

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun–Tiaret

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Spécialité : Génétique Moléculaire et Amélioration des Plantes



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Présenté par :

OTHMANI Bouchra

ROUTI Karima

TERKI Mazia Djamila

Thème

Etude de l'effet des extraits du *Lupinus luteus* (L.) sur le développement du *Fusarium* chez la tomate.

Soutenu publiquement le 22/09/2021

Jury :

Président : Dr. RAHMOUNE Bilal

Encadreur : Dr. DAHLIA Fatima

Co-encadrant : M^{lle} ABAID Sihem

Examineur : Dr. BOUFARES Khaled

Grade

MCA

MCA

Doctorante

MCB

Année universitaire : 2020 -2021



Remerciements

الحمد لله رب العالمين

Nous remercions, tout d'abord,

*Dieu Le Tout Puissant, Qui nous adonné la force et la
volonté pour terminer ce travail.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à Mme
DAHLIA Fatima d'avoir accepté de nous encadrer et
nous orienter sur le bon chemin.*

*Suite à l'achèvement de ce modeste travail, nous
présentons nos remerciements à M^{lle} ABAID Siham qui
par ces encouragements et ses fructueux conseils, nous
a apporté une aide précieuse pour la réalisation de ce
travail.*

*Nos remerciements iront également à Mr Rahmoune B
et Mr BOUFARES K., d'avoir accepté de faire part du
jury de notre soutenance.*

*Nos sincères remerciements d'adressent à monsieur
Radhouane, les ingénieurs et les techniciens de ITMA
(Institute Technique des Moyens Agricoles -Tiaret).*

Dédicaces

A mes très chers parents

A mon père et à ma mère pour leurs amours et leurs confiances à chaque moment de ma vie... pour leurs soutiens dans les moments les plus difficiles dans ma vie.

Ces quelques lignes ne peuvent pas résumer tout l'amour de mon cœur pour vous.

A mon cher frère

Amar, qui donné confiance à compléter la route jusqu'à présent

A mes cher familles

A mes sœurs Houria (Sabrina) et kheira, mon soutien dans la vie et ma sœur Khadidja Nour el Houda, le puits de mes secrets et de mon lien avec qui je partage chaque minute de ma vie.

A mes anges et mon amour Djouhaina et Loudjain. A mon âme sœur Bahdja (Nadjat), A ma sœur Siham et ses filles, et toute la famille Terki et Kheir El dine.

A mes amis proches

Touta, Faiza, Bouchra, Karima, Manel, Aya, Imane, Saadia,

Chaïma, Asma, Fadhila, Habiba. je leur souhaite de réussir dans leur vie.

A mes enseignants et mes amis d'étude.



ZOZO



A decorative scroll with floral patterns and a red wax seal. The scroll is light beige with intricate floral designs in pink, purple, and green. A red wax seal is visible at the bottom left. The text is written in a cursive font.

Dédicaces

A mes très chers parents

A mon père et à ma mère pour leurs amours et leurs confiances à chaque moment de ma vie...pour leurs soutiens dans les moments les plus difficiles dans ma vie. Ces quelques lignes ne peuvent pas résumer tout l'amour de mon cœur pour vous.

A mon cher frère et mes sœurs

A mon trinôme :Djamila et Bouchra

A mes enseignants et mes amis d'étude.

Karima

Dédicaces

D'abord je remercie Allah le tout puissant

Je dédie ce mémoire :

A l'homme de ma vie mon cher père, Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

A l'être le plus cher à mon coeur, celle qui m'a donné la vie, qui c'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère Que dieu le garde et le protège,

A tous mes frères et mes soeurs

Et a mes belles soeurs et beaux frères

A mes neveux et nièces que j'adore beaucoup

A ma chère amie Faïza, merci beaucoup d'être à mes côtés

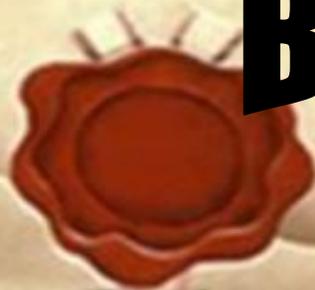
A mon trinôme :Djamila et Karima

Tous mes amis (es) et à toute la promotion pour ces années passées ensemble, dans les meilleurs moments comme dans les pires.

A toutes personnes qui ont participé à la réalisation de ce mémoire.

Tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin.

Bouchra



Liste des abréviations

IM : Indice de maladie

ITMA : Institute Technique des Moyens Agricoles

NF : nombre de feuilles

PSA : Pomme Saccharose Agar

PF : Poids frais

PYN :Virus Y de la pomme de terre

TMV :Virus de la Mosaïque de Tabac

V :Volume

Liste des figures

Figure 1: Description de la plante de tomate. (A) : Racines ; (B) : Tige ; (C) : Feuilles ; (D) : Fruits et (E) : Graines	4
Figure 2: Quelques maladies de la tomate.	6
Figure 3 : Cycle de vie du <i>Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici</i>	9
Figure 4 : Principaux symptômes du <i>Fusarium oxysporum</i> sur une plante de tomate	11
Figure 5 : Caractéristique botanique de <i>Lupinus luteus</i> . (a) plante montrant feuilles et fleurs jaunes. (b) graines (Unité de 0,5 cm).	14
Figure 6: Préparation du substrat utilisé pour la culture de tomate.....	18
Figure 7: Préparation des extraits méthanoliques des feuilles et des racines de lupin jaune. (A): feuilles et (B): racines.....	19
Figure 8 : Préparation de milieu de culture (PSA)	19
Figure 9: Repiquage du champignon <i>Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici</i> sur le milieu PSA..	20
Figure 10: Préparation de l'inoculum fongique	20
Figure 11 : Dispositif expérimental.....	22
Figure 12 : Fongicide chimique utilisé.....	23
Figure 13 : Symptômes de fusariose observés sur la culture de tomate. A: Plante non infectée sans symptômes (témoin négatif) ; B : Symptômes sur tiges d'une plantes de tomate infectées par <i>Fusarium</i> ; C : Symptômes sur feuilles de plantes infectées par <i>Fusarium</i>	26
Figure 14: Evolution de la hauteur des tiges en fonction des traitements.....	27
Figure 15 : Variation de la hauteur finale des tiges en fonction des traitements.....	28
Figure 16 : Variation de la longueur des racines en fonction des traitements.....	30
Figure 17 : Variation des poids frais des biomasses aériennes et racinaires en fonction des traitements	31
Figure 18 : Variation des poids secs des biomasses aériennes et racinaires sèches en fonction des traitements.	33
Figure 19: Variation du nombre de feuilles en fonction des traitements.	35
Figure 20: Variation de l'indice de maladie en fonction des traitements.....	36
Figure 21 : Variation des teneurs en sucres solubles au niveau des feuilles et des racines en fonction des traitements.....	37

Figure 22 : Variation des teneurs en proline au niveau des feuilles et des racines en fonction des traitements.39

Liste des tableaux

Tableau 1 : Analyse de variance de la hauteur finale des tiges	27
Tableau 2 : Analyse de variance de la longueur des racines	29
Tableau 3 : Analyse de variance des biomasses aériennes et racinaires fraîches.....	30
Tableau 4 : Analyse de variance des biomasses aériennes et racinaires sèches.....	32
Tableau 5 : Analyse de variance du nombre de feuilles par plante	34
Tableau 6 : Analyse de variance indice de maladie	35
Tableau 7 : Analyse de variance des teneurs en sucres solubles au niveau des feuilles et racines	36
Tableau 8 : Analyse de variance des teneurs en proline au niveau des feuilles et racines	38

Table des matières

Remerciements	I
Dédicaces	II
Liste des abréviations	V
Liste des figures.....	VI
Liste des tableaux	VIII
Introduction	1
Synthèse bibliographique	3
1. Tomate	3
1.1. Origine de la tomate	3
1.2. Description botanique	3
1.2.1. Racines.....	3
1.2.2. Tiges	3
1.2.3. Feuilles.....	3
1.2.4. Fruits.....	4
1.2.5. Graines.....	4
1.3. Position taxonomique	5
1.4. Intérêt de la tomate.....	5
1.5. Maladies de la tomate.....	5
2. <i>Fusarium oxysporum</i>	7
2.1. Généralités	7
2.2. Historique de l'agent causal de la maladie	8
2.3. Taxonomie de <i>Fusarium oxysporum</i>	8
2.4. Cycle biologique de <i>Fusarium oxysporum</i>	8
2.5. Phytopathologie du <i>Fusarium oxysporum</i>	10
2.6. Méthode de lutte contre ces maladies	11
2.6.1. Lutte culturale	11
2.6.2. Lutte chimique	12
2.6.3. Lutte génétique	12
2.6.4. Lutte biologique.....	12
3. Lupin jaune	13

3.1. Généralités	13
3.2. Description botanique	13
3.3. Position taxonomique	14
3.4. Domaine d'application	15
Partie expérimentale.....	17
Chapitre 1: Matériel et méthodes.....	18
1. Objectif de l'étude.....	17
2. Matériel.....	17
2.1. Matériel végétal utilisé dans l'essai	17
2.2. Matériel microbiologique	17
3. Méthodes.....	17
3.1. Préparation de la plante hôte (tomate)	17
3.2. Préparation des extraits méthanoliques.....	18
3.3. Détermination de l'efficacité <i>in vivo</i> des extraits de <i>Lupinus luteus</i> contre <i>Fusarium oxysporum f. sp radicle-lycopersici</i>	19
3.3.1. Préparation de milieu de culture.....	19
3.3.2. Repiquage du champignon	19
3.3.3. Préparation de l'inoculum.....	20
3.3.4. Test antifongique	21
4. Analyse statistique.....	25
Chapitre 2 : Résultats et discussions	27
1. Hauteur des tiges	27
2. Longueur de racine	29
3. Biomasses aériennes et racinaires fraîches et sèches	30
3.1. Biomasses aériennes et racinaires fraîches	30
3.2. Biomasses aériennes et racinaires sèches	32
4. Nombre des feuilles.....	34
5. Indice de Maladie	35
6. Teneur des feuilles et des racines en sucres solubles	36
7. Teneur en proline au niveau des feuilles et des racines.....	38
8. Discussion	40

Conclusion.....44
Références bibliographiques.....45
Résumé

Introduction

La culture de la tomate a connu une importante évolution depuis l'indépendance. En effet, les superficies occupées par cette plante ne dépassaient pas 8370 ha en 1968 (Mara, 1968) alors qu'au début des années 2000 une valeur de 20789 ha est enregistrée (Snouci, 2010). Le développement de cette culture est limité à cause des conditions climatiques et le non maîtrise des techniques culturales.

L'aspect phytosanitaire est l'un des problèmes majeurs de la production souvent attribué aux ravageurs et à plusieurs maladies fongiques, principalement les *Fusarium*, causant des pertes de rendement considérables engendrant des conséquences économiques non négligeables. Ces dommages peuvent aussi atteindre la santé humaine par la capacité de ce genre de synthétiser des mycotoxines (Picot *et al.*, 2012).

Les fusarioses causées par *Fusarium oxysporum* engendre des pertes de rendements considérables sur la culture de la tomate en condition optimales de développement du pathogène.

Pour lutter contre ces maladies, les agriculteurs utilisent des fongicides chimiques soit en pulvérisation soit avec les eaux d'irrigation. Cependant, les résidus de ces produits chimiques ont des conséquences néfastes sur l'environnement, l'écologie et la santé des êtres vivants.

Pour pallier ces conséquences, les chercheurs ont tendance à chercher des méthodes alternatives nobles qui peuvent lutter biologiquement contre les pathogènes dont figurent les fusarioses. Ces alternatives se trouvent dans les plantes médicinales.

Les plantes médicinales ont été utilisées comme une source importante de médicaments pour des milliers d'années de l'histoire humaine, et même aujourd'hui, elles constituent la base des pratiques systématiques de la médecine traditionnelle pendant plusieurs siècles dans le monde entier (Pan *et al.*, 2009). L'utilisation thérapeutique des extraordinaires vertus des plantes pour le traitement de toutes les maladies de l'homme est très ancienne et évolue avec l'histoire de l'humanité (Gurib-fakim., 2006). De plus les éléments bioactifs des plantes médicinales sont qualifiés de nombreuses activités biologiques telle que l'activité antifongique.

Le présent travail consiste à évaluer l'effet des extraits d'une plante médicinale qui est le *Lupinus luteus* (L.) sur le développement du *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici* chez la tomate.

Notre travail est réparti en deux parties. La première partie concerne une étude bibliographique, elle contient trois chapitres : la plante hôte (Tomate : *Lycopersicum esculentum*), le pathogène (*Fusarium oxysporum*) et la plante médicinale (*Lupinus luteus* L.). La deuxième partie concerne l'étude expérimentale, elle contient deux chapitres. Un premier détaillant le matériel et les méthodes utilisés et un deuxième résumant tous les résultats et la discussion de ces derniers. Enfin, on terminera par une conclusion.

Synthèse bibliographique

1. Tomate

1.1. Origine de la tomate

La tomate est originaire du Nord-ouest de l'Amérique du sud, précisément des régions andines couvertes par la Colombie, l'Equateur, le Pérou, la Bolivie, et le Nord de la Chili. C'est dans ces régions qu'on a retrouvé des plantes spontanées (sauvages) de diverses espèces notamment, la tomate cerise (*Solanum lycopersicum cerasiforme*) à partir de laquelle la tomate cultivée a probablement été domestiquée au Mexique (Harlan, 1987). Cependant, l'hypothèse d'une domestication parallèle au Pérou ne peut toutefois être définitivement écartée (Peralta et Spooner, 2007).

La plante s'est ensuite répandue dans l'Europe à partir du XVI^{ème} siècle, d'abord en Espagne par les conquistadors espagnol puis, en Italie et en France vers le XVII^{ème} siècle. Ce n'est qu'au milieu du XIX^{ème} siècle et jusqu'au début du XX^{ème} siècle qu'on a vu sa culture se répandre un peu partout dans le monde (Pitrat et Foury, 2003).

1.2. Description botanique

1.2.1. Racines

Selon Shankara (2005), les plantes de la tomate possèdent un système racinaire fort et pivotant se développe jusqu'à une profondeur de 50 cm ou plus (Fig. 1A). La racine principale est très dense, ramifiée et très active sur les 30 à 40 premiers centimètres (Chaux et Foury, 1994).

1.2.2. Tiges

Le port de croissance varie entre érigé et prostré un peu ligneux en vieillissant. La tige est anguleuse fortement poilue (Fig. 1B), au début pousse d'une façon monopodiale et devient sympodiale après 4 ou 5 feuilles (Shankara *et al.*, 2005).

1.2.3. Feuilles

Les feuilles sont composées, imparipennées et disposées en spirale, comprennent 5 à 7 folioles aux lobes très découpés (Fig. 1C). Le bord du limbe est denté, elles mesurent 10 à 25 cm de long. Elles portent des poils glanduleux, ces derniers contenant une huile essentielle qui donne son odeur caractéristique à la plante (Blancard, 1997).

1.2.4. Fruits

Les fruits chez la tomate sont des baies (Fig. 1D), charnus et tendres, leur poids associé à leur tailles qui sont variées de quelques dizaines de grammes pour un diamètre de 1,5 cm et dite «cerise», à plus d'un kilogramme pour plus de 10 cm de diamètre, de couleur vert plus ou moins foncé avant maturité (Chaux et Foury, 1994; Blancard 2009), passant par l'orange, sa couleur à maturité varie du jaune au rouge (Papadopoulos,1991 ; Naika *et al.*, 2005).

1.2.5. Graines

Ils sont en forme de rein ou de poire beiges, de 3 à 5 mm de long et de 2 à 4 mm de large (Fig. 1E). L'embryon est enroulé dans l'albumen. Un nombre variable de graines renfermées dans une baie de tomate moyennement de 50 à 100 graines, généralement le poids de mille graines est en moyenne de 3 g (Philouze et Laterrot, 1992 ; Shankara, 2005).

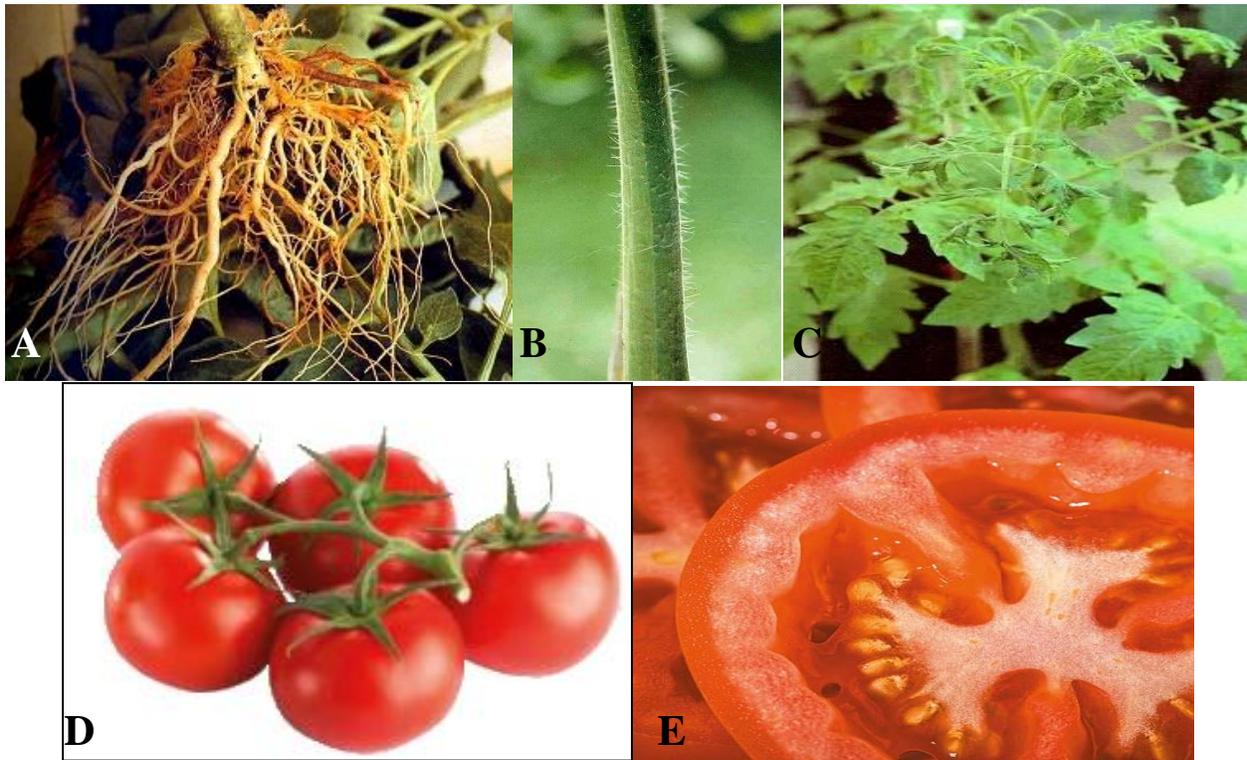


Figure 1: Description de la plante de tomate. (A) : Racines ; (B) : Tige ; (C) : Feuilles ; (D) : Fruits et (E) : Graines (Blancard, 1997 ; Jean-Luc, 2015).

