



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

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج El Ibrahimi B.B.A.

كلية علوم الطبيعة والحياة Université Mohamed El Bachir

وعلوم الرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم الفالحية

Département des Sciences Agronomiques



Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Protection des végétaux

Thème

**Contribution des substances naturelles dans la fabrication
et l'amélioration de la qualité des composts et l'industrie
des bio pesticides.**

Présenté par : CHETOUH *Maroua*, BELOUADAH *Amel* et CHAKHABA *Younes*

Devant le jury :

Président : Mr H MEKHALFI.....MCB (Université de BBA)

Encadrant : M^f D. MOUTASSEM.....MCA (Université de BBA)

Examineur : A KHOUDOURMAA (Université de BBA)

Année universitaire : 2022/2023

Exploitation des substances naturelles dans la fabrication et l'amélioration de la qualité des composts et l'industrie des bio pesticides.

Résumé

Les plantes sont exposées à de nombreuses agressions biotique et abiotique qui provoquent à leur niveau des perturbations métaboliques graves et très souvent des pertes de rendements considérables. L'amélioration de la productivité et la santé des plantes commence par l'optimisation des conditions du sol en termes de ses propriétés nutritives. Il est très souhaitable de corriger les carences éventuelles par l'addition des amendements soit minérales soit organiques. L'objectif de cette étude est de vérifier les effets des traitements à base des *Trichoderma* sp et les composts organiques en traitement individuels et associées sur flétrissement vasculaire de pois chiche *in vitro* et *in vivo*. Dans les essais *in vitro*, l'ensemble de souches de *Trichoderma* spp testées ont montré un effet inhibiteur très remarquable sur la croissance mycélienne du Foc avec des fréquences variables entre 71.95 et 87.80% par le test direct et entre 40.54 et 50.67% par confrontation indirecte. Les traitements *in vivo* exposent des valeurs de l'AUDPC qui varient 275 entre et 371.64 expliquent une réduction de sévérité de la maladie entre 36.74% et 52.99 %. Les mesures de protection augmentent avec le traitement associé *Trichoderma*/compost avec environ 75.80% et 92.30 % en comparaison avec les témoins, et variable entre 39.62% et 40.66 % en comparaison avec les plantules traitées individuellement avec les souches de *Trichoderma* spp. Toutefois, l'inoculation du compost par les *Trichoderma* a montré un effet bénéfiques et sont avérés plus efficaces.

Mots-clés. *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*, *Trichoderma* sp, espèces fongiques, antagonisme.

استغلال المواد الطبيعية في صناعة وتحسين جودة السماد وصناعة المبيدات الحيوية.

ملخص:

تتعرض النباتات للعديد من المواجهات منها الحيوية و اللاحيوية التي تسبب اضطرابات أضرار خطيرة و تراجع في قدرة الإنتاج . يبدأ تحسين الإنتاج و صحة النبات بتحسين ظروف التربة من حيث خصائصها الغذائية من المستحسن جدا تصحيح أي نقص عن طريق إضافة تعديلات معدنية أو عضوية ، يهدف التسميد إلى تحسين جودة و كمية الإنتاج و مع ذلك فإن أنظمة التسميد تحسن من صحة النباتات و تقوي مقاومتها للآفات و الأمراض ،الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو التحقق من تأثير **Trechoderma sp** و السماد العضوي في المعاملات الفردية و المرتبطة بالذبول الوعائي للحمص في المختبر و في الجسم الحي .في الإختبارات المعملية ،سجل استخدام سلالات **Trechoderma sp** مناطق تثبيط بنسب متفاوتة ما بين 71.95 و 87.80% بالإختبار المباشر و 40.45 و 50.67% بالإختبار غير المباشر . تظهر المعالجات في الجسم الحي قيم **AUDPC** ، و التي تتغير ما بين 275 و 371.64 ، مما يفسر انخفاض شدة المرض بين 36.74% و 52.99% و تزداد العمليات الوقائية مع معاملة التريكودرما /الكمبوست المصاحبة بحوالي 75.80% و 92.30% مقارنة بالسيطرة ، و بين 39.62% و 40.66% بالشتلات المعاملة منفردة بسلالات **Trechoderma spp** ، و مع ذلك فقد أظهر تلقیح السماد تأثيرا مفيدا و أكثر فعالية.

Exploitation of natural substances in the manufacture and improvement of the quality of composts and the biopesticide industry.

Abstract

Plants are exposed to many severe attacks, including biotic and abiotic, which cause serious metabolic disorders and a decline in production capacity. Improving production and plant health begins with improving soil conditions in terms of its nutritional properties. It is highly recommended to correct any deficiencies by addition of mineral or organic amendments. The objective of this study is to verify the effects of *Trichoderma* sp and organic composts in individual and associated treatments on vascular wilting of chickpea *in vitro* and *in vivo*. In *in vitro* tests, use of strains of *Trichoderma* sp scored zones of inhibition of mycelial growth of 71.95 et 87.80% by the direct test and 40.54 et 50.67% by the indirect test. *In vivo* treatments exhibit AUDPC values, which contrast between 275 and 371.64, explaining a reduction in disease severity between 36.74% and 52.99%. The protective processes increase with the associated *Trichoderma*/compost treatment with approximately 75.80% and 92.30% in comparison with the controls, and between 39.62% and 40.66% in comparison with the seedlings treated individually with the strains of *Trichoderma* spp. However, inoculation of compost with *Trichoderma* has shown a beneficial effect and has established to be more effective.

Keywords. *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*, *Trichoderma* sp, fungal species, antagonisme..

Remerciement

Avant tout, nous remercions ALLAH qui nous a éclairé le chemin et nous a donné la patience et le courage pour réaliser ce travail.

Nous tiens à adresser nos remerciements à notre responsable Mr MOUTASSEM Dahou, encadreur de notre mémoire, merci pour son aide, la correction du manuscrit, et pour sa patience, sa rigueur et la qualité de son encadrement exceptionnel.

Ensuite nous tenons à remercier les membres du jury pour avoir pris le temps d'évaluer et de corriger ce Mémoire.

Nous n'oublierons pas de remercier tous ceux qui nous ont soutenues et encouragées tout au long de la réalisation de ce travail.

D *dicaœ*

C'est avec profonde gratitude et sincère mots

Que nous dédions ce modeste travail de fin d'étude à nos chers parents ;

Qui ont sacrifié leur vie pour notre réussite et nous ont éclairé le chemin par leurs

Conseils judicieux.

Nous n'espérons qu'un jour,

Nous pourrons leur rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour nous

Que dieu leur prête bonheur et longue vie

Nous dédions aussi ce travail à nos frères et sœurs, nos familles, nos amis,

Tous nos professeurs qui nous ont enseigné

Et à tous ceux qui nous sont chers.

TABLE DES MATIERES

RESUMES.....	
LISTE DES FIGURES.....	
LISTE DES ABREVIATIONS.....	

INTRODUCTION.....	01
-------------------	----

CHAPITRE I. MATERIEL ET METHODES

1. 1. Matériel biologique	03
1.1.1. Matériel fongique	03
1.1.2. Matériel végétal	03
1.1.3. Matériaux utilisés dans le processus de compostage	03
2. Isolement des espèces fongique antagonistes à partir de la litière	03
2.1. Prélèvement des échantillons	03
2.2. Purification et obtention des cultures monospores	04
2.3. Obtention de la culture monospores	04
1.3. Tests antagonistes <i>in vitro</i>	05
3.1. Confrontation par contact direct sur milieu de culture	05
3.2. Confrontation par contact indirect sur milieu de culture	06
3.4. Sélection des isolats	07
4. Test antagonistes <i>in vivo</i>	07
4.1. Préparation de l'inoculum du Foc	07
5. Analyse de l'effet de l'association compost/Trichoderma.....	08
5. 1. Production des composts.....	08
5.2. Analyse de l'effet suppressif de l'association compost/Trichoderma <i>in vivo</i>	09
6 Expression des résultats	09
6.1. Mesure de la sévérité d'attaque	09
6.2. Calcule de l'indice de flétrissement (DII)	10
6.3. Calcule de l'AUDPC (Area Under the Disease Progress Curve).....	10
7. analyses statistiques	10

CHAPITRE II. RESULTATS ET DISCUSSION

1. Présentation des résultats.....	12
1.1. Résultats des tests antagonistes.....	12
1.1.1. Résultats des tests directs.....	12
1.1.2. Résultats des confrontations indirects.....	15
1.2. Effet des espèces fongiques <i>in vivo</i>	17
1.3. Effet de l'association espèces <i>Trichoderma</i> spp / compost <i>in vivo</i>	19
1.3.1. Caractéristiques de compost	19
1.3.2. Effet de l'association <i>Trichoderma</i> spp / compost sur la sévérité de la maladie <i>in vivo</i>	20
DISCUSSION	21
CONCLUSION	27
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	29

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Matériel fongique utilisés dans cette étude.....	05
Figure 02. Dispositif utilisé pour tester l'influence des substances volatile émises par <i>Trichoderma</i> sp, sur la croissance et la sporulation de <i>Fusarium</i> sp (Moutassem, 2020).	06
Figure 03. L'effet inhibiteur de différentes espèces antagonistes <i>Trichoderma</i> sp sur Foc en contact direct.....	12
Figure 04. Etude statistique comparative effectuée par GLM de l'espèce fongique, le temps et la concentration de filtrats de culture de <i>Trichoderma</i> sur la zone d'inhibition sur le Foc.	13
Figure 5. Effet inhibiteur des espèces de <i>Trichoderma</i> sp sur le Foc en contact direct. Les valeurs représentent la moyenne de quatre répétitions±l'erreur standard. Les lettres a, b et...représentent le niveau de signification au seuil de 5%.....	14
Figure 06. Observations microscopiques de la zone de confrontation entre <i>Trichoderma</i> et le Foc. a) enroulement de mycélium de <i>Trichoderma</i> sur le Foc, b) vacuolisation et c) lyse des hyphes de Foc.....	14
Figure 07. L'effet inhibiteur de différentes espèces antagonistes <i>Trichoderma</i> sp sur Foc en contact indirect.....	15
Figure 08. Effet inhibiteur des espèces de <i>Trichoderma</i> sp sur le Foc en contact direct. Les valeurs représentent la moyenne de quatre répétitions±l'erreur standard. Les lettres a, b et...représentent le niveau de signification au seuil de 5%.....	15
Figure 09. Effet inhibiteur des espèces de <i>Trichoderma</i> sp sur le Foc en contact direct. Les valeurs représentent la moyenne de quatre répétitions±l'erreur standard. Les lettres a, b et...représentent le niveau de signification au seuil de 5%.....	17
Figure 10. Effet des espèces de <i>Trichoderma</i> sur la sévérité de flétrissement vasculaire causé par le Foc dans les conditions <i>in vivo</i>	18
Figure 11. Inhibition de la germination des spores de Foc par les spores des espèces fongiques. Les valeurs représentent la moyenne de quatre répétitions±l'erreur standard. Les lettres a, b et...représentent le niveau de signification au seuil de 5%.....	18
Figure 12. Description des composts préparés.....	19
Figure 13. Effet des espèces de <i>Trichoderma</i> en association avec le compost sur la sévérité de flétrissement vasculaire causé par le Foc dans les conditions <i>in vivo</i>	20
Figure 14. Effet des espèces de <i>Trichoderma</i> sur la sévérité de flétrissement vasculaire causé par le Foc dans les conditions <i>in vivo</i> . Les valeurs représentent la moyenne de quatre répétitions±l'erreur standard. Les lettres a, b et...représentent le niveau de signification au seuil de 5%.....	21

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Tableau 01. Composition des composts préparés.	08
---	-----------

LISTE DES ABREVIATION

°C : degrés Celsius

µL : microlitre

ANOVA : analyse of variance

AUDPC: area under the curve progressing of the disease

Cm : centimètre

DI : incidence

DII : l'index de l'intensité de la maladie

Foc: *Fusarium oxysporum*

g: gramme

I: indice d'inhibition

ISM : l'indice de sévérité moyenne

ITGC : institut technique des grandes cultures

Kg : kilogramme

MGI

ml : Millilitre ml

Mm : millimètre

PDA: potato dextrose agar

PDB: potato dextrose broth

Ppm: partie par million

SAS: Statistical Analysis System

GLM: General Liner Model.

INTRODUCTION

Introduction

Les plantes sont considérées comme étant la base de la chaîne alimentaire car elles transforment les molécules inorganiques en matière organique, fournissant par la suite de la nourriture aux autres organismes. Elles sont capables de capter la lumière solaire incidente et de la convertir en biomasse. Quelle soit cultivée ou spontanée, une plante grandit et produit aussi longtemps que le sol lui fournit suffisamment d'humidité et de nutriment. Malheureusement, lorsqu'une plante est atteinte d'un facteur biotique ou abiotique, sa croissance, sa fertilité et sa productivité sont affectées (Agris, 2005).

La productivité et la santé des plantes dépend dans une large mesure des caractéristiques du sol, en particulier l'apport en éléments nutritifs et les caractéristiques biologiques (Ghorbani *et al.* 2008). Les problèmes d'origine nutritionnelle liés principalement ou carences en éléments nutritifs sont qualifiés de stress abiotique. Ce facteur provoque des pertes de rendements très considérables. Dans ce cadre, l'utilisation des engrais chimiques demeure une alternative pour une augmentation de la productivité agricole (Jean-Claude & Minten, 2003). Les engrais chimiques comprennent des nutriments secondaires et micronutriments qui sont essentiels pour la croissance des plantes. Ils sont utilisés pour l'agriculture intensive pour augmenter la fertilité du sol et assurer une production végétale acceptable (Mallem *et al.*, 2016).

Les récentes préoccupations sur les effets néfastes de l'utilisation de plus en plus intense des pesticides chimiques et les engrais synthétisés sur l'environnement et le consommateur d'une part, leur inefficacité sur la fertilité des sols et leur prix élevés d'autre part ont rendu urgent la recherche d'une solution alternative pour minimiser les risques (Mouria & Allal, 2010). Un changement rapide de stratégie et la recherche de solutions alternatives, viables à la fois techniquement et économiquement, sont donc devenus de première nécessité. L'utilisation des fertilisants biologiques a été suggérée comme une alternative aux produits chimiques pour améliorer la productivité des plantes. En effet, l'utilisation de ces produits peut évoquer une solution intéressante, mais la limite de cette technique réside pour l'instant dans les variations de qualité de ces produits (Jen-Hshuan, 2006; Larbi, 2006; Joshi *et al.* 2009).

