

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ibn Khaldoun –Tiaret–
Faculté Sciences de la Nature et de la Vie
Département Sciences de la Nature et de la Vie



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : Toxicologie et sécurité alimentaire

Présenté par :

KADDOUR Imene Samer

KAANEK Karima

Thème

Étude de l'effet des extraits du lupin blanc (*Lupinus albus*) sur le développement du champignon mycotoxinogène *Fusarium spp.*

Soutenu le .

Jury:

Grade

Président: Dr. BAROUAGUI S.

M.C.B. Faculté SNV, Université de Tiaret.

Encadrant: Dr. DAHLIA F.

M.C.A. Faculté SNV, Université de Tiaret.

Co-encadrant: M^{lle} ABAID S.

Doctorante, Université de Sidi Bel Abbas.

Examineur 1: Dr. YEZLI W.

M.C.A. Faculté SNV, Université de Tiaret.

Examineur 2:

Invité:

Année universitaire 2020-2021

Remerciements

On remercie Dieu Le Tout Puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mme DAHLIA Fatima, on la remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nos remerciements s'adressent à Mme ABAD Sihem pour son aide pratique et son soutien moral et ses encouragements.

Nous remercions vivement Mr YEBZI Wassim et Mme BAROUAGUI Soria d'avoir accepté de faire partie du jury de notre soutenance.

Nos remerciements s'adressent également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.

Dédicace

Je dédie ce mémoire de tout mon cœur à :

Mes parents :

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier et trouve ici le résultat de longues années de sacrifices pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

*Mon frère **Mohamed Amine** et ma sœur **Naima** qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance et de courage.*

*À tous les membres des familles **Kaddour** et **Blaha**, Que Dieu vous protège et vous préserve.*

*A mes chères cousines **Ikram, Wissam, Rajaa, Asmaa, Sanaa, Chaimaa, Amal, Sabrina, Ahlam, Djamilia, Maroua, Soumia et Hadjer.***

*A mon binôme : **Karima***

*A mes chères amies : **Farah, Nawel et Ahlam***

*A mes amis : **Kadi et Djamel***

*À toutes la promotion **2020-2021** de Toxicologie et sécurité alimentaire*

À tous ceux et celles, qui de près ou de loin, ont permis par leurs conseils et leurs compétences, la réalisation de ce mémoire.

Imene Samer

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents que nulle dédicace ne puisse exprimer ce que je leurs dois, pour leur bienveillance, leur affection et leur soutien trésors de bonté, de générosité et de tendresse, en témoignage de mon profond amour et ma grande reconnaissance que Dieu vous garde.

A ma tante qui est toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.

*A mes chère sœur **Hamida** et **Fouzia***

*A mes frères **Abdelkader**, **Mostafa** et **Nourdin***

A mon grand père

*A mes amies **Farah**, **Hadjer** et **Nawel** qui non pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études que Dieu les protège et leur offre la chance et le bonheur.*

*San oublier ma binôme **Samar**, que je remercie vivement, pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce travail.*

Karima

Résumé

La culture de tomate occupe une place privilégiée dans le secteur socio-économique. Cette culture est sujette à de nombreuses maladies causées par divers agents pathogènes principalement par le champignon *Fusarium oxysporum* f.sp.*radicis radicis-lycopersici*, responsable de la pourriture des racines et du collet. La lutte contre ces maladies des plantes dépend en grande partie des produits chimiques principalement les fongicides qui ont des effets nocives pour la santé de l'homme et pour l'environnement. Par conséquent, l'utilisation des plantes médicinales est une solution alternative et optimale.

Cette étude a pour objectif de tester, in vivo, l'activité antifongique des extraits méthanoliques des feuilles et des racines du lupin blanc (*Lupinus albus* L.) sur le développement du *Fusarium oxysporum* f.sp.*radicis-lycopersici*, chez la tomate.

À travers les résultats obtenus, nous avons remarqué que les extraits méthanoliques des feuilles et des racines du lupin blanc (*Lupinus albus*) avaient une bonne efficacité contre le *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-lycopersici* 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 de la proline au niveau des feuilles et des racines des plantes de tomate infectées.

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

Mots clés : *Fusarium oxysporum* f.sp.*radicis- radicis-lycopersici* ; Tomate ; Extraits des feuilles ; Extraits des racines ; Fongicide ; *Lupinus albus* L,

ملخص

تحتل زراعة الطماطم مكانة متميزة في القطاع الاجتماعي والاقتصادي. تكون محاصيل الطماطم عرضة للعديد من الأمراض خاصة مرض ذبول الطماطم الناجم عن الفطر *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-lycopersici* المسؤول عن تعفن الجذور والتاج. تعتمد مكافحة هذه الأمراض النباتية بشكل كبير على المواد الكيميائية، ومبيدات الفطريات بشكل أساسي، والتي لها آثار ضارة على صحة الإنسان والبيئة. لذلك، فإن استخدام النباتات الطبية هو الحل البديل والأمثل.

تتعلق هذه الدراسة باختبار النشاط المضاد للفطريات للمستخلصات الميثانولية من أوراق وجذور الترمس الأبيض (*Lupinus albus*) على تطور فطر *Fusarium oxysporum* f.sp.*radicis- radicis-lycopersici* في الطماطم.

من خلال النتائج التي تم الحصول عليها، لاحظنا أن المستخلصات الميثانولية لأوراق وجذور الترمس الأبيض لها كفاءة جيدة ضد الفيوزاريوم وأنها سمحت بتطور جيد للأجزاء الهوائية والجذرية، مما قلل من مؤشر المرض وسمح بتراكم البرولين على مستوى أوراق وجذور نباتات الطماطم المصابة.

أثبت استخدام مستخلصات الترمس الأبيض فعاليته في حماية محاصيل الطماطم من هذا العامل الممرض.

الكلمات الرئيسية: الفيوزاريوم اوكسيسبوروم، الطماطم، مبيد الفطريات، مستخلص الأوراق، مستخلص الجذر، الترمس الابيض

Abstract

The tomato culture occupies a privileged place in the socio-economic sector. Tomato crops are subject to many diseases especially wilt disease caused by the fungus *Fusarium oxysporum* f.sp.*radicis- radicis-lycopersici*, responsible of root and crown rot. The control of these plant diseases depends largely on chemical products mainly fungicides which have harmful effects on human health and the environment. Therefore, the use of medicinal plants is an alternative and optimal solution.

This study concerns the in vivo test of the antifungal activity of methanolic extracts of leaves and roots of white lupin (*Lupinus albus* L.) on the development of *Fusarium oxysporum* f.sp.*radicis- radicis-lycopersici*, in tomato.

Through the results obtained, we noticed that the methanolic extracts of the leaves and roots of white 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 favouring the accumulation of proline at the level of the leaves and roots of infected tomato plants.

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

Key words: *Fusarium oxysporum* f. sp.*radicis- radicis-lycopersici* ; Tomato ; Fungicide ; leaf extract ; root extract ; *Lupinus albus* L.

Liste des abréviations

ANOVA:	Analyse de variance.
CM:	Carré moyen.
ddl:	Degrés de liberté.
F:	Fusarium.
F:	Test de Fisher.
f. sp:	Forme spéciale.
ns	Non significatif.
P.	Probabilité ou signification.
PSA:	Poids sec.
SCE :	Somme des carrés des écarts.
* :	Significatif au niveau 5% (0,05).
** :	Significatif au niveau 1% (0,01).
*** :	Significatif au niveau 0,1% (0,01).
PGPR :	Plant Growth Promoting Rhizobacteria (Rhizobactéries favorisant la croissance des plantes)
PR :	Les protéines de pathogénèse.

Liste des figures

Figure 1: Préparation du substrat utilisé pour la culture de tomate.....	6
Figure 2: Préparation des extraits méthanoliques des feuilles et des racines de lupin blanc. (A): feuilles et (B): racines.....	6
Figure 3: Préparation de milieu de culture (PSA)	7
Figure 4: Repiquage du champignon <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>radicis- radicis-radicis-lycopersici</i> sur le milieu PSA.....	8
Figure 5: Préparation de l'inoculum fongique	8
Figure 6 : Dispositif expérimental	10
Figure 7 : Fongicide chimique utilisé.....	11
Figure 8 : Symptômes de fusariose observés sur la culture de tomate. A: Plante non infectée sans symptômes (témoin négatif) ; B : Symptômes sur la tige d'une plantes de tomate infectées par <i>Fusarium</i> ; C : Symptômes sur feuilles de plantes infectées par <i>Fusarium</i>	14
Figure 9 : Evolution de la hauteur des tiges en fonction des dates et des traitements	15
Figure 10 : Variation de la hauteur finale des tiges en fonction des traitements.....	16
Figure 11 : Variation de longueur des racines fonction des traitements	17
Figure 12 :Variation de la biomasse aérienne fraîche en fonction des traitements	19
Figure 13 : Variation de la biomasse racinaires fraîche en fonction des traitements	19
Figure 14 : Variation des poids des biomasses aériennes et racinaires sèches en fonction des traitements.	21
Figure 15 : Variation de nombre des feuilles en fonction des traitements	22
Figure 16 : Variation d'indice de maladie en fonction des traitements.....	23
Figure 17 : Variations des teneurs en sucres solubles au niveau des feuilles en fonction des traitement adoptés.....	25
Figure 18 : Variations des teneurs en sucres solubles au niveau des feuilles en fonction des traitement adoptés.....	26
Figure 19 : Variations des teneurs en proline au niveau des feuilles en fonction des traitements adoptés.....	28
Figure 20 : Variations des teneurs en proline au niveau des racines en fonction des traitement adoptés	29

Liste des tableaux

Tableau 1 : Analyse de variance des hauteurs des tiges.	15
Tableau 2 : Analyse de variance des longueurs des racines	17
Tableau 3 : Analyse de variance des biomasses aériennes et racinaires fraîches	18
Tableau 4 : Analyse de variance des biomasses aériennes et racinaires sèches.	20
Tableau 5 : Analyse de variance de nombre des feuilles	21
Tableau 6 : Analyse de variance d'indice de maladie	22
Tableau 7 : Analyse de variance de dosage de sucre soluble des feuilles.....	24
Tableau 8 : Analyse de variance de dosage de sucre soluble des racines	25
Tableau 9 : Analyse de variance de proline des extraits méthanoliques des feuilles	26
Tableau 10 : Analyse de variance de proline des extraits méthanoliques des racines.....	28

Table des matières

Remerciements	i
Dédicace	ii
Résumé.....	iv
Liste des abréviations	v
Liste des figures.....	vi
Liste des tableaux	vii
Table des matières	viii
Introduction	1
Partie expérimentale	5
Chapitre 1 : Matériel et méthodes	5
1. Objectif de l'étude	5
2. Matériel.....	5
2.1. Matériel végétal utilisé dans l'essai	5
2.2. Matériel microbiologique.....	5
3. Méthodes.....	5
3.1. Préparation de la plante hôte (tomate)	5
3.2. Préparation des extraits méthanoliques.....	6
3.3. Détermination de l'efficacité in vivo des extraits de <i>Lupinus albus</i> contre <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis</i> - <i>radicis-radicis-lycopersici</i>	7
3.3.1. Préparation de milieu de culture	7
3.3.2. Repiquage du champignon.....	7
3.3.3. Préparation de l'inoculum fongique	8
3.3.4. Test antifongique.....	9
4. Analyse statistique.....	13
Chapitre 2 : Résultats et discussions	14
1. Hauteur des tiges	14
2. Longueur des racines.....	16
3. Biomasses aériennes et racinaires fraîches et sèches.....	18
3.1. Biomasse aérienne et racinaire fraîches	18
3.2. Biomasse aérienne et racinaire sèches	20
4. Nombre des feuilles et indice de maladie	21
4.1. Nombre des feuilles.....	21

4.2. Indice de maladie	22
5. Teneur en sucres solubles	23
5.1. Au niveau des feuilles	23
5.2. Au niveau des racines.....	25
6. Teneur en proline	26
6.1. Au niveau des feuilles	26
7. Discussion	29
Conclusion.....	33
Références bibliographiques	

Introduction

Consommée fraîche ou transformée, la tomate tient actuellement une place de choix dans l'alimentation humaine. C'est en effet le premier légume au plan mondial, avec un volume de production de plus de 120 millions de tonnes et une superficie cultivée supérieure à 4 millions d'hectares (Blancard *et al.*, 2009 ; Worku et Sahe, 2018). Elle est originaire des Andes d'Amérique du Sud. Elle fut domestiquée au Mexique, puis introduite en Europe en 1544. De là, sa culture s'est propagée en Asie du Sud et de l'Est, en Afrique et en Moyen Orient (Naika *et al.*, 2005)

La tomate est considérée comme l'une des cultures légumières les plus importantes et les plus rémunératrices du monde en raison de sa haute valeur nutritive ainsi que de ses propriétés antioxydantes et curatives (Biswas *et al.*, 2012).