1.3. Position taxonomique

La position taxonomique de la tomate est la suivante (Bouras et Benhamza, 2013) :

Embranchement : Angiospermes

Ordre : Dicotylédones

Sous-Classe : Gamopitales

Famille : Solanacées

Genre : Solanum

Espèce : *Solanum lycopersicon*

1.4. Intérêt de la tomate

La tomate est riche en micronutriments (vitamines et minéraux) et très faible en calories (environ deux fois moins de calories que les autres légumes). Elle est notamment la principale source de lycopène qui est un antioxydant puissant présent dans le corps humain. Des données solides de plusieurs études épidémiologiques suggèrent que le lycopène pourrait fournir une protection importante contre les maladies cardiovasculaires et le cancer (Blancard *et al.*, 2009).

Bien que ses teneurs nutritionnelles puissent varier selon les variétés et les conditions de culture, la tomate constitue une excellente source de fibres, de vitamines A et C et de minéraux comme le potassium (Ginies *et al.*, 2013).

La tomate intervient dans la préparation de nombreux plats. Crue, elle peut par exemple être associée avec de l'huile d'olive en entrée. Quand elle est cuite (coulis, ragoûts...), sa teneur en lycopène augmente. Elle est enfin pratique à préparer et généralement appréciée par les enfants (Causse *et al.*, 2010).

1.5. Maladies de la tomate

La fusariose de la tomate fait partie des maladies vasculaires, les plus destructives de cette culture à travers le monde (Haas et Defago, 2005). Elle est causée par le *Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici* et *Fusarium oxysporum f.sp. radicle-lycopersici*, champignons telluriques dotés d'une spécificité stricte d'hôtes. Ils sont capables d'envahir l'ensemble du système vasculaire de la plante provoquant ainsi son obstruction et par la suite l'affaiblissement de la plante, puis sa mort (Duval,

1991). Selon Katan *et al.* (1997) et Snissi *et al.* (2006), la flétrissure fusarienne classique provoque la pourriture des racines et du collet présentant différents symptômes internes ou externes.

D'autres maladies sont aussi signalées chez la tomate. L'antracnose est causée par *Colletotrichum coccodes* est caractérisée par des tâches plus ou moins circulaires de 1 cm avec un centre noirâtre sur les fruits mûrs (Fig. 2A). La verticilliose est causée par *Verticillium albo-atrum* et caractérisée par un jaunissement en forme de V des feuilles de bas en haut suivi d'un flétrissement avec un léger brunissement des vaisseaux après une coupe (Fig. 2B). L'alternariose est causée par *Alternaria solani* et caractérisée par des tâches rondes et brunes avec des cercles concentriques apparaissant sur les feuilles avec un diamètre de 1,5 cm (Fig. 2C). Des grosseurs peuvent apparaître sur les tiges et les feuilles. Les fleurs et les jeunes fruits tombent (Causse *et al.*, 2000 ; Naika *et al.*, 2005).



Figure 2: Quelques maladies de la tomate (Causse *et al.*, 2000 ; Naika *et al.*, 2005).

Il est à signaler que la tomate est aussi sujette à des maladies virales causées par certains virus comme (Snoussi, 2010) :

- Virus de la mosaïque du tabac (TMV) : causant des plages vert clair et vert foncé sur feuilles jeunes ;
- Virus de la mosaïque du tabac (PEPMV) : causant des décolorations de feuilles et une stérilisation des inflorescences ;
- Virus Y de la pomme de terre (PYN) : causant des nécroses sur feuilles avec dessèchement ;
- Wilt virus ou maladie bronze : provoquant la crispation et le jaunissement sur feuilles.

2. *Fusarium oxysporum*

2.1. Généralités

Le *Fusarium oxysporum* est un champignon Ascomycète, producteur des mycotoxines, présent dans les sols sous forme sporulée (Leslie et Summerell, 2006). L'espèce a été isolée des sols du monde entier et sous tous les climats (Burgess, 1981).

Bien que l'espèce soit classiquement retrouvée dans les sols, elle est également isolée d'endroits plus insolites : circuit d'eau d'hôpitaux, eau de mer, eau de rivière, eau du robinet, lave-vaisselle (eau, produits détergents), lentilles de contact ou nourriture (Babič *et al.*, 2015).

Fusarium oxysporum est capable de croître en saprophyte dans le sol et d'y survivre pendant plusieurs années sous forme de structures de conservation : les chlamydospores (Park, 1959). Lorsque le champignon se développe, il produit deux types de conidies qui assurent sa dissémination. Les micro conidies, de petite taille (8-10 µm), ovoïdes et non septées, sont en général nombreuses et regroupées en « fausse-tête » sur des phialides portées par le mycélium. Les macro conidies sont plus grosses (jusqu'à 45 µm), en forme de fuseau et multi-septées, en bouquets sur des phialides terminales portées par des conidiophores (Burgess, 1981). Ces caractéristiques permettent l'identification de *Fusarium oxysporum* au microscope (Leslie et Summerell, 2006).

L'espèce regroupe une grande diversité de souches qui peuvent être de simples saprophytes, des pathogènes opportunistes de l'homme ou des animaux et des souches pathogènes de plantes (Park 1959 ; Armstrong et Armstrong 1981 ; Ortoneda *et al.*, 2004). Les souches qualifiées de « non pathogènes » sont des souches pour lesquelles aucune plante hôte n'a été identifiée. Ces souches ont la particularité d'être de très bonnes compétitrices (Couteaudier, 1990). Certaines sont d'ailleurs connues pour être antagonistes d'autres souches de *Fusarium oxysporum* pathogènes de plantes et d'autres microorganismes phytopathogènes comme *Pythium ultimum*, *Phytophthora erythroseptica* et *Sclerotinia sclerotiorum* ou d'autres ravageurs de plante (Dababat et Alexander, 2007). Certaines souches de *Fusarium oxysporum* non pathogènes sont également endophytes (Demers *et al.*, 2015).

2.2. Historique de l'agent causal de la maladie

Le genre *Fusarium* a été décrit pour la première fois par Link en 1809. La détermination des *Fusarium* comme celle des autres champignons imparfaits été basée essentiellement et jusqu'à ce jour sur les critères morphologiques (pigmentation, aspect du mycélium, présence ou absence des spores, taille, forme nombre de cloisons...) (Booth, 1985).

2.3. Taxonomie de *Fusarium oxysporum*

La taxonomie de *Fusarium oxysporum* se présente comme suit (Lepoivre *et al.*,2003) :

Règne: Mycota

Division: Eumycètes

Subdivision : Deuteromycota

Classe : Hyphomycetae

Ordre : Hyphales

Famille : Tuberculariaceae

Genre : *Fusarium*

Espèce : *Fusarium oxysporum*

2.4. Cycle biologique de *Fusarium oxysporum*

Les *Fusarium oxysporum* ne sont pas des parasites obligatoires, en absence de la plante hôte, ils mènent une vie de saprophyte sur des débris végétaux et des matières organiques. Les isollements effectués indiquent qu'un gramme de sol renferme près de 100.000 propagules et les *F. oxysporum* représentent de 40 à 70% de la population fusarienne totale (Smith, 1965).

Ces champignons persistent dans le sol principalement sous forme de spores de résistance (chlamydospores) en état de dormance (Booth, 1971). En contact de l'hôte et une fois les conditions favorables, les chlamydospores germent et les jeunes filaments pénètrent au niveau des racines (Fig. 3). Après pénétration dans la cellule épidermique, le mycélium se ramifie colonisent ainsi toutes les cellules avoisinantes. Les hyphes mycéliens progressent à l'intérieur des cellules puis colonisent le cortex, arrivé au niveau du cylindre central, le parasite s'installe dans les vaisseaux du xylème d'où il se propagera dans la tige par l'intermédiaire des micro conidies aisément véhiculées par la sève dans toutes les parties de la plante (James, 2010).

A la surface des feuilles, se forment des organes fructifères appelés sporodochies qui produisent des macroconidies qui vont à leur tour contaminer d'autres plantes lorsqu'elles sont transportées par le vent, par l'eau ou bien par l'intermédiaire des insectes (El Mahjoub, 1984).

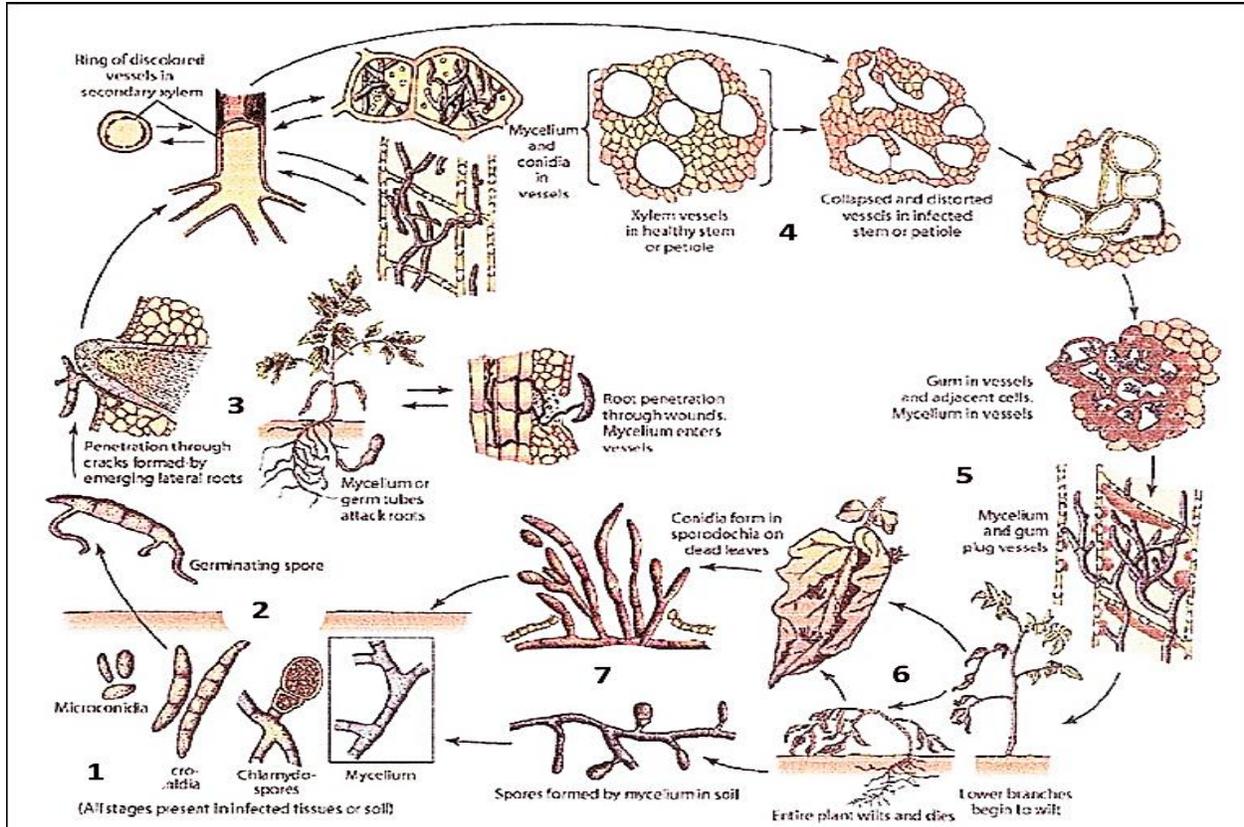


Figure 3 : Cycle de vie du *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* (Agrios,2005).

- 1 : Conidies, chlamydo-spores ou mycélium vivant dans le sol.
- 2 : Germination des spores.
- 3 : Pénétration du tube germinatif à l'intérieur des racines.
- 4 : Invasion des vaisseaux par les conidies et/ou mycélium.
- 5 : Production de gomme à l'intérieur des vaisseaux.
- 6 : Flétrissement et mort de la plante.
- 7 : Sporodochies ou mycélium produisant des conidies.

2.5. Phytopathologie du *Fusarium oxysporum*

Le *Fusarium oxysporum* a la capacité de provoquer des maladies sur de nombreuses espèces végétales cultivées, d'intérêt économique (Armstrong et Armstrong, 1981). Les *Fusarium oxysporum* comprennent un ensemble très diversifié de formes plus ou moins spécialisées (Dommergues et Mangenot, 1970). Ces formes spéciales (*forma specialis*, *f.sp*) présentent une virulence particulière pour telle ou telle plante. Les formes spécialisées de *Fusarium oxysporum* s'attaquent à la plupart des plantes cultivées mono et dicotylédones (El Modafar, 1994).

Certaines formes spéciales ne présentent plus de réel problème agronomique, c'est le cas de la forme spéciale *lycopersici*, pour laquelle la plupart des variétés de tomate cultivées sont résistantes, des variétés sensibles sont toujours cultivées dans de nombreux pays, notamment en Afrique du Nord comme l'Algérie où, pour des raisons économiques, ces variétés sont utilisées. Par contre, il existe toujours des problèmes causés par *F. oxysporum f.sp radidis-lycopersici*, responsable de pourriture racinaire sur la tomate dans de nombreux pays du bassin méditerranéen (Can, 2004; Utkhede, 2006).

Les deux formes spéciales pathogènes, *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* et *Fusarium oxysporum f. sp. radidis-lycopersici* sont morphologiquement indiscernables. Bien qu'elles soient pathogènes pour le même genre d'hôte *Lycopersicon* (tomate) et qu'elles infectent le même cultivar de tomate, elles provoquent des maladies distinctes (Attitalla *et al.*, 2004).

Ces deux formes spéciales peuvent tous deux provoquer la fonte des semis de tomates qui se caractérise par un jaunissement, un rabougrissement et un flétrissement et, dans le cas de *Fusarium oxysporum f. sp. radidis-lycopersici*, une perte prématurée des cotylédons et des feuilles en développement, et de la tige. Sur les plants de tomates adultes, les symptômes de flétrissement causés par *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* comprennent le jaunissement et le flétrissement du feuillage qui est généralement perceptible après la floraison et la nouaison et pendant la période la plus chaude de la journée (McGovern, 2015).

Toutes les maladies sévissant sur les racines provoquent leur jaunissement diffus et leur brunissement (localisé ou généralisé), la nécrose et la disparition de nombreuses radicelles (Fig. 4). Dans les cas les plus graves le système racinaire peut être totalement détérioré. Les vaisseaux situés au niveau du pivot et du collet jaunissent et brunissent (Blancard, 1997).

Les symptômes de *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* et *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici* sont renforcés par les températures fraîches (10 et 20 °C), le sol gorgé d'eau et l'irrigation avec l'eau salée (McGovern, 2015).



Figure 4: Principaux symptômes du *Fusarium oxysporum* sur une plante de tomate (Blancard, 1997).

2.6. Méthode de lutte contre ces maladies

2.6.1. Lutte culturale

C'est l'ensemble des pratiques culturales visant à défavoriser les bioagresseurs au détriment de la plante cultivée. En pépinière, il faut semer des graines saines et éviter de cultiver de manière continue sur les mêmes pépinières et champs (Kabore).

Pour lutter contre *Fusarium oxysporum*, certaines mesures sont préconisées. Elles consistent à éviter les conditions qui favorisent la maladie : un sol légèrement acide, un manque d'azote et de calcium, des températures élevées supérieure à 28 °C (température optimale de développement du *Fusarium oxysporum*) et un manque de lumière (Barna et al., 1983). La méthode de prévention la plus courante est le chaulage afin de maintenir le pH entre 6,4 et 7. Sun et Huang (1985) ont mis au point un amendement organique et minéral qui permet de contrôler efficacement diverses espèces de *Fusarium*. Aissat et al. (2008) ont démontré que l'irrigation par goutte à goutte réduit considérablement le développement de pourriture sur tige de tomate.

2.6.2. Lutte chimique

La lutte chimique se définit par l'utilisation de fongicides pour détruire, affaiblir ou réprimer le champignon. Actuellement, les fongicides restent des outils indispensables pour lutter contre les champignons et assurer une production suffisante (Leroux, 2007).

Plusieurs fongicides appartenant à différentes classes chimiques sont actuellement disponibles pour la gestion de la pourriture grise, principalement des benzimidazoles, des Dicarboximides et le triazole pour la fusariose (Hamoir et *al.*, 2001).

Le développement de résistance chez les champignons, le coût élevé des fongicides, leurs effets sur l'environnement et leur incompatibilité avec l'agriculture durable ont fait que leur utilisation est devenue de plus en plus interdite et l'intérêt pour d'autres alternatives a ainsi augmenté (Mouria et *al.*, 2013).

2.6.3. Lutte génétique

La méthode la plus efficace contre la fusariose consiste à utiliser les variétés résistantes (Blancard et *al.*, 2009) et reste très certainement la voie de lutte la plus prometteuse. Elle est toutefois encore insuffisamment explorée (Mourichon, 2003). Heureusement, la création de variétés résistantes à ce redoutable champignon a permis de résoudre efficacement ce problème phytosanitaire (Blancard et *al.*, 2009).

2.6.4. Lutte biologique

La lutte biologique peut être définie comme étant l'utilisation d'organismes vivants pour supprimer un ravageur pathogène sans avoir des effets néfastes pour la plante. Ces agents naturels sont réunis sous le concept de bio pesticides (Lepoivre, 2003).

Le principe de la lutte biologique est basé sur l'exploitation par l'homme et à son profit d'une relation naturelle entre deux êtres vivants : La cible (de la protection) est un organisme indésirable, pathogène ou ravageur d'une plante cultivée, mauvaise herbe, etc. L'agent de protection (ou auxiliaire dans le cas des ravageurs) est un organisme différent, le plus souvent un parasite (ou parasitoïde), un prédateur ou un agent pathogène du premier, qui le tue à plus ou moins brève échéance, éventuellement en s'en nourrissant, ou tout au moins qui limite son développement (Hamrouch et Kabouche, 2014).

