 27 : Traitement *in vivo* sur les fruits de tomate (A) Inoculation de l'agent phytopathogène, (B) conservation dans des boîtes et en plastique.

Résultats et discussion

Résultats

I. Identification de l'isolat

L'identification d'*Alternaria sp.* est réalisée selon les clés de détermination de (Zillinsky, 1983 ; Botton et *al.*, 1990; Lepoivre, 2003; Nasraoui, 2006) en se basant sur les caractères macroscopiques des colonies ; aspect couleur, odeur, forme, contour, etc. et sur les caractères microscopiques du mycélium et des conidies ou spores ; cloisonnement du mycélium, forme des spores et conidies, forme des organes de fructification, etc...

I.1. Aspect macroscopique

Les caractères macroscopiques de l'isolat développé sur le milieu PDA, le plus communément utilisé à cet effet (Botton, 1990). Montrent un aspect velouté, de couleur gris foncé avec un fond noirâtre, Enver brune avec une marge gris clair. Et une bordure irrégulière, et à croissance rapide (Guillaume, 2006) (Figure 28).

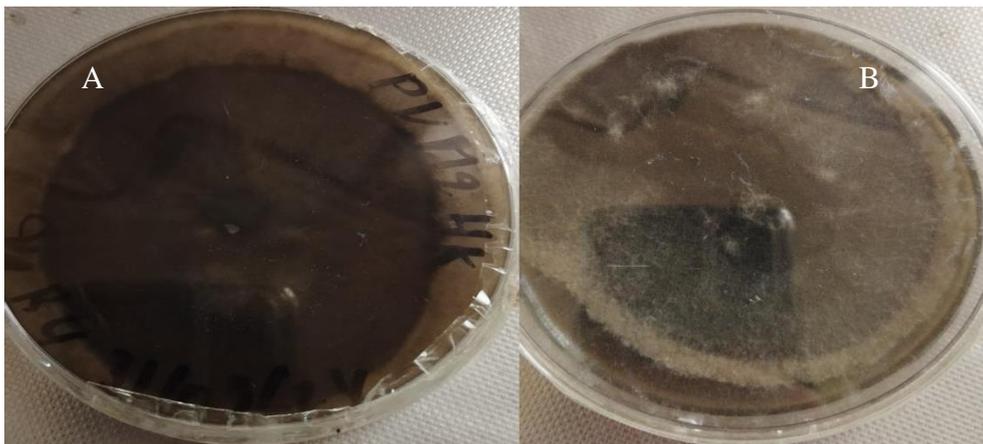


Figure 28 : Aspect macroscopique d'*Alternaria sp.* : (A) verso, (B) recto

I.2. Aspect microscopique

Les hyphes sont septes, filaments pigmentés en brun et les conidiospores sont courts cloisonné et lisses, droits ou flexueux et de couleur foncé. Il y a des chaînes simples ou ramifiées. Elles sont pluricellulaires et divisées par des cloisons longitudinales ou transversales (Figure29).

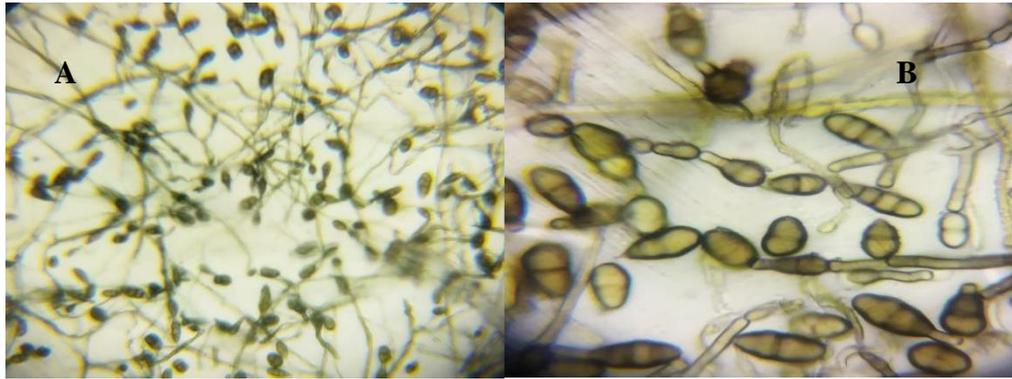


Figure29 : Aspect microscopique d'*Alternaria* : (A) grossissement X40, (B) grossissement X 100.