A l'opposé au stress abiotique, le stress biotique fait intervenir des microorganismes qualifiés d'agents pathogènes (champignon, bactérie, mycoplasme, virus et viroïde) (Mahdi, 2011). Ces agents biologiques provoquent des dégâts très considérables sur la production des plantes qui peuvent atteindre des seuils intolérables. L'utilisation des pesticides chimiques reste jusqu'à ce jour le moyen le plus efficace pour combattre ces maladies malgré leur nocivité quant à l'environnement et le consommateur.

L'utilisation des moyens de lutte biologique a connu un essor considérable durant les dernières années. Les agents de lutte biologique tels que *Trichoderma* et *Pseudomonas* spp.

Introduction

peuvent attribuer un rôle majeur dans la détermination de l'activité antagoniste contre les phytopathogènes (Joshi et al., 2009).

Il est bien établi que les éléments minéraux soit à l'état naturel ou synthétique peuvent affecter la relation plante hôte – pathogène (Moutassem et al., 2018 ; Ghorbani et al., 2008, Dordas, 2008). En effet, les fertilisants chimiques, organiques et biologiques peuvent également affecter directement ou indirectement la population des phytopathogènes. Ces éléments affectant pareillement la physiologie des plantes et jouent un rôle déterminant dans la production des composés liés à la défense des plantes (Elmer et Datnoff, 2014). Ces pratiques de gestion peuvent être très efficaces pour lutter contre les maladies causées par de nombreux phytopathogènes (Hoitink et Fahy, 1986).

En effet, une bonne compréhension des interactions complexes entre les différents types de fertilisants, la population pathogène, la population des antagonistes et la population hôte peuvent contribuer à l'application de différentes méthodes de lutte et à l'incorporation dans une sélection dans un système intégré de lutte antiparasitaire, ce qui peut, par conséquent, réduire l'utilisation abusive de pesticides synthétiques.

La présente étude est une approche expérimentale qui contribue à la connaissance de l'impact de la fertilisation biologique sur la productivité et la santé des plantes. Dans ce cadre, le travail présenté dans ce mémoire a pour objectifs :

- ❖ La mise en évidence de l'activité antifongique des quelques souches fongiques contre *Fusarium oxysporum* f. Sp *ciceris* (Foc) agent de la fusariose vasculaire du pois chiche *in vitro* et *in vivo*.
- ❖ D'étudier l'influence de la qualité de compost sur la protection des plantes contre quelques maladies fongiques.
- ❖ L'effet *in vivo* des composts choisis sur l'incidence des *Fusarium oxysporum* f. sp *ciceris* (Foc) agent de la fusariose vasculaire du pois chiche.

CHAPITRE I.

MATERIEL ET METHODES

1. Matériel biologique**1.1. Matériel fongique**

Le matériel fongique pathogène est figuré par un isolat de *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceris* (Foc) ; agent responsable de flétrissement vasculaire du pois chiche. Cet isolat est originaire de la région d'Ain Témouchent (Algérie), isolé à partir des tiges de pois chiche présentant les symptômes de la maladie. L'isolat a été obtenu à partir de la collection de Foc récoltée par Moutassem (2020). Le test de pathogénicité effectué par le même auteur indique que l'isolat choisi a montré un aspect très agressif.

1.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est constitué d'une seule variété de pois chiche Guab 4. Cette variété nous ont été fournées par l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif.

1.3. Matériaux utilisés dans le processus de compostage

1. Des déchets verts colletés au niveau de la ferme expérimentale.
2. Des ordures ménagères composés de courgette, carotte, oignon, betterave et la pomme de terre collectés à partir d'une usine de lavage des légumes à Moussa.
3. Les coques d'œufs sont cassées manuellement.
4. Les fientes de volailles, ainsi que le fumier ovin (accumulée pour un bon équilibre entre carbone et azote).
5. Une quantité de paille issus du blé tendre obtenue au moment de la dernière campagne céréalière (alimentation des animaux).
6. Les vers de terre collectés du sol.
7. Agent de lutte biologique Trichoderma a été isolé et conservé au niveau de laboratoire de recherche sur les systèmes biologiques et la géomatique.
8. Des déchets des olives ont été fournis par l'usine d'extraction des olives de la région de BBA.
9. Des plantes médicinales et aromatique.

2. Isolement des espèces fongique antagonistes à partir de la litière**2.1. Prélèvement des échantillons**

Dans le but d'emporter des isolats fongiques antagonistes, des prélèvements des échantillons de litière à partir de forêt de Kumar située dans la commune de MAMOUNIA wilaya de Mascara. Les prélèvements ont été réalisés à l'aide d'une spatule propre à une

Profondeur de 5-10 cm. Les échantillons ont été placés dans des sacs en craft, bien fermés, ramenés au laboratoire de phytopathologie. Les échantillons ont été tamisés, séchés à l'air libre pendant 15 jours, puis conservés dans au réfrigérateur à 4°C en vue d'une analyse fongique.

L'isolement des *Trichoderma* sp antagoniste a été procédé selon la technique de suspensions-dilutions décrite par Davet et Rouxel (1997). Cette technique consiste à additionner 1g de litière dans 9 ml d'eau distillée stérile. Une agitation a été effectuée sur le mélange en utilisant un agitateur vortex pendant 10 min. le mélange a été laissé reposer pendant 10 min. Un prélèvement de 1 ml de solution mère est mis aseptiquement dans 9 ml d'eau distillée stérile suivi d'une agitation ce qui signifie la concentration 10^{-1} , ainsi de suite jusqu'à la dilution 10^{-4} . Un ml de chaque suspension a été additionné à 9ml de PDA tiède, bien agitée avec un agitateur vortex. Le mélange a été versé dans des boîtes de boîte de Pétri stérile. Ces dernières ont été incubées à 25°C pendant 7 à 15 jours. Après incubation, la fréquence d'isolement de chaque genre fongique a été calculée.

2.2. Purification et obtention des cultures monospores

Les isolats fongiques poussés sur le milieu de culture ont été enlevés à l'aide d'une anse stérile, et transférés dans de nouvelles boîtes de pétri stériles contenant un milieu de culture PDA, bien scellées par le para film et incubés à $28\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Les microorganismes isolés ont été purifiés par deux ou trois repiquages successifs, mono-colonie. Une fois purifié, chaque isolat est désigné par un numéro de code. La conservation des microorganismes ainsi désigné se fait au réfrigérateur à une température de 4 C°.

2.3. Obtention de la culture monospores

Pour étudier la variabilité culturelle des isolats fongiques, il est indispensable de réaliser des cultures monospores (Moutassem, 2020). L'obtention des cultures monospores est accomplie selon la technique décrite par Belabid (2003). Des cultures monospores ont été obtenues à partir de cultures fongiques âgées de 7 jours. Une suspension sporale est diluée dans l'eau physiologique, de façon à obtenir une concentration voisine de 20 spore/ml. Une goutte de suspension contenant 2 à 5 conidie ont été déposées et étalées à la surface du milieu PDA en boîte de Pétri. Après 24 heures d'incubation à l'obscurité et à 25°C°, les germinations issues d'une unique spore sont d'abord repérées, au fort grossissement de la loupe binoculaire puis prélevées stérilement et déposées séparément sur le milieu de culture PDA en boîte de Pétri.

Après deux semaines d'incubation, le comportement de chaque thalle issu de la germination des spores est observé (aspect du mycélium et pigmentation). Si tous les thalles présentent des caractères morphologiques identiques entre eux et à ceux de la culture mère, un seul est choisi pour constituer le clone représentatif de l'isolat de départ.

L'observation des colonies est faite sept à huit jours après la mise en culture. Les colonies sont ensuite déterminées, ce qui permet d'établir la fréquence d'isolement de chaque espèce fongique pour chaque échantillon.

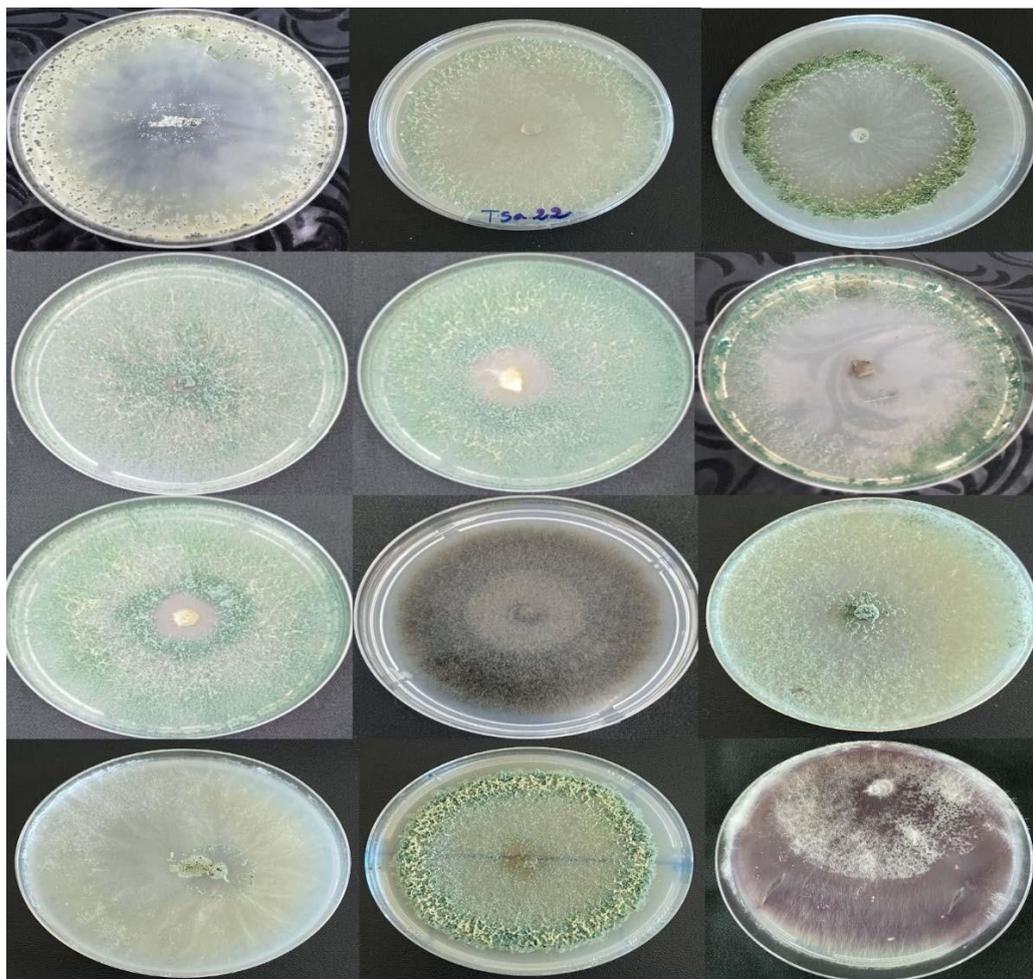


Figure 1. Matériel fongique utilisés dans cette étude.

3. Tests antagonistes *in vitro*

3.1. Confrontation par contact direct sur milieu de culture

Cette technique consiste à installer deux pastilles gélosées de 6 mm de diamètre, dans la même boîte de Pétri contenant un milieu de culture commun PDA ; l'une portant le pathogène Foc et l'autre l'espèce fongique antagoniste. Les deux pastilles sont placées suivant un axe diamétral à 2.5 cm et à équidistance du centre de la boîte ; les repiquages sont effectués en même temps (Benhamou et Chet, 1996). Les boîtes portant le test direct sont

incubées à $28\pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant six jours. Au cours de ce test, quatre répétitions ont été retenues pour chaque test. Les témoins sont représentés par des boîtes de Pétri contenant uniquement le pathogène.

Des notations relatives à l'inhibition de la croissance diamétrale mycélienne des colonies du Foc et leur envahissement par le mycélium des espèces fongiques antagonistes sont effectuées chaque 48 h jusqu'à le sixième jour.

Une observation de la zone de contact entre les deux protagonistes afin d'élucider le mode d'action des antagonistes. Des photos macroscopiques montrant l'aspect morphologique des thalles et des photos microscopiques du mycélium, conidies et chonidiogénèse ont été également prises.

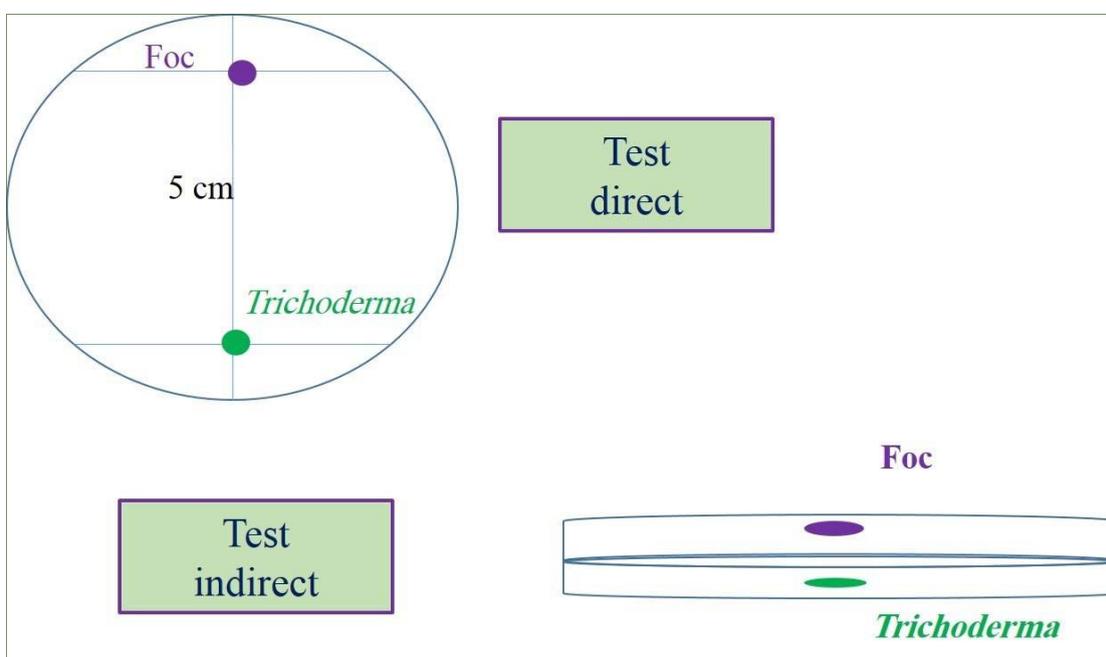


Figure 02. Dispositif utilisé pour tester l'influence des substances volatiles émises par *Trichoderma* sp, sur la croissance et la sporulation de *Fusarium* sp (Moutassem, 2020).