Les fruits sont riches en minéraux, en vitamines, en acides aminés essentiels, en sucres ainsi qu'en fibres alimentaires. La tomate contient beaucoup de vitamines B et C, de fer et de phosphore (Naika *et al.*, 2005). Le lycopène, pigment rouge, que la tomate contient en abondance, présente un intérêt certain car le lycopène a un pouvoir antioxydant élevé contre les radicaux libre d'oxygène qui provoquent certains anomalies sévères (Worku et Sahe, 2018).

La tomate est sensible à différentes moisissures, bactéries et virus. Les moisissures et les bactéries provoquent des maladies au niveau des feuilles, des fruits ou des racines. Une infection virale provoque souvent une croissance retardée et une diminution au niveau de la production. Les dommages causés par les maladies peuvent conduire à une réduction considérable de la récolte (Naika *et al.*, 2005).

Des études antérieures indiquent que les principales maladies de la tomate qui ont une importance économique sont L'alternariose (*Alternaria solani*), le mildiou (*Phytophthora infestans*), la tache septorienne (*Septoria radialis-radialis-lycopersici*), les virus, l'oïdium (*Leveillula taurica*), le nématode des racines (*Meloidogyne* spp.), la fusariose et le flétrissement bactérien (Worku et Sahe, 2018).

Une infection fongique est souvent causée par des spores fongiques qui se sont posées sur les feuilles, y ont germé puis ont pénétré le tissu de la plante par le biais des stomates (de petits orifices dans la peau des plantes), des blessures ou parfois même directement au travers de la peau de la plante (Naika *et al.*, 2005).

La maladie de la pourriture racinaire, causée par le *Fusarium oxysporum f.sp. radialis-radialis-lycopersici*, est l'une des maladies les plus dévastatrices de la tomate. Les effets de cet

agent pathogène peuvent réduire considérablement le rendement des cultures de tomate ou entraîner leur mort dans les cas graves (Akladios *et al.*, 2015).

Le *Fusarium oxysporum*, pénètre par les racines et interfère avec les vaisseaux conducteurs d'eau de la plante. Lorsque l'infection se propage dans les tiges et les feuilles, elle restreint la circulation de l'eau, ce qui provoque le flétrissement et le jaunissement du feuillage. Les symptômes apparaissent souvent plus tard dans la saison de croissance (floraison et fructification) et sont d'abord remarqués sur les feuilles inférieures (plus âgées) sous forme de taches jaunes et de flétrissement. À mesure que la maladie progresse, les jeunes feuilles sont également touchées et la plante finit par mourir. Dans de nombreux cas, seule une branche ou un côté de la plante présente des symptômes (Worku et Sahe, 2018).

Les plantes possèdent des systèmes de défense latents qui peuvent être activés en cas d'attaque par des agents pathogènes. La résistance induite chez les plantes désigne un état de capacité défensive accrue créé par un stimulus préalable. Deux types différents de résistance induite ont été largement étudiés : la résistance systémique acquise et la résistance systémique induite. La résistance systémique acquise est induite par l'exposition d'une plante à des éliciteurs abiotiques (produits chimiques) ou biotiques (microorganismes pathogènes et non pathogènes), dépend de la production de salicylate (acide salicylique) et est associé à l'accumulation de protéines liées à la pathogénèse (PR). La résistance systémique induite est déclenché par l'exposition des racines à des souches spécifiques de rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR), en particulier *Bacillus* et *Pseudomonas spp*, est dépendant de l'éthylène et du jasmonate (acide jasmonique), indépendant du salicylate, et n'est pas associé à l'accumulation de protéines PGPR (McGovern, 2015).

De nombreuses maladies des plantes dépendent fortement des produits agrochimiques et principalement des fongicides. Ces fongicides peuvent prévenir l'infection mais n'ont pas tous une activité curative ; par conséquent, l'intervalle entre les pulvérisations est généralement court (Worku et Sahe, 2018). En plus de l'apparition d'isolats plus agressifs, et d'isolats qui ne sont plus inhibés par les protections chimiques, la charge sur l'environnement est donc élevée, dont entre autres, l'accumulation des résidus entraînant la pollution des sols, l'apparition et la généralisation des mécanismes de résistance chez les pathogènes et le déséquilibre écologique dû au fait que beaucoup de ces composés de synthèse ont un large spectre d'action, détruisant non seulement les agents nuisibles, mais également les autres populations de l'écosystème (Rakotoarimanga *et al.*, 2014).

Il est donc nécessaire de développer de nouvelles stratégies de lutte efficaces qui ne compromettent pas la sécurité environnementale (Silva *et al.*, 2017), c'est ce qu'on appelle "la lutte biologique" qui est basée sur la compétition pour les nutriments essentiels, sur l'activité antagoniste vis-à-vis de la croissance des pathogènes via la production d'antibiotiques ou d'enzymes et/ou sur leur capacité à stimuler des systèmes de défense chez l'hôte végétal (Rakotoarimanga *et al.*, 2014). L'utilisation de la lutte biologique conduit à la protection la biodiversité et/ou la protection des produits récoltés dans les systèmes naturels et contribue à la restauration de systèmes naturels affectés par des espèces adventices, voire la préservation de services écosystémiques, sans oublier que des programmes efficaces de lutte biologique supprimant organismes cibles d'importance économique ont apporté des avantages monétaires directs aux producteurs, non seulement mais en particulier pour ceux qui utilisent une approche (De Clercq *et al.*, 2011).

L'utilisation d'extrait de plantes est l'une des méthodes les plus prometteuses, plus efficaces, sûres et écologiques pour éradiquer l'agent pathogène de la tomate mûre (Nasrin *et al.*, 2018). Les extraits végétaux constituent des solutions de lutte particulièrement durables. Ainsi, différentes substances naturelles d'origine végétale comme la laminarine issue d'une algue brune, et toute une gamme diversifiée d'extraits de plantes, tant dans l'espèce que dans la méthode d'extraction utilisée (extraits aqueux, extraits alcooliques, et huiles essentielles) ont été testées en vue d'être utilisées contre les agents phytopathogènes et ont montré leurs efficacités (Angaman *et al.*, 2020).

Dans ce cas-là nous allons mettre la lumière sur la plante du lupin et précisément (*Lupinus albus* L.) et son effet antifongique.

Le genre *Lupinus* L. (Fabaceae), un genre vaste et diversifié, comprend plus de 200 espèces tels que *Lupinus albus*, *Lupinus luteus*, *L. angustifolius*, *L. micranthus*, *L. varius*, *L. hispanicus* (Erdemoglu *et al.*, 2007).

Le lupin blanc (*Lupinus albus* L.) est une légumineuse de grande culture à forte teneur en protéines. Il présente de nombreux avantages pour la consommation humaine et est utilisé à des fins médicales et industrielles, ainsi que pour son efficacité dans la fixation de l'azote (Abd El-Rahman *et al.*, 2012).

Il a été rapporté que le lupin blanc *Lupinus albus* cultivé en Turquie contenait des quantités élevées de protéines (32,2%), de fibres (16,2%), d'huile (5,95%) et de sucre (5,82%). Les valeurs moyennes des minéraux tels que le phosphore, le fer, le zinc et le calcium étaient

respectivement de 248,90, 12,51, 4,68 et 82,56 mg/100 g. L'huile des graines était composée de 13,5% d'acides gras saturés, 55,4% d'acides gras monoinsaturés et 31,1% d'acides gras polyinsaturés. Le saccharose constituait 71 % de la teneur totale en sucre des graines. Les graines de lupin contenaient 3,9 mg/kg de thiamine, 2,3 mg/kg de riboflavine et 39 mg/kg de niacine. Ils ont constaté que le lupin est un excellent matériau alimentaire à haute valeur nutritionnelle (Lim, 2011).

Les graines de lupin obtenues à partir de *L. albus* sont utilisées comme diurétique antihelminthique et tonique dans la médecine populaire. En outre, ils sont utilisés dans le traitement des troubles hépatiques, du diabète, des hémorroïdes et de l'eczéma (Erdemoglu *et al.*, 2007).

Les composés phénoliques les plus abondants détectés dans les graines de lupin appartiennent aux sous-classes des acides phénoliques, des flavones et des isoflavones (Karamaća *et al.*, 2018). Dans des études antérieures, des corrélations positives entre les contenus phénoliques totaux (TPCs) et les activités antioxydantes ont été rapportées. Des activités antibactériennes et antimutagènes pour les extraits polyphénoliques de graines de lupin ont également été observées (Karamaća *et al.*, 2018).

C'est dans ce contexte que nous avons proposé, dans le cadre d'accomplissement d'un projet de fin d'étude de Master en sécurité alimentaire, à réaliser un travail dont l'objectif consiste à trouver des solutions alternatives pour lutter contre la maladie de la pourriture racinaire de la tomate, causée par le *Fusarium oxysporum f.sp. radicis-radicis-lycopersici*, en utilisant les extraits d'une plante médicinale (*Lupinus albus* L.), pour éviter les effets négatifs et les risques des pesticides chimiques .

Partie expérimentale

Chapitre 1 : Matériel et méthodes

1. Objectif de l'étude

L'objectif de notre étude est l'évaluation de l'efficacité des extraits méthanoliques des feuilles et des racines du Lupin blanc (*Lupinus albus* L.) sur le développement du *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-radici-radici-lycopersici* chez la tomate.

2. Matériel

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

2.1. Matériel végétal utilisé dans l'essai

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

Les feuilles et les racines du lupin blanc (*Lupinus albus* L.) étaient utilisées pour la préparation des extraits méthanoliques.

Une culture en pot a été préparée. Les graines de lupin blanc étaient germées puis transplantées dans des pots contenant substrat stérilisé composé des volumes égaux de sol, sable et de terreau. Les plantes du lupin blanc étaient irriguées régulièrement par l'eau de robinet. Après une période de trois mois, les plantes ont été récoltées et séchées à l'air libre et à l'obscurité pour servir, par la suite, pour la préparation des extraits.

2.2. Matériel microbiologique

Pour le test antifongique, la souche *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-Radicis-radici-lycopersici*, fournis aimablement par le laboratoire de microbiologie appliqué de l'université d'Oran, était utilisée comme champignon phytopathogène. Ce dernier attaque les parties racinaires de la tomate. Cette souche fongique était référenciée dans Genbank accession sous le numéro MG973090 (Yezli et al., 2019).

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 7 jours. Après la germination des graines et la sortie de la radicule, 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 transplantées 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 (1v: 1v: 1v). Ce substrat était préalablement stérilisé à 120 °C pendant 3 heures dans une étuve ventilée (Fig. 1).



Figure 1: 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 blanc 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. 2).