II. Activité *in vitro* vis-à-vis *Alternaria sp.*

L'étude de l'activité antifongique des huiles essentielles de bigarade et Pamplemousse est évalué en confortant directement l'isolat *Alternaria sp.* avec deux doses différentes d'huile essentielle (0,5% et 1%), pour l'huile essentielle de bigarade les résultats ont montré une inhibition faible de la croissance mycélienne. Par contre, l'huile essentielle de Pamplemousse a exercé une importante activité inhibitrice de la croissance mycélienne (Planche05).



Planche05 : Résultat d'évaluation biofongicide des huiles essentielles pamplemousse et bigarade *in vitro* vis-à-vis *Alternaria sp.*

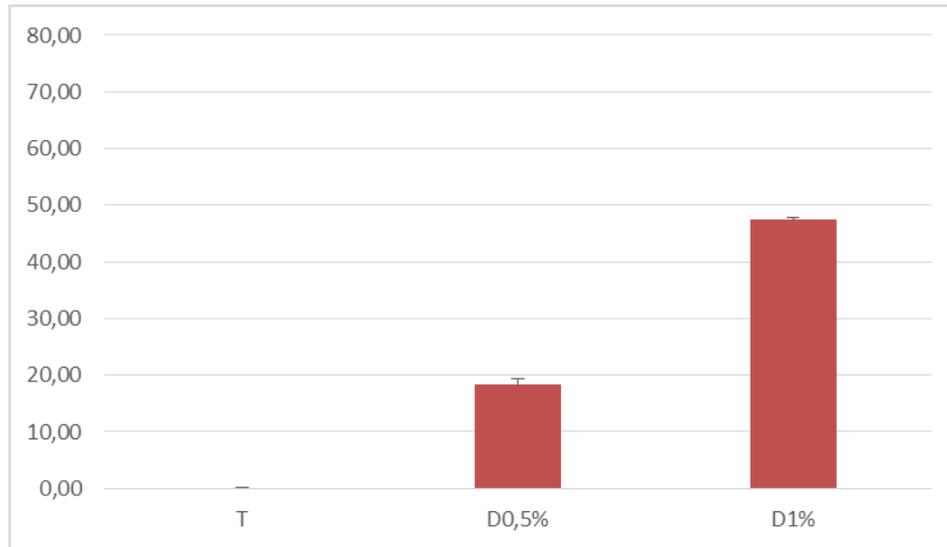


Figure 30 : Effet de bio- fongicide des huiles essentiel sur la croissance mycélienne d'*Alternaria sp.*

Dans ces conditions expérimentales, le résultat du test d'évaluation de l'action fongistatique, notamment pour l'huile essentielle de pamplemousse, confirme d'il s'agit d'une action fongistatique et non pas fongicide.

III. Evaluation de l'efficacité antifongique *in vivo*

III.1. Taux de germination

Les résultats du test *in vivo* indiquent que les semences utilisées dans cette expérience ont un taux de germination faible : 20 % pour le groupe témoin. L'utilisation de l'huile essentielle de pamplemousse pour traiter les semences préventivement a entraîné une augmentation du taux de germination de 30 %, tandis que celui de bigarade a été de l'ordre de 20 % (Figure 30). En revanche, on constate une forte hausse du taux de germination en raison de la synergie entre les deux huiles essentielles (formulation).



Figure31 : Effectif des plantules développées pour chaque traitement.

Les valeurs mesurées pour l'ensemble des plantules transférées dans la solution Knop ne peuvent pas être prises en compte en raison du nombre limité de plantes développées. Bien que le nombre de feuillages et la couleur verte soient différents, cela peut être une indication de l'état de santé des plants développés.