3.2. Confrontation par contact indirect sur milieu de culture

Cette méthode consiste à repiquer l'antagoniste et le pathogène dans deux boîtes séparées ; par la suite, un assemblage est réalisé par superposition des deux boîtes, l'antagoniste *Trichoderma* en bas et le pathogène en haut (Comporota, 1985).

Cette technique consiste à déposer au centre de chaque boîte de Pétri contenant le milieu PDA un explant de 5 mm de diamètre prélevé à partir des colonies des espèces fongiques antagonistes. Après 48 heures d'incubation, les parties inférieures contenant

l'antagoniste est scellé avec un autre contenant le pathogène, par une bande de para film de façon à éviter toute contamination et toute perte de substances volatiles. Comme pour la première expérimentation, trois répétitions ont été réalisées.

Les témoins sont représentés par des boîtes contenant à la face inférieure uniquement le milieu de culture et la face supérieure l'agent pathogène (Benkada et al., 2002, Daami-Remadi, El Mahjoub, 2001).

3.3. Sélection des isolats

Un criblage sélectif a été réalisé en vue du choix des souches utilisables dans une perspective pour l'analyse de l'effet des filtrats. Cinq souches fongiques de *Trichoderma* ont sélectionnées selon l'activité antagoniste éventuelle sur la base du degré d'inhibition de la croissance mycélienne radiale du parasite. Les souches sont retenues au travers de ce criblage sélectif que les souches exerçant une inhibition jugée significative et qui serviront de base pour une étude mieux approfondie.

Le test de l'activité des isolats identifiés consiste à rechercher son effet antagoniste sur le développement de l'isolat test Foc. La technique utilisée pour réaliser cette sélection est motionnée ci-dessous dans la partie étude de l'activité antagoniste *in vitro*.

4. Test antagonistes *in vivo*

4.1. Préparation de l'inoculum du Foc

L'inoculum d'inoculation a été réalisé selon une nouvelle technique décrite par **Moutassem et al, (2023)**. Cette technique consiste un mettre dans des sachets en plastiques autoclavable le sable tamisé et la farine de maïs, le mélange est humidifié par l'eau distillée, selon la proportion de 9/1/1, respectivement. Le mélange a été stérilisé deux fois pendant 45 min à 120° C.

Le substrat préparé est pulvérisé premièrement par 50 ml d'une suspension sporale du Foc d'une concentration de 10^6 conidie /ml, puis pulvérisé aussi par une suspension sporale des antagonistes ajusté à la même concentration (10^6 spore/ ml de l'antagoniste). L'inoculum ainsi obtenu est incorporé dans des pots contenant le substrat de culture stérilisé à raison de 100g pour 3kg de substrat, ce dernier est composé d'un mélange stérile (deux fois à 120°C pendant 30 min) de sable et terre selon les proportions respectivement de 1/2. Les substrats portant le pathogène et l'antagoniste ont été incubés à la température ambiante $28\pm 2^\circ\text{C}$ pendant 21 jours. Une agitation des sacs chaque jour a été effectuée afin de permettre une concurrence entre les deux antagonistes.

Les semences d la variété GUAB ont été semées dans des pots à la base de quatre grains par pot contenant le sol infesté par le FOC et traité par les espèces fongique antagonistes. Des pots non traités par les antagonistes ont été servis comme témoin.

5. Analyse de l’effet de l’association compost/Trichoderma

5.1. Production des composts

Dix composts ont été préparés au niveau de laboratoire de phytopathologie faculté des sciences de la nature et de la vie, dont deux composts (A) et (B) ont une durée d’incubation de 12 semaines. Ces composts ont été fabriqués par l’utilisation de différents matériaux organiques ainsi que les antagonistes fongiques isolés de la litière (Tableau 01).

Tableau 01. Composition des composts préparés.

Compost A	Compost B
<p>Des déchets verts collectés au niveau de la ferme expérimentale.</p> <p>Des ordures ménagères composés de courgette, carotte, oignon, betterave et la pomme de terre collectés à partir d’une usine de lavage des légumes à Moussa.</p> <p>Les coques d’œufs sont cassées manuellement.</p> <p>Les fientes de volailles, ainsi que le fumier ovin (accumulée pour un bon équilibre entre carbone et azote).</p> <p>Une quantité de paille issus du blé tendre obtenue au moment de la dernière campagne céréalière (alimentation des animaux).</p> <p>Les vers de terre collectés du sol.</p> <p>Agent de lutte biologique Trichoderma a été isolé et conservé au niveau de laboratoire.</p>	<p>Des déchets verts collectés au niveau de la ferme expérimentale.</p> <p>Des ordures ménagères composés de courgette, carotte, oignon, betterave et la pomme de terre collectés à partir d’une usine de lavage des légumes à Moussa.</p> <p>Les coques d’œufs sont cassées manuellement.</p> <p>Les fientes de volailles, ainsi que le fumier ovin (accumulée pour un bon équilibre entre carbone et azote).</p> <p>Une quantité de paille issus du blé tendre obtenue au moment de la dernière campagne céréalière (alimentation des animaux).</p> <p>Les vers de terre collectés du sol.</p> <p>Agent de lutte biologique Trichoderma a été isolé et conservé au niveau de laboratoire.</p>

Des déchets des olives ont été fournis par l'usine d'extraction des olives de la région de BBA. Des plantes médicinales et aromatique.	Des déchets des olives ont été fournis par l'usine d'extraction des olives de la région de BBA. Des plantes médicinales et aromatique.
50% matière carbonée 50% matière azotée) : le grignon d'oliver 15 kg ,scur 10 kg déchets organiques verts 20 kg ,fumier volaille 15 kg . = 60kg	Compost 2: (25% matière carbonée 75% matière azotée) : Le grignon d'oliver 4 kg Sciure 3 kg

5.2. Analyse de l'effet suppressif de l'association compost/*Trichoderma in vivo*

L'analyse de l'effet suppressif a été procédée selon le protocole de Moutassem et al, (2023) avec des modifications légères. Le protocole consiste à mettre le substrat stérile composé de la proportion 1/1 sable /terre. Le compost préparé a été stérilisé à 105°C pendant 20 min puis pulvérisé par des suspensions sporale de *Trichoderma sp* ajustée a $5 \cdot 10^8$ spore/ml. Les substrats traités par l'antagoniste *Trichoderma sp* ont été incubé à $28 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 10 jours. Un volume de compost traité est incorporé par la suite dans le substrat stérile préparé préalablement. Le mélange est incubé à $28 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 51 jours.

Les semences d la variété GUAB ont été semées dans des pots à la base de quatre grains par pot contenant le sol infesté par le FOC et traité par les associations fongique antagonistes /compost. Des pots non traités par les antagonistes ont été servis comme témoin.

6. Expression des résultats

La fréquence d'isolement des espèces identifiées est calculée uniquement à partir des échantillons ensemencés sue milieu PDA et incubés a 30°C selon la même formule utilisée pour calculer la charge fongique totale.

Le taux de contamination est calculé selon la procédure décrite par Ponchet (1966). Ce taux représente le nombre de chaque genre fongique isolé sur le nombre total exprimé en pourcentage.

L'incidence (*DI*) est évaluée selon la formule :

$$DI = \frac{NPM}{NTP} \times 100$$

6.1. Mesure de la sévérité d'attaque

La sévérité ou la gravité de la maladie est obtenue selon l'évaluation visuelle de la proportion des tissus de la plante atteinte par le flétrissement ou le jaunissement.

La sévérité (S) ou l'indice de sévérité moyenne (ISM) est calculé selon la formule :

$$S \text{ ou (ISM)} = \frac{\sum n_i \times i_j}{\sum n_j}$$

Où

n_j : est le nombre de plantes caractérisées par l'indice

i_j : est l'indice de sévérité attribué aux plantes malades.

L'échelle de notation utilisée par **Trapero-Casas (1983)** a été appliquée le long de nos expérimentations.

Cette échelle consiste à donner une note à la plante malade examinée en fonction de l'importance des symptômes observés :

0 : pas de symptômes.

1 : jaunissement ou flétrissement du 1/3 de la plante.

2 : mêmes symptômes mais affectant les 2/3 de la plante.

3 : symptômes identiques affectant la plante entière.

4 : plante morte.

6.2 Calcul de l'indice de flétrissement (DII)

L'incidence I et la sévérité S sont utilisés pour le calcul, l'index de l'intensité de la maladie *DII*. Où :

$$DII = \frac{DI * ISM}{4}$$

6.3. Calcul de l'AUDPC (Area Under the Disease Progress Curve)

AUDPC est une méthode d'analyse qui permet de résumer les données de l'intensité de la maladie, en une seule valeur. Cette valeur est indispensable pour la comparaison entre les différentes épidémies à travers les années, les emplacements, ou les stratégies de la gestion (**Cook, 2006 ; Sparks et al. 2008**). Cependant, cette méthode est utile pour la description, l'estimation et la comparaison entre les épidémies causées par le FOC (**Navas-Cortes et al. 2000 ; 1998**). L'AUDPC est calculé en utilisant la formule suivante :

L'AUDPC est calculé selon la formule rapportée par **Cook (2006)** :

$$\text{AUDPC} = \sum_{i+1}^n [(x_i + x_{i+1})/2](t_i + t_{i+1})$$

Où :

x_i = la proportion des tissus ou le nombre de plantes malades à toute une seule mesure (intensité de la maladie) à l'observation i ,

t_i = temps (jours) après l'inoculation à l'observation

n = le nombre total d'observations. La somme de régions individuelles trapézoïdes, ou régions de i à $n-1$. i

$I + 1$ représente des observations de 1 à n .

7. analyses statistiques

Les résultats obtenus ont été traités par deux analyses indépendantes à l'aide de logiciel XLSTAT (2008). Quatre répétitions sont retenues pour chaque facteur étudié. Les données sont traitées par une analyse de la variance suivie d'une comparaison des moyennes par le test de Newman et Keuls 5 et 1%.

CHAPITRE II.
RESULTATS ET DISCUSSION

1. Présentation des résultats

1.1. Résultats des tests antagonistes

1.1.1. Résultats des tests directs

L'ensemble des souches fongiques appartenant aux *Trichoderma* spp ont été testées afin de mettre en évidence leur activité antagoniste directe vis-à-vis le Foc (figure 03). L'étude et la comparaison de l'efficacité des isolats testés ont exposé une réduction très remarquable de la croissance mycélienne du Foc qui varie en fonction l'espèce fongique. L'analyse de la variance ANOVA a montré que l'espèce de *Trichoderma* spp ($F(32,99) = 15.56$; $P=0.0000$) a un effet hautement significatif sur la zone d'inhibition de la croissance mycélienne de Foc en contact direct (figure 04).

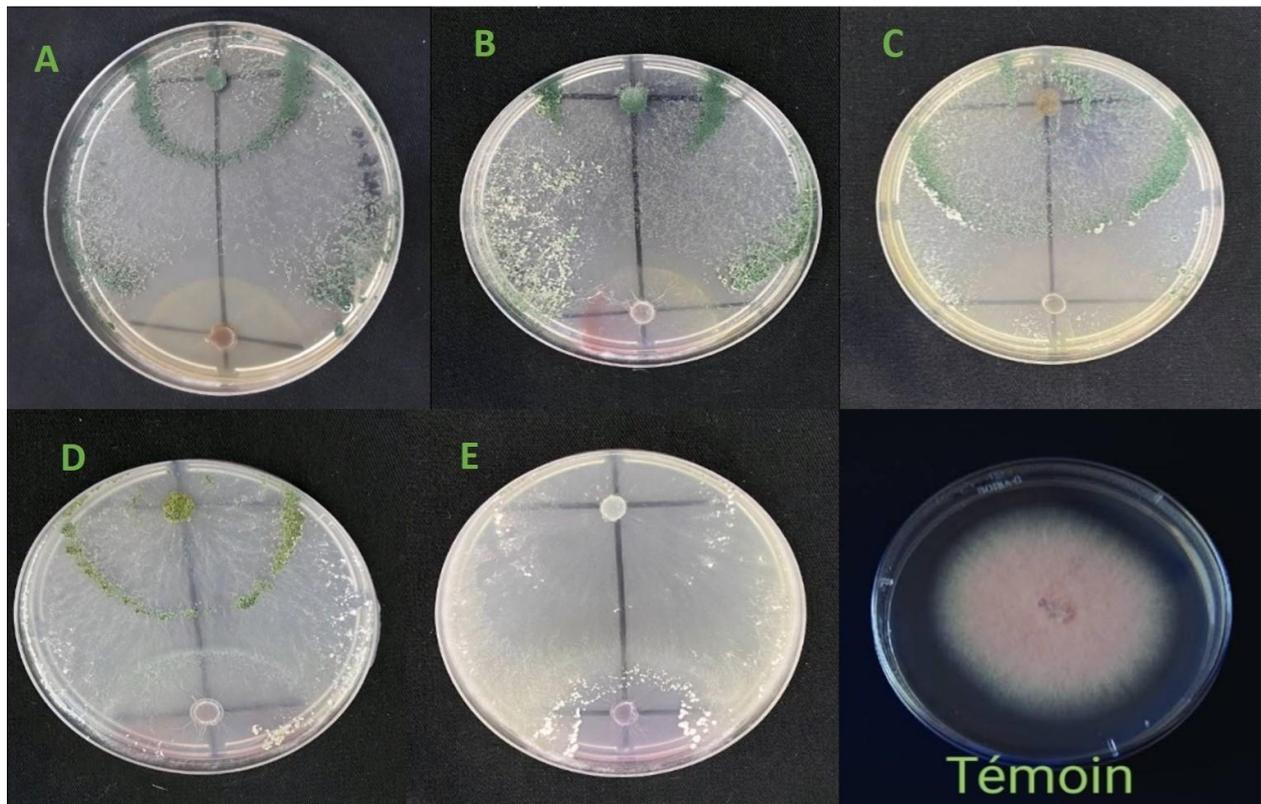


Figure 03. L'effet inhibiteur de différentes espèces antagonistes *Trichoderma* sp sur Foc en contact direct.