3. Lupin jaune

3.1. Généralités

Les plantes médicinales sont utilisées pour leurs propriétés particulières bénéfiques pour la santé humaine (Dutertre, 2011). En effet, elles sont utilisées de différentes manières, décoction, macération et infusion. Une ou plusieurs de leurs parties peuvent être utilisées (racine, feuille et fleur).

Les plantes médicinales sont utilisées par l'homme depuis près de 7 000 ans et que certains animaux les consomment aussi dans un but thérapeutique. Environ 35 000 espèces de plantes sont employées à l'échelle mondiale à des fins médicinales, ce qui constitue le plus large éventail de biodiversité utilisé par les êtres humains (Farnsworth *et al.*, 1986). Ces plantes médicamenteuses sont utilisées dans toutes les formes et situations pathologiques (Hamitouch, 2007).

Le lupin jaune est une plante dicotylédone majoritairement herbacée, mais parfois ligneuse, appartenant à la famille des Fabaceae et plus particulièrement au genre *Lupinus sp.* C'est une plante précieuse sur le plan économique et agricole (Sujak *et al.*, 2006; Gulewicz *et al.*, 2008). Ses graines sont employées comme source de protéines de l'alimentation humaine et animale dans diverses parties du monde, non seulement pour leur valeur nutritive, mais aussi pour leur capacité d'adaptation à des climats et des sols marginaux. La consommation humaine de lupin a augmenté ces dernières années (de Cortes Sánchez *et al.*, 2005).

3.2. Description botanique

Lupinus luteus (L.) atteint une hauteur de 0,8 m. Il est fortement enraciné et sa tige est densément poilue. La partie racinaire du lupin est constituée d'une racine principale appelée racine pivot. Les feuilles sont composées et palmées avec 9 à 11 folioles (Fig. 5a). Les folioles sont linéaires à ovales et pointues (Fig. 5a). L'inflorescence est une longue grappe en forme d'épi, contenant 6 à 10 verticilles de 5 fleurs papillon jaune parfumées chacune (Fig. 5a). Les corolles sont jaune vif ou orange (Fig. 5a) (El Bassam, 2010 ; Terekhina, 2008).

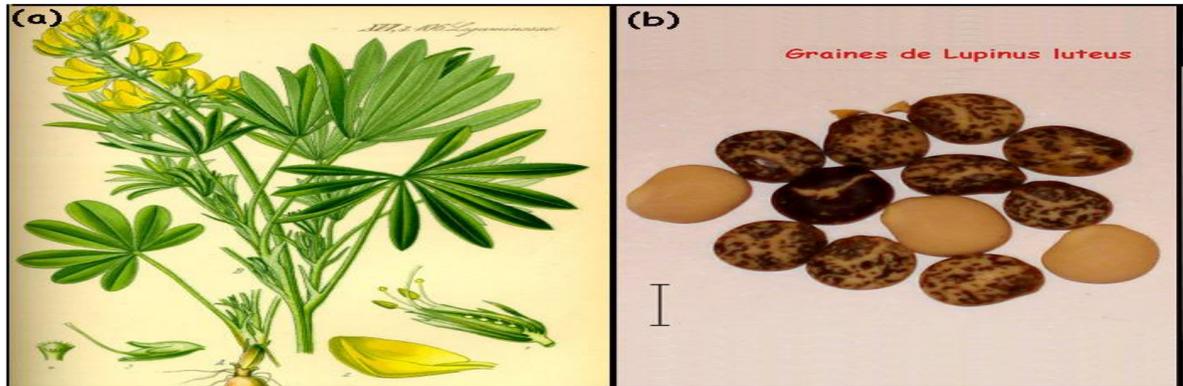


Figure 5:Caractéristique botanique de *Lupinus luteus*. (a) plante montrant feuilles et fleurs jaunes. (b) graines (Unité de 0,5cm) (El Bassam, 2010 ; Terekhina, 2008).

Les fruits sont des gousses plates densément poilues, de 4 à 5 cm de long x 1,1 à 1,3 cm de large. Les gousses contiennent 4 à 6 graines. Les graines du lupin jaune sont réniformes, lisses, blanches ou blanches avec des taches brunes à noires (Fig. 5b). Le poids de 100 graines est de 120 à 140 g (El Bassam, 2010 ; Terekhina, 2008).

3.3. Position taxonomique

La position taxonomique de *Lupinus luteus* est la suivante (ITIS, 2019, Chase et *al.*, 2016)

:

Règne : Plantae

Sous-règne : Viridiplantae

Infra-règne: Streptophyta

Super-division: Embryophyta

Division : Tracheophyta

Sous- division : Spermatophytina

Ordre : Fabales

Famille : Fabaceae ou Papilionaceae

Genre : *Lupinus*

Espèce : *Lupinus lueus* L.

3.4. Domaine d'application

Le lupin jaune est principalement utilisé comme aliment pour le bétail et la volaille (Roth-Maier et *al* 2003; Zdunczyk et *al.*, 2016; Kim et *al.*, 2008; Somchit Assavacheep et *al.*, 2013).

Il est taillé pour l'ensilage. C'est une légumineuse fixatrice d'azote très efficace, accumulant environ 330 kg N / ha (Wolko et *al.*, 2010). Le lupin jaune peut être utilisé pour la remise en état des terres (Pietrzykowski et *al.*, 2017). C'est aussi un joli ornemental, attrayant pour les abeilles (Thurzovaet *al.*, 1977).

Les protéines de lupin retiennent une attention particulière en termes de bienfaits pour la santé, qui concerne un certain nombre de conditions connus actuellement sous le nom de «syndrome métabolique» qui comprend un ensemble de facteurs tels que l'obésité, l'hypertension, l'hypercholestérolémie (Elsamani et *al.*,2014).

Des études sur animaux ont démontré que les vicilines (protéines 7S) représentent la fraction active des protéines de soja. Les vicilines sont présentes en quantité importante dans la graine de lupin. Compte-tenu de la forte homologie entre les vicilines de soja et de lupin, les auteurs ont émis l'hypothèse que les graines de lupin avaient des propriétés intéressantes de diminution du cholestérol. Leur teneur en fibres permet de réduire le cholestérol dans le sang dû à l'absorption réduite des graisses (Wait, 2005).

Grâce aux propriétés du tocophérol, la consommation de lupin peut prévenir l'hypertension, le lupin est extrêmement riche en acides gras essentiels oméga 3 et oméga 6, qui sont importants pour notre santé et ne peuvent pas être synthétisés par notre organisme (Brink et Belay, 2006).

La présence d'arginine dans le lupin présente des effets bénéfiques sur les parois internes des vaisseaux sanguins et contribue à améliorer la fonction endothéliale, ce qui est précisément l'une des principales causes de maladies cardiovasculaires, l'origine des accidents vasculaires cérébraux, crises cardiaques, l'hypertension artérielle, etc. (Yeheyis et *al.*,2011).

Les teneuses importantes en fibres dans le lupin favorisent également la motilité intestinale, empêchant la constipation, les vomissements et la nausée, et aussi en régularisant le processus de digestion (Habtie et *al.*,2009).

Le lupin a un faible index glycémique, paramètre mesurant les effets des glucides alimentaires sur la glycémie. Une réponse glycémique plus faible produit habituellement une baisse

de la demande d'insuline et peut ainsi, par voie de conséquence, améliorer le contrôle des lipides sanguins. Il a été démontré que la protéine contenue dans la graine de *Lupinus*, agit sur l'accumulation de glucose dans le sang en inhibant l'action de l'insuline et de faciliter le transport du glucose dans les cellules musculaires (Habtie et al., 2009).

Le Lupin blanc renforce également le système immunitaire en raison de la présence d'une bonne quantité de zinc, ce qui stimule la récupération en cas d'infections et aide le corps (Stampfer, 1992).

Les lupins contiennent des alcaloïdes de quinolizidine (Keass et Wink 1994, 1995 ; Wink et Mohamed, 2003). Chez *Lupinus luteus*, les niveaux d'alcaloïdes totaux varient de 1 à 4 % dans les semences et de 0,2 à 0,5 % dans la matière sèche des pousses (Hackbarth et Troll ,1956). Les alcaloïdes du lupin sont toxiques pour les herbivores tels que les abeilles, les chenilles, les coléoptères, les pucerons, les criquets, les escargots, les nématodes, les lapins et les vaches et ont des propriétés antivirales, antibactériennes et antifongiques (Wink 2006).

Les lupins produisent isoflavonoïdes dans les pousses et les racines (von Baer et al. 2000). Ces composés sont connus pour toute une série d'activités phyto-œstrogéniques, anticancéreuses, antioxydantes et anti-inflammatoire (Wink 2006). L'augmentation de isoflavonones dans les lupins pourrait améliorer la commercialisation et pourrait également conférer une meilleure résistance aux maladies fongiques dans la plante (Garcia-Lopez et al. 2006).

Partie expérimentale

Chapitre 1: Matériel et méthodes

1. Objectif de l'étude

L'objectif de notre étude est l'évaluation, *in vivo*, de l'efficacité des extraits méthanoliques des feuilles et des racines de *Lupinus luteus* L. (Lupin jaune) sur le développement du *Fusarium oxysporum f. sp. radialis-lycopersici* chez la tomate.

Notre essai de la détermination de l'activité antifongique des extraits de *Lupinus luteus* L. sur la croissance du *Fusarium oxysporum f. sp. radialis-lycopersici* chez la tomate a été réalisé au niveau du laboratoire d'hygiène et pathologie animale de ITMA (Institut Technique des Moyens Agricoles) de l'université Ibn Khaldoun -Tiaret.

2. Matériel

2.1. Matériel végétal utilisé dans l'essai

La tomate (*Solanum lycopersicum*) est utilisée comme plante hôte. Il s'agit de la variété hybride « Aicha », originaire de la Chine et sélectionnée par l'organisme "griffaton" en France. Cette plante a été choisie en raison de sa sensibilité à l'égard du *Fusarium oxysporum f. sp. radialis-lycopersici*.

Les feuilles et les racines des plantes âgées de 6 mois du lupin jaune (*Lupinus luteus* L.), préalablement cultivé, étaient utilisées pour la préparation des extraits méthanolique.

2.2. Matériel microbiologique

Pour le test antifongique *Fusarium oxysporum f.sp. radialis-lycopersici* a été utilisé comme champignon phytopathogène qui attaque les parties racinaires de la tomate. Cette souche fongique était référenciée dans Genbank accession N° MG973090 (Yezli et *al.*, 2019) et était fournie aimablement par le laboratoire de microbiologie appliqué de l'université d'Oran.

3. Méthodes

3.1. Préparation de la plante hôte (tomate)

Les graines des tomates ont été désinfectées, en les trempant pendant 5min dans l'eau de javel puis les rincer plusieurs fois par l'eau distillée. Les graines désinfectées étaient placées immédiatement dans des boîtes de pétri sur un papier buvard imbibé avec l'eau distillée. Les boîtes étaient placées dans une étuve ventilée à une température de 25°C pendant une période de 7jours. Après la germination des graines et la sortie de la racine, les plantules de tomates étaient transplantées dans des alvéoles contenant du terreau stérilisé à 120 °C pendant 3 heures dans une

étuve ventilée. Les plantules étaient irriguées quotidiennement avec l'eau de robinier et ont été maintenue dans les alvéoles jusqu'au stade 4 feuilles.

Par la suite, les plantules ont été transplanté dans des pots de 1 litre de volume à raison d'une plantule par pot. Les pots contenaient un substrat composé de sol, sable et terreau (v: v: v). Ce substrat était préalablement stérilisé à 120 °C pendant 3 heures dans une étuve ventilée (Fig. 6).



Figure 6: Préparation du substrat utilisé pour la culture de tomate.

3.2. Préparation des extraits méthanoliques

L'extrait méthanolique des feuilles et des racines de lupin jaune était préparé selon le protocole décrit par Bougandoura et Bendimerad (2012) où 400 mg de la matière sèche (feuilles ou racines) était macérée dans 20 ml de méthanol (80%). Le macérât était filtré en utilisant un papier filtre et était conservé à 4°C jusqu'à son utilisation (Fig. 7).

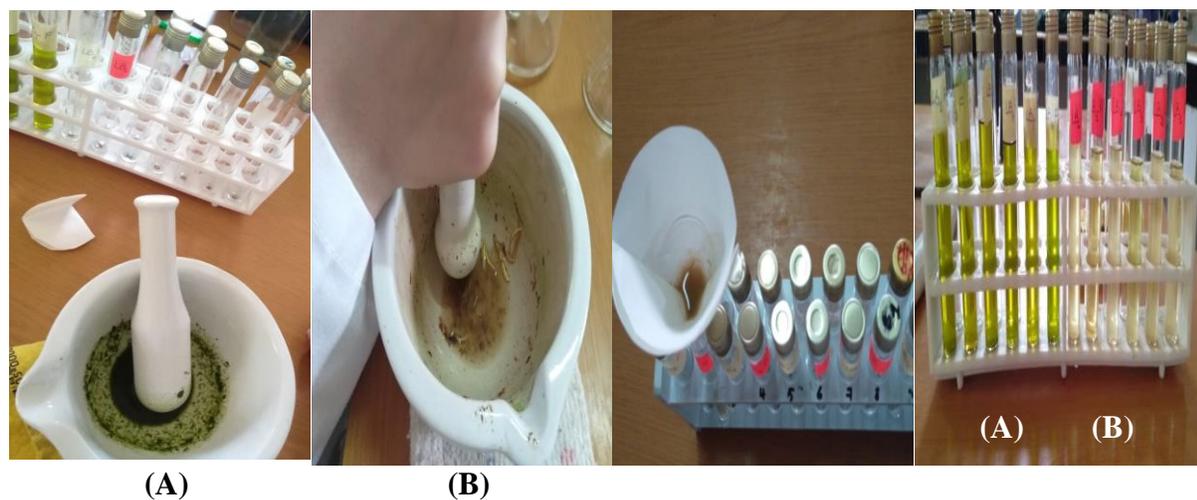


Figure 7: Préparation des extraits méthanoliques des feuilles et des racines de lupin jaune. (A): feuilles et (B): racines.

3.3. Détermination de l'efficacité *in vivo* des extraits de *Lupinus Luteus* contre *Fusarium oxysporum f. sp radicis-lycopersici*

3.3.1. Préparation de milieu de culture

Le milieu de culture à base de pomme de terre est très recommandé pour la culture des champignons sporophytes comme le *Fusarium oxysporum f.sp. radicis-lycopersici*.

Le milieu de culture PSA (Pomme de terre-Saccharose-Agar) été préparé en portant à ébullition, pendant 25 minutes, 300g de pomme de terre, bien lavée, épluchée et coupée en petits dés, dans un litre d'eau distillée. La suspension était laissée décanter et le bouillon obtenu (environ 300 ml) était filtré. 20g d'agar agar et 20 g de saccharose était ajouté au bouillon de pomme de terre qui était ajusté au volume de 1000 ml par l'eau distillée (Fig. 8). Le mélange était placé par la suite sur une plaque chauffante agitatrice jusqu'à l'obtention d'une solution homogène. Le milieu de culture PSA obtenu était versé dans des flacons, ces derniers étaient placés dans un autoclave à 121 bars pendant 15min pour but de stérilisation. Une fois la stérilisation terminée, le milieu de culture était distribué dans des boîtes de Pétri à raison de 15 ml par boîte et laissé se solidifier (Tool., 1986).



Figure 8 : Préparation de milieu de culture (PSA).

3.3.2. Repiquage du champignon

Après refroidissement du milieu de culture et à l'aide d'une pipette Pasteur stérile, un fragment de mycélium de 6 mm de diamètre était pris et déposé au centre de la boîte Pétri (Fig. 9).

Plusieurs boîtes de Pétri étaient préparé par le même principe. Ces boîtes de Pétri étaient incubées à 25 °C pendant 7 jours dans une étuve ventilée.



Figure 9: Repiquage du champignon *Fusarium oxysporum f.sp. radicis-lycopersici* sur le milieu PSA.

3.3.3. Préparation de l'inoculum

L'inoculum fongique était préparé en récupérant le contenu de la boîte de Pétri dans 10 ml d'eau distillée stérilisée (Fig. 10). Après raclage à l'aide d'une pipette Pasteur, la suspension de spores du champignon en question était récupérée dans une fiole préalablement autoclavée, à laquelle étaient rajouté quelques gouttes de Tween 20 pour aider la dispersion des spores (Zaim et *al.*, 2013).



Figure 10: Préparation de l'inoculum fongique

Cette opération était suivie par le comptage des spores à l'aide d'une cellule de Malassez. Le comptage permet d'avoir le même nombre de spores au niveau de la fiole, ainsi la suspension est ajustée à raison de 10^6 spores par millilitre.

La cellule de Malassez, inventée par Louis-Charles Malassez, ou Hématimètre de Malassez est un hématimètre qui permet de compter le nombre de cellules en suspension dans une solution.

Le résultat d'un comptage est exprimé en concentration cellulaire, c'est à dire en unité d'événements par unité de volume (par ex. nombre de cellules / ml). La cellule de Malassez est constituée par une lame de verre épaisse creusée de 2 rigoles délimitant un plancher au centre duquel est tracé un quadrillage. Les 2 plateaux surélevés servent de support à la lamelle. Les rectangles quadrillés, formés de 20 carreaux constituent les zones de comptage. Chacun de ces rectangles a une surface de 0,05 mm². La hauteur entre le plancher et la lamelle est de 0,20 mm, le volume de liquide au-dessus de chaque rectangle quadrillé (20 carreaux) est de 0,01 mm³ (Antoine et al., 2011).

La concentration de spores dans l'échantillon (X) est exprimée par spore/ml et est calculée selon la formule suivante :

$$X = n \cdot F / V$$

Où :

n : nombre d'éléments comptés ;

V : volume compté ;

F : facteur de dilution (pour chaque 1 ml de suspension on ajoute 9 ml de l'eau physiologique pour l'obtention d'une concentration de 10⁻¹ et ainsi de suite jusqu'à l'apparition d'une concentration de 10⁻⁶ spore/ml).

3.3.4. Test antifongique

L'essai d'efficacité *in vivo* des extraits des feuilles et des racines contre *Fusarium oxysporum f. sp. radicum-lycopersici* a été réalisé sous serre au niveau de l'ITMA (Tiaret). Cet essai a pour but l'évaluation de l'efficacité des extraits sur les paramètres de la sévérité de la maladie, la teneur en sucre soluble et en proline.