III. sur tomate en post-récolte :

In vivo, les résultats obtenus après huit jours de traitement préventif par l'huile essentielle sur fruits de tomates montrent que le taux d'infestation chez le témoin inoculé est de l'ordre de 56,6% (Figure32) pour un traitement de courte durée (1h). Pour la même durée ; les résultats montrent que la formulation a donné le meilleur résultat (5%) suivi par le traitement par huile essentielle de pamplemousse (1,6%) et en dernier le traitement par huile essentielle de bigarade (18,3%). En revanche, pour une durée de 24h en remarque que le taux d'infection a diminué pour le traitement par huile essentielle de bigarade Bg (7,6%) et une infection moindre est enregistrée pour le groupe traité par la formulation (1%) (Planche 06).



Figure32 : le résultat de test *in vivo* entre Témoin inoculé et Témoin négatif.

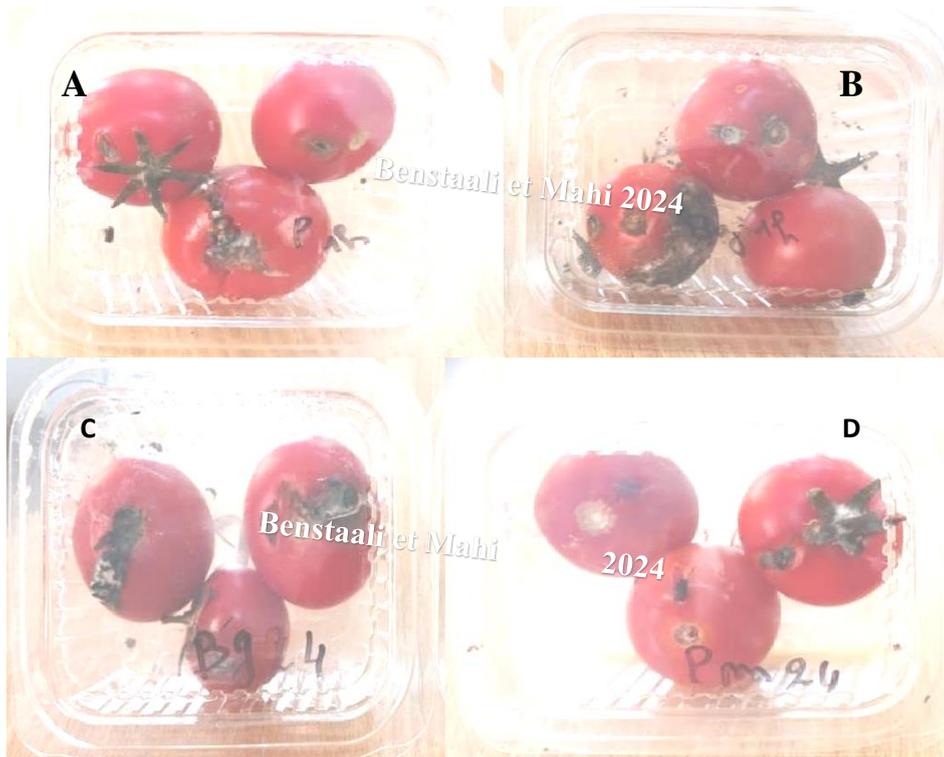


Planche 06 : les résultats des tomates traité précédemment par différent traitement inoculée par l'isolat d'*Alternaria* ; (A) F 1h, (B) Bg 1h, (C) Bg 24h, (d) Pm

Discussion

Discussion :

Cette étude s'inscrit dans le cadre de l'utilisation des fongicides naturels, qui a suscité l'intérêt des agriculteurs afin de préserver l'environnement et la santé des individus. Ce choix consiste à utiliser des métabolites secondaires provenant des plantes aromatiques comme biopesticides et phytostimulants afin de favoriser la croissance et la santé des plantes et des produits agricoles après la récolte. L'efficacité des huiles essentielles contre l'extension mycélienne de l'agent pathogène est largement démontrée par les résultats des tests d'évaluation de l'effet biofongicide *in vitro* sur *Alternaria sp.*. Ghanem et ses collègues (2012) ont étudié la phytochimie du zeste d'un *Citrus* et ont mis en évidence la présence de divers métabolites secondaires tels que les polyphénols et les flavonoïdes. Dans ce travail, la réaction de l'isolat est variable en fonction de la nature de l'extrait et de sa concentration. Les réactions peuvent varier pour le même bioproduit en fonction du mode d'extraction, de la période de collecte et d'autres facteurs qui impactent le résultat. Ainsi, les résultats obtenus avec l'utilisation d'huiles essentielles provenant de deux plantes de cette famille des *Citrus* ont montré des réactions différentes. Ben Jabeur et al. (2017) Les extraits et les huiles essentielles ont des composants principaux différents, et leur mode d'action dans l'inhibition fongique n'est pas le même.