L'analyse des données affichées sur la figure, montre une zone d'inhibition qui varie entre 7 et 25% après 48 h d'exposition. La zone d'inhibition augmente au fur et à mesure l'augmentation de temps d'exposition. A cet égard, la zone d'inhibition est fortement influencée par le temps d'exposition, elle augmente avec l'augmentation de temps d'exposition. Après 72 h d'exposition la zone d'inhibition est variable entre 7.17 et 87.80%, alors que la souche *Trichoderma* 18 a marqué la zone d'inhibition faible, bien que *Trichoderma* 34 la plus élevée (figure 5).

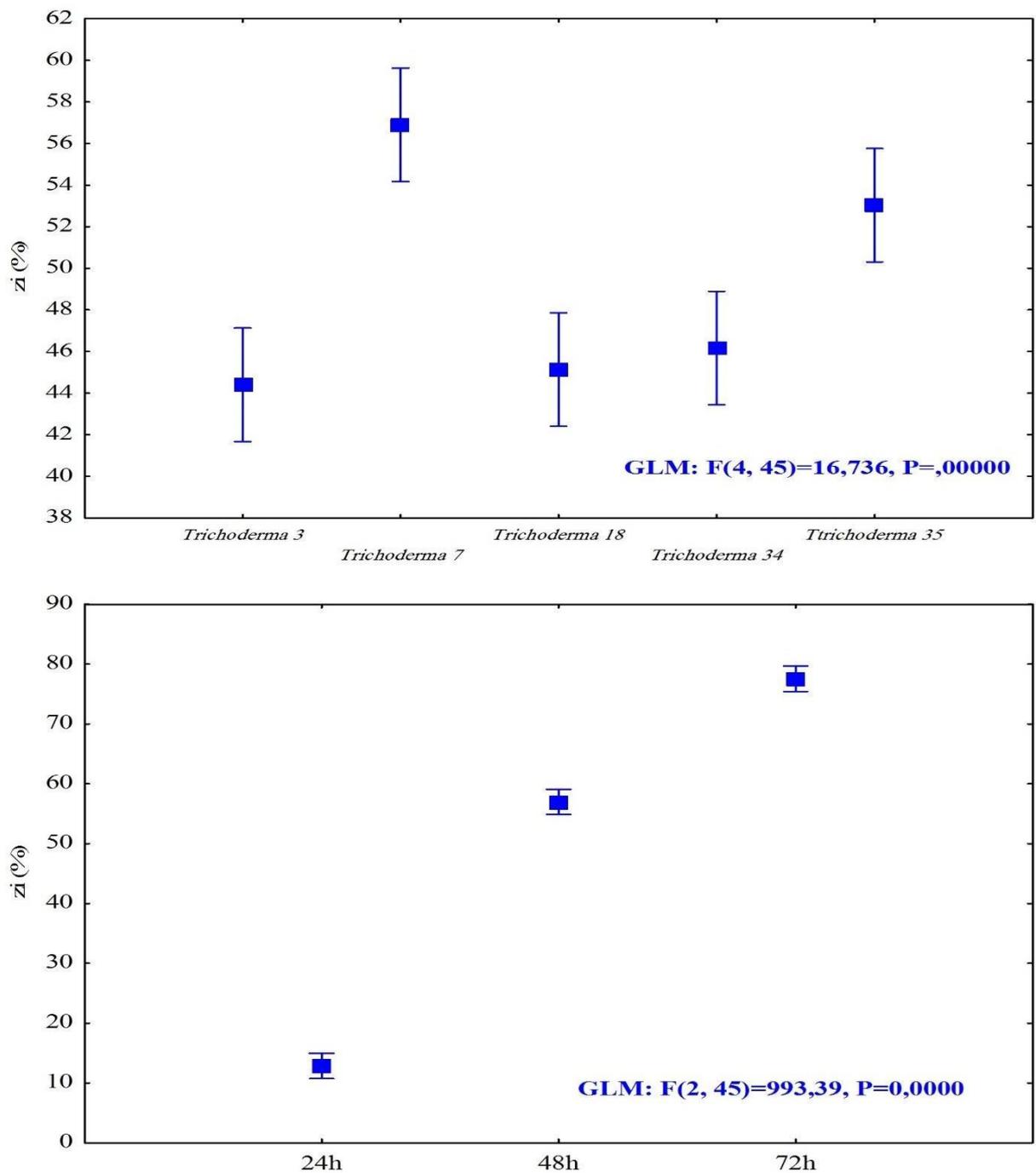


Figure 04. Etude statistique comparative effectuée par GLM de l'espèce fongique, le temps et la concentration de filtrats de culture de *Trichoderma* sur la zone d'inhibition sur le Foc.

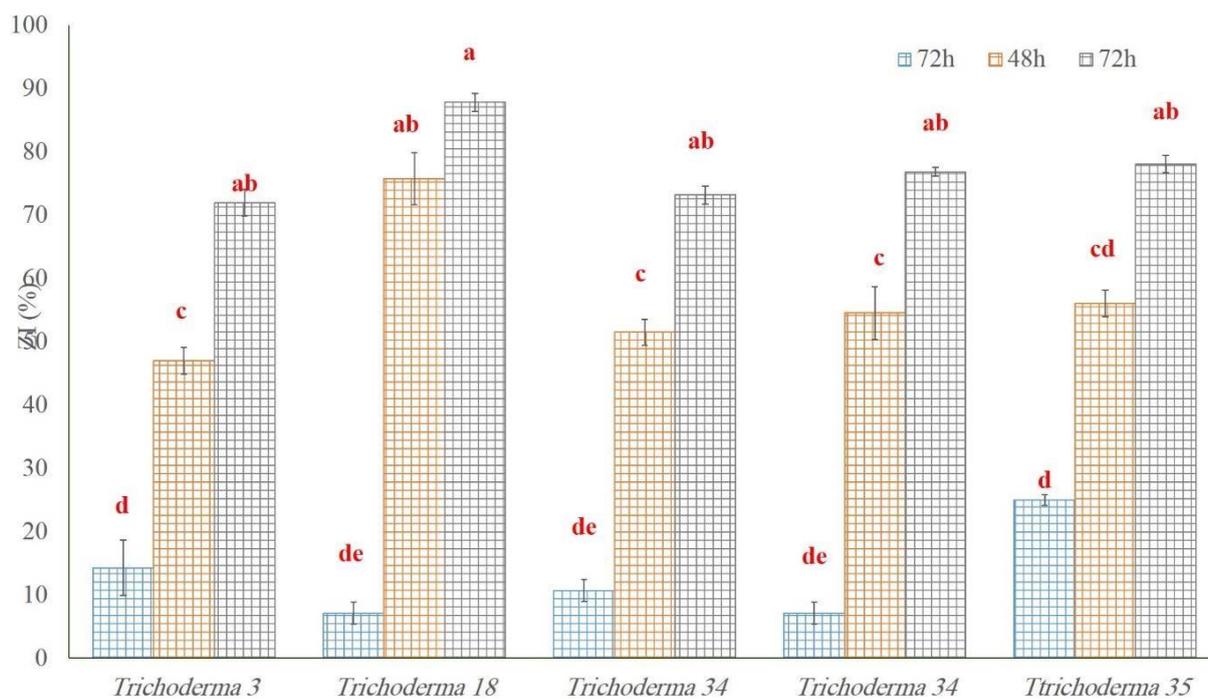


Figure 05. Effet inhibiteur des espèces de *Trichoderma* sp sur le Foc en contact direct. Les valeurs représentent la moyenne de quatre répétitions \pm l'erreur standard. Les lettres a, b et...représentent le niveau de signification au seuil de 5%.

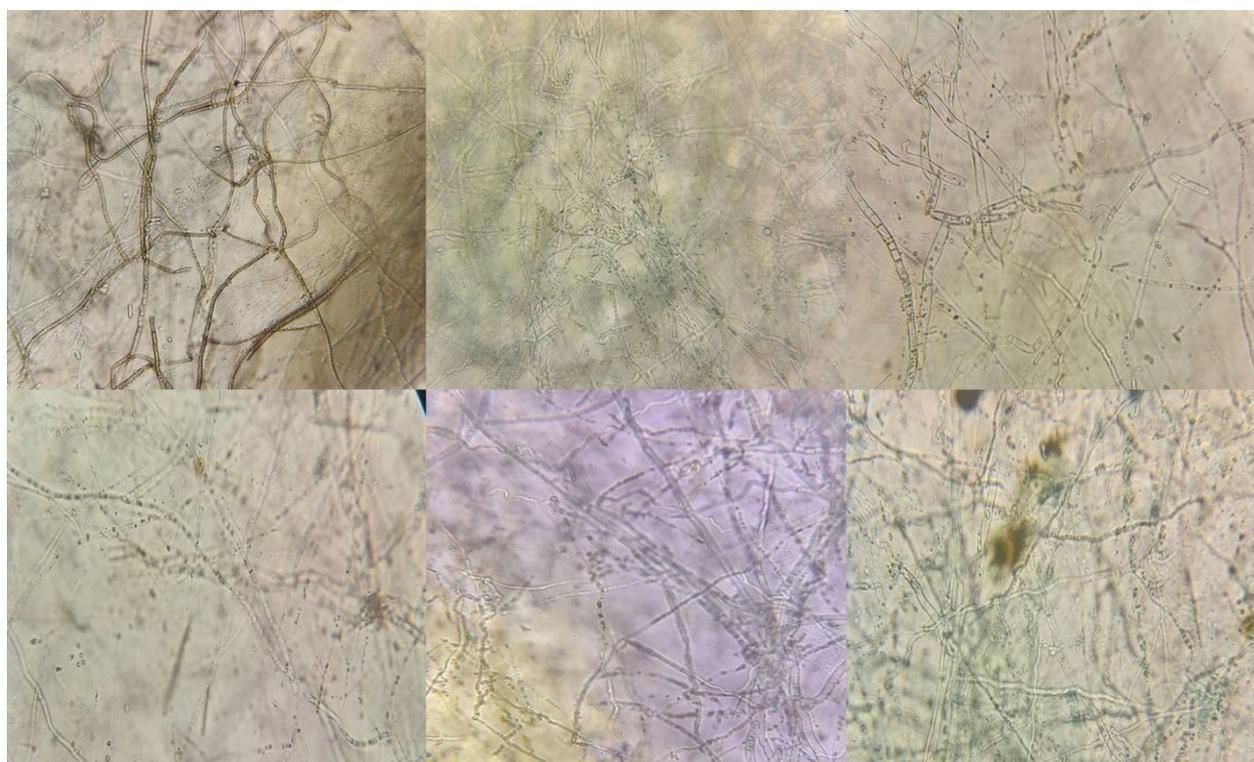


Figure 06. Observations microscopiques de la zone de confrontation entre *Trichoderma* et le Foc. a) enroulement de mycélium de *Trichoderma* sur le Foc, b) vacuolisation et c) lyse des hyphes de Foc.

L'examen microscopique accomplies au niveau de la zone de contact entre les deux antagonistes montre l'existence de modifications partielles ou totales du mycélium du pathogène (Figure 6). Ces modifications sont traduites par un arrêt de la croissance mycélienne se marquant par une lyse total ou partiel, une transformation en cordons des filaments mycéliens et un enroulement du mycélium du *Trichoderma* sur celui du *Foc*.

1.1.2. Résultats des confrontations indirects

L'analyse de l'action antagoniste à distance des *Trichoderma sp in vitro* vis-à-vis le *Foc* nous a permis de mettre en évidence l'effet inhibiteur même à distance de différentes souches de *Trichoderma sp* testées (figure 7). Dans ce contexte, l'analyse de la variance ANOVA mis en évidence un effet significatif ($F(32.99)=52.23$; $P=0.0000$) de l'espèce et de temps d'exposition $F(32.99)=52.23$; $P=0.0000$) sur la zone d'inhibition du *Foc* (figure 8).

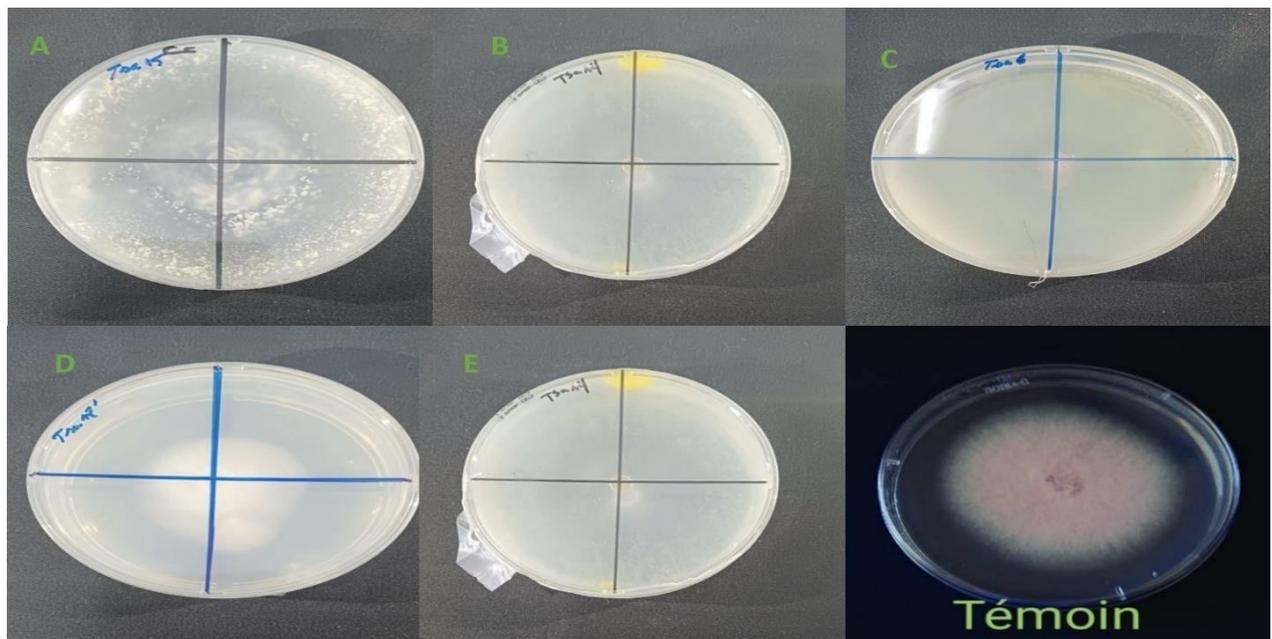


Figure 07. L'effet inhibiteur de différents espèces antagonistes *Trichoderma sp* sur *Foc* en contact indirect.