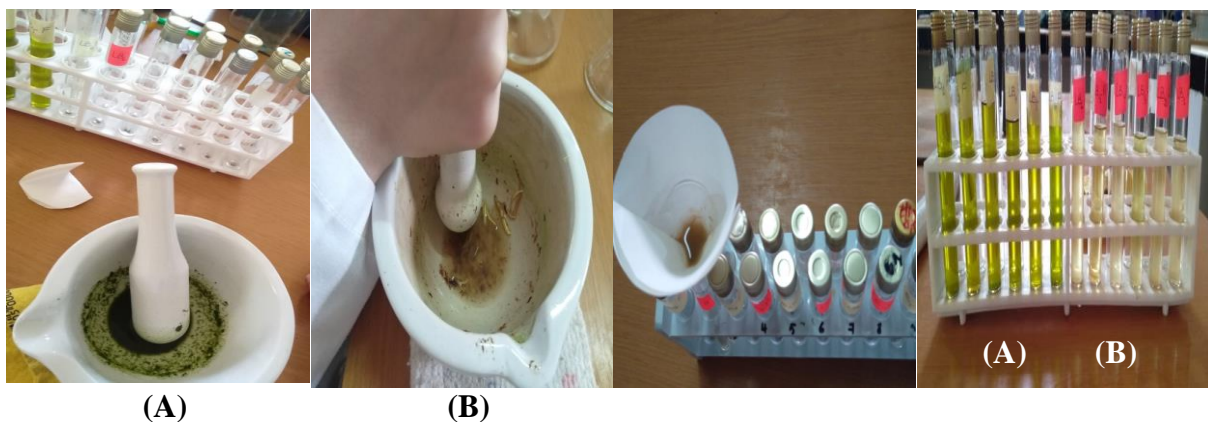


Figure 2: Préparation des extraits méthanoliques des feuilles et des racines de lupin blanc.

(A): feuilles et (B): racines.

3.3. Détermination de l'efficacité *in vivo* des extraits de *Lupinus albus* contre *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-radicis-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-radicis-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. 3). 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 boites de Pétri à raison de 15 ml par boite et laissé se solidifier (Mondo et *al.*, 2016).



Figure 3: 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 boite Pétri (Fig. 4). Plusieurs boites de Pétri étaient préparé par le même principe. Ces boites de Pétri étaient incubées à 25 °C pendant 7 jours dans une étuve ventilée.



Figure 4: Repiquage du champignon *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis- radicis- radicis- lycopersici* sur le milieu PSA.

3.3.3. Préparation de l'inoculum fongique

L'inoculum fongique était préparé en récupérant le contenu de la boîte de Pétri dans 10 ml d'eau distillée stérilisée (Fig. 5). 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 (Gnancadja *et al.*, 2015).



Figure 5: 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 du quel 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 à 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 (Saheb, 2014).

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 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. *radicis-radicis-radicis-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. 6). 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 blanc.

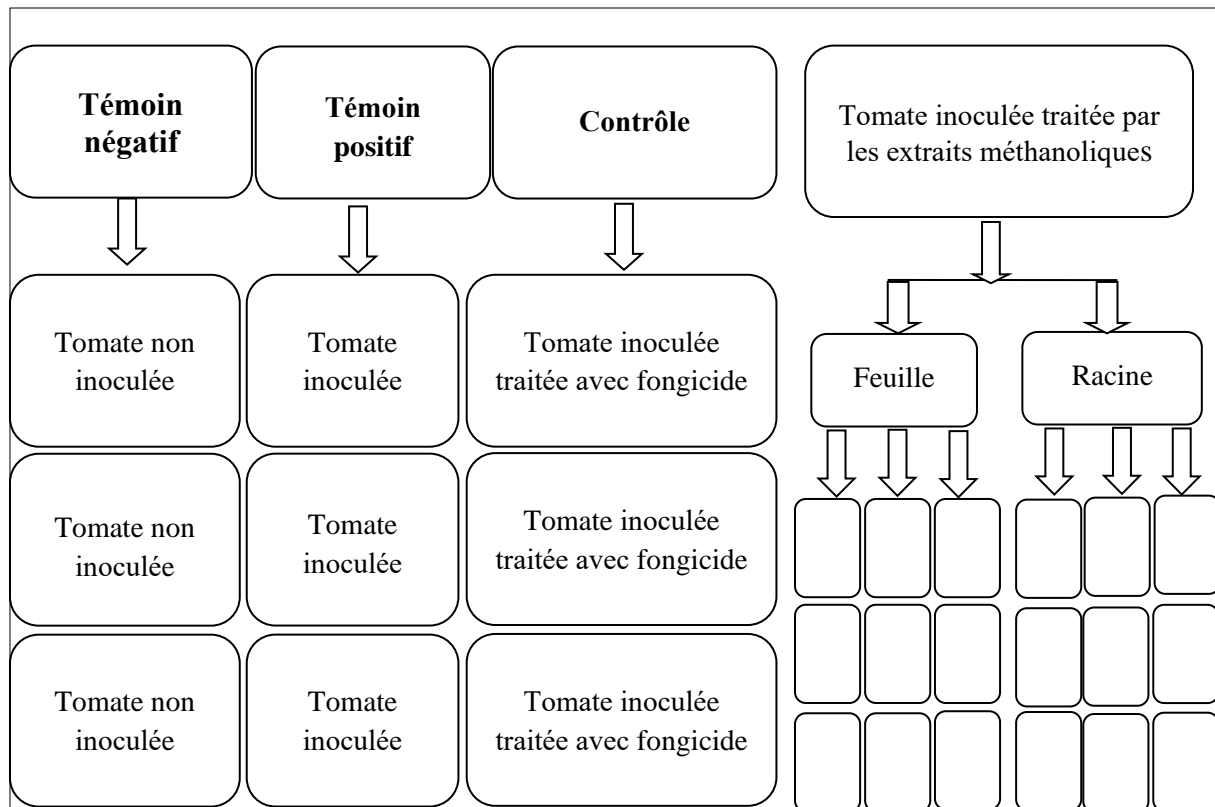


Figure 6 : Dispositif expérimental

» 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.*radicis-radicis-radicis-lycopersici* étaient par la suite traitée soit par les extraits méthanoliques des feuilles et des racines du lupin blanc ou par un fongicide.

Un volume de 5 ml de chaque extrait et du fongicide à une concentration de 20 mg/ml ont été utilisés 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. 7) de la famille des carbomates et dont la matière active est thiophanate-méthyl ($C_{21}H_{14}N_{404}S_2$). 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 7 : Fongicide chimique utilisé.

» Paramètres étudiés

Durant ce test, les plantules 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 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 proposée par 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, les mesures d'absorbance étaient effectuées à une longueur d'onde de 490 nm.

- **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 Na_2SO_4 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.

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- radicis- radicis-lycopersici* a provoqué quelques symptômes comme le jaunissement et le nécrosissement des feuilles (Fig. 8) 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 albus* ainsi que par le fongicide chimique avaient des réponses variables avec l'apparition de peu de symptômes.



Figure 8 : Symptômes de fusariose observés sur la culture de tomate. A: Plante non infectée sans symptômes (témoin négatif) ; B : Symptômes sur la tige d'une plantes de tomate infectées par *Fusarium* ; C : Symptômes sur feuilles de plantes infectées par *Fusarium*

1. Hauteur des tiges

Le test de l'analyse de variance révèle des différences très hautement significatives ($P < 0,001$) entre les différents traitements pour le caractère hauteur des tiges (Tableau 1). Cela indique que les traitements ont des effets différents sur la souche fongique et que la plante de tomate répond différemment au champignon et aux traitements appliqués.

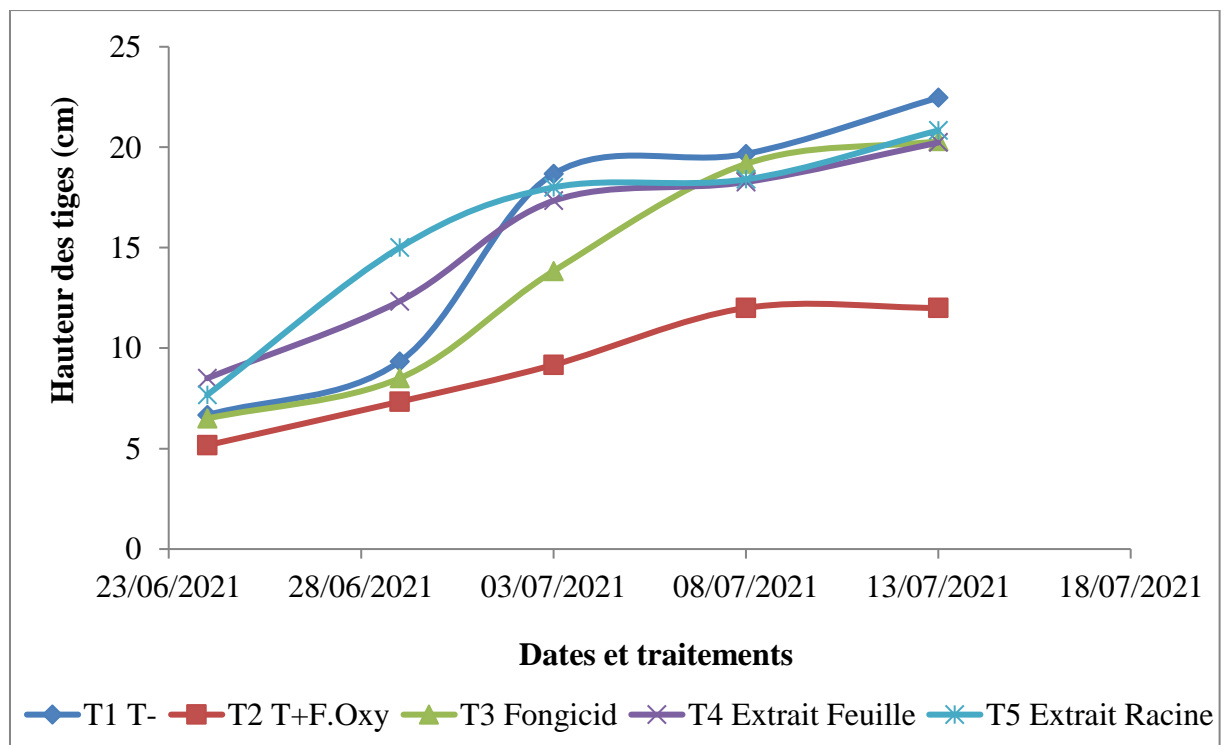
Tableau 1 : Analyse de variance des hauteurs des tiges.

Source de variation	SCE	ddl	CM	F	P.
Traitements	187,433	4	46,858	19,246	0****
Résiduelle	24,347	10	2,435		
Total	211,780	14			

Les résultats illustrés dans la figure 9, montrent l'évolution des hauteurs des tiges en fonction des traitements adoptés.

Les plantules de tomate considérées comme témoin positif qui ont été inoculées par le *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-lycoersici* et qui n'ont subi aucun traitement, avaient une croissance ralenti de la partie aérienne. Ces plantules avaient les hauteurs des tiges les plus faibles avec la cinétique de croissance la plus faible. Tandis que, les plantules de tomate considérées comme témoin négatif, non inoculées, avaient une croissance normale, la partie aérienne s'est bien développée et ces plantules avaient une hauteur finale la plus élevée.

Les plantules de tomate inoculées et traitées par les extraits méthanoliques des feuilles et des racines se sont caractérisées par la cinétique de croissance la plus importante pendant les dix premiers jours du traitement qui a dépassé même celle des plantules dites témoin négatif (Fig. 9). Au-delà des dix jours, la croissance de la partie aérienne s'est stabilisée pour donner une hauteur finale des tiges voisine à celles du témoin négatif.

**Figure 9** : Evolution de la hauteur des tiges en fonction des dates et des traitements

Les plantules de tomate inoculées et traitées avec le fongicide se sont caractérisées par une faible croissance de la partie aérienne pendant les dix premiers jours du traitement (Fig. 9). Par la suite, la croissance des tiges s'est accélérée pour atteindre des hauteurs voisines à celles obtenues par les extraits méthanolique des feuilles et des racines de lupin blanc.

A partir de la figure 10, on remarque que les plantules inoculées *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-lycoersici* et non traitées avaient les hauteurs des tiges les plus faibles avec une moyenne de $12 \pm 3,831$ cm. Cette moyenne est individualisée, par le test de comparaison des moyennes de *Tukey*, dans le groupe homogène (a). Alors que les plantules non inoculées avaient les hauteurs les plus importantes avec $22,466 \pm 1,322$ cm et sont classées dans le groupe homogène (b).