» Dispositif expérimental utilisé

Le dispositif expérimental utilisé est une randomisation totale avec trois répétitions pour chaque plante (Fig. 11). Les pots ont été placés sur une table de serre dans des conditions de 28±2°C de température, 70–80% d'humidité relative et une photopériode de 14 h/10 h de lumière/obscurité. Les plantules de tomate étaient arrosées à volonté.

Les plantes considérées comme témoin négatifs sont les plantules de tomate qui poussent sur un substrat stérilisé non inoculé par le champignon phytopathogène. Les plantes considérées

comme témoin positif sont celles poussant sur un substrat stérilisé et inoculé par le champignon phytopathogène et n'ont subi aucun traitement. Les plantes considérées comme contrôle sont celles poussant sur un substrat stérilisé et inoculé par le champignon phytopathogène et qui ont été traitées par un fongicide. Alors que les autres plantules, étaient développées sur un substrat stérilisé et inoculé par le champignon phytopathogène et ont été traitées par les différents extraits méthanoliques des feuilles et des racines du lupin jaune.

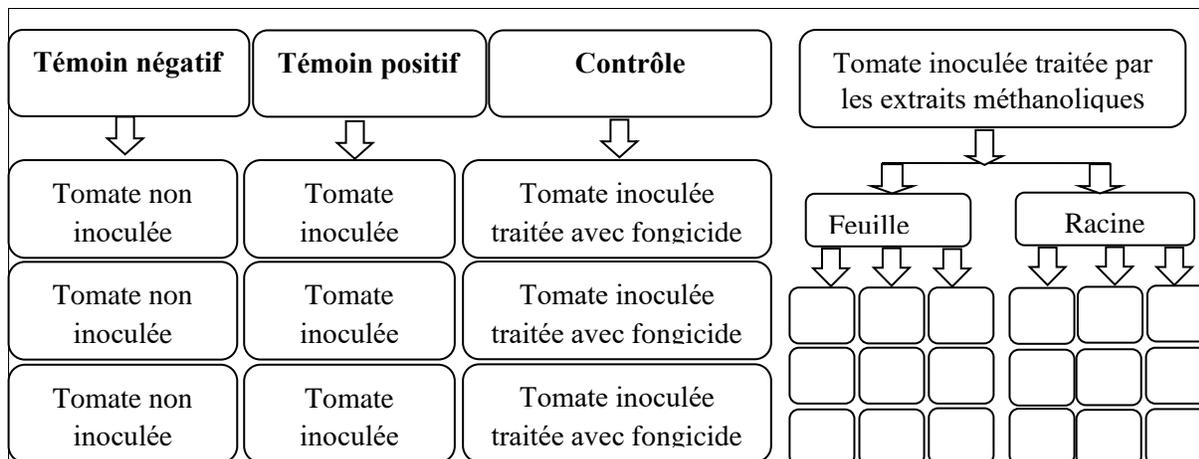


Figure 11: Dispositif expérimental

» **Inoculation du sol**

Une suspension de conidies (16 ml) a été mélangée avec 160 g du substrat stérilisé. Après une période d'incubation de 7 jours, ce substrat était utilisé comme inoculum. Il a été déposé à la base des racines lors de la transplantation des plantules dans les pots.

» **Application des traitements**

Les plantules de tomate inoculée par *Fusarium oxysporum f. sp. radicles-lycopersici* étaient par la suite traitée soit par les extraits méthanoliques des feuilles et des racines du lupin jaune ou par un fongicide.

Un volume de 5 ml de chaque extrait à une concentration de 20 mg/ml a été utilisé comme traitement 2 fois par semaine jusqu'à la fin de l'expérimentation.

Un volume de 5 ml de fongicide (2g de fongicide + 1L l'eau distillé). a été utilisé comme traitement 2 fois par semaine jusqu'à la fin de l'expérimentation.

Le fongicide chimique utilisé est Vapcotop (thiophanate-méthyl 70 % W) en poudre mouillable (Fig. 12) de la famille des carbomates et dont la matière active est thiophanate-méthyl (C₂₁H₁₄N₄O₄S₂). Ce fongicide est absorbé par les feuilles et les racines. Il est diffusé dans la plante

par la sève brute. Il a un mode d'action sur les microtubules, détruisant ainsi le mycélium et la stérilisation des spores. Il s'utilise en pulvérisation foliaire ou à la base du plant pour les semis et repiquages.

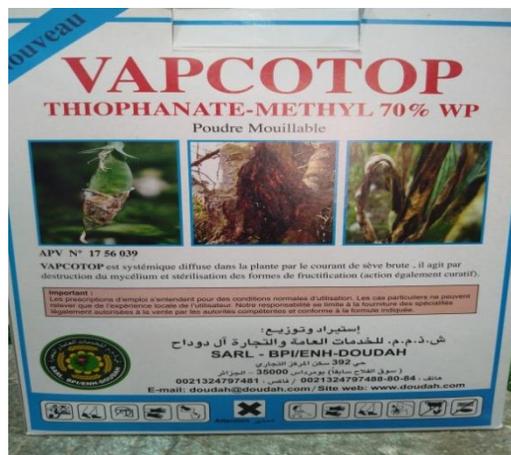


Figure 12: Fongicide chimique utilisé.

» **Paramètres étudiés**

Durant ce test, les plantules de tomate étaient suivies régulièrement pour noter l'évolution des symptômes. Les premières notations étaient effectuées au moment de la transplantation et les dernières étaient effectuées après 21 jours, lors du sacrifice des plantules.

Les paramètres étudiés sont la hauteur de la tige principale, la longueur de la partie racinaire, les biomasse aériennes et racinaires fraîches et sèches, le nombre de feuilles par plante, l'indice de la sévérité de la maladie et les teneurs des feuilles et des racines en sucres solubles et en proline.

Les hauteurs des tiges et les longueurs des racines ont été déterminés en utilisant un double décimètre gradué. Les poids frais et sec des biomasses aériennes et racinaires ont été déterminé à l'aides d'une balance de précision. Les poids secs ont été obtenus après le passage des échantillons à l'étuve à une température de 60°C pendant 72h. Les feuilles ont été comptées à la fin de l'expérimentation, juste avant le sacrifice des plantules

✓ **Détermination de l'indice de la sévérité de la maladie (IM)**

L'estimation de l'intensité des symptômes était effectuée selon une échelle de notation de 4 degrés allant de 0 à 3 (Vakalounakis et Fragkiadakis, 1999):

0 : Absence de symptôme;

1 : Noircissement ou brunissement de 1-25 % de la surface du collet ;

2 : Noircissement ou brunissement de 26-50 % de la surface du collet ;

3 : Noircissement ou brunissement de plus de 50 % de la surface du collet.

La réaction moyenne est évaluée par le rapport suivant :

$$IM = [(0 \times F_0) + (1 \times F_1) + (2 \times F_2) + (3 \times F_3)] / N$$

Où :

IM : Indice de la maladie.

F : Nombre de plants pour chaque degré dans l'échelle de notation de 0 à 3.

N : Nombre total de plants utilisé dans l'essai

✓ *Détermination de la teneur des feuilles et racines en sucres solubles*

Les sucres solubles totaux sont analysés par la méthode au phénol décrite par Dubois *et al.* (1956).

100 mg de matière végétale fraîche, soit des racines, des tiges et des feuilles étaient placés dans des tubes à essai avec 3 ml d'éthanol à 80 % afin d'extraire les sucres. Les tubes étaient incubés à température ambiante pendant 48 h.

Au moment de dosage les tubes étaient placés dans une étuve à 80 % pour faire évaporer l'alcool. Après évaporation de l'éthanol, 20 ml d'eau distillée étaient ajoutés dans chaque tube. C'est la solution à analyser. Dans de nouveaux tubes à essai propres, 1 ml de la solution à doser était ajouté à 1 ml de solution de phénol à 5 %. Les tubes étaient soigneusement agités puis 5 ml d'acide sulfurique concentré étaient ajoutés à l'aide d'une burette. Après une incubation de 30 minute à l'obscurité. La détermination de la teneur en sucres totaux a été réalisée par la spectrophotométrie UV à la longueur d'onde 620 nm.

La gamme d'étalonnage a été préparée à partir des concentrations croissantes en glucose. Les conversions des densités optiques en concentration de glucose (mg/100 g MS) ont été faites suivant l'équation donnée par le graphe de la courbe d'étalonnage ($y = 2,0275x - 0,0894$).

Les teneurs en sucres soluble, exprimées en mg par 100g de matière sèche est donnée par la formule suivante :

$$\text{Teneur en sucre solubles (mg/100 g MS)} = (X.D.V) / (P*10)$$

Où : **X**: La concentration calculée à partir de l'équation de la droite de régression.

D: Le nombre de dilution.

V: Le volume de la solution.

P: Le poids de la prise d'essai.

✓ **Détermination de la teneur des feuilles et des racines en proline**

La détermination de la teneur des feuilles et des racines en proline était effectuée selon le protocole décrit par (Guealia, 2017).

100 mg de matière végétale sèche (feuille, racine) étaient broyés dans 5 ml de méthanol. L'ensemble était chauffé au bain-marie à 85°C pendant une heure. A 1 ml d'extrait de proline étaient ajoutés 1 ml d'acide acétique et 1 ml du réactif de ninhydrine (1,25 g de ninhydrine + 30 ml acide acétique + 7,5 ml d'acide orthophosphorique 85 % + 12,5 ml d'eau distillée).

Les tubes étaient homogénéisés et placés dans un bain-marie à 95° C pendant 30 min. Après refroidissement, 5 ml de toluène étaient rajoutés, après centrifugation au vortex deux phases se développent :

→ La phase supérieure organique contenant la proline est prélevée.

→ La phase inférieure aqueuse est éliminée.

Après avoir récupéré de la phase supérieure, du Na₂SO₄ était ajouté à l'aide d'une spatule afin d'éliminer l'eau qu'elle contient. Enfin les densités optiques des échantillons étaient lues au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 520 nm.

La gamme d'étalonnage a été préparée à partir des concentrations croissantes en proline. Les conversions des densités optiques en concentration de proline (mg/100 g MS) ont été faites suivant l'équation donnée par le graphe de la courbe d'étalonnage ($y = 0,0052x - 0,0012$).

Les teneurs en proline, exprimées en mg par 100g de matière sèche est donnée par la formule suivante :

$$\text{Teneur en sucre solubles (mg/100 g MS)} = (\text{X.D.V}) / (\text{P} * 10)$$

4. Analyse statistique

Le traitement statistique a été effectué à l'aide du logiciel IBM SPSS Version 25, dont les données obtenues ont été soumises à une analyse de la variance. Le test de *Student* est appliqué pour définir la différence entre les moyennes des traitements adoptés.

La Comparaison des groupes homogènes a été effectuée en utilisant le test de *Tukey* au seuil de sécurité 95%.

Chapitre 2 : Résultats et discussions

L'inoculation des plantes de tomate par *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici* a provoqué quelques symptômes comme le jaunissement et le nécrosissement des feuilles (Fig. 13) et la réduction de la croissance. Les plantes non infectées par ce pathogène avaient un développement normal sans symptômes. Les plantules infectées par le *Fusarium* et traitées par les extraits des feuilles et des racines de *Lupinus luteus* ainsi que par le fongicide chimique avaient des réponses variables avec la présence de symptômes légers.



Figure 13 : Symptômes de fusariose observés sur la culture de tomate. A: Plante non infectée sans symptômes (témoin négatif) ; B : Symptômes sur tiges d'une plantes de tomate infectées par *Fusarium* ; C : Symptômes sur feuilles de plantes infectées par *Fusarium*

1. Hauteur des tiges

Le test d'analyse de la variance (**tableau 3**) révèle des différences non significatives ($P < 0,05$) entre les différents traitements pour le caractère de la hauteur des tiges. Cela indique que les plantules de tomate inoculées par le *Fusarium* réagissent de façon similaire aux traitements utilisés.

Tableau 1: Analyse de variance de la hauteur finale des tiges

Source de variation	SCE	ddl	CM	F	P.
Traitements	101,500	4	25,375	1,236	0,356 ns
Résiduelle	205,333	10	20,533		
Total	306,833	14			

Les résultats de l'évolution des hauteurs des tiges des plantules de tomate, inoculées ou non par *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici* et traitées par le fongicide et les extraits méthanoliques des feuilles et des racines de *Lupinus luteus*, sont illustrés dans la figure 14. A partir de ces résultats, on remarque que les plantules considérées comme témoin négatif (non inoculées par *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici*) avaient une croissance rapide, stable et continue depuis la transplantation jusqu'au jours de sacrifices. Ces plantules avaient les hauteurs des tiges les plus élevées.

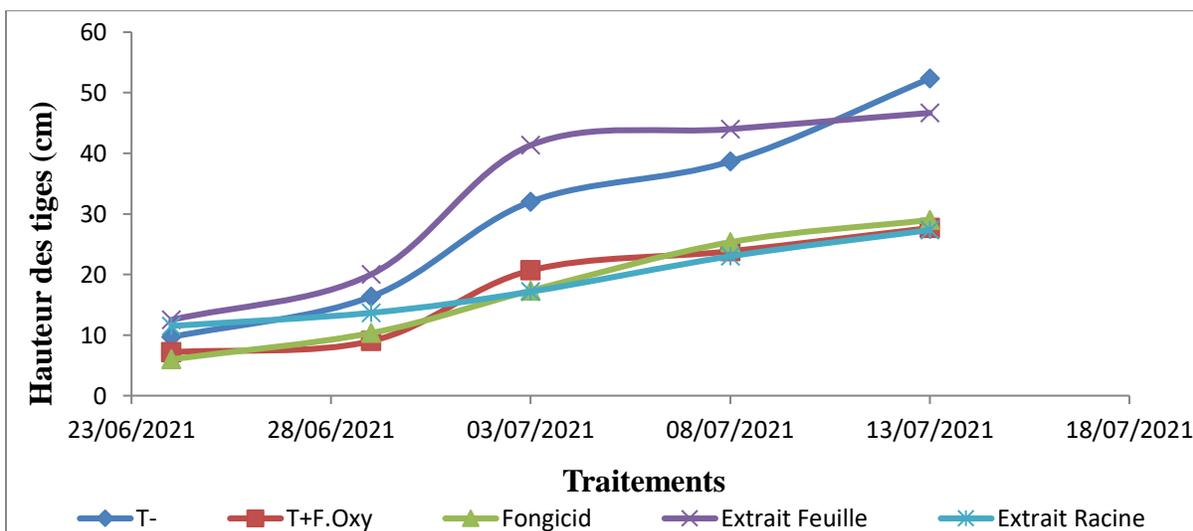


Figure 14: Evolution de la hauteur des tiges en fonction des traitements

Les plantules inoculées par *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici* et traitées par l'extrait méthanolique des feuilles du *Lupinus luteus* avaient un comportement similaires à celui des plantes

non inoculées. Les plantules traitées par les extraits méthanoliques des feuilles du lupin jaune avaient bien développé indiquant l'efficacité de cet extrait à l'égard du champignon utilisé (Fig.14).

Les plantules de tomate inoculées par *Fusarium oxysporum f. sp lycoersici* et non traitées avaient une faible croissance car il y avait une faible évolution des croissances des tiges de ces plantules (Fig.14). Les plantules inoculées et traitées par les extraits méthanoliques des racines du lupin jaunes et par le fongicide avaient une faible croissance et l'évolution de leurs tiges était identique à celles des plantules inoculées non traitées. Donc on peut conclure que ces deux traitements n'avaient pas d'effet sur le *Fusarium* qui a limité la croissance des plantules inoculées.

Dans la figure 15, sont illustrées les variations de la hauteur finale des tiges. Les plantules inoculées par *Fusarium oxysporum f.sp lycoersici* et non traitées avaient les hauteurs des tiges les plus faibles avec une moyenne de $27,66 \pm 4,132$ cm. Alors que les plantules non inoculées avaient les hauteurs les plus importantes avec $52,33 \pm 4,760$ cm.

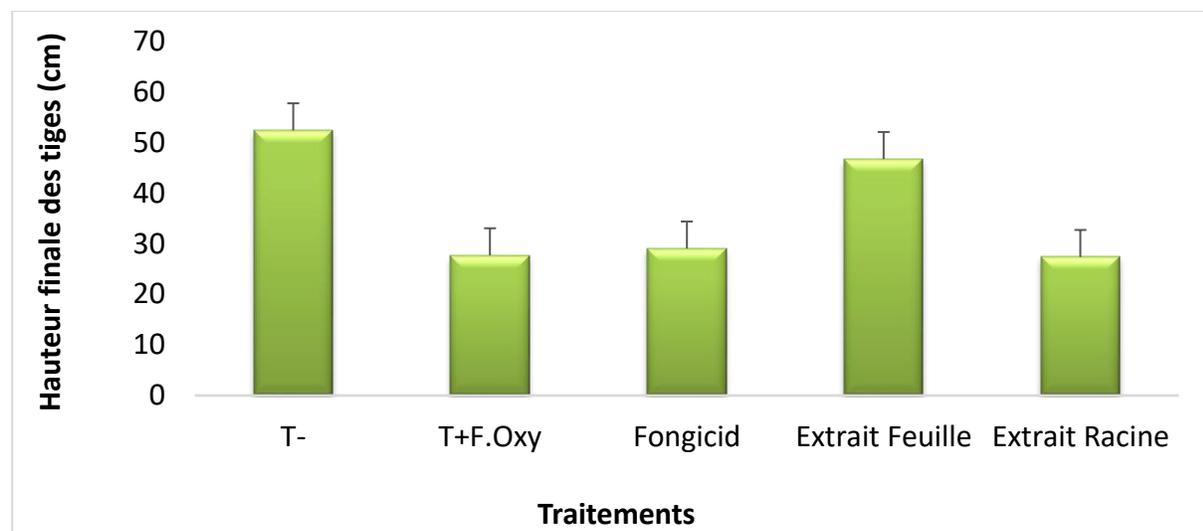


Figure 15: Variation de la hauteur finale des tiges en fonction des traitements.

Le traitement des plantules de tomates inoculées par le fongicide et par les extraits méthanoliques des racines du lupin jaune a donné des résultats proches entre eux et proches à ceux des plantules inoculées non traitées (Fig. 15). Le traitement des plantes de tomate inoculées par les extraits méthanolique des feuilles du lupin jaune a abouti à des plantules avec des tiges de hauteurs voisines à celles des plantes non inoculées. Ce traitement a amélioré la croissance de la partie aérienne par 68,67% par rapport aux plantes inoculées non traités (témoin positif)

2. Longueur de racine

Le test de l'analyse de variance (tableau 2) révèle des différences hautement significatives ($P < 0,001$) entre les différents traitements pour le caractère de la longueur des racines. Ce qui signifie que les plantes de tomate inoculées ou non par le *Fusarium oxysporum* répondent de façon différente aux traitements appliqués.