En effet, les résultats obtenus montrent des taux d'inhibition variables en fonction l'espèce de *Trichoderma* et le temps d'exposition (figure 9). La technique de confrontation à distance nous a permis de mettre en évidence l'effet inhibiteur à distance des isolats fongique exercé sur le *Foc* ; cet effet est évalué par la mesure des diamètres des colonies de ce dernier cultivé en présence ou en absence de l'antagoniste. A cet égard, après 24 h, la zone d'inhibition est variable entre 42.24% est 51.72%, dont la souche *Trichoderma 35* a montré la zone d'inhibition la plus élevée. Cependant, le taux d'inhibition est de l'ordre de 39.37 et 48.12%, après 72h d'exposition (figure 09). En revanche, l'isolat *Trichoderma 34* est le plus efficace.

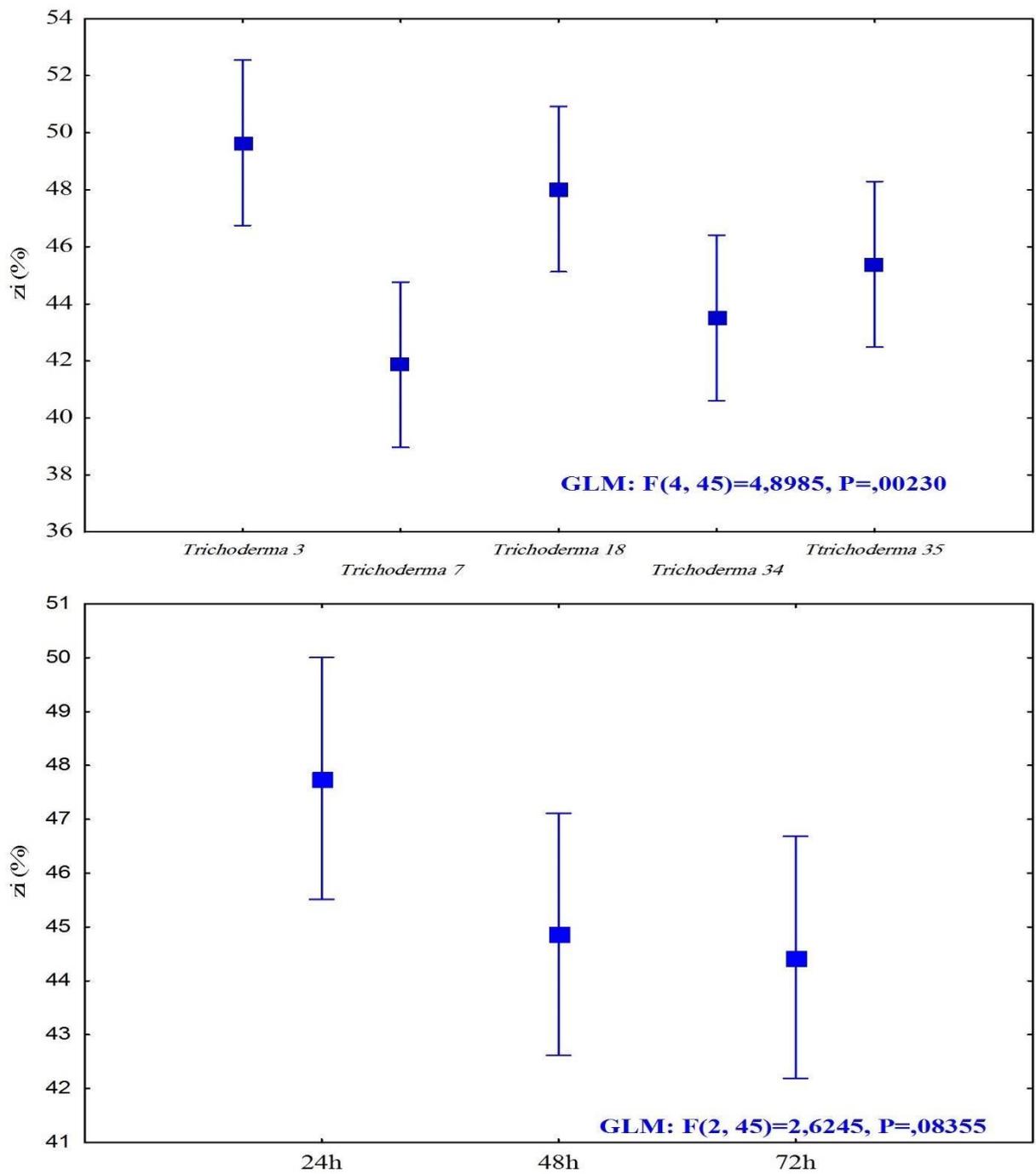


Figure 08. Etude statistique comparative effectuée par GLM de l'espèce fongique, le temps sur la zone d'inhibition sur le Foc.

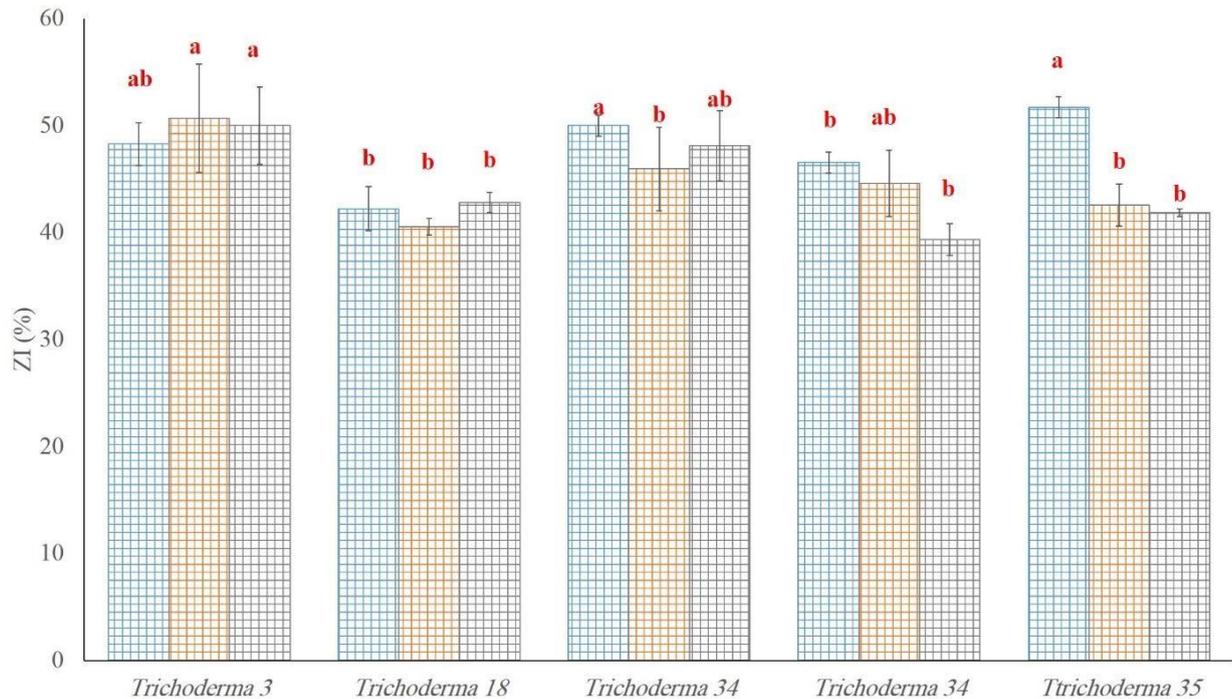


Figure 09. Effet inhibiteur des espèces de *Trichoderma sp* sur le Foc en contact direct. Les valeurs représentent la moyenne de quatre répétitions \pm l'erreur standard. Les lettres a, b et...représentent le niveau de signification au seuil de 5%.

Effet des espèces fongiques *in vivo*

Le traitement du sol par les différentes souches de *Trichoderma spp* a exposé effectivement une efficacité importante vis-à-vis le flétrissement vasculaire du pois chiche dans les conditions *in vivo* (figure 10). Les analyses ANOVA effectués par GLM et les moyennes comparées par test de Dunken montrent que, l'espèce de *Trichoderma sp* a un effet très hautement significatif ($F(12.29) = 21.19$; $P = 0.00000$) sur la variation de la valeur de l'AUDPC.

La lecture des résultats affichés sur la figure expose une diminution de la valeur de l'AUDPC sur toutes les plantules traitées avec les différentes souches de *Trichoderma spp* comparativement à ceux non traitées. Les valeurs de l'AUDPC notées chez les plantules traitées sont variables 275 entre et 371.64 expliquent une réduction de la maladie variable entre 36.74% et 52.99 %. Dans ce cadre, *Trichoderma 18* est la plus efficace et *Trichoderma 3* est la faiblement efficace (figure 11).



Figure 10. Effet des espèces de *Trichoderma* sur la sévérité de flétrissement vasculaire causé par le Foc dans les conditions *in vivo*.

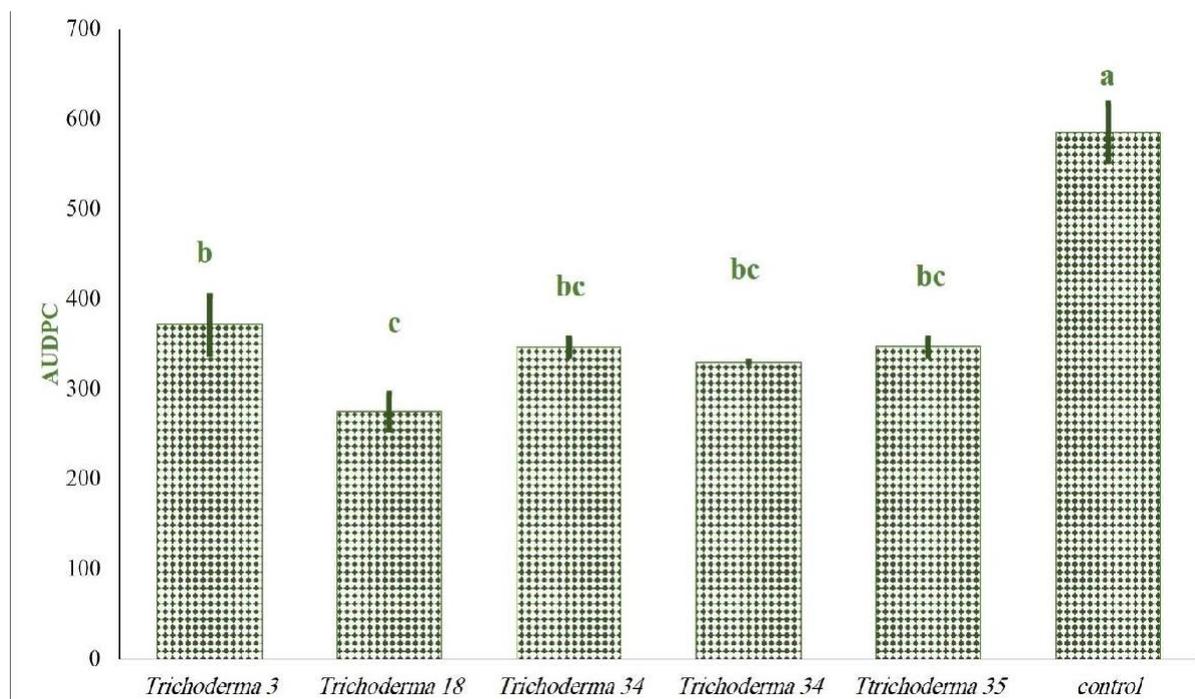


Figure 11. Effet des espèces de *Trichoderma* sur la sévérité de flétrissement vasculaire causé par le Foc dans les conditions *in vivo*. Les valeurs représentent la moyenne de quatre répétitions \pm l'erreur standard. Les lettres a, b et...représentent le niveau de signification au seuil de 5%.

Effet de l'association espèces *Trichoderma* spp / compost *in vivo*

Caractéristiques de compost

Les propriétés physiques des 2 échantillons des composts testés à savoir la structure, la couleur, et le dégagement d'odeur sont décrites dans la Figure 12.

Composts	La structure dans une durée de 12 semaines	La couleur	Le dégagement d'odeur
CO1		Maron	-
CO2		Maron foncé	-

Figure 12. Description des composts préparés.

Effet de l'association *Trichoderma* spp / compost sur la sévérité de la maladie *in vivo*

Le traitement du sol par les différentes souches de *Trichoderma* spp en association avec le compost a exposé effectivement une efficacité importante vis-à-vis le flétrissement vasculaire du pois chiche dans les conditions *in vivo* en comparaison avec les traitements individuels de l'espèce fongique (figure 13). Les analyses ANOVA effectués par GLM et les moyennes comparées par test de Dunken montrent que, l'association des différentes espèces de *Trichoderma* sp avec le compost expose un effet très hautement significatif ($F(12,29) = 21.19$; $P = 0.00000$) sur la variation de la valeur de l'AUDPC.

La lecture des résultats montre une diminution de la valeur de l'AUDPC sur toutes les plantules traitées avec les différentes associations souches de *Trichoderma* spp compost en comparaison avec les témoins positifs et négatifs. Les valeurs de l'AUDPC notées chez les plantules traitées sont variables 45 entre et 141.64 expliquent une réduction de la maladie variable entre 75.80% et 92.30 % en comparaison avec les témoins, et une augmentation de la protection des plantules de pois chiche avec des fréquences variable entre 39.62% et 40.66 % en comparaison

avec les plantules traitées individuellement avec les souches de *Trichoderma* spp. Dans ce cadre, *Trichoderma* 18 est la plus efficace et *Trichoderma* 3 est la faiblement efficace (figure 14).