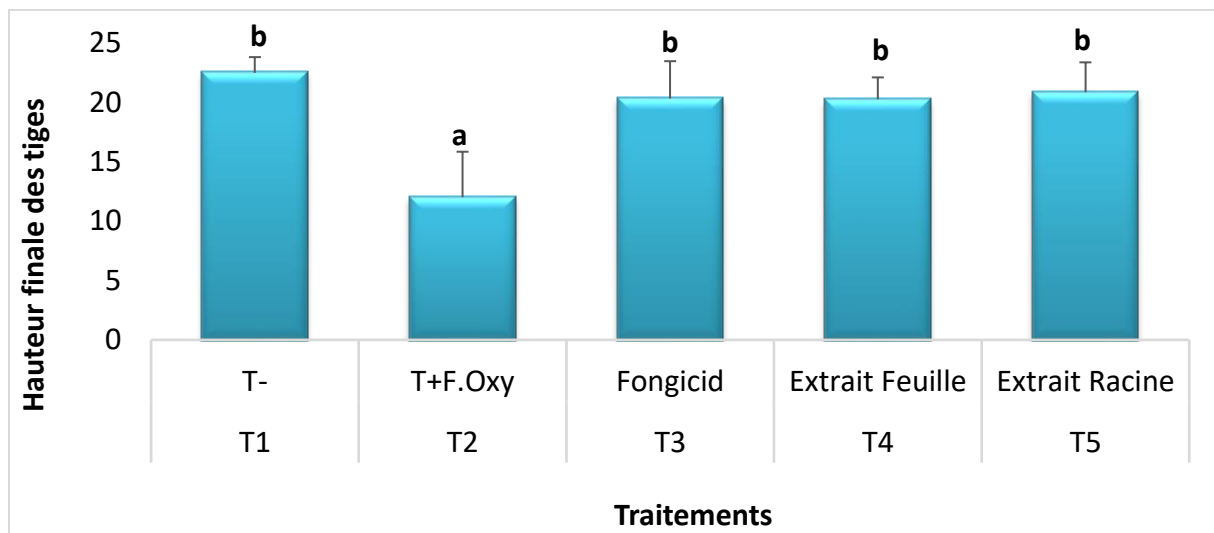


Figure 10 : Variation de la hauteur finale des tiges en fonction des traitements

Le traitement des plantules de tomates inoculées par le fongicide et par les extraits méthanoliques des feuilles et des racines du lupin blanc a donné des résultats meilleurs que ceux obtenus chez les plantes inoculées non traités (Fig. 10). Ces traitements ont amélioré la croissance de la partie aérienne par 68,61% (extrait méthanolique des feuilles), 69,16% (fongicide) et 73,61% (extrait méthanolique des racines) par rapport aux plantes inoculées non traités (témoin positif).

2. Longueur des racines

L'analyse de variance résumée dans le tableau 2 révèle la présence de différences hautement significatives ($P < 0,01$) entre les différents traitements pour le caractère 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.

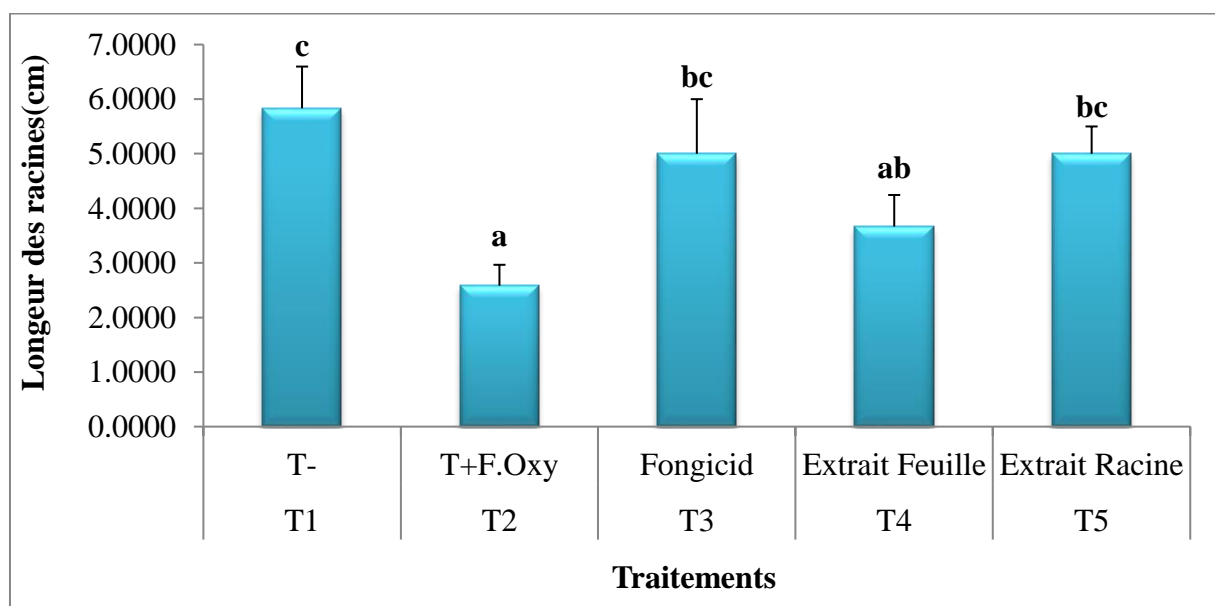
Tableau 2 : Analyse de variance des longueurs des racines

Source de variation	SCE	ddl	CM	F	P.
Traitements	19,833	4	4,958	10,721	0,001**
Résiduelle	4,625	10	0,463		
Total	24,458	14			

Les histogrammes illustrés dans la figure 11 résument les variations de longueur des racines en fonction des traitements utilisés.

Les plantules considérées comme témoin positif avaient les longueurs des racines les plus faibles avec une moyenne de $2,583 \pm 0,381$ cm. Cette moyenne 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 $5,833 \pm 0,763$ cm et sont classées dans le groupe homogène (c).

On remarque que le traitement par l'extrait méthanolique des racines de *L. albus* et par le fongicide ont montré un meilleur développement des racines comparativement au traitement, par l'extrait méthanolique des feuilles (Fig. 11). Ces trois traitements ont donné des résultats meilleurs que ceux des témoins positifs et inférieur à ceux du témoin négatif, de ce fait, leurs moyennes sont classées dans les différents groupes intermédiaire (ab) et (bc). Le traitement des plantes inoculées par l'extrait méthanolique des feuilles de *L. albus* a amélioré la croissance des racines par 41,935%, celui des racines et le fongicide ont amélioré la croissance des racines par 93,548% chacun.

**Figure 11:** Variation de longueur des racines fonction des traitements

3. Biomasses aériennes et racinaires fraîches et sèches

3.1. Biomasse aérienne et racinaire fraîches

Le test de l'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 (tableau 3). 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-radicis-radicis-lycopersici*.

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

Source de variation		SCE	ddl	CM	F	P.
Biomasses aérienne fraîches	Traitements	20,787	4	5,197	157,071	0***
	Résiduelle	0,331	10	0,033		
Biomasse racinaire fraîche	Traitements	408099,833	4	102024,958	35,239	0***
	Résiduelle	28952,529	10	2895,253		

Les histogrammes illustrés dans les figures 12 et 13 montrent les variations des biomasses aériennes et racinaires fraîches de la tomate inoculée ou non par le *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-radicis-radicis-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 les plus importants avec une moyenne de $3,483 \pm 0,211$ g et sont classées dans le groupe homogène (d). 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 les plus faibles avec une moyenne de $0,336 \pm 0,199$ g et sont classées dans le groupe homogène (a). Les plantules de tomate, inoculées par le *Fusarium* et traitées par le fongicide et les extraits méthanolique des racines et des feuilles du lupin blanc, avaient des moyennes comprises entre celles des témoins positif et négatif et sont classées dans les groupes homogènes (b) et (c) (Fig.12).

Le traitement par le fongicide a donné un meilleur poids de la biomasse aérienne fraîche par rapport à celui du témoin positif d'environ 240,476%. A leurs tours, les extraits méthanolique des racines et des feuilles du lupin blanc avaient des supériorités respectives de 689,285% et 771,428% par rapport aux témoins positifs.

Les plantules de tomate considérées comme témoin positif (inoculées par le *Fusarium* et non traitées) avaient les poids frais de la biomasse racinaire les plus faibles avec une moyenne de $0,187 \pm 0,012$ g et sont classées dans le groupe homogène (a) (Fig. 13).

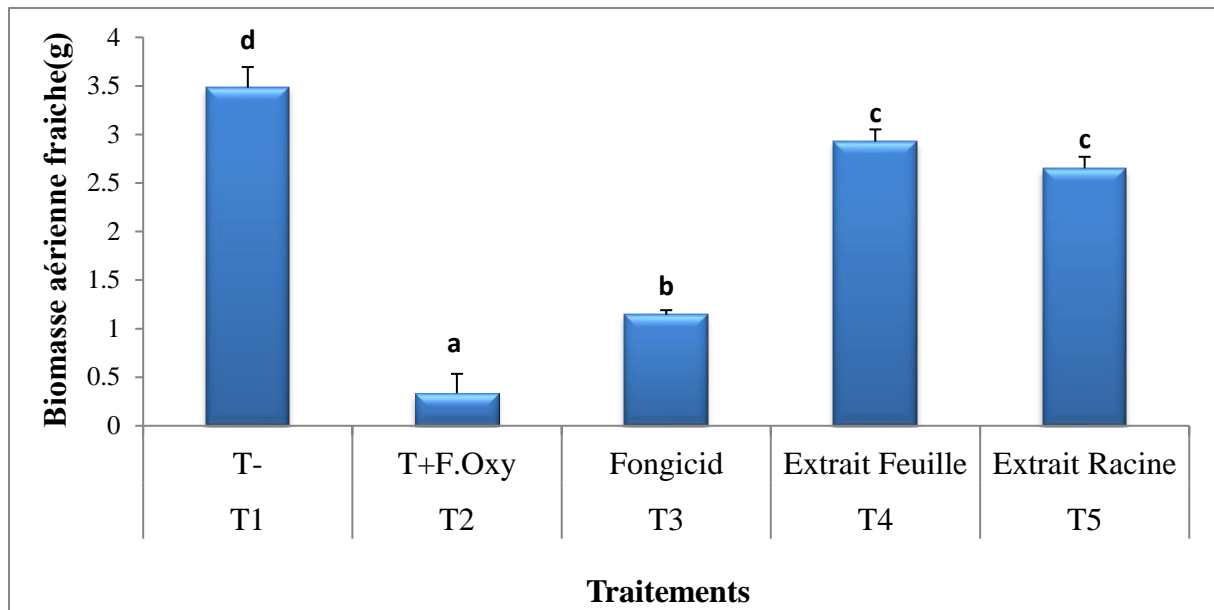


Figure 12: Variation de la biomasse aérienne fraîche en fonction des traitements

Les plantules de tomate, inoculées par le *Fusarium* et traitées par le fongicide et les extraits méthanolique des feuilles lupin blanc, avaient des moyennes proches à celle du témoin positif et sont classées aussi dans le groupe homogène (a) indiquant que ces deux traitements n'avaient pas d'efficacité pour ce trait (Fig. 13). Alors que les plantules de tomate, inoculées par le *Fusarium* et traitées par les extraits méthanolique des racines lupin blanc avaient des moyennes meilleures et sont classées dans le groupe intermédiaire (ab). Ce traitement a donné un meilleur poids de la biomasse racinaire fraîche par rapport à celui du témoin positif d'environ 42,422%.