Tableau 2: Analyse de variance de la longueur des racines

Source de variation	SCE	ddl	CM	F	P.
Traitements	25,364	4	6,341	4,956	0,000***
Résiduelle	12,793	10	1,279		
Total	38,157	14			

Les histogrammes de la figure 16 illustrent les variations des longueurs des racines en fonction de l'inoculation et en fonction des traitements appliqués. Les plantules inoculées par *Fusarium oxysporum f. sp radidis-lycopersici* et non traitées avaient les longueurs des racines les plus faibles avec une moyenne de $7,100 \pm 1,0149$ (cm). Cette valeur est individualisée, par le test de comparaison des moyennes de *Tukey*, dans le groupe homogène (a). Alors que, les plantules considérées comme témoin négatif avaient les longueurs des racines les plus importantes avec $11,00 \pm 0,00$ cm et sont classées dans le groupe homogène (b).

Le traitement par les extraits méthanoliques des feuilles et des racines de *Lupinus luteus* et par le fongicide ont montré un meilleur développement des racines comparativement au témoins positifs (inoculées non traitées) mais qui reste inférieur au développement des racines des plantules non inoculées (Fig. 16). Ces traitements, qui sont groupés ensemble dans le groupe intermédiaire (ab), ont amélioré le développement des racines par 13,145% 26,76% et 18,779% respectivement par rapport aux racines des plantes inoculées non traitées.

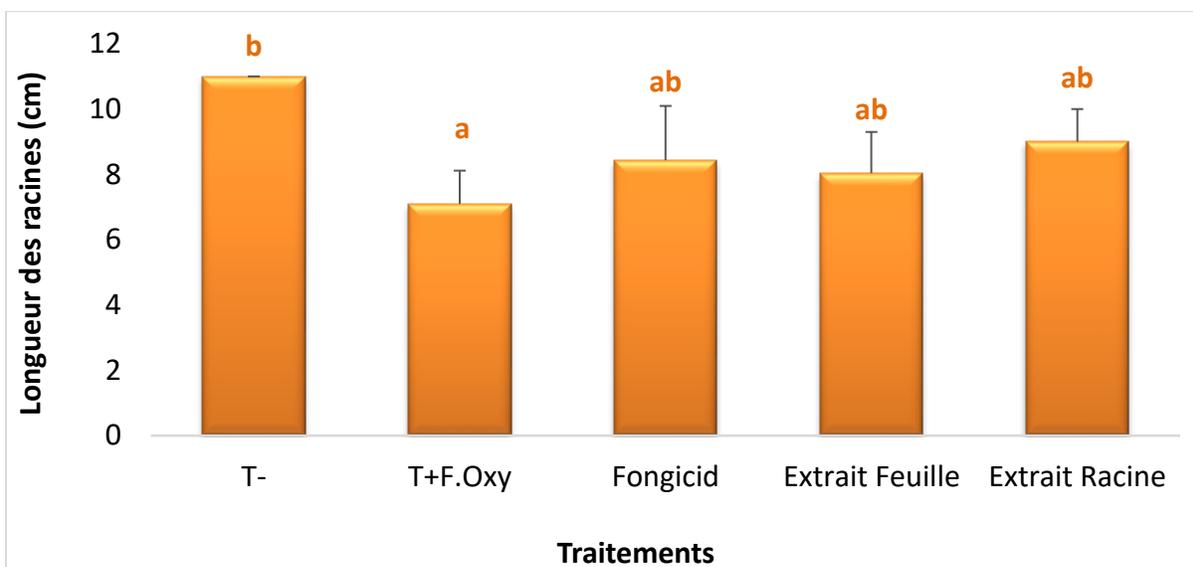


Figure 16: Variation de la longueur des racines en fonction des traitements.

3. Biomasses aériennes et racinaires fraîches et sèches

3.1. Biomasses aériennes et racinaires fraîches

Le test d'analyse de variance révèle des différences très hautement significatives ($P < 0,001$) entre les différents traitements pour les caractères poids frais des parties aériennes et racinaires. Cela indique que les plantes de tomate inoculées ou non par le *Fusarium oxysporum* répondent de façon différente aux traitements appliqués et que ces derniers ont des efficacités différentes contre le *Fusarium oxysporum f. sp. radidis-lycopersici* (Tableau 3).

Tableau 3 : Analyse de variance des biomasses aériennes et racinaires fraîches

Paramètres	Source de variation	SCE	ddl	CM	F	P.
Poids frais de la partie aérienne	Traitements	10,331	4	2,583	102,433	0***
	Résiduelle	0,252	10	0,025		
Poids frais des racines	Traitements	10,484	4	2,621	113,806	0***
	Résiduelle	0,230	10	0,023		

Les histogrammes illustrés dans la figure 17 montrent les variations des biomasses aériennes et racinaires fraîches de la tomate inoculée ou non par le *Fusarium oxysporum f. sp. radidis-lycopersici* en fonction des traitements utilisés.

Les plantules de tomate considérées comme témoin négatif (non inoculées par le *Fusarium*) avaient les poids frais de la biomasse aérienne et racinaire les plus importants avec des moyennes

respectives de $2,267 \pm 0,124$ et $2,08 \pm 0,33$ g et sont classées dans le groupe homogène (d) et (c) respectivement. Tandis que, les plantules de tomate considérées comme témoin positif (inoculées par le *Fusarium* et non traitées) avaient les poids frais de la biomasse aérienne et racinaire les plus faibles avec des moyennes respectives de $0,196 \pm 0,057$ g et $0,194 \pm 0,032$ g et sont classées dans le groupe homogène (a).

Les plantules de tomate, inoculées par le *Fusarium* et traitées par les extraits méthanoliques des feuilles du lupin jaune, par le fongicide et par les extraits méthanolique des racines du lupin jaune, avaient présentés des poids frais de la partie aérienne élevés ($1,209 \pm 0,3$ g (b), $1,665 \pm 0,063$ g (c) et $2,53 \pm 0,09$ g (d) respectivement) par rapport aux plantules inoculées non traitées (Fig. 17), cela peut conduire à confirmer l'efficacité de ces trois traitements contre *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici* du fait que, ces traitement ont amélioré le poids des biomasses aériennes des plantes inoculées par 516,04 %, 750,339% et 1191,007 % respectivement, par rapport aux plantes inoculées non traités.

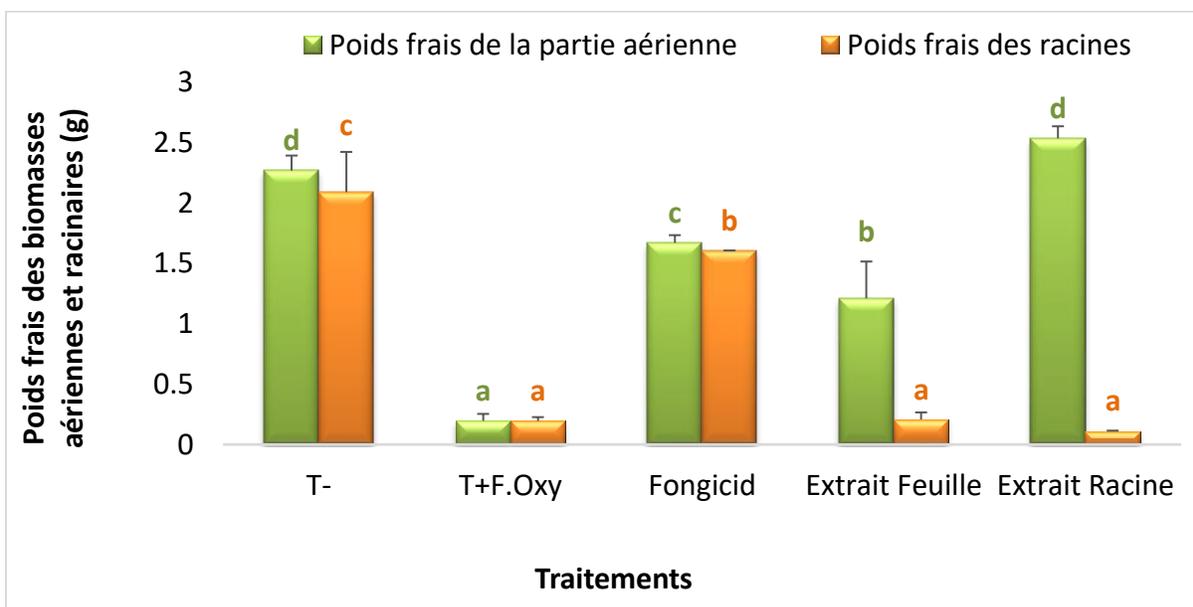


Figure 17: Variation des poids frais des biomasses aériennes et racinaires en fonction des traitements

Les poids des parties racinaires des plantules inoculées par le *Fusarium* et traitées par les extraits méthanoliques des feuilles et des racines du *Lupinus luteus* étaient faibles et classés dans le même groupe homogène (a) avec les témoins positifs non traités (Fig. 17). Cela indique l'inefficacité de ces traitements contre *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici* pour le poids

frais des biomasses racinaires. Les poids de la partie racinaires élevés étaient signalés chez les plantules inoculées et traitées par le fongicide ($1,606 \pm 0,001$ g b) (Fig16). Ce dernier était efficace contre *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici* pour le poids frais des biomasses racinaires car il a amélioré ce trait par 725% par rapport au témoin positif (inoculé non traité).

Remarque : Le poids faibles des racines est probablement dû aux accidents techniques pendant la manipulation où pendant la récupération des racines, ces dernières ont été cassées et une bonne partie a été perdu avec les mottes de substrat.

3.2. Biomasses aériennes et racinaires sèches

Le tableau 4 d'analyse de variance révèle des différences très hautement significatives ($P < 0,001$) entre les différents traitements pour les caractères poids secs des parties aériennes et racinaires. Cela indique que les plantes de tomate inoculées ou non par le *Fusarium oxysporum* répondent de façon différente aux traitements appliqués et que ces derniers ont des efficacités différentes contre le *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici*.

Les histogrammes illustrés dans la figure 18 montrent les variations des biomasses aériennes et racinaires sèches de la tomate inoculée ou non par le *Fusarium oxysporum f.sp. radicis-lycopersici* en fonction des traitements utilisés.

Tableau 4: Analyse de variance des biomasses aériennes et racinaires sèches

Paramètres	Source de variation	SCE	ddl	CM	F	P.
Poids sec de la partie aérienne	Traitements	0,280	4	0,070	97,761	0,000***
	Résiduelle	0,007	10	0,001		
Poids sec des racines	Traitements	0,240	4	0,060	136,336	0,000***
	Résiduelle	0,004	10	0,000		

Les plantules témoin négatif avaient montré des poids secs des parties aériennes et racinaires supérieurs ($0,277 \pm 0,037$ g(bc) et $0,284 \pm 0,039$ g(c) respectivement) à ceux des plantules inoculées et non traitées ($0,0135 \pm 0,0025$ g (a) et $0,135 \pm 0,0015$ g (b) respectivement)

Les plantules, inoculées par *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici* et traitées par les extraits méthanoliques des racines du lupin jaune, avaient les poids secs de la biomasse aériennes les plus importants avec une moyenne de $0,427 \pm 0,0185$ g suivie par le traitement par fongicide ($0,3165 \pm 0,195$ g), puis par l'extrait des feuilles du lupin jaune ($0,224 \pm 0,037$ g). Ces traitements sont classés dans les différents groupes homogènes (d),(c) et (b) respectivement (Fig.

18). Ils ont amélioré les biomasses aériennes sèches par 3066,6% ; 2244,4% et 1559,2% respectivement par rapport aux plantes inoculées non traitées. Tous les traitements appliqués étaient efficaces contre *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici* pour le poids de la biomasse aérienne sèche.

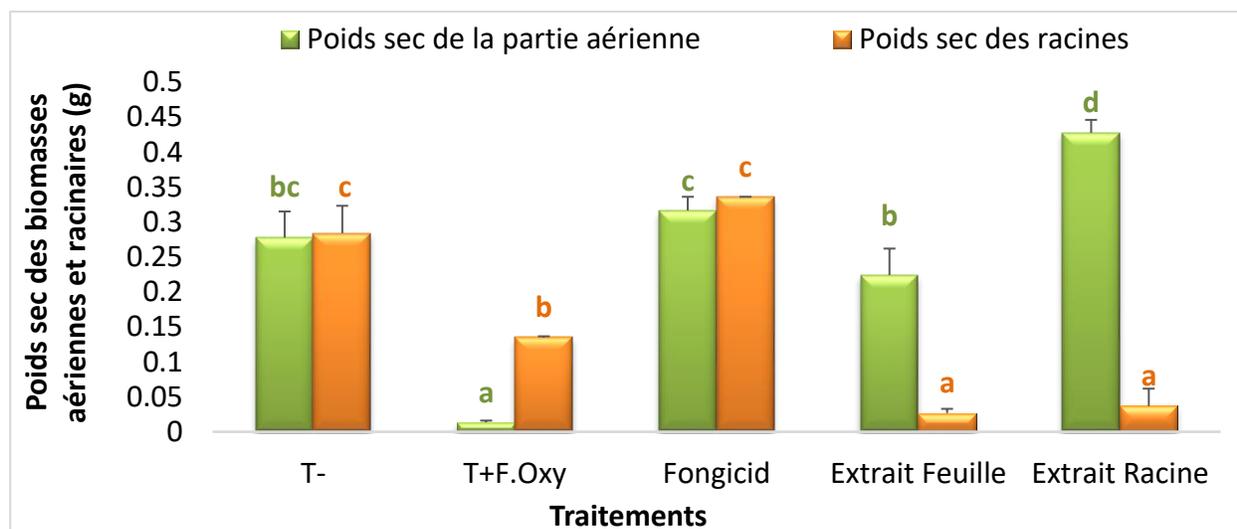


Figure 18: Variation des poids secs des biomasses aériennes et racinaires sèches en fonction des traitements.

En revanche, les poids secs élevés de la partie racinaire étaient enregistrés chez les plantules, inoculées par *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici* et traitées par le fongicide avec une moyenne de $0,336 \pm 0,001$ g suivi des plantules non inoculées (témoin négatif) qui avaient une moyenne de $0,284 \pm 0,039$ g. Ces deux moyennes sont classées, selon le test de classification des moyennes de Tukey, dans le groupe homogène (c). Alors que les faibles biomasses sèches ont été marquées chez les plantules inoculées par *Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici* et traitées par les extraits méthanolique du *Lupinus luteus* ($0,0266 \pm 0,0061$ g pour les feuilles et $0,0366 \pm 0,025$ g pour les racines) (Fig. 18). Ces traitements classés dans le même groupe homogènes (a) semblent n'avoir aucun effet contre *Fusarium oxysporum f.sp. radicis-lycopersici* pour le poids sec des partie racinaire. Seul le fongicide qui était efficace contre ce champignon du fait que le traitement par ce dernier à abouti à 148,88% de supériorité de matière sèche racinaire par rapport au plantes inoculées et non traitées (témoin positif).

4. Nombre des feuilles

Le test de l'analyse de variance révèle des différences significatives ($P < 0,05$) entre les différents traitements pour le caractère nombre des feuilles (tableau 5), expliquant que les traitements adoptés n'avaient pas le même effet sur la souche fongique.

Tableau 5 : Analyse de variance du nombre de feuilles par plante

Source de variation	SCE	ddl	CM	F	P.
Traitements	26,267	4	6,567	5,794	0,011*
Résiduelle	11,333	10	1,133		
Total	37,600	14			

Les histogrammes de la figure 19 illustrent les variations du nombre des feuilles par plante en fonction de l'inoculation par le champignon phytopathogène et des traitements utilisés.

Les plantules non inoculées par *Fusarium oxysporum f. sp. radicum-lycopersici* avaient le nombre des feuilles le plus important avec une moyenne de $6,000 \pm 1,000$ feuilles par plante. Cette moyenne est proche à celle enregistrée chez les plantes inoculées et traitées par les extraits méthanoliques des feuilles du *Lupinus luteus* qui avaient une moyenne de $5,97 \pm 1,5$ feuilles par plante. Ces deux moyennes sont individualisées, par le test de comparaison des moyennes de Tukey, dans le groupe homogène (b). En revanche, les plantules inoculées et non traitées (témoin positif) avaient les moyennes les plus faibles ($2,33 \pm 0,577$ feuilles par plante) et sont classées dans le groupe homogène (a). Il est évident que les extraits méthanoliques des feuilles du *Lupinus luteus* étaient efficaces contre *Fusarium oxysporum f. sp. radicum-lycopersici* car les résultats du nombre de feuilles par plantes étaient 142,857% meilleurs que ceux des plantules inoculées et non traitées (témoin positif).

Les traitements par les extraits méthanoliques des racines du lupin jaunes et par le fongicide chimique avaient des moyennes comprises entre celles des témoins positifs et négatifs (Fig. 19) et sont, de ce fait, classés dans le groupe intermédiaire (ab). Ces deux traitements avaient, respectivement, des résultats meilleurs de 114,285 % et 71,428% par rapport aux plantules inoculées et non traitées (témoin positif).

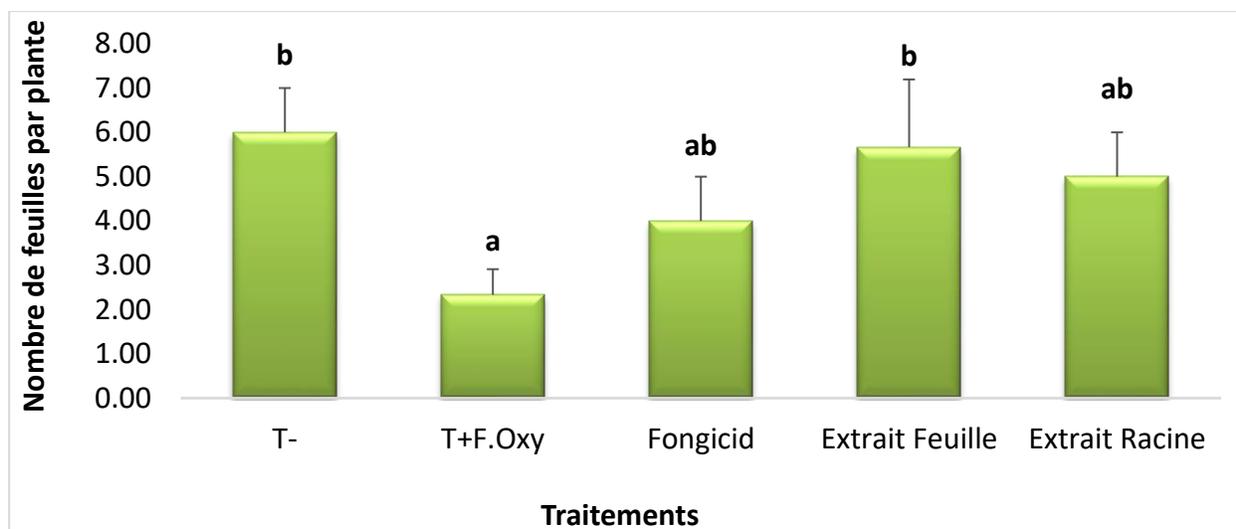


Figure 19: Variation du nombre de feuilles en fonction des traitements.