Figure 13. Effet des espèces de *Trichoderma* en association avec le compost sur la sévérité de flétrissement vasculaire causé par le Foc dans les conditions *in vivo*.

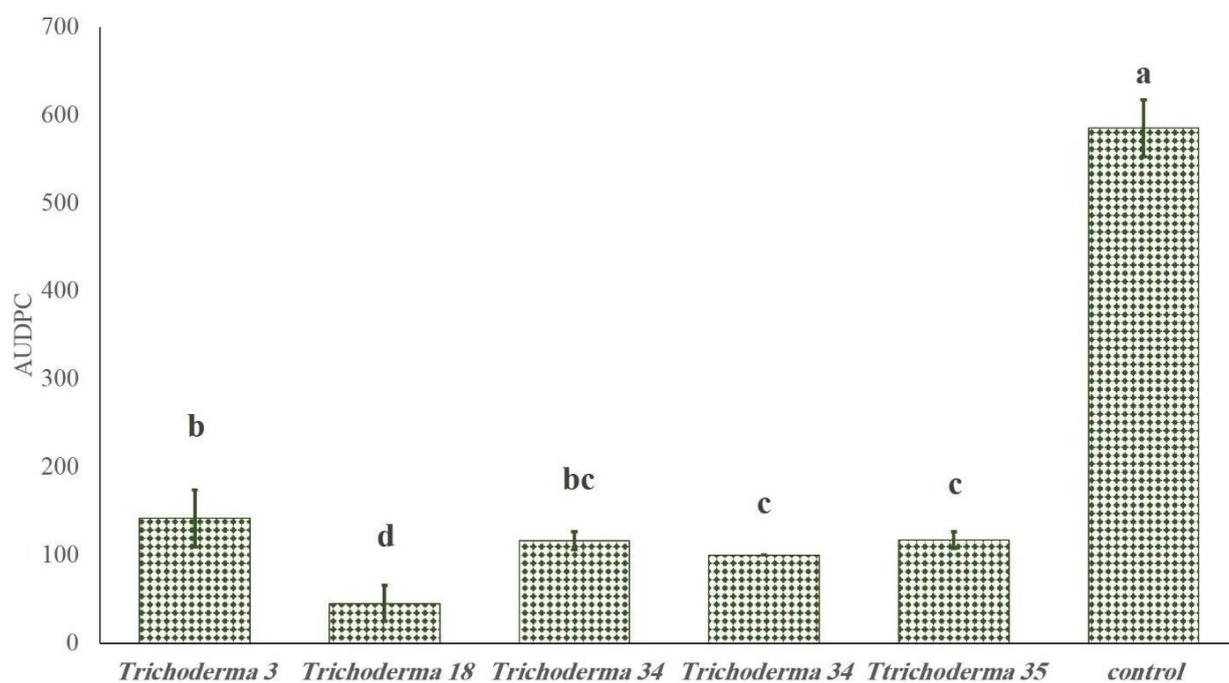


Figure 14. Effet des espèces de *Trichoderma* sur la sévérité de flétrissement vasculaire causé par le Foc dans les conditions *in vivo*. Les valeurs représentent la moyenne de quatre répétitions \pm l'erreur standard. Les lettres a, b et...représentent le niveau de signification au seuil de 5%.

2. Discussion

L'utilisation des stratégies respectueuses de l'environnement pour contrôler les maladies des plantes est extrêmement importante, tout comme une meilleure compréhension de la façon dont ils se comportent dans des conditions agricoles réelles. Dans ce travail, l'efficacité de deux stratégies de lutte biologique contre le flétrissement vasculaire de pois chiche a été testée *in vitro* et *in vivo*. Les deux stratégies testées ont montré une grande capacité à réduire la sévérité de la maladie avec des taux de 50 % à 70 % par rapport aux témoins non traités. Ceci est en accord avec les expériences préliminaires menée sous serre et dans des conditions *in vivo* (Cucu et al., 2019 ; Gilardi et coll., 2019).

Les résultats obtenus sur l'effet antagoniste *in vitro* et *in vivo* des *Trichoderma* sp ont démontré une importante activité inhibitrice de la croissance mycélienne du Foc avec des fréquences variables entre 10 et 80%, en fonction l'espèce fongique et le temps d'exposition. Nos résultats de test de contact direct montrent une compétitivité éventuelle des *Trichoderma*, accordé aux processus d'hyperparasitisme. Ce processus est confirmé par l'examen microscopique de la zone de contact entre les deux antagonistes, exposé une potentielle altération du mycélium du pathogène, une remarquable activité lytique, une modification dans les cordons des filaments mycéliens et l'enroulement du mycélium des espèces de *Trichoderma* spp sur celle du Foc.

La compétition est le processus qui se produit lorsqu'un organisme pathogène rapproche une déficience de nutriments après une confrontation avec une espèce fongique antagoniste. La perturbation causée par une insuffisance nutritionnelle est la cause la plus fréquente pour le phénomène biocide fongique de pathogène. Ces résultats sont confirmés par nos expériences où nous avons constaté un développement rapide des antagonistes en comparaison avec le Foc. Ces résultats sont analogues aux résultats antérieurs rapportés par Mukherjee et al., 2022 ; Asad 2022 ; Ren et al., 2023 ; Abdelmoteleb et al., 2023 ; Sirikamonsathien et al., 2023, exposent une compétition pour l'espace et les nutriments des espèces de fongiques antagonistes avec les phytopathogènes inhibent par conséquent leurs activité pathogénique. La réduction des concentrations de nutriments conduit généralement à une diminution de la germination des conidies et à une croissance plus lente des germes de pathogènes (Nassr et Barakat 2013 ; Asad, 2022).

Les résultats obtenus de l'examen microscopique de la zone de contact expose un enroulement de mycélium de *Trichoderma* sp en forme spirale et entrave le ceux du Foc pendant la phase de croissance. Toutefois, avec l'augmentation du temps d'exposition au processus antagoniste, le mycélium de ce dernier s'amincit progressivement et cesse de croître. Le processus hyperparasitaire, commence le plus souvent par un développement d'une masse mycélienne en

direction du pathogène, l'établissement de contact, enroulement et pénétration (Chet, 1990 ; Dubey et al., 2007 ; Mukherjee et al., 2022, Asad 2022 ; Ren et al., 2023 ; Abdelmoteleb et al., 2023).

Nos résultats dévoilent aussi une action lytique partielle et complète des mycéliums du Foc après une confrontation direct. Ce constat peut être expliqué par les sécrétions enzymatiques issues des souches de fongiques qui possèdent des activités lytiques importantes. Au cours de ce processus, les antagonistes exsudent des enzymes lytiques notamment, les chitinases, cellulases, xylanases, glucanases et protéinases, dégradant par conséquent les paroi cellulaires des pathogènes (Mukherjee et al., 2022 ; Xiong et al., 2016). D'autres études antérieures témoignant nos résultats montrent un enroulement des hyphes et la déformation morphologique dans les cultures doubles de *T. harzianum* avec *F. solani*, *Alternaria solani* et *Pythium ultimum* (Benamira et al., 2017 ; Mazrou et al., 2020 ; Díaz-Gutiérrez et al., 2021).

Les résultats obtenus sur la confrontation indirecte, montrent que les souches de *Trichoderma* sp testées inhibent significativement la croissance mycélienne du Foc à distance avec des fréquences qui varie entre 10 et 15%. Ce processus d'antibiose est parmi les mécanismes importants impliqués dans la gestion biologique contre le Foc (Dennis et Webster, 1971 ; Dubey et al., 2007, Moutassem et al., 2020, Pandey et al. 2022 ; Ling et al., 2023 ; Rajab et al., 2023). En effet, le processus d'antibiose est un mécanisme d'antagonisme exposé par l'interférence des métabolites secondaires spécifiques ou non spécifiques d'origine fongique, par des substances volatiles et d'autres composés toxiques avec les pathogènes (Dennis et Websters, 1971a, Mukherjee et al., 2022 ; Asad 2022 ; Pandey et al. 2022 ; Ling et al., 2023 ; Rajab et al., 2023). D'après Dennis et Websters (1971), les *Trichoderma* émettent des substances chimiques toxiques qui sont des dérivés de l'hydrazine présents sous formes des substances volatiles importantes.

Les engrais biologiques ont été développés pour remplacer les engrais chimiques largement utilisés dans l'agriculture (Sandrine, 2014). Une bonne pratique agricole implique l'apport de substances organiques tels que les résidus de la récolte ou les différents types de composts, afin d'améliorer la fertilité du sol (Biaou *et al*, 2017).

En effet, l'amendement organique du sol affecte la croissance et le rendement des cultures, soit directement en fournissant des nutriments ou indirectement en modifiant les propriétés physicochimiques du sol en améliorant ainsi l'environnement racinaire. Elle améliore aussi la structure des sols, augmente la capacité de rétention en eau, stimule l'activité microbienne et augmente le rendement (Biaou et al, 2017).

Les amendements organiques et les composts ont été décrits depuis des décennies comme des bioproduits suppressifs contre divers pathogènes vasculaires, y compris *Fusarium oxysporum* (Pugliese et al., 2015 ; Gilardi et al., 2016 ; De Corato et al., 2018a, 2018b ; Bonanomi et coll., 2018).

Les composts incorporés dans le sol peuvent fournir une lutte biologique contre les maladies causées par pathogènes végétaux transmis par le sol (Abbasi 2002). L'aptitude suppressive de composts aux maladies des plantes a été attribuée à la composition chimique des composts, à leur disponibilité en éléments nutritifs et à leur composition microbienne due aussi bien à l'apport de microorganismes qu'à la stimulation de ceux du sol (Mouria et al., 2013). L'influence du compostage sur les phytopathogènes ne se limite pas à leur destruction. Pendant ces processus, une population de microorganismes antagonistes peut s'y développer, ce qui confère au compost la capacité de protéger les plantes contre les maladies telluriques (Iarbi, 2006).

Il existe de nombreux moyens directs et indirects par lesquels ces microorganismes agissent comme des promoteurs de la croissance des plantes avec leurs propriétés du contrôle biologique et l'induction d'une résistance systémique contre les phytopathogènes (Moutassem, 2020). Les effets des antagonistes biologiques sur les maladies des plantes peuvent être expliqués par la sécrétion des substances à intérêt allélopatique limitant ainsi la croissance et le développement des pathogènes dans le sol et aussi la manifestation de leur pathogénéicité sur les plantes.

De nombreuses études ont démontré que leur flore fongique joue un rôle important dans l'action antagoniste (Reuveni et coll., 2002 ; Tilston et coll., 2002 ; Papatiriu et coll., 2013 ; De Corato et coll., 2019). Bien que leurs mécanismes d'action sont similaires à ceux des agents de lutte biologique, mais la complexité et la richesse fongique du compost suggèrent que ces différents mécanismes pourraient être utilisés en synergie.

Notre travail a été effectué afin d'analyser l'effet de composts enrichis par des antagonistes biologiques sur le flétrissement vasculaire du pois chiche. Les résultats obtenus indiquent une importante diminution de la sévérité en comparaison avec les traitements individuels. Dans ce cadre, les composts peuvent également être enrichis en agents de lutte biologique pour renforcer leur pouvoir suppressif, car il a été indiqué que cette technique pourrait être la plus prometteuse d'obtenir une capacité suppressive idéale et à long terme contre les agents pathogènes vasculaires (Pugliese et al. 2011 ; Bonanomi et al., 2018 ; Gilardi et al., 2019). En effet, un compost enrichi en *Trichoderma virens* TW2 s'est révélé efficace pour lutter contre la fusariose sur les cultures maraîchères (Gilardi et al., 2019 ; Cucu et al., 2019 et 2020b).

Les inducteurs de la résistance des plantes contre les phytopathogènes sont des composés d'origines diverses qui ont été montrés pour activer le système immunitaire des plantes (Walters et Fontaine, 2009 ; Akram et Anjum, 2011 ; Alexandersson et al., 2016). Les agents de lutte biologique ainsi que les composts, se sont avérés des inducteurs de la résistance dans plusieurs pathosystèmes (Compant et al., 2005; Ongena et al., 2007 ; Pieterse et coll., 2014 ; Akram et coll., 2015 ; Bellini et coll., 2021). Dans ce cadre, les stratégies de lutte intégrée contre les ravageurs

sont une combinaison de différentes mesures basées sur le principe de synergie entre elles pour contrôler les attaques d'agents pathogènes (Barzman et al., 2015).

Le complexe des micro-organismes de la rhizosphère peut renforcer les plantes et les protéger des stress à la fois biotiques et abiotiques (Nihorimbere et al., 2011 ; Chaudhary et al., 2021a), en effet le microbiote de la rhizosphère la population est l'une des plus grandes influences sur la santé des plantes et des sols (Berendsen et al., 2012 ; Kumari et al., 2020 ; Chaudhary et al., 2022).

Le rôle de la population biologique du sol est encore plus important pour l'effet protecteur contre les pathogènes vasculaires qui envahissent les plantes tissus à travers le système racinaire, comme c'est le cas avec Fol (Hubband et Gerik, 1993 ; Gordon, 2017). En effet l'application d'amendements organiques en association avec les *Trichoderma* peuvent entraîner un changement dans la composition et la diversité microbiote du sol, et par conséquent entraînant une modification du pouvoir suppressif du sol. Le combinaison de *Trichoderma* favorisant la croissance des plantes aussi ont une forte influence sur la composition du sol du maïs et d'augmenter diversité et richesse bactériennes (Chaudhary et al., 2021b).

Dans le présent travail, et sur la base d'études antérieures (Gilardi et al., 2016, 2019), deux stratégies IPM ont été développées en utilisant du compost enrichi en *Trichoderma*.