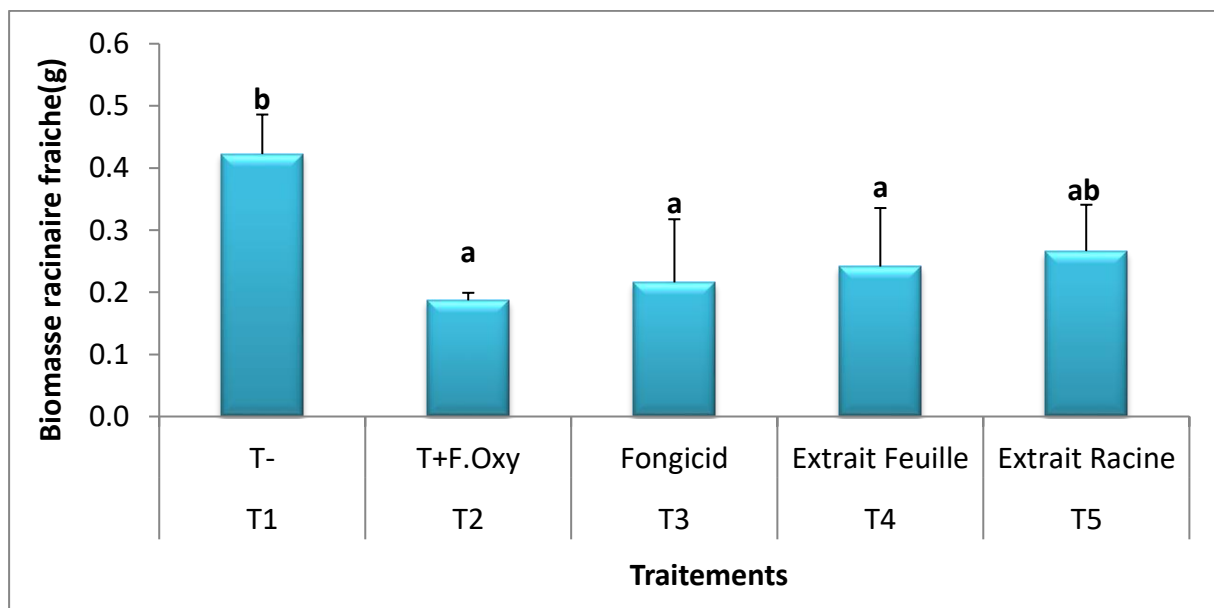


Figure 13 : Variation de la biomasse racinaires fraîche en fonction des traitements

3.2. Biomasse aérienne et racinaire sèches

Le tableau 4 d'analyse de variance révèle des différences non significatives ($P > 0,05$) entre les traitements pour le caractère poids secs des parties aériennes et des différences très hautement significatives ($P < 0,05$) pour le caractère poids sec des parties racinaires. Ces résultats indiquent que les plantules de tomate ont répondu de la même façon aux différents traitements appliqués qui ont le même effet sur le poids sec de la partie aérienne. Tandis que, ces mêmes traitements ont des effets variables sur le poids sec de la partie racinaire.

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

Source de variation		SCE	ddl	CM	F	P.
Biomasses aérienne sèches	Traitements	0,067	4	0,017	3,025	0,071 ns
	Résiduelle	0,055	10	0,006		
Biomasse racinaire sèches	Traitements	0,274	4	0,069	78,759	0***
	Résiduelle	0,009	10	0,001		

Les résultats illustrés dans la figure 14, montrent les variations des biomasses aériennes et racinaires sèches en fonction des traitements utilisés.

Les plantules non inoculées par *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-radicis-radicis-lycopersici* avaient les poids secs de la biomasse aériennes les plus importants avec une moyenne de $0,418 \pm 0,051$ g et les plantules inoculées et non traitées avaient les poids les plus faibles avec $0,226 \pm 0,016$ g. Les plantules inoculées par le *Fusarium* et traitées par le fongicide et les extraits méthanoliques des feuilles et des racines du *L. albus* avaient des moyennes de poids de la biomasse aérienne sèches proches entre elles et proches aux moyennes enregistrées chez les plantules considérées comme témoins positif et négatif. A partir de ces résultats, on peut conclure que le poids sec de la biomasse aérienne est insensible aux différents traitements utilisés car toutes les moyennes sont classées dans le groupe homogène (a).

Les plantules de tomate inoculées par le *Fusarium* et traitée par le fongicide chimique avaient les poids secs des racines les plus importants ($0,336 \pm 0,001$ g c) suivies des plantules non inoculées ($0,309 \pm 0,01$ g c) puis des plantules inoculées non traitées ($0,175 \pm 0,003$ g b).

Les plantules inoculées par *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-radicis-radicis-lycopersici* et traitées par les extraits méthanoliques des feuilles et des racines du lupin blanc ont données les moyennes de poids sec des racines les plus faibles (Fig. 14). Ces traitements ont donné des moyennes respectives moindres de -93,525% et -82,285% par rapport aux plantes inoculées non traitées (témoins positifs). Seules les plantules inoculées traitées par le fongicide qui avaient des poids secs racinaires dépassant ceux des plantes témoins positifs par 92%.

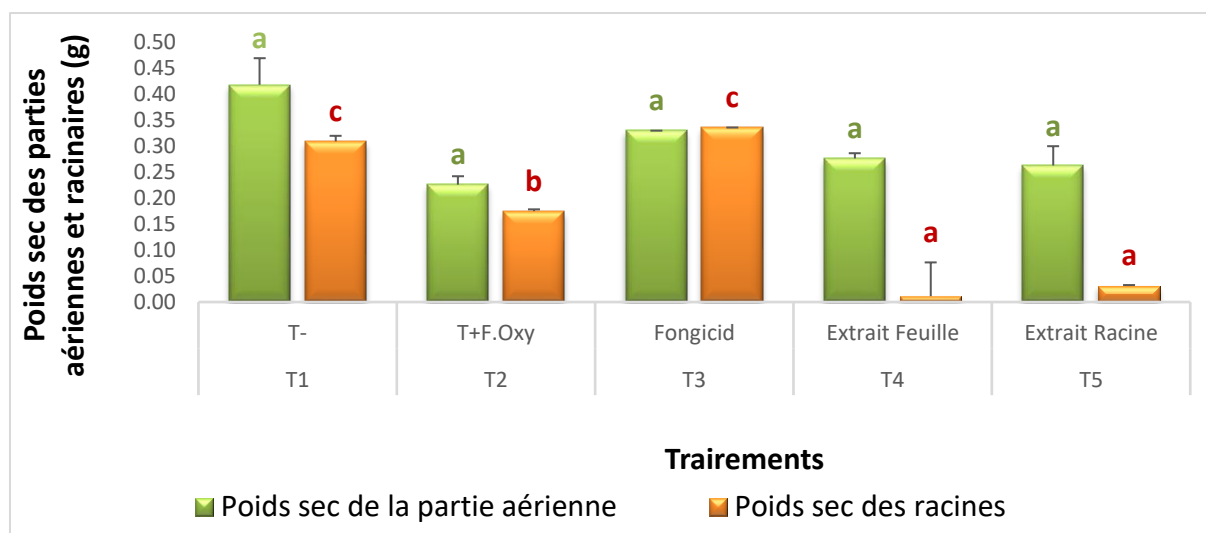


Figure 14: Variation des poids des biomasses aériennes et racinaires sèches en fonction des traitements.

4. Nombre des feuilles et indice de maladie

4.1. 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**). Ce dernier répond différemment aux différents traitements utilisés.

Tableau 5 : Analyse de variance de nombre des feuilles

Source de variation	SCE	ddl	CM	F	P.
Traitements	36,933	4	9,233	5,130	0,016*
Résiduelle	18,000	10	1,800		
Total	54,933	14			

Les histogrammes de la figure 15 illustrent les variations du nombre des feuilles en fonction des traitements utilisés.

Les plantules de tomate considérées comme témoin positif (inoculées par le *Fusarium* et non traitées) sont caractérisées par des nombre des feuilles les plus faibles avec une moyenne de $2,33 \pm 0,577$ feuilles par plante et sont individualisées dans le groupe homogène (a). Tandis que, les plantules de tomate considérées comme témoin négatif (non inoculées par le *Fusarium*) avaient un nombre des feuilles important avec une moyenne de $6,00 \pm 1,000$ feuille par plante et sont classées dans le groupe homogène (b) avec les plantules inoculées et traitées par l'extrait méthanolique des feuilles de *Lupinus albus* qui ont la moyenne la plus élevée de feuilles par plante ($6,67 \pm 1,082$ feuilles par plante). Cela indique une bonne efficacité de l'extrait

méthanolique des feuilles du lupin blanc qui a présenté une supériorité de 185,714% par rapport à l'absence du traitement.

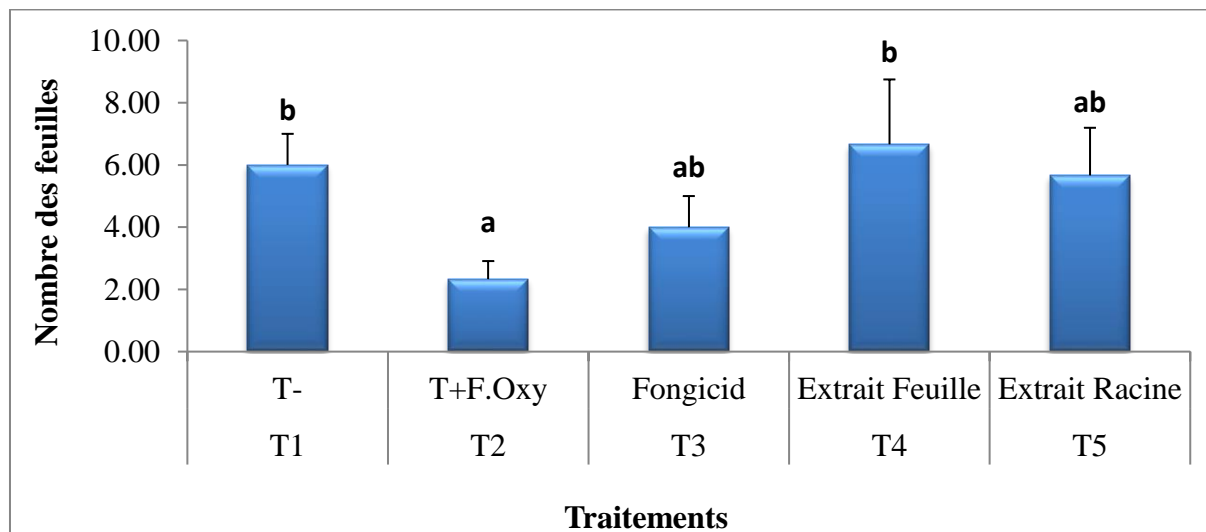


Figure 15 : Variation de nombre des feuilles en fonction des traitements

Les plantules de tomate inoculées et traitées par le fongicide chimique et les extraits méthanoliques des racines du lupin blanc avaient présentés des moyennes de nombre de feuilles $4,00 \pm 1,00$ et $5,67 \pm 1,528$ respectivement (Fig. 15). Ces moyennes sont classées, selon le test de comparaison des moyennes de Tukey, dans le même groupe intermédiaire (ab), donc ces traitements avaient des efficacités proches sur ce paramètre (71,42% et 142,85% respectivement) par rapport à l'absence de traitement des feuilles infectées.

4.2. Indice de maladie

Le test de l'analyse de variance révèle des différences très hautement significatives ($P < 0,001$) entre les différents traitements pour le caractère indice de maladie (tableau 6). Cela indique que les plantes de tomate inoculées ou non par le *Fusarium oxysporum* répondent de façon différente aux traitements appliqués.

Tableau 6 : Analyse de variance d'indice de maladie

Source de variation	SCE	ddl	CM	F	P.
Traitements	171,730	4	42,933	602,772	0***
Résiduelle	0,712	10	0,071		
Total	172,443	14			

Les résultats illustrés dans la figure 16 montrent les variations d'indice de maladie en fonction des traitements adoptés.

Les plantules de tomate non inoculées par *Fusarium oxysporum* f.sp.*radicis- radicis- radicis-lycopersici* (témoin négatif) sont caractérisées par un indice de sévérité de maladie nulle et sont classées dans le groupe homogène (a). Tandis que, les plantules considérées comme témoin positif (inoculées par le *Fusarium* et non traitées) avaient un indice de maladie très élevé avec une moyenne de $8,65 \pm 0,826$. Cette valeur est individualisée dans le groupe homogène (b). Cela est dû à l'influence de champignon pathogène sur les plantes lorsqu'elles n'ont subi aucun traitement.