5. Indice de Maladie

Le test d'analyse de variance révèle des différences très hautement significatives ($P < 0,001$) entre les différents traitements pour le caractère indice de maladie (tableau 6), indiquant que les plantules de tomate n'avaient pas le même comportement vis-à-vis le *Fusarium* qui répond différemment aux différents traitements.

Tableau 6: Analyse de variance de l'indice de la sévérité de la maladie

Source de variation	SCE	ddl	CM	F	P.
Traitements	734,086	4	183,521	96,806	0***
Résiduelle	18,958	10	1,896		
Total	753,044	14			

Les résultats exposés dans la figure 20, exprime la variation de l'indice de maladie en fonction de l'inoculation par *Fusarium oxysporum f. sp radicis-lycopersici* et en fonction des traitements adoptés.

Les plantules inoculées par le *Fusarium* et non traitée révèlent un indice de maladie plus élevé car ces plantes qui n'ont subi aucun traitement étaient sous l'influence du champignon phytopathogène. Cette valeur est individualisée dans le groupe (d) avec une moyenne de $20,2 \pm 2,30$. En revanche, le témoin négatif n'avait présenté aucun symptôme de fusariose et son indice est nul et il est, de ce fait, classé dans le groupe homogène (a).

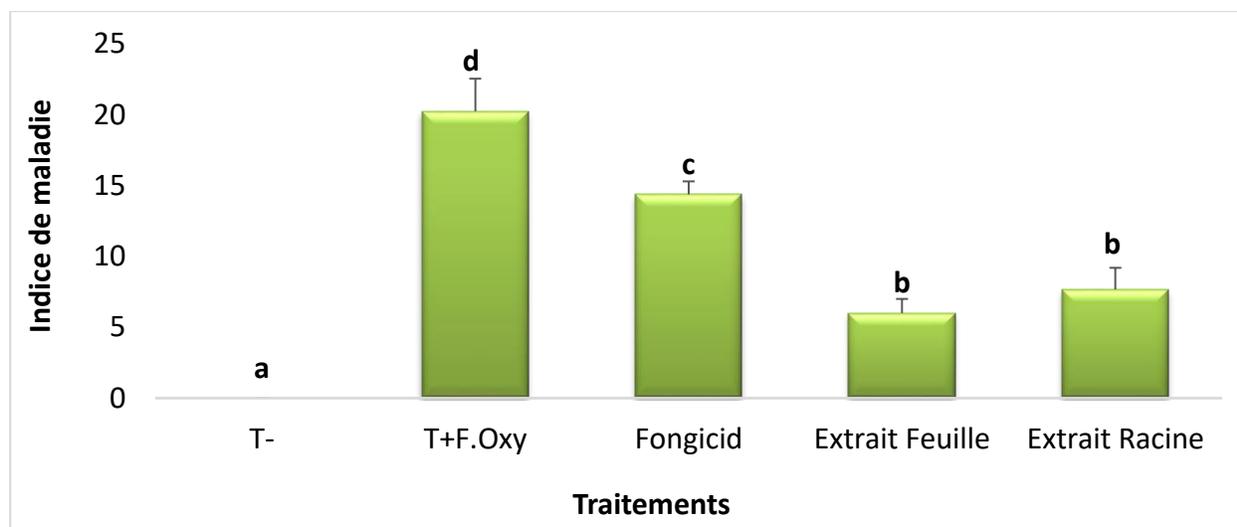


Figure 20: Variation de l'indice de maladie en fonction des traitements.

Les plantules inoculées et traitées par le fongicide chimique avaient montré un indice de maladie de $(14,37 \pm 0,917 \text{ c})$ supérieur à ceux obtenus par les traitements par les extraits méthanoliques des racines et des feuilles de *Lupinus luteus* qui avaient des moyennes respectives de $6,000 \pm 1,000 \text{ (b)}$ et $7,66 \pm 1,52 \text{ (b)}$. Ces trois traitements (le fongicide et les extraits méthanoliques des racines et des feuilles du lupin jaune) avaient une bonne efficacité contre le *Fusarium oxysporum f. sp radicis-lycopersici* car ils ont diminué l'indice de maladie par 28,962%, 62,108% et 70,345%, respectivement, par rapport aux plantes inoculées et non traitées.

6. Teneur des feuilles et des racines en sucres solubles

Le tableau 7 d'analyse de la variance révèle des différences très hautement significatives ($P < 0,001$) entre les différents traitements pour le caractère teneur des feuilles en sucres solubles. Pour le trait teneur en sucres solubles aux niveaux des racines, il existe un effet non significatif ($P > 0,05$) entre les traitements.

Tableau 7 : Analyse de variance des teneurs en sucres solubles au niveau des feuilles et racines

Paramètres	Source de variation	SCE	ddl	CM	F	P.
Feuilles	Traitements	79,231	4	19,808	45,298	0,000***
	Résiduelle	4,373	10	0,437		
Racines	Traitements	10,134	4	2,533	1,844	0,197 ns
	Résiduelle	13,735	10	1,374		

Les plantules inoculées par *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici* et non traitées avaient les teneurs en sucres solubles au niveau des feuilles et des racines les plus importantes avec des moyennes respectives de $9,827 \pm 0,311$ mg/g MF et $5,75 \pm 0,75$ mg/g MF (Fig. 21). Les teneurs importantes en sucres solubles chez ces plantes se justifient par le fait qu'elles sont sous l'effet d'un stress abiotiques et l'accumulation des sucres solubles est parmi les mécanismes développés par les plantes pour faire faces aux agents biotiques et abiotiques. Les plantules non inoculées, du fait qu'elles ne sont pas stressées, ont des teneurs en sucres solubles au niveau des feuilles et des racines faibles ($3,497 \pm 0,846$ mg/g MF et $3,278 \pm 0,882$ mg/g MF).

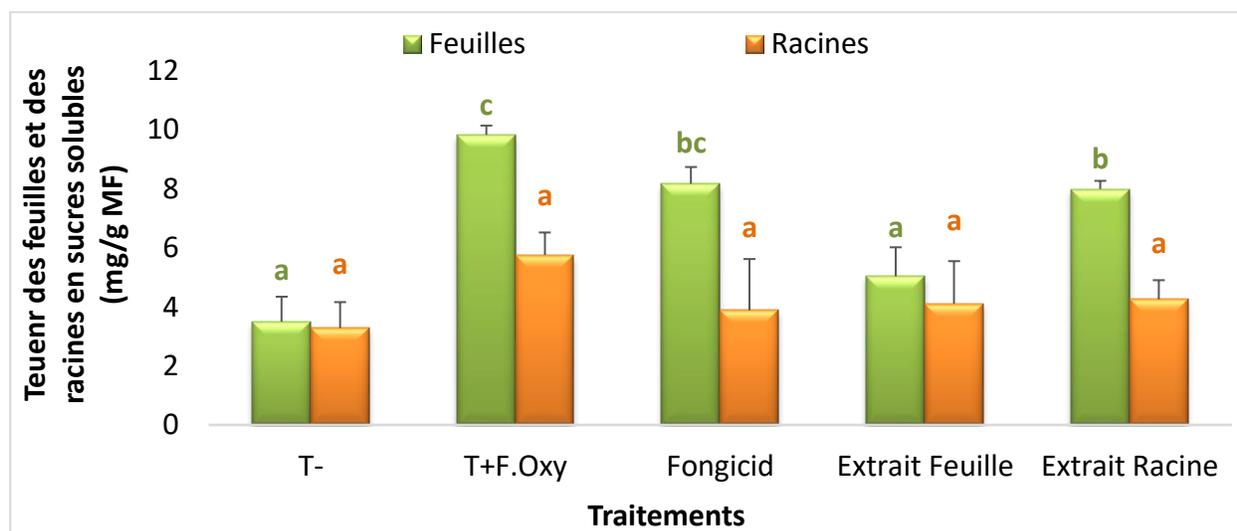


Figure 21: Variation des teneurs en sucres solubles au niveau des feuilles et des racines en fonction des traitements.

Les feuilles des plantules inoculées et traitées par l'extrait méthanolique des feuilles du *Lupinus luteus* avaient des teneurs en sucres solubles voisines à celles des plantes non inoculées ($5,032 \pm 0,984$ mg/g MF) et sont classées ensemble dans le groupe homogènes (a) indiquant ainsi la bonne efficacité (48,785%) de l'extrait méthanolique des feuilles par rapport à l'absence du traitement (plantes inoculées non traitées). Les traitements par le fongicide chimique, les extraits méthanoliques des racines avaient montré des quantités élevées en sucres solubles au niveau des feuilles en enregistrant des moyennes environ $8,16 \pm 0,57$ mg/g MF et $7,98 \pm 0,27$ mg/g MF (Fig. 21). Ces moyennes sont classées dans les groupes (bc) et (b). Ces traitements avaient une certaine efficacité, ne dépassant pas les 20% contre le *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici* par rapport à l'absence de traitement.

Il semble que les traitements des plantes inoculées par les extraits méthanoliques des feuilles et des racines du lupin jaune ainsi que par le fongicide avaient une certaine efficacité qui a maintenu des teneurs faibles en sucres solubles variant de $3,88 \pm 0,738$ à $4,254 \pm 0,648$ mg/g MF (Fig. 21). Ces trois traitements avaient des efficacités respectives de 28,641%, 26,128% et 32,616%.

7. Teneur en proline au niveau des feuilles et des racines

Le tableau 8 d'analyse de variance révèle une différence significative ($P < 0,05$) entre les différents traitements pour le caractère de teneur des feuilles en proline. Il n'existe pas de différence non significative ($P > 0,05$) entre les différents traitements pour le caractère teneur des racines en proline.

Tableau 8: Analyse de variance des teneurs en proline au niveau des feuilles et racines

Paramètres	Source de variation	SCE	ddl	CM	F	P.
Feuilles	Traitements	20,568	4	5,142	4,044	0,033*
	Résiduelle	12,714	10	1,271		
Racines	Traitements	17,006	4	4,252	3,391	0,053 ns
	Résiduelle	12,536	10	1,254		

Les plantules inoculées par *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici* et non traitées avaient les teneurs en proline au niveau des feuilles et des racines les plus importantes avec des moyennes respectives de $4,968 \pm 0,856$ mg/g MF et $4,617 \pm 0,432$ mg/g MF (Fig. 22). Les teneurs importantes en proline chez ces plantes se justifient par le fait qu'elles sont sous l'effet d'un stress abiotiques et l'accumulation de la proline est parmi les mécanismes développés par les plantes pour faire faces aux agents biotiques et abiotiques. Les plantules non inoculées, du fait qu'elles ne sont pas stressées, ont des teneurs en proline au niveau des feuilles et des racines faibles ($1,68 \pm 0,04$ mg/g MF et $1,892 \pm 0,043$ mg/g MF).

L'accumulation de la proline au niveau des feuilles étaient plus forte chez les plantules inoculées et traitées par l'extrait méthanolique des racines du lupin jaune ($3,942 \pm 0,437$ mg/g MS) suivie par le traitement des plantules inoculées par le fongicide ($2,63 \pm 0,495$ mg/g MS) et puis le traitement des plantules inoculées par l'extrait de feuille ($2,44 \pm 0,38495$ mg/g MS.) (Fig. 22).

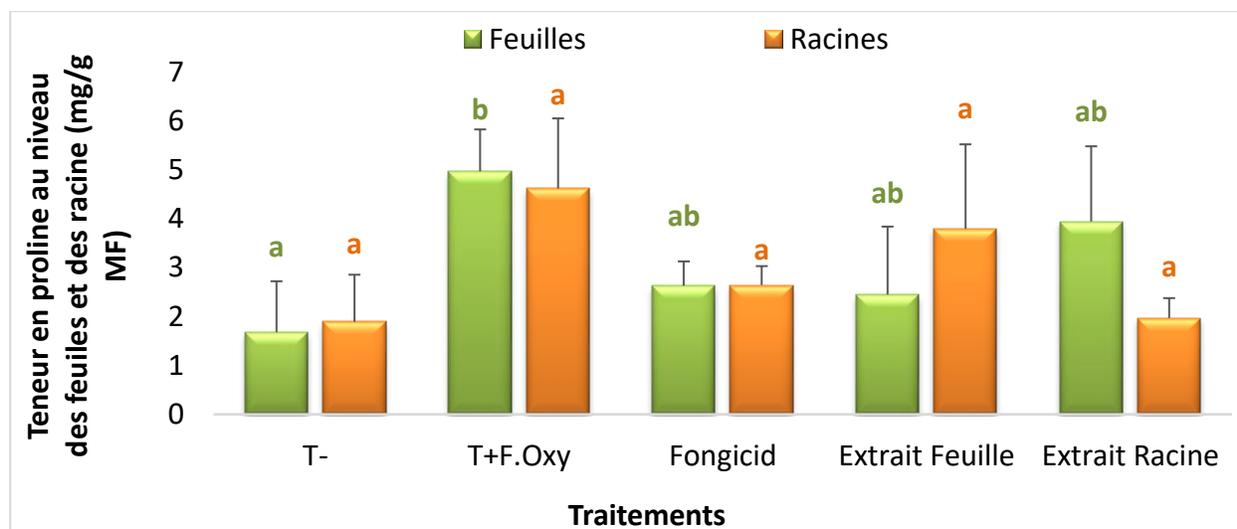


Figure 22: Variation des teneurs en proline au niveau des feuilles et des racines en fonction des traitements.

Ces valeurs sont inférieures à celles obtenues au niveau des feuilles des plantes inoculées non traitées indiquant que ces traitements avaient des efficacités respectives de 20,642%, 47,039% et 50,716% par rapport au plantes inoculées non traitées (Fig. 22).

Outre, l'accumulation de la proline au niveau des racines étaient maximales chez les plantules inoculées et traitées par l'extrait méthanolique des feuilles du lupin jaunes, suivie par le traitement par le fongicide chimique et puis par le traitement par l'extrait méthanolique des racines du lupin jaune avec des teneurs respectives de $3,796 \pm 1,723$ mg/g MS et $2,64 \pm 0,387$ mg/g MS et $1,968 \pm 0,408$ mg/g MS (Fig. 22). Donc on peut constater que le traitement par les extraits de *L.luteus* et par le fongicide avaient présentés des efficacités considérables(17,795%, 42,767%, 57,372%) sur la souche fongique, réduisant l'influence de *F. oxysporum* par la sécrétion de la proline au niveau des racines des plantes de tomate infectées.

8. Discussion

L'objectif central de ce mémoire a été la compréhension de l'effet thérapeutique des extraits issus de feuilles et de racine de *Lupinus luteus* sur la transmission de la fusariose chez la tomate. Plus précisément, il s'agissait d'identifier la réponse morphologique et biochimique ainsi que la productivité de la tomate sous une contrainte biotique.

La mesure de divers paramètres morphologiques nous a conduits à montrer que l'inoculation par le champignon phytopathogène et l'application des différents traitements sur les plantules de tomate ont modifié le potentiel de croissance de ces dernières ainsi que leurs réponses biochimiques.

Dans cette expérience, il ressort clairement que les extraits méthanoliques des feuilles *Lupinus luteus* améliorent fortement la croissance des plantes testées. Il apparaît que les plants témoins non traités de la tomate se développent très mal.

On a remarqué à travers nos résultats que le *Fusarium Oxysporum* affecte la croissance des plantes, par la réduction du développement des parties aériennes et par la réduction de la longueur des racines qui confèrent aux plantes l'accès à un plus grand volume de sol.

Animashaun *et al.* (2017) et Worku et Sahe (2018) ont démontré que le flétrissement bactérien est une maladie fongique qui s'attaque à la tomate. *Fusarium oxysporum* pénètre par les racines et interfère avec les vaisseaux conducteurs d'eau de la plante. Au fur et à mesure que l'infection se propage dans les tiges et les feuilles, elle restreint l'écoulement de l'eau, entraînant le flétrissement et le jaunissement du feuillage. Les symptômes apparaissent souvent plus tard au cours de la saison de croissance et sont d'abord remarqués sur les feuilles inférieures (plus anciennes). Au fur et à mesure que la maladie progresse, les feuilles plus jeunes sont également touchées et la plante finit par mourir.

Frederix et Den Brader (1989) ont montré que le contrôle de la fusariose est difficile en raison de la nature du pathogène transmis par le sol et sa capacité de persister de longues périodes, même en l'absence de la plante hôte.

Dans le cas où les extraits méthanolique du lupin jaune sont présents dans le substrat de culture, on a remarqué un bon développement de la plante (parties aériennes et racinaires).Les

moyennes des hauteurs des tiges sont importantes pour les plantes inoculée et traitées par les extraits des feuilles du lupin jaune ce qui est un signe d'une meilleure croissance. Les biomasses fraîches et sèches des parties aériennes de la tomate ont significativement augmenté grâce à l'effet bénéfique des extraits des feuilles et des racines du lupin jaune.

Nos résultats concordent avec ceux de Singhaet *al.* (2011) qui ont signalé que les plantes de tomate, poussant sur un sol inoculé par *Fusarium oxysporum f. sp lycopersici*, avaient des tiges et des racines courtes par rapport aux plantes non inoculées et par rapport aux plantes inoculées et traitées par les extraits chloroformiques des feuilles de *Piper betle*. Cet extrait a aussi diminué la gravité des symptômes sur la tomate et a diminué le taux de mortalité. Ce même auteur a aussi signalé que la pulvérisation des extraits chloroformiques des feuilles de *Piper betle* a donné de meilleurs résultats par rapport à l'utilisation du fongicide "carbendazime".