Les *Trichoderma* spp. sont des antagonistes qui favorisent la croissance générale de la plante et la disponibilité des nutriments, améliorant ainsi la colonisation et la disponibilité des nutriments pour l'agent de bio contrôle ; suivi de l'amélioration du potentiel antagoniste global contre le phytopathogène (Solanki et Nallanchakravarthula, 2017). De plus La fixation de *Trichoderma* sur les racines des plantes favorise l'absorption de quelques éléments nutritifs (cuivre, fer, phosphore, manganèse et le sodium ...) à partir de la solution du sol. Cette augmentation de l'absorption des éléments nutritifs indique une amélioration de la croissance des plantes (Kais-soumi et al., 2017). Autrement, les espèces de *Trichoderma* sont connues comme des producteurs des éliciteurs lesquels activent certains gènes de défense des plantes. Des avancées récentes démontrent que les effets de *Trichoderma* sur les plantes, y compris la résistance systémique ou induite, sont très importants (Gajera et al., 2013).

Les activités de lutte biologique de certains microorganismes sont considérées comme des avantages lorsqu'elles agissent comme un stimulant de la nutrition des plantes (Shafawati & Siddiquee, 2013). Pour intégrer avec succès dans les systèmes de production végétale, les composts pourraient être enrichis avec des souches microbiennes antagonistes sélectionnées pour améliorer l'effet de la protection biologique contre les maladies des plantes (Tripathi et al., 2010). Le compost sert comme une source de nourriture et d'abri aux antagonistes qui éliminent les agents

phytopathogènes, les organismes qui s'attaquent aux parasites, et les micro-organismes bénéfiques qui produisent des antibiotiques (Lichtfouse, 2010).

Le succès de l'enrichissement des composts par des antagonistes et de la survie durable du micro-organisme introduit dépend de l'origine et de la qualité du compost (Hoitink et boehm, 1999). En effet, une combinaison des antagonistes avec un compost de haute qualité peut être plus efficace pour diminuer l'impact des maladies que l'utilisation de souches micro-biennes antagonistes uniques ou du compost seul (Ros et al., 2017).

Le compost comme moyen alternatif de contrôle des maladies contre les phytopathogènes fongiques a été étudié de manière approfondie. Dans le compostage, la colonisation est importante pendant le processus de durcissement afin de ne pas être détruite par la phase thermophile du processus de compostage (Shafawati et Siddiquee, 2013)

L'application des extraits produits à partir de compost bien mûri enrichi avec les agents de lutte biologique pourrait être une stratégie de lutte alternative (Shafawati et Siddiquee, 2013). Les composts contenant des *Trichoderma* sp sont avérés très efficaces contre plusieurs maladies. Dans le même ordre d'idées, Mouria et al., (2013) ont prouvé l'efficacité de *T. harzianum* introduit dans le composte a inhibé la germination et la croissance mycélienne de *Verticilium dahliae* et réduit l'intensité sclérogénèse de ce pathogène par antibiose. Toutefois, Rajbar et al., (2018) ont montré que le compost enrichi avec les espèces de *Trichoderma* sp maintenu une bonne capacité antagoniste contre certains champignons phytopathogènes tels que les espèces *Fusarium* sp, *Pythium* sp, *Rhizotonia* sp et *Sclerotinia* sp.

Certains *Trichoderma* spp incluent dans les composts ont été largement utilisées comme agents de lutte biologique (BCA) et peuvent réduire la gravité des maladies des plantes en inhibant les agents pathogènes des plantes dans le sol / substrat grâce à leur activité antagoniste et mycoparasitaire très puissante. La combinaison des *Trichoderma* avec des bactéries ou d'autres micro-organismes bénéfiques dans le compost témoignant un meilleur contrôle des maladies des plantes (Shafawati et Siddiquee, 2013).

Les *Pseudomonas* sont les bactéries les plus importantes dans la rhizosphère (Boukerma, 2012). Ces bactéries ont suscité à intérêt particulier en tant qu'agent de lutte biologique potentiel intégré dans le compost contre plusieurs phytopathogènes. Elles sont avérés très efficaces lorsqu'ils sont appliqués comme traitements dans le compost (Hoitink et boehm, 1999). Il a été signalé que ce groupe des bactéries inhibe la croissance des champignons, lyse les conidies fongiques et produit également des antibiotiques et des sidérophores (Upadhyay et Jayaswal, 1992). La compétition pour le fer est l'un des modes d'action par lesquels les *Pseudomonas* spp. réduisent l'incidence ou la gravité de la maladie (Alabouvette et al., 2009).

Des approches réussies pour évaluer l'effet de l'utilisation de compost comme substrat enrichi avec deux souches de *Trichoderma* (*Trichoderma harzianum* ou *Trichoderma asperellum*) sur les communautés bactériennes et fongiques de la rhizosphère du poivron infectée par *Phytophthora nicotianae*. Le compost enrichi de *Trichoderma asperellum* était la combinaison la plus efficace contre le pathogène. Cela pourrait indiquer que l'effet des composts enrichis est plus important que le compost lui-même et que l'effet de biocontrôle doit être attribué aux souches de *Trichoderma* plutôt qu'au microbiote du compost, bien que certains microorganismes puissent contribuer à l'effet de lutte biologique (Ros et al., 2017).

L'ajout de compost à un sol entraîne toujours une stimulation des activités microbiennes, renforçant le phénomène de «suppression générale» vers les agents pathogènes (Alabouvette et al., 2006). Les mécanismes biologiques qui ont été suggérés pour la suppression des maladies des plantes par les composts sont le : le parasitisme direct, l'antibiose, la concurrence pour les nutriments, l'amélioration de la nutrition et de la vigueur des plantes et finalement l'activation de la résistance systémique induite chez les plantes (Hadar, 2011). L'influence du compostage sur les phytopathogènes ne se limite pas à leur destruction.

Il a été prouvé que les composts suppriment une grande variété d'agents pathogènes des plantes d'origine tellurique, par ex. *Fusarium oxysporum*, *Phytophthora nicotianae* ou *Pythium ultimum* (Ros et al., 2017). Une étude a été réalisée par Mouria et al., (2013) sur l'effet de composte et de *Trichoderma harzianum* sur la suppression de la verticilliose de la tomate. Le compost étudié constitue un bon amendement en tant que biopesticide, et assure une meilleure suppression de la verticilliose de la tomate. L'effet bénéfique de mélange *Trichoderma harzianum*-composte est aussi montré l'amélioration des paramètres de croissance et de rendement de la culture de tomate (*Lycopersicon esculentum*) (Ouedraogo et Hien, 2015).

En outre, Hoitink et boehm (1999) ont signalé que les pourritures racinaires provoquées par *Pythium* et *Phytophthora* sont facilement contrôlées par des composts naturels. En effet, Hibar et al., (2006) ont montré que l'utilisation de compost réduit l'effet de la fonte de semis du concombre causée par *Pythium ultimum*. Cependant, le pathogène du sol *F. oxysporum* est très sensible à la compétition pour les nutriments. Ce pathogène a été efficacement contrôlé par l'amendement du sol avec des composts biologiques (Alabouvette et al., 2006).

L'ajout de compost peut également empêcher le développement de la maladie par augmentation du PH (exemple de la hernie des crucifères qui se développe plus difficilement au-dessus de PH 7) ou libération de composés toxiques lors de sa dégradation dans le sol (Znaïdi et Khedher, 2002).

CONCLUSION

Conclusion

Les produits chimiques ont été avérés toxiques et provoquent un déséquilibre écologique, ainsi que des effets néfastes pour la santé humaine et animale. Le recours à des produits organiques et biologiques reste la meilleure solution afin de recomposer les carences en éléments minéraux sans nuire à l'environnement et la santé humaine. L'ajout de composts ou des biofertilisants au sol a un effet significativement positif sur les caractéristiques physicochimiques et microbiologiques du sol d'une part et la productivité de la plante d'autre part.

L'objectif initial de cette étude a été d'analyser les effets des traitements à base des agents de lutte biologique (*Trichoderma* sp) et les composts organiques en traitement individuels et associés sur le flétrissement vasculaire de pois chiche *in vitro* et *in vivo*.

Les tests *in vitro* indiquent que les *Trichoderma* spp ont une efficacité fongicide contre le Foc., Après 72 h d'exposition la zone d'inhibition est variable entre 7.17 et 87.80%, alors que la souche *Trichoderma* 18 a marqué la zone d'inhibition faible, bien que *Trichoderma* 34 la plus élevée en contact direct. L'examen microscopique accompli au niveau de la zone de contact entre les deux antagonistes montre l'existence de modifications partielles ou totales du mycélium du pathogène. Cependant, la zone d'inhibition elle est variable entre 39.37 et 48.12%, après 72h d'exposition. Nos résultats montrent que *Trichoderma* 18 apparaît le plus efficace contre le Foc. L'activité inhibitrice est fortement influencée par l'espèce de *Trichoderma* et le temps d'exposition.

Les souches de *Trichoderma* ont été avérées très efficaces *in vivo* avec des valeurs de l'AUDPC variables entre 275 et 371.64 expliquant une réduction de la maladie variable entre 36.74% et 52.99 %. Cependant, les traitements associés Compost/ *Trichoderma* spp ont montré une réduction très importante de la sévérité de flétrissement vasculaire, dont les valeurs de l'AUDPC sont variables entre 45 et 141.64 expliquant une réduction de la maladie variable entre 75.80% et 92.30 % en comparaison avec les témoins, et une augmentation de la protection des plantules de pois chiche avec des fréquences variables entre 39.62% et 40.66 % en comparaison avec les plantules traitées individuellement avec les souches de *Trichoderma* spp.

Toutefois, l'inoculation du compost par des agents de lutte biologique tels que *Trichoderma* a montré un effet bénéfique et sont avérées plus efficaces contre plusieurs maladies des plantes. Dans ce contexte, l'application des extraits produits à partir de compost bien mûri enrichi avec les agents de lutte biologique pourrait être une stratégie de lutte alternative et intégrée.

Conclusion

À l'issue du travail réalisé dans ce mémoire, les perspectives que j'envisage s'inscrivent d'une part dans le cadre d'une recherche de moyens de lutte visant à limiter, au champ, l'activité infectieuse de Foc par le biais de traitements biologiques individuels et combinés, mais également elles s'inscrivent dans le cadre d'une étude complémentaire visant à mettre en évidence les mécanismes par lesquels ces méthodes agissent négativement sur l'activité infectieuse du pathogène.

REFEFRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

1. Abdelmoteleb Ali ., Gonzalez-Mendoza D., Zayed O., (2023). Cell-free culture filtrate of *Trichoderma longibrachiatum* AD-1 as alternative approach to control *Fusarium solani* and induce defense response *Phaseolus vulgaris* L. plants. *Rhizosphere*, 25 1006–1018.
2. Agrios N.G., (2005). *Plant Pathology*, 5th ed., Elsevier-Academic Press, p. 635.
3. Akram, W., Anjum, T., 2011. Use of bioagents and synthetic chemicals for induction of systemic resistance in tomato against disease. *Int. Res. J. Agric. Sci. Soil Sci.* 1, 286–292.
4. Akram, W., Anjum, T., Ali, B., 2015. Searching ISR determinant/s from *Bacillus subtilis* IAGS174 against fusarium wilt of tomato. *BioControl* 60, 271–280.
5. Alabouvette, C., Olivain, C., et Steinberg, C. (2006). Biological Control of Plant Diseases : the european situation. *European journal of plant pathology*, 114(3), 329- 341.
6. Alabouvette, C., Olivain, C., Migheli, Q., et Steinberg, C. (2009). Microbiological control of soil-borne phytopathogenic fungi with special emphasis on wilt-inducing *Fusarium oxysporum*. *New Phytologist*, 184(3), 529-544. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.03014.x>.
7. Alexandersson, E., Mulugeta, T., Lankinen, Å., Liljeroth, E., Andreasson, E., 2016. Plant resistance inducers against pathogens in Solanaceae species—From molecular mechanisms to field application. *Int. J. Mol. Sci.* 17, 1673.
8. Asad S. A., 2022. Mechanisms of action and biocontrol potential of *Trichoderma* against fungal plant diseases - A review. *Ecological Complexity* 49: 100978.
9. Barzman, M., Barberi, P., Birch, A.N.E., Boonekamp, P., Dachbrodt-Saaydeh, S., Grif, B., Hommel, B., Jensen, J.E., Kiss, J., Kudsk, P., Lamichhane, J.R., Messéan, A., Moonen, A.-C., Ratnadass, A., Ricci, P., Sarah, J.-L., Sattin, M., 2015. Eight principles of integrated Pest management. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 1199–1215. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0327-9>.
10. Bellini, A., Pugliese, M., Guarnaccia, V., Meloni, G.R., Gullino, L.M., 2021. Calcium oxide, potassium phosphite and a trichoderma enriched compost water suspension protect *Capsicum annuum* against *Phytophthora capsici* by priming the immune system. *Pest Manag. Sci.* 77, 3484–3490.

Références bibliographiques

11. Berendsen, R.L., Pieterse, C.M., Bakker, P.A., 2012. The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends Plant Sci.* 17, 478–486. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.04.004>.
12. Biao, o. D. B., et Saidou, a. (2017). Effet de l'apport de différents types d'engrais organiques sur la fertilité du sol et la production de la carotte (*daucus carota l.*) Sur sol ferrallitique au sud bénin.
13. Bonanomi, G., Lorito, M., Vinale, F., Woo, S.L., 2018. Organic amendments, beneficial microbes, and soil microbiota: toward a unified framework for disease suppression. *Annu. Rev. Phytopathol.* 56, 1–20. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080615-100046>.
14. Chaudhary, P., Khati, P., Chaudhary, A., Maithani, D., Kumar, G., Sharma, A., 2021a. Cultivable and metagenomic approach to study the combined impact of nanogypsum and *Pseudomonas taiwanensis* on maize plant health and its rhizospheric microbiome. *PLoS ONE* 16 (4), e0250574.
15. Chaudhary, P., Sharma, A., Chaudhary, A., Khati, P., Gangola, S., Maithani, D., 2021 b. Illumina base high throughput analysis of microbial diversity of maize rhizosphere treated with nanocompounds and *Bacillus* sp. *Appl. Soil Ecol.* 159, 103836. *Annu. Rev. Phytopathol.* 56, 1–20. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080615-100046>.
16. Chaudhary, P., Chaudhary, A., Bhatt, P., Kumar, G., Khatoun, H., Rani, A., Kumar, J., Sharma, A., 2022. Assessment of soil health indicators under the influence of nanocompounds and *Bacillus* spp. in field condition. *Front. Environ. Sci.* 9, 769874.
17. Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., Clement, C., Barka, E.A., 2005. Use of plant growth promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects. *Appl. Environ. Microb.* 71, 4951–499.
18. Cucu, M.A., Gilardi, G., Pugliese, M., Matić, S., Gisi, U., Gullino, M.L., Garibaldi, A., 2019. Influence of different biological control agents and compost on total and nitrification-driven microbial communities at rhizosphere and soil level in a lettuce *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* pathosystem. *J. Appl. Microbiol.* 126, 905–918.
19. Cucu, M.A., Gilardi, G., Pugliese, M., Gullino, M.L., Garibaldi, A., 2020b. An assessment of the modulation of the population dynamics of pathogenic *Fusarium oxysporum* f. sp.