L'isolat a résisté aux traitements à base d'huiles essentielles de bigarade, tandis qu'en utilisant l'huile de pamplemousse, une inhibition complète de l'agent phytopathogène a été observée pour les mêmes doses et dans les mêmes conditions expérimentales. Bien que les deux huiles essentielles proviennent de zestes d'agrumes et partagent certaines caractéristiques comme leur teneur élevée en limonène, les huiles essentielles de bigarade et de pamplemousse peuvent avoir des profils aromatiques légèrement différents en raison des concentrations variées de composés mineurs.

Les résultats des tests *in vitro* montrent qu'*Alternaria sp.* présente une sensibilité modérée aux deux concentrations choisies dans cette étude 18,30% et 46,37% respectivement pour les deux concentrations 1% et 0.5%. Cela malgré la résistance des agents telluriques d'une manière générale. D'après l'étude menée par Boumhamdi et ses collègues (2018), les éléments clés de l'huile essentielle de bigarade sont le limonène et le β -sélinène. En revanche, l'huile essentielle de pamplemousse possède une forte activité inhibitrice contre les

champignons, avec un pouvoir puissant pour inhiber la croissance mycélienne *d'Alternaria sp.*. En ce qui concerne le test *in vivo*, on remarque tout d'abord à partir de cette expérience que le taux de germination est très faible par rapport à ce qui est indiqué sur l'étiquette du lot de semences, d'au moins 85 %. Les données montrent une baisse du taux de germination jusqu'à 20 % après quatre ans de fermeture de ce lot, pour le groupe témoin dont deux plants sont développés parmi 10 semences semis. Nos résultats montrent une légère augmentation de l'exposition des semences aux composés volatils des huiles essentielles, atteignant 30 % pour le groupe traité avec l'huile essentielle de pamplemousse et jusqu'à 70 % en synergie de cette huile essentielle avec celle de bigarade. En revanche, il n'y a pas d'effet sur le groupe traité uniquement avec de l'huile de bigarade. Il peut s'agir de la présence de molécules à une proportion donnée, ce qui entraîne une stimulation du processus de levé de dormance des semences.

De la même façon, les fruits de tomates traités en les exposant aux huiles essentielles et en les maintenant à l'air libre dans des boîtes individuelles pour chaque traitement, se révèlent plus efficaces avec la formulation (F) et le pamplemousse (Pm) par rapport au traitement de bigarade (Bg). En particulier, l'utilisation de l'huile de pamplemousse prolonge la durée de conservation par rapport au groupe inoculé artificiellement par *Alternaria sp.* Le taux de propagation de l'infection atteint 45% dans le lot inoculé avec libération importante d'exsudats, contre 5% dans le groupe traité par l'huile de pamplemousse et 1% par synergie entre les deux huiles essentielles. Il est probable que cela soit dû à la présence de substances biologiquement actives, qui ont une action biofongicide et antioxydante. Selon plusieurs études, la naringine est mentionnée comme un élément essentiel des extraits de pamplemousse (Saalu et al. 2007 ; Kanmani & Rhim, 2014). Selon Wang et Yu (2005), l'extrait de pamplemousse contient de la vitamine C et de la naringine ; Il s'agit d'un flavonoïde principalement présent dans les agrumes tels que le pamplemousse. Il est réputé pour ses propriétés antioxydantes et ses avantages pour la santé, en particulier sur le système immunitaire.