Nefzi *et al.* (2017) ont aussi noté que les extraits aqueux de feuilles et de fruits de *Lycium arabicum* utilisés à 30 % (p/v), contre *Fusarium oxysporum f. sp. radialis-lycopersici*, ont été les plus efficaces pour induire une réduction de 84,6 et 61,5 % de la gravité des dommages foliaires et une diminution de 84,9 et 82,9 % de l'étendue du brunissement vasculaire, respectivement, par rapport au témoin. Les extraits aqueux de feuilles ont été les plus efficaces pour augmenter la croissance de 65-70% par rapport au contrôle. De plus, tous les extraits aqueux de *L. arabicum* ont augmenté de manière significative la croissance par rapport au contrôle. La longueur des racines et la hauteur des parties aériennes ont été améliorées de 46 et 60%, respectivement.

Le fait que les extraits méthanoliques des feuilles et des racines du lupin jaune ont amélioré la croissance et la résistance des plantes de tomate infectées par *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* peut être attribuable à la richesse de ces extraits de *Lupinus luteus* en éléments bioactifs.

Il est bien connu que les espèces végétales sont riches en molécules bioactifs dotées de propriété biologique contre les phytopathogènes et son utilisation comme bio fongicide a stimulé généralement la croissance des plantes de la tomate, en particulier dans des sols où la contamination par le *Fusarium oxysporum* est élevée (Corbaz, 1990). Malamy et Klessing (1992) précisent que l'irrigation d'un substrat inoculé par les extraits des végétaux favorise la diminution de l'incidence de la fusariose chez nombreuses espèces végétales.

Les extraits de *L. luteus* ferment nombreuses composés biologiquement actifs tels que les polyphénols, les flavonoïdes, les alcaloïdes et les terpènes, ces molécules ont un potentiel antifongique très important (Wink., 2006).

De nombreux auteurs suggèrent que l'effet antimicrobien des plantes est dû à la présence de certaines molécules (Behidji-Benyounes *et al.*, 2013). Ces substances comprennent les composés phénoliques, les flavonoïdes et les tanins condensés, ce qui est confirmé par Aziz *et al.* (1998). Globalement, nos extraits ont montré une teneur très élevée en polyphénols, flavonoïdes et tanins. D'après King and Young (1999), les activités antibactériennes et antifongiques étaient très importantes en présence des polyphénols. Sisti *et al.* (2008) ont montré que les composés phénoliques sont actifs contre les microorganismes pathogènes. Nita-Lazar *et al.* (2004) ont suggéré que la synthèse des polyphénols est connue comme un mécanisme de défense contre les micro-organismes phytopathogènes.

Aussi Galvan *et al.* (2008), ont confirmé que les métabolites secondaires des plantes ont un grand potentiel comme agents antifongiques efficaces par l'altération des processus enzymatiques impliqués dans la production d'énergie et la synthèse des composants structuraux. Cette destruction a été suggérée par l'affaiblissement ou la destruction de la barrière de la perméabilité de la membrane cellulaire en modifiant l'état physiologiques des cellules ou affectant la synthèse des acides nucléiques.

Dans la présente étude on a pu constater que les concentrations élevées en sucres solubles et en proline dans les racines et les feuilles des plants inoculées sont essentiellement liées à la tolérance aux stress biotique. En effet, ces concentrations sont nettement faibles dans les échantillons traités par les extraits végétaux, ce qui indique un rôle important de bio fongicide dans la défense de cette espèce végétale contre le *Fusarium oxysporum*.

Des travaux similaires ont été réalisés par Hadjadj *et al.* (2011) qui ont démontré une variation de l'accumulation de ces composés organiques d'un organe à un autre de la plante. Cette variation dépend de l'espèce et l'intensité du stress.

L'augmentation de l'utilisation des fongicides provoque plusieurs effets négatifs comme le développement de la résistance des agents pathogènes (Elfatih *et al.*, 2002). Ces fongicides ont aussi un effet néfaste sur l'environnement (Gerhardson, 2002). Les fusarioses ne peuvent pas être

éradiquées par des produits chimiques alors que l'utilisation de variétés des plantes résistantes peut être une alternative efficace (Villajuan-Abgona *et al.*, 1996 ; El Aouifir., 2004).

Selon Porter (2001) et Grysole (2005), l'utilisation des extraits végétaux pour le contrôle de la fusariose reste un moyen biologique promoteur et une alternative efficace des produits chimique et par conséquent préserver l'environnement et la santé humain.

Conclusion

Conclusion

La tomate est une plante des régions chaudes, peut être cultivée dans toutes les régions d'Algérie. La présence de champignons phytopathogène constituent le principal agent de détérioration des cultures et de chute des rendements. Parmi ces champignons phytopathogène figure le *Fusarium oxysporum f. sp. Radicis-lycopersici* qui cause des dégâts considérables sur les cultures de tomate partout dans le monde.

Les scientifiques sont toujours à la recherche des aspects techniques et scientifiques pour améliorer la culture et le rendement de la tomate par la lutte contre ces agents pathogènes qui provoque diminution de qualité et la quantité de cette culture.

La lutte chimique a constitué la principale source de lutte contre le *Fusarium*. Mais vu les conséquences néfastes de cette méthode sur l'environnement et la santé et à cause de l'évolution des champignons qui développent une résistance à ces substances chimiques, les scientifiques sont à la recherche de nouvelles alternatives prometteuses pour lutter contre la fusariose de la tomate.

La lutte biologique contre les agents causaux du flétrissement vasculaire et la pourriture racinaire à l'aide de champignons antagonistes semble être une bonne alternative à l'emploi des fongicides. De ce fait, pour entreprendre une lutte biologique contre les maladies des plantes, le choix des microorganismes antagonistes des agents pathogènes est un critère très important.

Le but de cette étude était d'étudier *in vivo* la réponse de la tomate infectée par le champignons pathogènes *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici* aux traitements par les extraits méthanoliques des feuilles et des racines de *Lupinus luteus* (L.).

À travers les résultats obtenus, nous avons remarqué que les extraits méthanoliques des feuilles et des racines du lupin jaune avaient une bonne efficacité contre le *Fusarium* et qu'ils ont permis un bon développement de la plante de tomate malgré la présence de cette contrainte biotique.

Le traitement des plantes infectées par l'extrait méthanolique des feuilles de *Lupinus luteus* a permis d'aboutir à des plantes avec des tiges hautes bien développées avec un nombre élevé de feuilles par plante, a réduit l'indice de maladie et a favorisé l'accumulation des sucres solubles et de la proline au niveau des racines.

Le traitement des plantes infectées par l'extrait méthanolique des racines de *Lupinus lutueus* a permis d'obtenir des biomasses aériennes sèches et fraîches importantes, des racines longues bien développées, de réduire l'indice de maladie et de favoriser l'accumulation des sucres solubles et de la proline dans les parties aériennes de la tomate infectée.

Références bibliographiques

- Agrios G.N., (2005). *Plant Pathology (5th edition)*. Department of Plant Pathology University of Florida, *Elsevier Academic Press*, pp 948.
- Aissat K., Nicot P.C., Abdelhadi G., Bardin M., Chibane M., (2008). Grey mould development in greenhouse tomatoes under drip and furrow irrigation. *Agron. Sustain. Dev.*, 28, 403- 409.
- Alabouvette C., Couteaudier Y. and Louvet J. (1984). Recherches sur la résistance des sols aux maladies. X-Comparaison de la mycoflore colonisant les racines de melons cultivés dans un sol résistant ou dans un sol sensible aux fusarioses vasculaires.4, 735- 740.
- Animashaun B.O., Popoola A.R., Enikuomehin O.A., Aiyelaagbe I.O.O., Imonmion J.E., (2017). Induced Resistance to Fusarium wilt (*Fusarium oxysporum*) in Tomato using Plant Growth Activator, Acibenzolar-S-methyl. *Nig. J. Biotech.* Vol. 32: 83 – 90.
- Antoine Pierson , Michel Helfre , Joseph Cuziat, (12 juin 2011). *Biologie Tropicale «Cellule de Malassez»*.
- Armstrong, G.N. et Armstrong, J.K., (1981). *Formas especiales and races of Fusarium oxysporum causing wilt diseases*. In P.E. Nelson, T.A. Toussoun, and R.J. Cook (ed.), *Fusarium: diseases, biology, and taxonomy*. Pennsylvania State University Press, University Park. pp. 391-399.
- Ascherio, A., Rimm, E. B., Giovannucci, E. L., Colditz, G. A., Rosner, B., Willett, W. C., Stampfer, M. J (1992). A prospective study of nutritional factors and hypertension among US men.
- Attitalla I.H., Fatehi J., Levenfors J., Brishammar S., (2004). A rapid molecular method for differentiating two special forms (*lycopersici* and *radicis-lycopersici*) of *Fusarium oxysporum*. *Mycological Research*, 108(7) : 787–794.
- Aziz N.H., Farag S.E., Mousa L.A.A., Abo-Zaid M.A., (1998). Comparative antibacterial and antifungal effects of some phenolic compounds. *Microbios*, 93: 43–54.
- Babič M.N., Zalar P., Ženko B., Schroers H.-J., Džeroski S., Gunde-Cimerman N., (2015). *Candida* and *Fusarium* species known as opportunistic human pathogens from customer-accessible parts of residential washing machines. *fungus Biol.*, 119: 95–113.

- Barna B., Sarhan A.R.T., Kiraly Z., (1983). The influence of nitrogen nutrition on the sensitivity of tomato plants to culture filtrates of *Fusarium* and to fusaric acid. *Physiological Plant Pathology*, 23 : 257-263.
- Behidji-Benyounes N., Dahmane T., Aknouche F., Demmouche K., (2013). Screening phytochimique et évaluation de l'activité antimicrobienne des alcaloïdes. *Sciences & Technologie*, 38: 27-37.
- Bernard J.L. and Bugaret Y. (2002). Prophylaxie et mesures indirectes: clarifier les définitions pour mieux mettre en oeuvre la protection. *Phytoma-La Défense des Végétaux* 549: 14-19.
- Blancard D., (1997). Maladies de la tomate : Observer identifier Lutter. I.N.R.A, Paris, France. 210 : 22-75-103
- Blancard D., Laterrot H., Marchoux G., Candresse T., (2009). Les maladies de la tomate: identifier, connaître, maîtriser. Edition Quae C/O INRA, Versailles, 679 p.
- Booth C., (1971). The Genus *Fusarium*. Ed. Common wealth Mycological Institute, Kew, Surrey, England. 237 p.
- Booth C., (1985). The *Fusarium* problem: Historical, economic and taxonomic aspects. In Moss, M.O. and Smith, J. E. (edd), *The applied Mycology of Fusarium*. Cambridge University Press. Pp: 1-13.
- Bougandoura N., et Bendimerad N., (2012). Effet antifongique des extraits aqueux et
- Bouras A., Benhamza S., (2013). Impact de deux extraits végétaux, le basilic *Ocimum basilicum* et l'ail *Allium sativum*, dans la lutte contre la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* sur six variétés de tomate *Lycopersicon esculentum* sous abris plastique à l'I.T.D.A.S. de Hassi Ben Abdellah-Ouargla. Mémoire de Master académique, université Kasdi Merbah, Ouargla, 60 p.
- Brink, M., Belay, G. (2006). Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1 Céréales et légumes secs. Canberra, Australia.

- Burgess, L.W., (1981). General ecology of the Fusaria. In P.E. Nelson, T.A. Toussoun, and R.J. Cook (ed.), *Fusarium: diseases, biology, and taxonomy*. Pennsylvania State University Press, University Park. 457 p.
- Causse M., Caranta C., Saliba-Colonbani V., Moretti A., Damidaux R. and Rousslle P., (2000). Valorisation des ressources génétique de la tomate par l'utilisation de marqueurs moléculaires. *Cahier Agricultures* 9 :197-210.
- Causse M., Friguet C., Coiret C., Lépicié M., Navez B., Lee M., Holthuysen N., Sinesio F., Moneta E., Grandillo S., (2010). Consumer Preferences for Fresh Tomato at the EuropeanScale: A Common Segmentation on Taste and Firmness. *Journal of Food Science*,75(9):S531-S541.
- Chaux C., et Foury C., 1994. La production légumière : légumineusepotagère légume fruits. Ed. *Lavoisier*, Paris. Pp: 125-153
- Corbaz R. (1990). Principe de phytopathologie et de lutte contre les maladies des plantes. *Presse polytechniques et universitaires romandes*.
- Couteaudier Y., 1990. Quantitative comparison of *Fusarium oxysporum* competitiveness in relation to carbon utilization. *FEMS Microbiol. Lett.*, 74: 261–267.
- Couteaudier Y., Letars M., Alabouvette C., Louvet J., (1985). Lutte biologique contre la fusariose vasculaire de la tomate. Résultats en serre de production. *Agronomie, EDP Sciences*, 5 (2), 151-156.
- Dababat, A.E.F.A., Sikora R.A., (2007). Induced resistance by the mutualistic endophyte, *Fusarium oxysporum* strain 162, toward *Meloidogyne incognita* on tomato. *Biocontrol Sci. Technol.*, 17: 969–975.
- De Cortes Sánchez et al., (2005). Alkaloid variation during germination in different lupin species.
- Demers J.E., Gugino B.K., Jiménez-Gasco M.D.M., (2015). Highly diverse endophytic and soil *Fusarium oxysporum* populations associated with field-grown tomato plants. *Appl. Environ. Microbiol.*, 81: 81–90.
- Dommergues Y., Mangenot F., (1970). Ecologie microbienne du sol. Ed. Masson, France. Pp: 40-45p.

- El Aoufir A., (2001). Étude du Flétrissement Vasculaire du Pois Chiche (*Cicer arietinum*) Causé par le *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceri*. Evaluation de la Fiabilité de L'analyse Isoenzymatique et de la Compatibilité Végétative pour la Caractérisation des Races Physiologiques.
- ElBassam, N., (2010). Handbook of bioenergy crops: a complete reference to species, development and applications. Earthscan, London, UK
- ElFatih and NR Anderson., (2002). Ethnic differences in total and HDL cholesterol concentrations: Caucasians compared with predominantly Punjabi Sikh Indo-Asians.
- El Mahjoub M., Le Picard D., Moreau M., (1984). Origin of tyloses in melon (*Cucumis melo*) in response to a vascular *Fusarium*. *IAWA Bulletin*, 5(4) : 307-311.
- El Modafar C., (1994). Aspects histologiques et biochimiques des interactions hôte parasites (*Platanus* spp., *Ceratocystis fimbriata* f. sp. *platani*). Réactions associées à la défense de l'hôte. Thèse Doctorat d'Etat. Université de Montpellier II. Sciences et Techniques du Languedoc. 258p.
- Elsamani, M. O., Habbani, S. S., Babiker, E. E., & Ahmed, I. A. M., (2014). Biochemical, microbial and sensory evaluation of white soft cheese made from cow and lupin milk.
- Engedaw, L. Y., (2012). Potential of Lupins (*Lupinus* spp. L.) for Human Use and Livestock Feed in Ethiopia.
- Frederix, M.J.J.; Den Brader, K., (1989). Résultats des essais de désinfection des sols contenant des échantillons de *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis*.
- Fudiyansyah N, Petterson DS, Bell RR, Fairbrother AH ., (1995). A nutritional, chemical and sensory evaluation of lupin (*L. angustifolius*) tempe. *Int J Food Sci Technol* 30:291–305.
- Galvan I.J., Mir-Rashed N., Jessulat M., Atanya M., Golshani A. (2008). Antifungal and antioxidant activities of the phytomedicine *pipsissewa*, *Chimaphila umbellata*. *Phytochemistry* 69: 738-746.
- Garcia-Lopez PM, Kachlicki P, Zamora-Natera F, Ruiz-Moreno J, tobiecki M., (2006). Profiling isoflavone conjugates in different organs of *Lupinus exaltatus* Zucc. *Food Sci Biotechnol* 15:24–27.

- Gerhardson B., (2002). Biological substitutes for pesticides. *Trends Biotechnol.* 2(8): 338–343.
- Ginies C., Gouble B., Bureau S., Causse M., Renard C., (2013). Home conservation strategies for tomato (*Solanum lycopersicum*): Storage temperature vs. duration – Is there a compromise for better aroma preservation? *Food Chemistry*, 139 (1-4): 825-836.
- Grysole J., (2005). La commercialisation des huiles essentielles : de la plante à la commercialisation. Manuel pratique. Ed. Corporation la sève .univ. de Chicoutimi Québec .pp 25-39.
- Gulewicz, P., Martinez-Villaluenga, C., Frias, J., Ciesiolka, D., Gulewicz, K., & Vidal-Valverde, C., (2008). Effect of germination on the protein fraction composition of different lupin seeds.
- Gurib -Fakima A., (2006). Medicinal plants: tradition of yesterday and drugs of tomorrow. *Molecular aspects of medicine*. Vol. (27): 1-93.
- Haas. D., Defago G., (2005). Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent Pseudomonads. *Nat. Rev. Microbiol* 3(4) : 307-319.
- Habtie, T., Adrnassu, S., and Asres, K., (2009). Effects of Processing Methods on Some Phytochemicals Present in the. Grown in Ethiopia.
- Hackbarth J., and Troll H.J., (1956). Lupinen als Koërnerleguminose und Futterpflanzen. In: Kapert H, Rudolf W (eds) *Handbuch der Pflanzenzüchtung*.
- Hadjadj S., Djerroudi O., Bissati S., (2011). Etude comparative des mécanismes biochimique de tolérance au stress salin de deux espèces d'Atriplex: *Atriplex halimus* L. et *Atriplex canescens* (Purch) Nutt.
- Hamitouch., (2007). Les plantes médicinales d'Algérie. Ed. O PU, Alger -277p.
- Hamoir J., Goret M., Mignon B., Gustin P., (2001). Actualité sur les antifongiques enregistrés en Belgique dans le cadre du traitement des dermatophytoses. *Ann. Med.Vet.*, 145:226-232.
- Hamrouche A., Kabouche M.B., (2014). Evaluation de l'effet de *Trichoderma* sp vis à vis de quelques pathogènes des lentilles (*Lens culinaris*). Mémoire de Master. Université Mentouri Constantine, Algérie. Nombre de pages??