Les plantules de tomate inoculées qui ont subis des traitements par les extraits méthanoliques des feuilles et des racines du lupin blanc et par le fongicide chimique avaient données des indices de maladie faibles ($0,263 \pm 0,017$; $0,405 \pm 0,0226$; $0,390 \pm 0,0223$ respectivement) et proche entre eux. Ces plantules traitées sont groupées dans la même classe avec les plantules de tomate non inoculées (a), ces traitements sont donc efficaces contre *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis- radicis- radicis-lycopersici* du fait qu'ils avaient réduit la sévérité de la fusariose chez la tomate d'environ -96,95%, (extrait méthanolique des feuilles du lupin blanc), -95,30% (extrait méthanolique des racines du lupin blanc) et -95,48% (fongicide chimique).

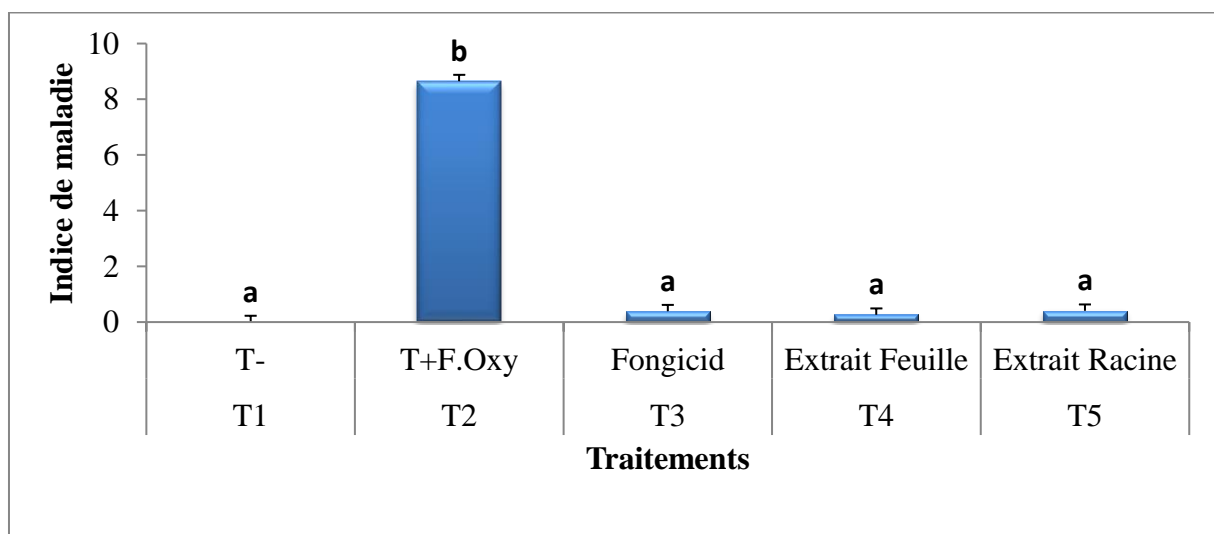


Figure 16 : Variation d'indice de maladie en fonction des traitements.

5. Teneur en sucres solubles

5.1. Au niveau des feuilles

L'analyse de variance pour la teneur des feuilles en sucres soluble a révélé un effet non significatif ($P > 0,05$) entre les différents traitements appliqués indiquant que les plantules de tomate inoculées ou non par *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis- radicis- radicis-lycopersici* ont

répondu de la même façon aux différents traitements appliqués et que ces derniers avaient des effets similaires vis-à-vis du champignon testé.

Tableau 7 : Analyse de variance de dosage de sucre soluble des feuilles.

Source de variation	SCE	ddl	CM	F	P.
Traitements	28,030	4	7,008	2,799	0,085 ns
Résiduelle	25,038	10	2,504		
Total	53,069	14			

Les résultats illustrés dans la figure 17, montrent les variations de teneurs des feuilles en sucres solubles en fonction de l'inoculation et des traitements adoptés. Les plantules non inoculées par *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-radicis-radicis-lycopersici* avaient les teneurs en sucres solubles au niveau des feuilles les plus faibles avec une moyenne de $7,641 \pm 0,001$ mg/g MF. En revanche, le témoin positif (tomate inoculée par le *Fusarium* et non traitées) avait des teneurs en sucres solubles au niveau des feuilles élevées avec une moyenne de $9,259 \pm 0,382$ mg/g MF.

Les plantules de tomate inoculées par *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-radicis-radicis-lycopersici* et traitées par le fongicide et par les extraits méthanoliques des feuilles du *Lupinus albus* avaient les teneurs les plus élevées et presque identique en sucres solubles au niveau des feuilles et de ($11,288 \pm 0,382$ et $11,228 \pm 2,368$ mg/g MF respectivement). Le traitement des plantes inoculée par les extraits racinaires de *L. albus* a abouti à une accumulation plus faible des sucres solubles au niveau des feuilles ($9,419 \pm 2,368$ mg/g MF). Ici, on ne peut pas parler de l'efficacité des traitements, car les différences entre les moyennes ne sont pas significatives et que ces dernières sont classées dans le même groupe homogène. Cela suggère que les plantes de tomate n'ont pas fait appel à ce mécanisme (accumulation des sucres solubles au niveau des feuilles) pour faire face à ce stress biotique.

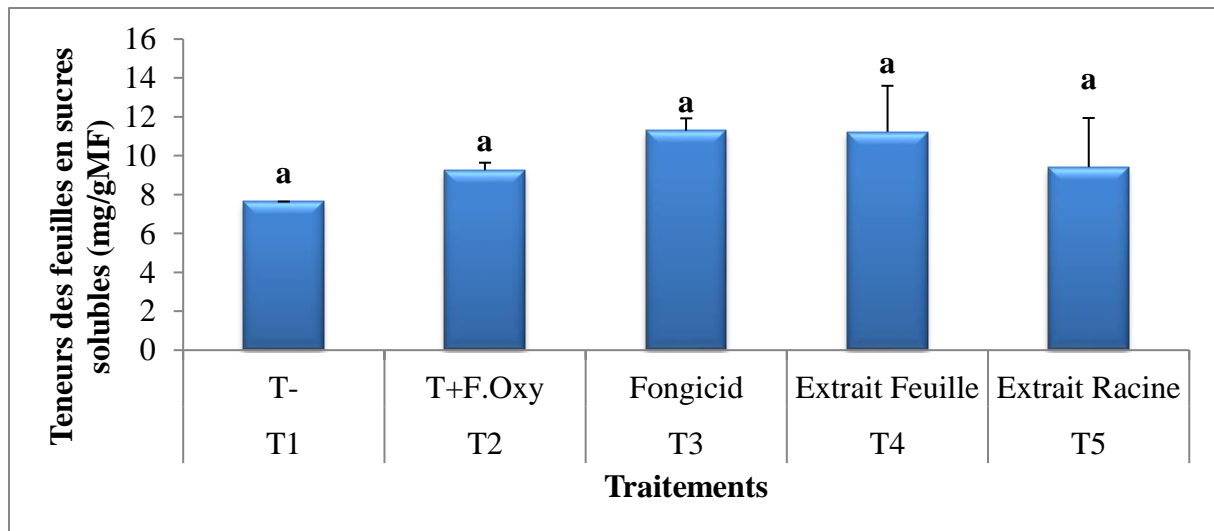


Figure 17: Variations des teneurs en sucres solubles au niveau des feuilles en fonction des traitement adoptés

5.2. Au niveau des racines

Le test de l'analyse de variance révèle une différence non significative ($P > 0,05$) entre les différents traitements étudiés (tableau 8). Cela indique que les traitements ont présenté les mêmes efficacités sur les plantules de tomate inoculées ou non par le champignon phytopathogène.

Tableau 8. Analyse de variance de dosage de sucre soluble des racines

Source de variation	SCE	ddl	CM	F	P.
Traitements	8,0308	4	2,009	0,966	0,467 ns
Résiduelle	20,792	10	2,079		
Total	28,380	14			

Les histogrammes illustrés dans la figure 18, montrent les variations de teneur des racines en sucres solubles de la tomate inoculée ou non par le *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-radicis-radicis-lycopersici* en fonction des traitements adoptés.

Pour ce paramètre, aussi on ne peut pas parler de l'efficacité des traitements, car les différences entre les moyennes ne sont pas significatives et que ces dernières sont classées dans le même groupe homogène. Cela suggère que les plantes de tomate n'ont pas fait appel à ce mécanisme (accumulation des sucres solubles au niveau des racines) pour faire face à ce stress biotique.

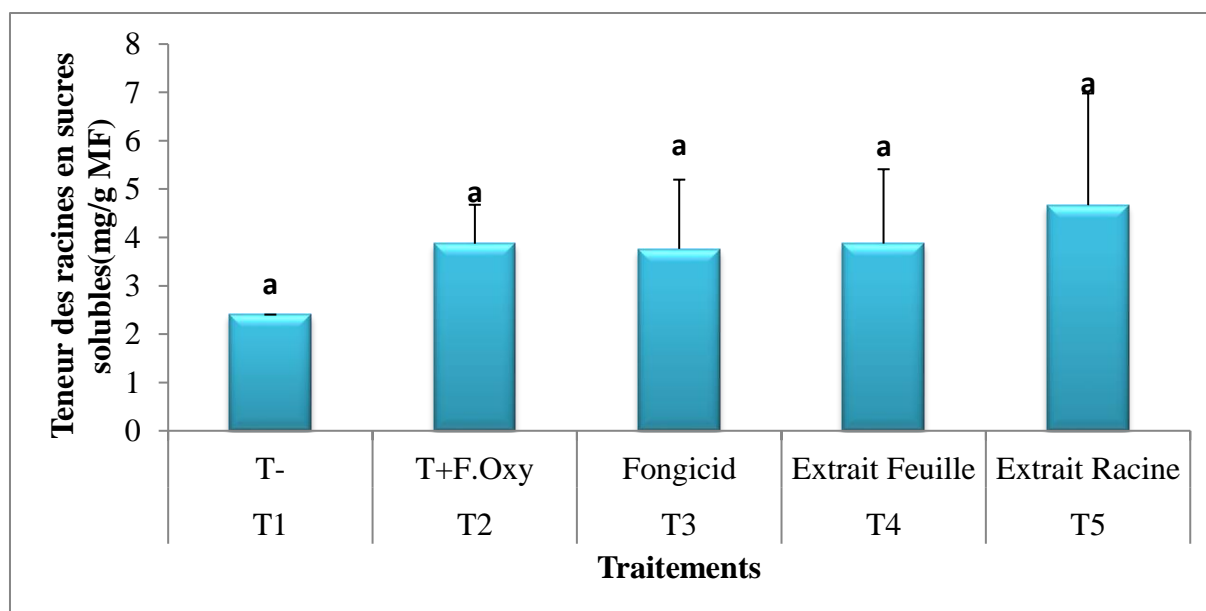


Figure 18: Variations des teneurs en sucres solubles au niveau des feuilles en fonction des traitement adoptés.

On remarque que le traitement par l'extrait méthanolique des racines de *L. albus* avait montré une forte accumulation de sucre solubles avec une moyenne de $4,668 \pm 2,310$ mg/g MF. Les plantules de tomate considérées comme témoin négatif accumulaient des quantités moindres de sucres solubles au niveau des racines ($2,404 \pm 0,001$ mg/g MF) par rapport au témoin positif qui accumulait une forte quantité des sures solubles ($3,87 \pm 0,805$ mg/g MF). Les plantules de tomate inoculées et traitées par l'extrait méthanoliques des feuilles de *L. albus* et par le fongicide avaient présentés des teneurs en sucres de $3,870 \pm 0,80$ mg/g MF et $3,76 \pm 1,43$ mg/g MF, respectivement.