Il renferme aussi des limonoïdes, qui sont un ensemble de composés bioactifs principalement présents dans les agrumes et d'autres plantes de la famille des Rutaceae. Il s'agit de terpénoïdes très oxygénés et souvent amers, qui jouent un rôle prépondérant dans les défenses naturelles des plantes contre les insectes et d'autres ennemis. Les limonoïdes ont

suscité un intérêt croissant en raison de leurs propriétés potentiellement bénéfiques pour la santé humaine, notamment leurs effets antioxydants, anticancéreux, antimicrobiens. Ils sont principalement présents dans les écorces des agrumes tels que les oranges, les citrons, les pamplemousses et les citrons verts.

Conclusion générale

Conclusion

Au cours des dernières années, les projets de recherche ont connu une hausse importante et de nombreux chercheurs se sont penchés sur les composés biologiquement actifs isolés des extraits de plante pour lutter contre les maladies cryptogamiques. Les agriculteurs sont intéressés par l'utilisation de fongicides naturels tels que l'huile essentielle afin de préserver l'environnement et la santé humaine.

Le but de cette étude consiste à évaluer l'efficacité bio-fongicide des diverses huiles essentielles d'agrumes (Bigarade et Pamplemousse) par rapport aux isolats de champignons (*Alternaria sp* dans cette étude).

L'efficacité bio-fongicide des huiles essentielles de bigarade et de pamplemousse a été évaluée *in vitro* en contact direct avec le champignon *Alternaria sp*, avec deux doses différentes d'huile essentielle (0,5%,1%). Selon les résultats, l'huile essentielle de bigarade a inhibé la croissance mycélienne de manière faible, tandis que l'huile essentielle de pamplemousse a montré une activité inhibitrice importante envers le champignon. Le traitement préventif avec l'huile essentielle de pamplemousse et de bigarade en synergie a permis à des semences de variétés Saint-Pierre avec un faible taux de germination d'atteindre des valeurs similaires à celles d'origine.

Par ailleurs, les tests de traitement préventif des huiles essentielles sur les fruits de tomates en stock après une inoculation artificielle par l'agent ont prouvé l'efficacité de l'huile essentielle de pamplemousse et de la formulation pendant les deux périodes de traitement. Après une semaine à température ambiante, aucune propagation n'a été observée, comparée à un témoin pourri à 47% avec une importante libération d'exsudats.

Cette étude présente des informations prometteuses concernant l'utilisation des extraits naturels comme bio-fongicide en remplacement des fongicides classiques. Et même dans la préservation des fruits et légumes après la récolte contre les attaques des microorganismes. Il est extrêmement important de continuer cette étude et de réaliser des tests de validation des bioessais réalisés dans cette étude. Il est crucial d'évaluer le spectre d'action sur divers germes phytopathogènes. Il est également essentiel de déterminer les composants phytochimiques des huiles essentielles employées et de définir le mode d'action des substances impliquées dans ces processus bioactifs. Explorez les actions phytostimulantes et stimulantes de la défense naturelle après l'application préventif des traitements.

Références bibliographiques

Références

- Anonyme. (2009). "La tomate : un aliment diététique riche en eau, pauvre en calories et riche en éléments minéraux et vitamines (A.C.E)
- Benettayeb Z., 2011- Performance du greffage des arbres fruitiers Ed. ONPU, Algérie.
- Botton, B., Breton, A., Fèvre, M., Gauthier, S., Guy, P., Larpent, J P., Reymond, P., Anglier. J., Vayssier, Y., Veau, P. Moisissures utiles et nuisibles, Importance, industrielle, Ed. Masson, Paris, 1990
- Boukhobza, Lalia. "Les impacts environnementaux des activités humaines sur la biodiversité et sa conservation dans les zones agricoles", Mémoire de Master, Faculté des Sciences Agronomiques, 2015/2016, p. 18.
- Cataldo, E., Fucile, M., & Mattii, GB (2022). Biostimulants en viticulture : Une approche durable contre les stress biotiques et abiotiques. Plantes, 11 (2), 162 (, s. d.)
- Chanforan, A. (2010). La contribution de la tomate aux recherches scientifiques: une plante modèle pour les études sur les fruits charnus.
- CHAUX C. et FOURY C., 1994. Production légumière. Tome III. Ed. Lavoisier. 563p.
- Dahmane, affaf, & Fertala, kholoud. (2022). Revue bibliographique sur la filière Agrumes en Algérie [Mémoire de master]. Université Ziane Achour – Djelfa
- De Rocca Serra D. et Ollitrault P., 1992 - Les ressources génétiques chez les agrumes. Le courrier de l'environnement de l'INRA, 3, 11-22.
- DSA (2017). FNDA et ETTAHADI.
- DSA Mostaganem. (2022). Directorate of Agricultural Services of the Mostaganem region
- des stratégies de lutte. De Boeck & Presses Agronomiques de Gembloux (Eds.), Brussels, Belgium, 2003, 149-167
- Faessel L., Gomy C., Tostivint C., Dechanteloup A., Nassr N., Hipper C. Etude réalisée par BIO by Deloitte et RITMO Agroenvironnement et commanditée par le Centre d'Études et de Prospective du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt (MAAF). (2014) Rapport final : Produits de stimulation en agriculture visant à améliorer les fonctionnalités biologiques des sols et des plantes –Étude des connaissances disponibles et recommandations stratégiques. 155p. (s. d.).
- FAOSTAT. (2023). Données de production agricole de l'Algérie. Ed. FAO