Références bibliographiques

- lycopersici in the tomato rhizosphere by means of the application of *Bacillus subtilis* QST713, *Trichoderma* sp. TW2 and two composts. *Biol. Contr.* 142, 1041–1058.
20. De Corato, U., Salimbeni, R., De Pretis, A., 2018a. Suppression of soilborne pathogens in container media amended with on-farm composted agrobioenergy wastes and residues under glasshouse condition. *J. Plant Dis. Protect.* 125, 213–226. <https://doi.org/10.1007/s41348-017-0133-5>.
21. De Corato, U., Salimbeni, R., De Pretis, A., Patruno, L., Avella, N., Lacolla, G., Cucci, G., 2018b. Microbiota from 'next-generation green compost' improves suppressiveness of composted municipal-solid-waste to soil-borne plant pathogens. *Biol. Control* 124, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.05.020>.
22. De Corato, U., Patruno, L., Avella, N., Lacolla, G., Cucci, G., 2019. Composts from green sources show an increased suppressiveness to soilborne plant pathogenic fungi: relationships between physicochemical properties, disease suppression, and the microbiome. *Crop Protect.* 124, 104870 <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104870>.
23. Dennis, L., Webster, J. (1971). Antagonism properties of species-groups of *Trichoderma*. III. Hyphal interaction. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 57: 363-369.
24. Díaz-Urbano M., Goicoechea N., Velasco P, Poveda J., 2023. Development of agricultural bio-inoculants based on mycorrhizal fungi and endophytic filamentous fungi: Co-inoculants for improve plant-physiological responses in sustainable agriculture. *Biological Control* 182 (2023) 105223.
25. Dordas, C. (2008). Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(1), 33-46. <https://doi.org/10.1051/agro:2007051>.
26. Dubey, S.C., Suresh, M., Singh, B. (2007). Evaluation of *Trichoderma* species against *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* for integrated management of chickpea wilt. *Biological Control*, 40(1): 118–127.
27. Elmer, W.H., et Datnoff, L.E. (2014). Mineral Nutrition and Suppression of Plant Disease. In: Neal Van Alfen. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, Vol. 4, San Diego: Elsevier; . pp. 231–244.

Références bibliographiques

- Gajera, H., Domadiya, R., Patel, S., Kapopara, M., et Golakiya, B. (2013). Molecular mechanism of Trichoderma as bio-control agents against phytopathogen system – a review. 11.
28. Gajera, H.P., Savaliya, D.D., Patel, S.V., Golakiya, B.A. (2015). Trichoderma viride induces pathogenesis related defense response against rot pathogen infection in groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Infection, Genetics and Evolution*, 34: 314–3 25.
29. Ghorbani, R., Wilcockson, S., Koocheki, A., et Leifert, C. (2008). Soil management for sustainable crop disease control: a review. *Environ Chem Lett*, 6:149–162.
30. Gilardi, G., Pugliese, M., Gullino, M.L., Garibaldi, A., 2016. Effect of different organic amendments on lettuce Fusarium wilt and on selected soilborne microorganisms. *Plant Pathol.* 65, 704–712. <https://doi.org/10.1111/ppa.12460>.
31. Gilardi, G., Pugliese, M., Gullino, M.L., Garibaldi, A., 2019. Nursery treatments with resistant inducers, soil amendments and biocontrol agents for the management of the Fusarium wilt of lettuce under glasshouse and field conditions. *J. Phytopathol.* 167, 98–110.
32. Gordon, T.R., 2017. Fusarium oxysporum and the Fusarium wilt syndrome. *Annu. Rev. Phytopathol.* 55, 23–39.
33. Hadar, Y. (2011). Suppressive compost : When plant pathology met microbial ecology. 4.
34. Hibar, K., Mejda, D.R., Haifa, K., Mohamed, E. (2005). Effet inhibiteur in vitro et in vivo du Trichoderma harzianum sur Fusarium oxysporium f. sp. radicis lycopersici. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 9(5): 163-171.
35. Hibar, K., Daami-Remadi, M., Jabnoun-Khiareddine, H., Znaïdi, I. E. A., & Mahjoub, M. E. (2006). Effet des extraits de compost sur la croissance mycélienne et l'agressivité du Fusarium oxysporum f. Sp. Radicis- lycopersici. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 8
36. Hoitink, H. A., et Fahy, P. C. (1986). Basis for the control of soilborne plant pathogens with composts. *Annual review of phytopathology*, 24(1), 93-114.
37. Hoitink, Ma., et boehm, M. (1999). biocontrôles within the contexte of soil microbial communities : A Substrate-Dependent Phenomenon. *Annual Review of Phytopathology*, 37(1), 427-446.
38. Hubband, J.C., Gerik, J.S., 1993. A new wilt disease of lettuce incited by Fusarium oxysporum f. sp. lactucum formae specialis nov. *Plant Dis.* 77, 750–7544.

Références bibliographiques

39. Huber, D. M., et Haneklaus, S. (2007). Managing nutrition to control plant disease. *Landbauforschung Völkenrode*, 11.
40. Jen-Hshuan, C. (2006). The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. 11.
41. Joshi, D., Hooda, K. S., Bhatt, J. C., Mina, B. L., et Gupta, H. S. (2009). Suppressive effects of composts on soil-borne and foliar diseases of French bean in the field in the western Indian Himalayas. *Crop Protection*, 28(7), 608-615. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.03.009>.
42. Kaissoumi, H. E., Chahdi, A. O., Selmaoui, K., Benkirane, R., Ouazzani, A., et Douira, A. (2017). [Effect of different fertilizing elements on the development of two species of *Trichoderma* spp.]. 32(1), 12.
43. Kumar, A., Zhimo, Y., Biasi, A., Salim, S., Feygenberg, O., Wisniewski, M., Droby, Samir, 2021. Endophytic microbiome in the carposphere and its importance in fruit physiology and pathology, in: Spadaro, D., Droby, S., Gullino, M.L. (Eds.), *Postharvest Pathology*. pp. 73-88. Doi: 10.1007/978-3-030-56530-5_5.
44. larbi, mohamed. (2006). Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques. Université de Neuchâtel.
45. Lichtfouse, E., (2010). *Organic Farming, Pest Control and Remediation of Soil Pollutants : Organic farming, pest control and remediation of soil pollutants (Vol. 1)*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9654-9>.
46. Majbar Z., Lahlou K., Ben Abbou M., Ammar E., Triki A., Abid W., Nawdali M., Bouka H., Taleb M., El Haji M., Rais Z., 2018. Co-composting of Olive Mill Waste and Wine-Processing Waste: An Application of Compost as Soil Amendment. *Journal of Chemistry*, 7918583, 1- 9.
47. Mouria, B., Ouazzani, T, A., & Douira, A. (2013). Effet du compost et de *Trichoderma harzianum* sur la suppression de la verticilliose de la tomate. 5531-5543.
48. Moutassem Dahou, Lakhdar Belabid, Yuva Bellik, Nouredine Rouag, Siham Ziouche, Faiza Baali, (2018). Effect of soil nutrient and biota dynamics on wilt disease severity in chickpea. *Pakistan journal of phytopathology*. Pak. J. Phytopathol., Vol. 31 (02) 2018. 121-

Références bibliographiques

49. Moutassem D., 2020. Epidémiologie de la fusariose vasculaire de pois chiche (*Cicer arietinum* L.) causée par *Fusarium oxysporum* Scheicht. Emend. Snyder. Flans, f. sp. *ciceris* (Padwick), et méthodes et moyens de lutte. Thèse de Doctorat. 295pp.
50. Mukherjee, M., Horwitz, B.A., Sherkhane, P.D. Hadar, R., Mukherjee, P.K. (2006). A secondary metabolite biosynthesis cluster in *Trichoderma virens*: evidence from analysis of genes under expressed in a mutant defective in morphogenesis and antibiotic production. *Curr Genet*, 50:193–202.
51. Mukherjee, M., Mukherjee, P.K., Horwitz, B.A., Zachow C., Berg, G., Zeilinger, S. (2012). *Trichoderma–Plant–Pathogen Interactions: Advances in Genetics of Biological Control*. *Indian J Microbiol*, 52 (4):522–529.
52. Nassr S, Barakat R (2013) Effect of factors on conidium germination of *Botrytis cinerea* in vitro. *Methods* 67:68.
53. Nihorimbere, V., Ongena, M., Smargiassi, M., Thonart, P., 2011. Beneficial effect of the rhizosphere microbial community for plant growth and health. *Biotechnol. Agron. Soc.* 15, 327–337.
54. Ongena, M., Jourdan, E., Adam, A., Paquot, M., Brans, A., Joris, B., Arpigny, J.L., Thonart, P., 2007. Surfactin and fengycin lipopeptides of *Bacillus subtilis* as elicitors of induced systemic resistance in plants. *Environ. Microbiol.* 9, 1084–1090.
55. Ouedraogo, E., et Hien, E. (2015). Effet d'un compost enrichi par des spores du clone *Trichoderma harzianum* (rifai) sur le rendement du niébé et du maïs sous abris au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(3), 1330.
56. Pandey Abhay K Kumar A., Samota M K., Tanti A., 2023. *Trichoderma reesei* as an elicitor triggers defense responses in tea plant and delays gray blight symptoms. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 188: 105279.
57. Papatotiriou, F.G., Varypatakis, K.G., Christofi, N., Tjamos, S.E., Paplomatas, E.J., 2013. Olive mill wastes: a source of resistance for plants against *Verticillium dahliae* and a reservoir of biocontrol agents. *Biol. Control* 67, 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.07.008>.
58. Pieterse, C.M., Zamioudis, C., Berendsen, R.L., Weller, D.M., Van Wees, S.C., Bakker, P.

Références bibliographiques

- A., 2014. Induced systemic resistance by beneficial microbes. *Annu. Rev. Phytopathol.* 52, 347–375.
59. Pugliese, M., Liu, B., Gullino, M.L., Garibaldi, A., 2011. Microbial enrichment of compost with biological control agents to enhance suppressiveness to four soil-borne diseases in greenhouse. *J. Plant Dis. Protect.* 118, 45–50.
60. Pugliese, M., Gilardi, G., Garibaldi, A., Gullino, M.L., 2015. Organic amendments and soil suppressiveness: results with vegetable and ornamental crops. In: Meghvansi, M., Varma, A. (Eds.), *Organic Amendments and Soil Suppressiveness in Plant Disease Management*. Springer, New York, pp. 495–509. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23075-7_24.
61. Rajab L., Habib W., Gerges E., Ibtisam G., Ahmad M., (2023). Natural occurrence of fungal endophytes in cultivated cucumber plants in Syria, with emphasis on the entomopathogen *Beauveria bassiana*. *Journal of Invertebrate Pathology* 196 107868.
62. Ren Y., Ge W., Dong C., Wang H., Zhao S., Li C., Xu J., Liang Z. Han Y., 2023. Specialist species of fungi and bacteria are more important than the intermediate and generalist species in near-urban agricultural soils. *Applied Soil Ecology* 188 (2023) 104894 <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.104894>.
63. Reuveni, R., Raviv, M., Krasnovsky, A., Freiman, L., Medina, S., Bar, A., Orion, D., 2002. Compost induces protection against *Fusarium oxysporum* in sweet basil. *Crop Prot.* 21, 583–587. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(01\)00149-1](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(01)00149-1).
64. Ros, M., Raut, I., Santísima-Trinidad, A. B., et Pascual, J. A. (2017). Relationship of microbial communities and suppressiveness of *Trichoderma* fortified composts for pepper seedlings infected by *Phytophthora nicotianae*. *PLOS ONE*, 12(3), e0174069.
65. Sirikamonsathien T., Kenji M., Dethoup T., 2023. Potential of endophytic *Trichoderma* in controlling *Phytophthora* leaf fall disease in rubber (*Hevea brasiliensis*). *Biological Control* 179 (2023) 105175.
66. Solanki, P., et Nallanchakravarthula, S. (2017). Beneficial and Harmful Aspects of *Trichoderma* : A Review. © 2017 IJSRST, 3(6), 9.
67. Tilston, E.L., Pitt, D., Groenhof, A.C., 2002. Composted recycled organic matter suppresses soil-borne diseases of field crops. *New Phytol.* 154, 731–740. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00411.x>.

Références bibliographiques

68. Upadhyay, R. S., et Jayaswal, R. K. (1992). *Pseudomonas cepacia* causes mycelial deformities and inhibition of conidiation in phytopathogenic fungi. *Current Microbiology*, 24(4), 181-187.
69. Walters, D.R., Fountaine, J.M., 2009. Practical application of induced resistance to plant diseases: an appraisal of effectiveness under field conditions. *J. Agric. Sci.* 147, 5 23.
70. Xiong, H.; Xue, K.; Qin, W.; Chen, X.; Wang, H.F.; Shi, X.H.; Ma, T.; Sun, Z.H.; Chen, W.G.; Tian, X.Q.; et al. Does Soil Treated with Conidial Formulations of *Trichoderma* spp. Attract or Repel Subterranean Termites. *J. Econ. Entomol.* 2018, 111, 808–816.
71. Znaïdi, I. E. A., & Khedher, M. B. (2002). Etude et évaluation du compostage de différents types de matières organiques et des effets des jus de composts biologiques sur les maladies des plantes. *Mediterranien Agronomic Institute of Bari*, 85pp.