6. Teneur en proline

6.1. Au niveau des feuilles

Le test de l'analyse de variance révèle des différences très hautement significatives ($P < 0,001$) entre les différents traitements pour le caractère dosage de proline des feuilles (tableau 9). Cela indique que la plante de tomate répond différemment aux traitements appliqués et que ces derniers avaient des effets variables sur le *Fusarium oxysporum*.

Tableau 9. Analyse de variance de proline des extraits méthanoliques des feuilles

Source de variation	SCE	ddl	CM	F	P.
Traitements	4021.027	4	1005.257	32.382	0***
Résiduelle	310.435	10	31.044		
Total	4331.462	14			

Les résultats illustrés dans la figure 19, montrent les variations de la teneur des feuilles en proline en fonction des traitements adoptés.

Les plantules de tomate considérées comme témoin positif (inoculées par le *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-radicis-radicis-lycopersici* et non traitées) avaient marqué un contenu en proline au niveau des feuilles important avec une moyenne de $80,320 \pm 7,103$ mg/g MS. Cette moyenne est individualisée dans le groupe homogène (b). Les teneurs importantes en proline chez ces plantes se justifient par le fait qu'elles sont sous l'effet d'un stress biotiques 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 faibles ($38,301 \pm 6,108$ mg/g MS). Cette moyenne est individualisée dans le groupe homogène (a).

Les feuilles des plantules de tomate inoculées et qui ont subis des traitements par le fongicide et par les extraits méthanoliques des feuilles et des racines de *Lupinus albus* ont montré des niveaux d'accumulation de proline faibles ($52,98 \pm 0,096$ mg/g MS, $38,205 \pm 5,487$ mg/g MS et $38,301 \pm 6,108$ mg/g MS respectivement) que ceux donné par le témoin positif (inoculé non traité), et proches de ceux donné par le témoin négatif (leurs moyennes sont classées dans le même groupe homogène (a) (Fig. 19). Donc on peut constater que le traitement des plantules de tomate inoculées par les extraits méthanolique des feuilles et des racines de *L. albus* et par le fongicide avaient présentés des efficacités considérables (52,434%, 52,314% et 34,038% respectivement) sur la souche fongique, réduisant l'influence de *F. Oxysporum* par la sécrétion de la proline au niveau des feuilles des plantes de tomate infectées.

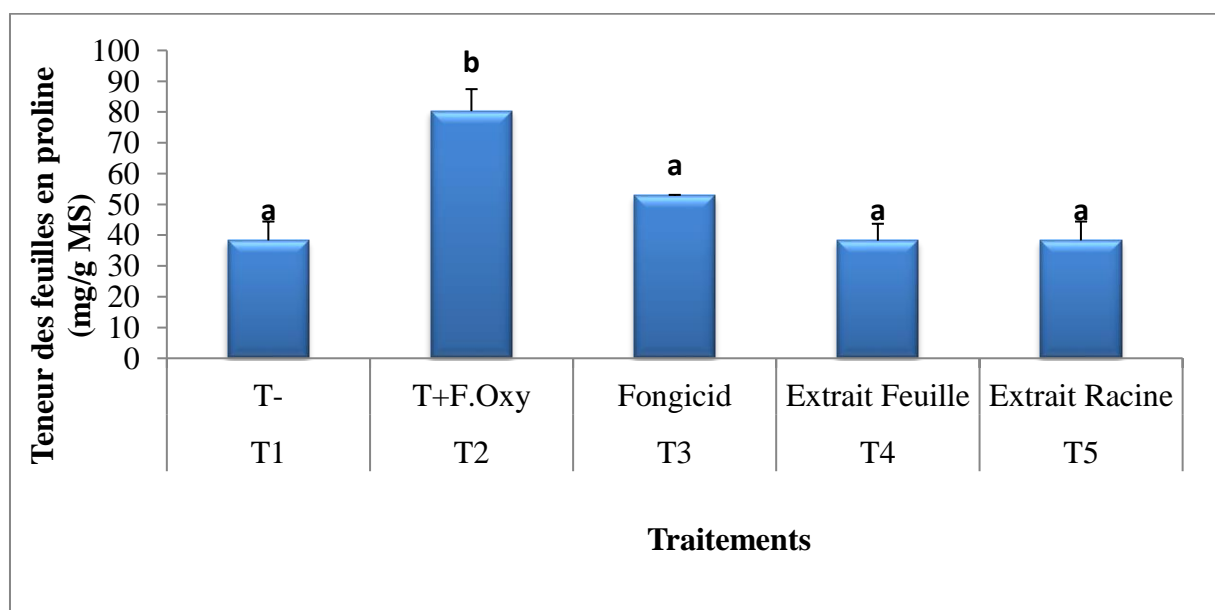


Figure 19 : Variations des teneurs en proline au niveau des feuilles en fonction des traitements adoptés.

Le test de l'analyse de variance révèle de différences hautement significatives ($P < 0,01$) entre les différents traitements pour les teneurs en proline au niveau des racines (tableau 10). Ce qui signifie que les plantes de tomate inoculées ou non par le *Fusarium oxysporum* répondent de façon différente aux traitements appliqués et que ces derniers avaient des effets variables sur le *Fusarium oxysporum*.

Tableau 10. Analyse de variance de proline des extraits méthanoliques des racines

Source de variation	SCE	ddl	CM	F	P.
Traitements	1292,053	4	323,013	7,886	0,004**
Résiduelle	409,597	10	40,960		
Total	1701,649	14			

Les résultats illustrés dans la figure 20, montrent les variations de teneur en proline au niveau des racines en fonction de l'inoculation et des traitements adoptés.

Les plantules de tomate considérées comme témoin négatif renfermaient des quantités en proline, au niveau des racines, faibles ($9,711 \pm 1,057$ mg/g MS) et sont individualisée dans le groupe homogène (a). Alors que les plantules considérées comme témoin positif renfermaient des quantités en proline, au niveau des racines, plus importantes avec $35,961 \pm 0,001$ mg/g MS et sont classées dans le groupe homogène (b) avec les plantules inoculées et traitées par le fongicide et l'extrait méthanolique des racines du lupin blanc qui avaient des teneurs moyennes en proline, au niveau des racines, de $30,0961 \pm 6,057$ mg/g MS chacune. On peut conclure une faible efficacité de ces deux traitements du fait que les plantules traitées par le fongicide et les extraits méthanoliques des racines du lupin blanc sont souffrantes et accumulent, au niveau de leurs racines, des quantités en prolines similaires à celles des plantules inoculées et non traitées (témoin positif).

D'une autre part, l'extrait méthanolique foliaire de *Lupinus albus* avait montré une efficacité moyenne sur *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-radicis-radicis-lycopersici* chez les plantules de tomate inoculées (44,38%) par rapport à l'absence du traitement., Ces plantules inoculées par le *Fusarium* et traitées par les extraits méthanoliques des feuilles du lupin blanc, individualisées dans le groupe intermédiaire (ab), avaient accumulé des teneur en proline de $20 \pm 11,41$ mg/MS (Fig. 20).

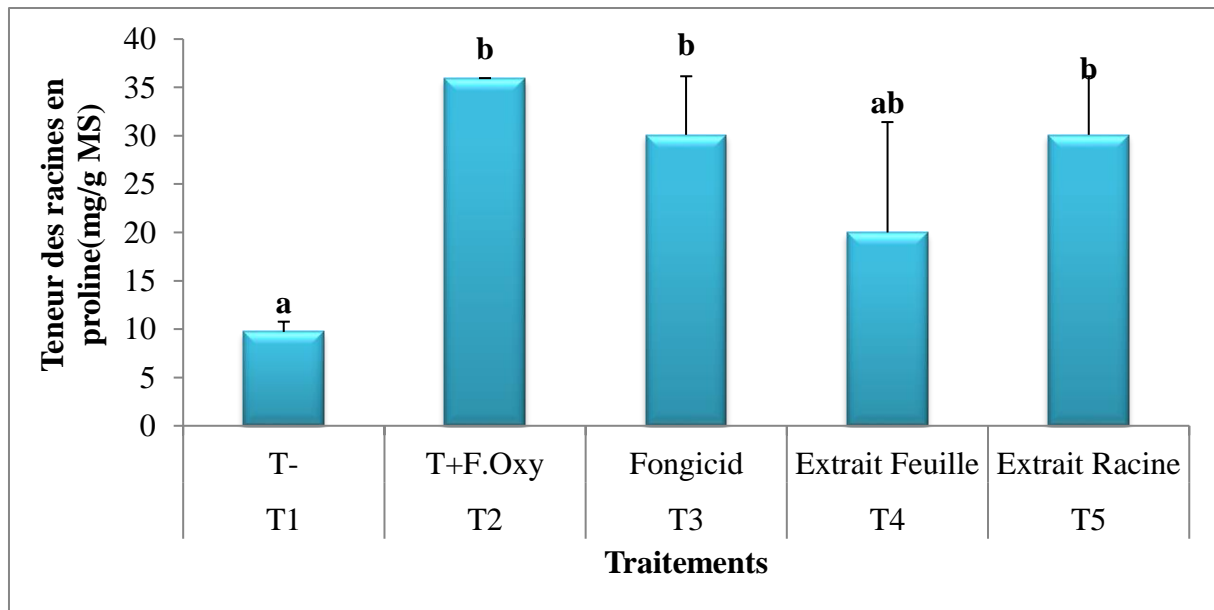


Figure 20 : Variations des teneurs en proline au niveau des racines en fonction des traitements adoptés

7. Discussion

Les plantes médicinales jouent un rôle important dans la lutte naturelle contre les champignons, c'est pour cela plusieurs essais ont été réalisés pour étudier l'effet de plante ou parties de plante sur la croissance des champignons ou la production des mycotoxines (Daoudi *et al.*, 2017).

En effet, dans notre étude, on s'est intéressé au lupin blanc (*Lupinus albus* L.), qui est considéré comme une plante médicinale riche en métabolites secondaires, utilisés directement comme agent thérapeutique, et qui présente un intérêt substantiel dans les relations de la plante avec son environnement et entre dans les mécanismes de défense contre les attaques extérieures considéré comme une réponse aux stress biotiques et abiotiques (Habouche et Ghernouth, 2018)

Des tests ont été effectués, *in vivo*, sur les plantules de la tomate, pour étudier l'effet des extraits méthanoliques des feuilles et des racines de *Lupinus albus* (L.) sur le développement du *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-radicis-radicis-lycopersici*.

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 la pourriture racinaire 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 et provoque la pourriture des racines

Frederix et Den Brader (1989) ont montré que le contrôle de la pourriture racinaires 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 cette expérience, il ressort clairement que les extraits méthanoliques des feuilles *Lupinus albus* améliorent fortement la croissance des plantes testées. Il apparaît que les plants témoins non traités de la tomate se développent très mal. Dans le cas où les extraits méthanolique du lupin blanc 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 blanc 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 blanc.

Le lupin blanc peut être utilisé comme méthode de lutte biologique capable de protéger les cultures contre l'agent pathogène *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis- radicis- radicis- lycopersici*, en utilisant les extraits de la plante médicinale (*Lupinus albus* L.), tout en limitant l'utilisation des pesticides, ce qui s'intègre parfaitement une démarche respectueuse et écoresponsable.

Plusieurs recherches ont rapporté des résultats similaires contre certains agents phytopathogènes par l'utilisation de l'extrait végétal.

Nos résultats concordent avec ceux de Singha *et al.* (2011) qui ont signalé que les plantes de tomate, poussant sur un sol inoculé par *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis- radicis- radicis- 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. *radicis- radicis- radicis-*

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.

Parmi ces recherches, Tafifet *et al.* (2015) ont montré que l'efficacité élevée des extraits est en relation avec la génétique de la plante, l'origine de l'extrait (partie aérienne ou partie souterraine), le solvant utilisé et la concentration de l'extrait.

Dans la présente étude, le *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis- radicis- radicis-lycopersici* présente une sensibilité importante vis-à-vis les composants des extraits méthanoliques du *Lupinus albus* L, ces derniers ont une efficacité contre ce champignon. Angaman *et al.*, (2020) rapportent que le méthanol permet une meilleure extraction des composés tels que les flavonoïdes et les terpénoïdes qui sont des molécules reconnues pour leur activité antifongique.