- F.A.O, 1998 - Les agrumes. Bureau des Ressources Génétiques, plate-forme espèces. Caisse régionale de l'agriculture de Boumerdés. Bureau local de Rouiba., 1 p.
- FAO,2000. Cahier de production et protection intégrées du citrus. Projet F.A.O.G.C.P./RAF/244IBEL. 73p.
- Garg, S. N., & Koul, O. "Bitter orange (Citrus aurantium L.) essential oil composition: A review", *Phytochemistry Reviews*, 2016
- Goldberg, I., Rabinowitch, H. D., & Wissotsky, L. B. "Bitter Orange Oil", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1973
- Guilayn, F., Rouez, M., Crest, M., Patureau, D., & Jimenez, J. (2020). Valorization of digestates from urban or centralized biogas plants : A critical review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 19(2), 419-462. (s. d.).
- Hutton, J., [et al.]. (2021). MASTER EN AGRONOMIE, MOSTAGANEM.1p
- Jacquemond C., Mario H. et Coord, 2013- les clémentiniers et autres petits agrumes. Ed. Quae. 368p.
- Kerboua, M. (2002). L'agrumiculture en Algérie (Bari -CIHEAM). *Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches*, 43, 21-26
- KHEN Ouissam 2014 , Erosion génétique des espèces agrumicoles dans la wilaya de Skikda: Contraintes de production, Université 20 Août 1955 Skikda.
- Latigui A., 1984. Effets des différents niveaux de fertilisation potassique sur la fructification de la tomate cultivée en hiver sous serre non chauffée. Thèse magister. INA El-Harrach.
- LAUMONNIER R., 1979. Cultures légumières et maraichères. Ed. Baillière. Tome III. 273p.
- Lepoivre, P. *Phytopathologie ; bases moléculaires de biologie des pathosystèmes et fondement*
- LOUSSERT A., 1989 - Les agrumes, production. Ed.Scienc.Univ. Liban, 280 p.
- Loussert, R.1989. Les agrumes. Volume 1 Arboriculture. Paris. France. Technique et Documentation Lavoisier. 113p
- Loussert R., 1987 - Les agrumes Arboriculture. Ed. Lavoisier, Paris, Vol.n°1, 113 p.
- LOUSSERT A., 1989 - Les agrumes, production. Ed.Scienc.Univ. Liban, 280 p.
- MADR. (2021). *Statistiques agricoles : Surfaces et productions—Série B*
- Morton, J. "Bitter Orange", *Fruits of Warm Climates*, 1987.