- Harlan J.R., (1987). Les plantes cultivées et l'homme. Ed. Contes des enfants de Niangal, Sénégal. 414 p.
- Henni J.E., (1998). Morphologie, pouvoir pathogène et diversité génétique chez *Fusarium oxysporum f.sp.lucopersici*. Thèse de Doctorat d'état. Université d'Oran. 171p.
- Hollung K, Øverland M, Hrustić M, Sekulić P, Miladinović J, Martens H, Narum B, Sahlstrøm S, Sørensen M, Storebakken T, Skrede A., (2005). Evaluation of nonstarch polysaccharides and oligosaccharide content of different soybean varieties (Glycine max) by near-infrared spectroscopy and proteomics.
- ITIS (2019). Integrated Taxonomic Information System. Consulté le 30/07/2019, depuis le site internet : <https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt>
- Jackson FLC., (1991). Secondary compounds in plants (allelochemicals) as promoters of human biological variability. *Annu Rev Anthropol* 20:505–546.
- James B., Atcha-Ahowe C., Godonou I., Baimey H., Goergen G., Sikourou R., Toko M., (2010). Gestion intégrée des nuisibles en production maraîchère : Guide pour les agents de vulgarisation en Afrique de l'Ouest. Institut international d'agriculture tropicale (IITA), Ibadan, Nigeria. 120 p.
- Jean-luc., septembre (2015). La filière tomate, une filière engagée dans une dynamique de progrès : Livre Blanc .RDC, Paris. 59 :28-59p.
- Jime'nez-Marti'nez *et al.*, (2007). Diminution of quinolizidine alkaloids, oligosaccharides and phenolic compounds from two species of *Lupinus* and soybean seeds by the effect of *Rhizopus oligosporus*.
- Kabore S. J., (2014). Etude de la pathogénicité de trois principaux agents fongiques sur l'oignon (*Allium cepa* L.) et évaluation des effets antagonistes de cinq isolats de *Trichoderma* spp. contre ces agents in vitro. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Agriculture, Centre Agricole Polyvalent de Matourkou (CAPM), Bobo Dioulasso, Burkina Faso, 55 p.
- Katan T., Shlevin E., Katan J., (1997). Sporulation of *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* on stem surfaces of tomato plants and aerial dissemination of inoculums. *Phytopathology*, 87: 712-719.

- Keass E, Wink M., (1994). Molecular phylogeny of lupins.
- Keass E, Wink M., (1995). Molecular phylogeny of the Papilionoideae (Family Leguminosae): rbcL gene sequences versus chemical taxonomy.
- Khaled Hibar ,MejdaDaami-Remadi , HayfaJabnoun-Khiareddine ,Ibrahim El AkramZnaïdi , Mohamed El Mahjoub., (6 December 2005). Effet des extraits de compost sur la croissance mycélienne et l'agressivité du *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicislycopersici*
- Kim, J. C.;Pluske, J. R.; Mullan, B. P., (2008). Nutritive value of yellow lupins (*Lupinus luteus* L.) for weaner pigs. *Anim. Prod. Sci.*, 48 (9): 1225-1231. of the international lupin conference, 4–9 May 2005, Guadalajara, Jalisco, Mexico.
- King A.R.D., Young G., (1999). Characteristics and occurrence of phenolic phytochemicals. *Journal of the American Dietetic Association*, 99 (2): 213–218.
- Lepoivre P, Busogoro JP, Etame JJ, El Hadrami A, Carlier J, Harlier J, Harelimana G, Mourichon X, Panis B, Riveros AS, Salle G, Strosse H and Swennen R., (2003). Banana-Mycosphaerellafijinsis interaction. In Jacome et al.;mycosphaerelle leaf spot diseases of bananas: present status and outlook. Proceedings of the 2nd International workshop on mycosphaerella leaf spot diseases, san José, costa Rica , 20-23 may 2002. 151-159.
- Lepoivre P., (2003).Phytopathologie : bases moléculaires et biologiques des patho-systèmes etfondements des stratégies de lutte. Ed. De BoeckUniversité, Bruxelles, Belgique. 432p.
- Leroux P., (2007). Chemical control of Botrytis and its resistance to chemical fungicides. *In*: Botrytis: biology and control. Elad Y., Williamsson B., Tudzynski P. and Delen N. Eds. Springer, Dordrecht, the Netherlands. Pp: 195- 222.
- Leslie J.F., Summerell B.A., (2006). The *Fusarium* laboratory manual. Ed. BlackwellPublishingLtd, Oxford, UK. 386 p.
- Malamy J., Carr J.P., Klessig D.F. and Raskin I., (1992). Salicylic acid a likely endogenous signal in the resistance response of tobacco to viral infection. *Science*, 250: 10021004.
- McGovern R.J., (2015). Management of tomato diseases caused by *Fusarium oxysporum*

- Mouria B., Ouazzani-Touhami A., Douira A., (2013). Effet du compost de *Trichoderma harzianum* sur la suppression de la verticilliose de la tomate. *Journal of Applied Biosciences*, 70: 5531–5543.
- Mourichon X., (2003). Analyse du Risque Phytosanitaire (ARP): Organisme nuisible : *Fusarium oxysporum f. sp. cubense*. CIRAD BAN-c4, 26 p.
- Naika S., DE Jeude J.V.L., DE Goffau M., Hilmi M. and Van Dam B., (2005). La culture de la tomate production, transformation et commercialisation. 5ème édition, *Fondation Agromisaet CTA*, Wageningen, 105 p.
- Nefzi A., Jabnoun-Khiareddine H., Aydi Ben Abdallah R., Ammar N., Medimagh-Saïdana S., Haouala R., Daami-Remadi M., (2017). Suppressing Fusarium Crown and Root Rot infections and enhancing the growth of tomato plants by *Lycium arabicum* Schweinf. Ex Boiss. extracts. *South African Journal of Botany*, 113: 288–299.
- Nita-Lazar M., Heyraud A., Gey C., Braccini I., Lienart Y., (2004). Novel oligosaccharides isolated from *Fusarium oxysporum* L. rapidly induce PAL activity in Rubus cells. *Acta Biochimica Polonica*, 51: 625–647.
- Ortoneda M., Guarro J., Madrid M.P., Caracuel Z., Roncero M.I.G., Mayayo E., Di Pietro A., (2004). *Fusarium oxysporum* as a multihost model for the genetic dissection of fungal virulence in plants and mammals. *Infect. Immun.*, 72: 1760–1766.
- Pan L., Carcache E.J de Blanco et Kinghorn A.D., (2009). Plant-Derived naturel products as leads for drug discovery. In : osbourn AE et lanzotti V, éditeurs. *Plant-derived natural product ; synthesis, function, and application*. London New York : Springer; p. 547-551.
- Papadopoulos AX., (1991). Growing greenhouse tomatoes in soil and in soilless media: 03 Minister of Supply and Services Canada 1991 Cat. No. A53-186511991E ISBN O- 662-18859-4, 77pages.
- Park D., (1959). Some aspect of the biology of *Fusarium oxysporum* Schl. in soil. *Ann. Bot.*, 23: 35–49.
- Peralta I.E., Spooner D.M., (2007). History, origin and early cultivation of tomato (solanaceae). In: Razdan M.K., Mattoo A.K. editors. *Genetic Improvement of Solanaceous Crops*, Vol. 2. Enfield, USA: Science Publishers. Pp : 1-27.

- Petterson DS, Sipsas S, Mackintosh JB., (1997). The chemical composition and nutritive value of Australian grain legumes, 2nd edn. Grains Research and Development Corporation,
- Philouze J. et Laterrot H., (1992). La tomate. In : GALLAIS, A. et BANNEROT, H (ed.), Amélioration- des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection. INRA. Paris. P. 379-391.
- Picot A., Hourcade-Marcolla D., Barreau C., Pinson-Gadais L., Caron D., Richard-Forget F. and Lannou C., (2012). Interactions between *Fusarium verticillioides* and *Fusarium graminearum* in maize ears and consequences for fungal development and mycotoxin accumulation. *Plant Pathology* 61, 140-151.
- Pietrzykowski, M.; Gruba, P.; Sproull, G., (2017). The effectiveness of Yellow lupine (*Lupinus luteus* L.) green manure cropping in sand mine cast reclamation. *Ecol. Eng.*, 102: 72-79.
- Pitrat M., Foury C., (2003). Histoires de légumes, des origines à l'orée du XXIe siècle, Ed. INRA, Paris. 268 p.
- POoter N., (2001). essential oils and their production .crop and food research .N°39.
relation to carbon utilization. *FEMS Microbiol. Lett.*, 74: 261–267.
- Roth-Maier, D. A.; Paulicks, B. R., (2003). Feeding and nutritional value of sweet blue and yellow lupin seed (*Lupinus angustifolius* L., *Lupinus luteus* L.) for broiler chicks. *Arch. Geflügelk.*, 67 (4): 175-178.
- Rouxel F., Alabouvette C., Louvet J., (1979). Recherches sur la résistance des sols aux maladies. IV : mise en évidence du role des *Fusarium* autochtones dans la résistance d'un sol à la fusariose vasculaire du melon. *Ann. Phtopathol.*, 70:412-417.
- ShankaraN.,ShankaraNaika, Joep van Lidt de Jeude , Marja de Goffau, Martin Hilmi , Barbara van Dam., (2005). La culture de la tomate : Production, transformation et commercialisation. Cinquième édition révisée : 2005, Fondation Agromisa et CTA, Wageningen.
- Singha I.M., Kakoty Y., Unni B.G., Kalita M.C., Das J., Naglot A., Wann S.B., Singh L., (2011). Control of *Fusarium* wilt of tomato caused by *Fusarium oxysporum*f. sp. *lycopersici* using leaf extract of *Piper betle* (L.): a preliminary study. *World. J. Microbiol. Biotechnol*, 7 p.

- Sisti M., De-Santi M., Fraternali D., Ninfali P., Scoccianti V., (2008). Antifungal activity of *Rubus ulmifolius* Schott standardized *in vitro* culture. *LWT Food Science and Technology*, 41: 946–950.
- Sitren HS, Ahmed EM, George DE., (1985). In vivo and in vitro assessment of antinutritional factors in peanut and soy. *J ;Food Sci* 50:419–423.
- Smith H.C., (1965). The morphology of *Verticillium albo-atrum*, *V. dahlia*, and *V. tricopos*. *New Zealand J. Agric. Res.*, 8 :450-478.
- Snissi A., Ezzouhri B., Rossi D., Lairini K., (2006). Contrôle biologique de la fusariose de latomate causée par le *Fusarium oxysporumf. sp. lycopersici* et *Fusarium oxysporum f.sp..radicis-lycopersici*. *Biochimie, Substances Naturelles et Environnement* : 352-356.
- Snousi S.A., (2010). Étude de base sur la Tomate en Algérie. Ed. F.A.O., Rome, Italy. 53p.
- Somchit-Assavacheep, A.; Campbell, B. K.; Khalid, M.; Kendall, N. R.; Scaramuzzi, R. J., (2013). The effect of short-term nutritional supplementation of ewes with lupin grain (*Lupinus luteus*) on folliculogenesis, the concentrations of hormones and glucose in plasma and follicular fluid and the follicular levels of P450 aromatase and IRS-1, -2 and -4. *Reproduction*, 145 (4): 319-333.
- Stampfer, M. J., (1992). A prospective study of nutritional factors and hypertension (2006) Fondation PROTA, Wageningen, Pays-Bas: Backhuys Publishers, Leiden,
- Sujak, A., Kotlarz, A., and Strobel, W., (2006). Compositional and nutritional evaluation of several lupin seeds.
- Sun S and Huang J., (1985). Formulated soil amendment for controlling fusarium wilt and other soilborne diseases. *Plant Disease*, 69:917-920.
- Terekhina, N. V., (2008). *Lupinus luteus* L..In: Afonin, A. N.; Greene, S. L.; Dzyubenko, N. I.; Frolov, A. N. (Eds.), 2008. Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries. Economic Plants and their Diseases, Pests and Weeds Western Ethiopia. *ZeitschriftfürNaturforschung C*, 66(7-8), 403-408.
- Thurzova f ;kresanek i ; marecek k ;mika., (1977).les plantes _santé qui poussent autour de nous.

- Troll W., Lindsley J., (1955). A photometric method for the determination of proline. *J Biol Chem*, 215: 655-660.
- Tool., 1986. Aspects pratiques de la production de blanc ; La culture des champignons, 318p.
- Villajuan-Abgona R., Kagayama K. Hyakumachi M., (1996). *Biocontrol*
- von Baer D, Saelzer M, Vega P, Ibieta L, Molina E, von Baer E, Ibanez R, Hashaben U., (2000). Isoflavones and anthracnose in *Lupinus albus* and *L. angustifolius*. In: van Santen E, Wink M, Weissmann S, Romer P (eds) *Lupin, an ancient crop for the new millennium. Proceedings of the 9th international lupin conference, 20–24 June 1999. Klink/Muritz, Germany*,
- Vakalounakis D.J. Fragkiadakis G.A. (1999). Genetic diversity of *Fusarium oxysporum* isolates from cucumber: differentiation by pathogenicity, vegetative compatibility and RAPD fingerprinting. *Phytopathology* 89, p. 161–168.
- Wait R., Gianazza, E., Brambilla, D., Eberini, I., Morandi, S., Arnoldi, A., & Sirtori, C. R., (2005). Analysis of *lupinus albus* Storage Proteins by Two-Dimensional Electrophoresis and Mass Spectrometry.
- Wait., (2005). Analysis of *Lupinus albus* storage proteins by two-dimensional electrophoresis and mass spectrometry. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(11), 4599-4606.
- Watt, M., et Evans, J. R., (1999). Proteoid Roots. *Physiology and Development*.
- Wink M, Mohamed GIA., (2003). Evolution of chemical defense traits in the Leguminosae: mapping of distribution patterns of secondary metabolites on a molecular phylogeny inferred from nucleotide sequences of the rbc L gene.
- Wink M., (2006). Health promoting activities of non-nutritional factors in lupins. In: van Santen E, Hill GD (eds) *Mexico, where old and new world lupins meet. Proceedings of the international lupin conference, 4-9 May 2005, Guadalupe, Jalisco, Mexico, Canterbury, New Zealand*, pp308-319.
- Wolko, B.; Clements, J. C.; Naganowska, B.; Nelson, M. N.; Yang, H., (2010). *Lupinus*. In: Kole C. (eds), *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources*, Springer, Berlin, Heidelberg.

- Worku M., Sahe S., (2018). Review on Disease Management Practice of Tomato Wilt Caused *Fusarium oxysporum* in Case of Ethiopia. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*, 9 (11). 4 p.
- Yeheyis, L., Kijora, C., Wink, M., & Peters, K. J., (2011). Effect of a traditional processing method on the chemical composition of local white lupin (*Lupinus albus* L.) seed in North-Western Ethiopia.
- Yorgancilar, M., Babaoglu, M., Hakki, E. E., & Atalay, E., (2009). Determination of the relationship among Old World Lupin (*Lupinus* sp.) species using RAPD and ISSR markers.
- Zdunczyk, Z .; Krawczyk, M .; Mikulski, D.; Jankowski, J .; Przybylska-Gornowicz, B .; J. Juskiwicz., (2016). Effets bénéfiques de l'augmentation des niveaux alimentaires de farine de graines de lupin jaune (*Lupinus luteus*) sur les paramètres de productivité et la physiologie du tractus gastro-intestinal chez les dindes âgées de huit semaines. *Anim. FeedSci. Technol.*, 211: 189-198.
- Zaim S., Belabid L. and Bellahcene M. (2013). Biocontrol of chickpea Fusarium wilt by *Bacillus* spp. rhizobacteria. *J. Plant Prot. Res*, 53 (2): 177–183.

Résumé

En Algérie, l'utilisation des produits phytosanitaires connaît une croissance considérable suite au développement de l'agriculture et dans le cadre des actions de lutte contre les pathogènes. Mais ce mode d'action est nocif pour l'environnement et la santé.

Dans le cadre de notre étude et afin de mettre en évidence l'efficacité *in vivo* des extraits d'une *Lupinus luteus*, nous avons testé ces derniers sur une culture jeune de tomate infectée par *Fusarium oxysporum f.sp. radicis-lycopersici*.

À travers les résultats obtenus, nous avons remarqué que les extraits méthanoliques des feuilles et des racines du lupin jaune avaient une bonne efficacité contre le *Fusarium* et qu'ils ont permis un bon développement de la partie aérienne et racinaires, de réduire l'indice de maladie et de favoriser l'accumulation des sucres solubles et de la proline au niveau des feuilles et des racines des plantes de tomate infectées.

L'utilisation des extraits du lupin jaune s'avère efficace pour protéger les cultures de tomates contre ce pathogène.

Mots clés : *Fusarium oxysporum*, tomate, extraits des feuilles, extrait des racines. *Lupinus luteus*.

Abstract

In Algeria, the use of phytosanitary products is growing considerably as a result of the development of agriculture and as part of the fight against pathogens. But this mode of action is harmful to the environment and health.

In order to demonstrate the *in vivo* efficacy of *Lupinus luteus* extracts, we tested them on a young tomato crop infected with *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici*.

Through the results obtained, we noticed that the methanolic extracts of the leaves and roots of yellow lupin had a good efficiency against *Fusarium* and that they allowed a good development of the aerial and root parts, reducing the disease index and favoring the accumulation of soluble sugars and proline at the level of the leaves and roots of infected tomato plants.

The use of yellow lupin extracts is proving effective in protecting tomato crops against this pathogen.

Key words: *Fusarium oxysporum*, tomato, leaf extract, root extract. *Lupinus luteus*

المخلص:

في الجزائر ، يتزايد استخدام المبيدات الفطرية النباتية بشكل كبير نتيجة لتطور الزراعة وكجزء من مكافحة مسببات الأمراض. لكن هذه المبيدات الكيميائية ضارة بالبيئة والصحة.

من أجل إظهار فعالية مستخلصات الترمس الأصفر ، قمنا باختبارها على نباتات طماطم مزروعة حديثا و مصابة بفطر *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici*.

من خلال النتائج التي تم الحصول عليها ، لاحظنا أن المستخلصات الميثانولية لأوراق وجذور الترمس الأصفر لها كفاءة جيدة ضد *Fusarium* وأنها سمحت بتطور جيد للأجزاء الهوائية والجذرية ، مما قلل من مؤشر المرض حفز تراكم السكريات الذائبة. والبرولين على مستوى أوراق وجذور نباتات الطماطم المصابة.

أثبت استخدام مستخلصات الترمس الأصفر فعاليته في حماية نباتات الطماطم من هذا العامل الممرض.

الكلمات الأساسية: *Fusarium oxysporum* ، الطماطم ، مستخلص الأوراق ، مستخلص الجذر. الترمس الأصفر