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

Les plantes médicinales ont la capacité de produire des substances naturelles très diversifiées. A côté des métabolites primaires, elles accumulent fréquemment des métabolites dits secondaires qui sont des molécules organiques complexes synthétisées et accumulées en petites quantités par les plantes autotrophe. Ils interviennent dans la défense contre les pathogènes. Ces molécules constituent un groupe de produits naturels qui sont explorés pour des propriétés très divers : antifongiques, antioxydants, antimicrobiennes, anti-inflammatoires... etc. (Azzi, 2016).

Les plantes médicinales et leurs extraits ont également été signalés comme agent antimicrobiens efficace contre certains champignons, les pathogènes du sol et dans le contrôle de la fusariose vasculaire de plusieurs cultures. Les champignons phytopathogènes du genre *Fusarium* responsables de la pourriture des fruits de tomate peuvent causer des maladies pour une large gamme d'espèces de plante (Rakotoarimanga *et al.*, 2014).

Les extraits de *L. albus* 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 composées 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 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.

Dans ce contexte, la source végétale est dérivée comme moyen de lutte biologique qui est devenu efficaces. En effet, les plantes médicinales et leurs extraits ont également été signalés comme agent antimicrobiens efficace contre certains champignon, les pathogène du sol et dans le contrôle de la fusariose vasculaire de plusieurs cultures (Benzohra *et al.*, 2019).

Par contre, la lutte chimique rencontre de nombreux désavantages liés au phénomène de pollution, à la phytotoxicité, au déséquilibre biologique et surtout au risque de sélection de souches résistantes aux fongicides (Hajji *et al*, 2016). Aussi, les produits périssables sont traités avec des fongicides chimiques de synthèse dont l'utilisation a été restreinte en raison des effets secondaires identifiés. Certains sont cancérigènes, de haute toxicité, de longue période de dégradation, de pollution de l'environnement. Ils constituent une menace pour la sécurité de l'humain d'où l'intérêt de plus en plus grandissant pour une agriculture sans résidus chimiques (kossonou *et al*, 2019).

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

La culture de la tomate occupe une place très importante du point de vue socio-économique dans les pays méditerranéens en particulier dans les pays du Maghreb tel que l'Algérie.

Néanmoins, elle est toujours sujette aux maladies tel que la fusariose, cette maladie est favorisée par des champignons phytopathogènes, principalement par le *fusarium oxysporum*.

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.

Ce travail a été réalisé dans le cadre de la recherche des produits naturels qui peuvent substituer les produits chimiques utilisés dans le contrôle des pathogènes fongiques.

Le test antifongique réalisé, *in vivo*, sur une culture jeune de tomate, en utilisant des extraits méthanoliques des feuilles et des racines de lupin blanc (*lupinus albus*), contre la souche fongique *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-radicis-radicis-lycopersici*, a montré que l'extrait méthanolique du lupin blanc étaient efficace contre ce pathogènes. 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 albus* a permis d'améliorer les poids des biomasses aériennes fraîches et sèches, la hauteur des tiges, le nombre de feuilles par plante, a diminué l'indice de maladie et a amélioré la résistance de la plante par une bonne accumulation de la proline au niveau des feuilles.

Le traitement des plantes infectées par l'extrait méthanolique des racines de *Lupinus albus* a permis d'améliorer les poids des biomasses racinaires fraîches et sèches, la hauteur des tiges, la longueur des racines, a diminué l'indice de maladie et a amélioré la résistance de la plante par une bonne accumulation de la proline au niveau des racines.

Une fois de plus, l'efficacité des extrais de plante sur la souche fongique suggère d'envisager une formulation de bio fongicide naturels soucieux du bien-être des consommateurs dans la conservation des produits.

En fin, l'étude évoquée dans ce travail montre à quel point le potentiel thérapeutique des plantes restent indiscutable, elles peuvent être utilisées comme moyen de lutte biologique

susceptible de protéger les cultures contre les agents pathogènes tout en limitant l'utilisation des fongicides chimique. Ce qui s'intègre parfaitement dans une démarche respectueuse et préservative de l'environnement.

Références bibliographiques

- Abd El-Rahman S.S., Mazen M.M., Mohamed H.I., Mahmoud N.M., 2012. Induction of defence related enzymes and phenolic compounds in lupin (*Lupinus albus* L.) and their effects on host resistance against Fusarium wilt. *European Journal of Plant Pathology*, 134:105–116.
- Akladios S.A., Isaac G.S., Abu-Tahon M., 2015. Induction and resistance against Fusarium wilt disease of tomato by using sweet basil (*Ocimum basilicum* L) extract. *Canadian Journal of Plant Science*, 95: 689-701.
- Angaman R.K., Orsot B.M.A.B., Camara D., Abo K., Zihiri N.G., 2020. Évaluation de l'activité antifongique des extraits aqueux et éthanoliques de *Terminalia ivorensis* A. Chev. sur *Fusarium oxysporum* espèces phytopathogènes de la tomate. *Afrique SCIENCE*, 16(3) :74 – 84.
- 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.
- 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.
- Azzi M, 2016. contribution à l'étude de l'activité antimicrobienne de *lavandula multifida*. L. mémoire de master. Université des sciences de la nature et de la vie et sciences de la terre et de l'univers. Tlemcen.48 :5.
- 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.
- Benzohra L.E., Megateli M., Belaidi H., Toumi-Benali F, 2019. Activité antifongique de l'extrait méthanolique de R'tem(*retama raetam*) sur la croissance mycélienne et la sporulation de *fusarium oxysporum* F.sp. *albedinis*, agent de bayoud de palmier dattier. *Journal algérien des régions arides (JARA)*, 13(2) : 1-11.
- Biswas S.K., Pandey N.K., Rajik M., 2012. Inductions of Defense Response in Tomato against Fusarium Wilt through Inorganic Chemicals as Inducers. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*, 3(4): 1-7.
- Blancard D., Laterrot H, Marchoux G., Candresse H., 2009. Les maladies de la tomate : identifier connaître maîtriser. Ed. Quæ, Paris. 671 p.

- Bougandoura N., Bendimerad N., 2012. Effet antifongique des extraits aqueux et méthanolique de *Satureja calamintha* ssp. (*Nepeta*) briq. *Revue des BioRessources*, 2(1) : 1-7.
- Daoudi A., Bammou M., Haloui Z., Ibijbijen J., Nassiri L., 2017. Activité Antifongique Des Extraits Aqueux De *Calendula Officinalis* L, *Urginea Maritima* (L.) Baker Et *Chenopodium Ambrosioides* L. *European Scientific Journal edition*, 13(24) : 483 -497.
- De Clercq P., Mason P.G., Babendreier D., 2011. Benefits and risks of exotic biological control agents. *BioControl*, 56(4) : 681–698.
- Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A., Smith F., 1956. Colometric method for determination of sugars and related substances. *Anal. chem.*, 28:350-356.
- Erdemoglu N., Ozkan S., Tosun F., 2007. Alkaloid profile antimicrobial activity of lupines *L. angustifolius* L. alkaloid extract. *Phytochemistry reviews*, 6 (1): 197-201.
- Frederix, M.J.J.; Den Brader, K., 1989. Résultats des essais de désinfection des sols contenant des échantillons de *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis*.
- 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.
- Gnancadja L. S ; Tonon D. H. E ; Faton E. MO ; Douro K; Pindou K. O; Danoun E; Akoeigninou A., 2015. l'efficacité de l'agent antagoniste *trichoderma harizianum* sur *fusarium oxysporum* F.sp. *lycopercisi* agent pathogène de la tomate. *Int.J.biol.chem.sci.* 9(2) : 770-782.
- 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.
- Habouche M., Ghernouth M., 2018. Etude de l'activité antifongique de quelques extraits végétaux. mémoire de master .Université des sciences de la nature et de la vie. M'sila. 44 : 5.
- Hajji H., tallal I., Maafa I., Bentata F., El Alaoui Faris F E., Abdennebi EL., El Aissami A, 2016. Evaluation in vitro de l'activité antifongique de quatre plantes médicinales marocaines sur cinq champignon phythopathogènes . *Marocaine de protection des plantes* 10 : 57-65.

- Karamaća M., Orakb H.H., Amarowicz R., Orak A., Piekoszewski W., 2018. Phenolic contents and antioxidant capacities of wild and cultivated white lupin (*Lupinus albus L.*) seeds. *Food Chemistry* 258:1-7.
- King A.R.D., Young G., 1999. Characteristics and occurrence of phenolic phytochemicals. *Journal of the American Dietetic Association*, 99 (2): 213–218.
- kossonou yao K .,kouakou-kouame A ., kofi affoué C ., koffi yao M ., Tra bi fézan H ., Tano K ,2019.Activité antifongique in vitro des extraits de cinq plantes locales sur colletotrichum higinisianum, *fusarium oxysporum* et *rhizopus stolonifer*, agents pathogènes de la papaye(*carica papaya l.*) et de la tomate(*salanum lycopersicum L.*).*European scientific journal*, 15(9) :1857-7881.
- Lim T. K., 2011. *Lupinus albus*. Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants. *Fruits*, 2: 763–769.
- McGovern R.J., 2015. Management of tomato diseases caused by *Fusarium oxysporum*. *Crop Protection*,73 : 78-95.
- Mondo J ;Balezi A, 2016.effet de milieux de culture (PDA,SDA, SPDA, blé et maïs) sur la productivité in vitro de la souche PO 69 du *pleurotus ostreatus*(Jacq)P.Kumm.afrique *science revue internationale des sciences et technologie* 12(124) : 374-381.
- Naika S., Lidt de Jeude J.V., Goffau De M., Hilmi M., Van Dam B., 2005. La culture de la tomate: production, transformation et commercialisation. *Fondation Agromisa et CTA Wageningen, Agrodok 17,106* :6-58-62.
- Nasrin L., Podder S., Mahmud M.R., 2018. Investigation of Potential Biological Control of *Fusarium Oxysporum f.sp. Radicis-radicis-lycopersici* by Plant Extracts, Antagonistic sp. and Chemical Elicitors *in Vitro*. *Fungal Genomics and Biology*, 8(1):1-4.
- 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.
- Porter N., 2001. essential oils and their production. *Crop and food research*, 39.

- Rahim Guealia H., Belkhdja M., Reguieg yssaad H.A., Babbou F.Z ., 2017. Water and physiological responses of okra (*Abelmoschus esculentus*(L.)Moench) under saline stress grown on a bentonized substrate. *J fundam Appl sci* ,9(3):1395-1412.
- Rakotoarimanga N., Zananirina J., Ramamonjisoa D., Ramanankierana H., 2014. Lutte biologique antifongique : actinomycètes du sol rhizosphérique antagonistes de *Fusarium* isolé du fruit de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) pourri. *Afrique SCIENCE* ,10 (3): 243 – 255.
- Saheb M, 2014, contribution à l'étude de l'identification de quelques espèces algue des cours d'eaux dans la région d'oued athmenia. Mémoire de master.université des sciences de la nature et de la vie.Constantine1.41.
- Silva T.D., Almeida C.M.A., Malafaia C.B., Oliveira L.M.S., Silva M.V., Correia M.T.S., 2017. Analysis of protein profile of tomato root infected with *Fusarium oxysporum* f. sp *radicis-radicis-lycopersici*. *Genetics and Molecular Research*, 16 (2):1-10.
- 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. *radicis-radicis-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.
- Tafifet L.,Krimi Z.,Nebih D .,2015.Efficacité de lutte biologique par utilisation des extraits totaux de plantes adventices .*Agrobiologia*, N°7 :27-32.
- 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.
- Wink M., 2006. Heath 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, Guala-jalisco, Jalisco, Mexico, Canterbury, New Zealand, app308-319.

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.

Yezli W., Hamini-Kadar N., Zebboudj N., Blondin L., Tharreau D., Kihal M., 2019. First report of crown and root of tomato caused by *Fusarium equiseti* in Algeria. *Journal of plant pathology*, 101:1249.