- Naika S., De Goffau M., Hilmi M. et Vandam B., 2005.la culture de tomate
- Nasraoui, B. Les champignons parasites des plantes cultivées, biologie, systématique, pathologie, maladies. Centre de publication universaire. Tunisie, 2006, p. 456.
- Nassr, N. (2016). Présentation lors des journées techniques PNPP, RITTMO Agroenvironnement, 26-27 avril 2016
- Nmichi, A., El kholfy, S., Ouabbou, A., Outcoumit, A., El-assfour, A., Ouazzani, A., Touhami, A., Benkirane, R., Belahbib, N., & Douira A. (2014). Première récolte de deux espèces fongiques du genre Polyporus nouvellement récoltées au Maroc: Polyporus arcularius Batsch : Fr. et Polyporus meridionalis (A. David) Jahn. Agronomie Africaine, 26(3), 1-7.
- OMD. (2022, novembre 21). New Citrus World Statistics Publication Boosts Citrus Sector Information Exchange in the World Citrus Organisation. Perishable News
- Ouedraogo, S.N.2002. Etude diagnostique des problèmes phytosanitaires du mangoier (*Mangifera indica* L.), de l'oranger (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) et du mandarinier (*Citrus reticulata* Blanco) dans la province du Kéné Dougou. Mémoire de fin d'étude. Burkina Faso.95p.
- Parlement européen. (2019). Règlement (UE) 2019/1009 du Parlement européen et du Conseil du 5 juin 2019 relatif à la mise sur le marché des produits fertilisants et modifiant les règlements (CE) no 1069/2009 et (CE) no 1107/2009 et abrogeant le règlement (CE) no 2003/2003. Journal officiel de l'Union européenne, L 170/1.
- PRALORAN J.C., 1971 - Agrumes. Ed. Maisonneuve, Paris, 230 p.
- PRALORAN J.C., 1971-Les agrumes, techniques agricole et productions tropicale Ed. Maisonneuve et Larose, Paris, 561 p
- Proc. Int. Soc. Citricult. VI. Congr. vol. 1. Margraf Publishers, Weikersheim, Germany, pp. 277–289.
- Povero et al., 2016, A Systematic Approach to Discover and Characterize Natural Plant Biostimulants
- Rao M.J., Zuo H., and Xu Q. (2021). Genomic insights into citrus domestication and its important agronomic traits. Plant Comm. 2, 100138
- Rebour H., 1950 – Les agrumes en Afrique du Nord. Union des Syndicats de Producteurs d'Agrumes, 477p
- REEVES A., 1973.An observation on natural outcrossing in the tomato. (*Lycopersicon esculentum* L.).Northwest Arkansas. Arkansas Academy of Science

Proceedings XXVII

- Rey, A., & Costes, J. (1965). 2ème ANNEE MASTER LMD DEPARTEMENT D'AGRONOMIE (N04). MOSTAGANEM,2p.
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Editorial : Biostimulants in Agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11.
- Scora R. W., 1988 - Biochemistry, taxonomy and evolution of modern cultivated Citrus.
- Viron, N., 2010. Identification et validation de nouveaux gènes candidats impliqués dans la régulation du développement du fruit de la tomate. Thèse de doctorat en biologie végétal. Université de Bordeaux. 1. 140p
- WAGENINGEN., 2005. La culture de la tomate. Ed. Barbara van Dam.105p. production. Transformation et commercialisation Ed Wageningen. Pays-Bas. 105p
- Yakhin, O. I., Lubyantsev, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science : A global perspective. *Frontiers in plant science*, 7, 2049
- Zillinsky, F.J. (1983). Maladies communes des céréales à paille. Guide d'identification
- <https://www.perishablenews.com/produce/new-citrus-world-statistics>
publicationboosts-citrus-sector-information-exchange-in-the-world-citrus
organisation/ Agrumes en Algérie [Mémoire de master]. Université Ziane Achour – Djelfa (Consulté en avril, 2024)
- <https://WWW.Wikiagri.com>,2018.Blog d'entreprise, les biostimulants aujourd'hui!(Consulté en avril, 2024)

Annexe

Annexe I

Composition des milieux de culture

✓ milieu PDA

200g de pomme de terre

20g de glucose

20g d'Agar

Eau distillée : compléter à 1000 ml

Stérilisation : à 120c pendant 20 mn

✓ Solution de KNOP :

Les composants :

Nitrate de calcium 1g

Nitrate de potassium 0.25g

Sulfate de magnésium 0.25g

Phosphate mono potassique 0.25g

Sulfate ferrique 0.05g.