

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

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون

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

قسم العلوم الفلاحية

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

Etude de l'effet des traitements biologiques sur l'entomofaune de blé dur
(*Triticum durum* Desf.).

Présenté par : BRAHIMI Maïmouna et CHERIF Manar

Devant le jury :

Président : T . HARIZIMCB (Université de BBA)

Encadrant : D. MOUTASSEM MCA (Université de BBA)

Examineur : L . LOUCIF.....MCA (Université de BBA)

Année universitaire : 2024/2025

Remerciements

Là où il y'a des ténèbres, il met la lumière ; là où il y'a l'affliction, il met l'espoir, là où il y'a anéantissement, il met le courage, le compagnon éternel ...Dieu merci.

Nous remercions notre encadreur **Monsieur Moutassem Dahou**, M.C.A à Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi-Bordj Bou Arreridj pour la confiance qu'elle nous a accordée en acceptant de diriger ce mémoire, ainsi que pour son soutien scientifique, nos sincère remerciement.

Nous remercions notre Co-encadreur **Madame Saidi Amel** qui était d'une aide précieuse et d'une grande disponibilité durant toute cette aventure prodigieuse.

Très sincères remerciements aux membres du jury qui ont bien voulu accepter, lourde responsabilité à l'évaluation de ce modeste travail.

Nous tenons à remercier également toute l'équipe pédagogique, les professeurs et tous les intervenants professionnels responsables de notre formation.

Dédicace

Je remercie Dieu pour toutes ses bénédictions ! Al Hamdou- li 'Allah.

À mon ange, mon paradis, à celle qui m'a donné la vie et éclaire mes jours, qui m'a porté toujours dans son cœur et m'a amené là où je suis, à ma vie, maman.

*À mon idole, à mon amour éternel, à celui qui était toujours avec moi et qui m'a porté sur son dos, à mon seul héros, papa
Vous avez toujours cru en moi et sans vous, je n'aurais pas pu arriver jusque-là ! J'espère que vous êtes fiers de moi, je vous remercie infiniment au-delà des mots, vous êtes vraiment des parents formidables.*

À tous mes professeurs qui m'ont motivé et qui ont été patients avec moi rien ne peut décrire l'ampleur du respect et l'admiration qu'on a pour vous, c'est un grand honneur que j'étais votre étudiante.

Mamouna

Dédicace

Ce mémoire, fruit de tant d'efforts, de doutes, de persévérance et de travail, je le dédie avec tout mon cœur à ceux qui, de près ou de loin, ont façonné la personne que je suis devenue

À la mémoire de mon père MOHAMMED et mon grand-père.

Papa, tu es ce battement discret dans mon cœur, cette voix intérieure qui me dit de continuer, même quand c'est dur. Tu n'as jamais quitté ma vie, même si je ne peux plus te voir. J'aurais tant voulu que tu sois là aujourd'hui, que tu sois témoin de ce chemin parcouru, de ce moment que j'ai rêvé mille fois. Ton absence est immense, mais ton amour l'est encore plus. J'espère que, là où tu es, tu me vois, et que tu es fier.

Dada, toi, l'homme fort, courageux, au cœur immense. Tu m'as porté, encouragé, protégé. Tu ne baissais jamais les bras, et tu m'as appris à faire de même. Tu m'aimais d'un amour vrai, solide, entier. C'est dans ton regard que je me suis souvent senti capable, important, digne. J'aurais tant voulu partager ce moment avec toi. J'espère que tu me regardes aujourd'hui avec ce même regard plein de fierté et de tendresse.

Ce diplôme est un hommage à vos vies et à ce que vous avez semé en moi.

À ma chère mère YASSA,

Il n'y a pas de mots assez forts pour exprimer ce que je ressens pour toi. Tu es mon premier exemple de courage, d'amour pur et de résilience. Chaque étape de ce parcours, je l'ai franchie avec ta voix dans mon cœur, ton regard dans mes pensées, et ton amour comme boussole.

Merci pour tes sacrifices, pour tes silences pleins de compréhension, pour tes larmes cachées et tes sourires rassurants.

Maman, ce travail, c'est un peu de moi, mais surtout beaucoup de toi.

Mes chères sœurs ANCHA, HANANE, MERIEM,

trois étoiles dans mon ciel. Vous êtes mes complices, mes alliées, mes repères. Dans vos rires, vos conseils, vos silences partagés, j'ai toujours trouvé la chaleur d'un foyer. Chacune de vous m'a apporté quelque chose d'unique, une force douce, une tendresse vraie, une présence qui rassure.

Mon frère unique ABDELATIF,

calme et fidèle, tu es cette force tranquille, ce regard sûr, ce soutien qui ne demande rien mais qui donne beaucoup. Merci d'être là, dans ta simplicité, dans ta constance. Tu comptes profondément.

À mon amie FADOUA,

Qui a été pour moi bien plus qu'une amie, une véritable sœur de cœur, merci pour ton amour, ton écoute et ta présence à chaque étape de ce parcours.

À mon côté maternel,

pour chaque mot d'encouragement murmuré et chaque silence rempli d'amour.

Manar

Résumé

L'objectif principal de cette étude est de tester l'efficacité des antagonistes biologiques (*Trichoderma* spp) contre la fusariose de l'épi causée par *F. graminearum* *in vitro* et *in vivo*, et évoluer leurs effets sur l'entomofaune de blé dur (*Triticum durum* L.). Les essais *in vitro* ont montré une activité antagoniste très prononcée des espèces de *Trichoderma* sur la croissance mycélienne du *F. graminearum* avec une zone d'inhibition variable entre 15.56 et 72.56%. Le traitement *in vivo* par les souches de *Trichoderma* spp a réduit significativement la gravité de la maladie, avec des taux variables entre 72.12% et 100 %. Ces traitements sont significativement augmentés l'effet protecteur des plantes de blé dur contre le *F. graminearum*. L'analyse des données montre que l'inventaire global de cinq ordres dans les deux traitements biologiques et chimiques. Bien que 53.29% de la population est inventoriée dans le traitement biologique *T. harzianum*. L'ordre des Hyménoptères représente une grande diversité avec 11 espèces capturées, la famille des formicidae est la plus dominante avec un taux d'apparition de 20%, alors que l'espèce *Musca domestica* est la plus dominante avec une fréquence d'apparition de 12.92%. Le test de Kruskal-Wallis a révélé une différence statistiquement significative entre les distributions des comptages d'insectes selon les traitements ($H = 18.4990$, $p = 0.0001$). L'analyse des résultats obtenus montrent que la population d'insectes est répartie d'une façon hétérogène dans les trois traitements, dont le taux le plus élevée a été enregistré dans le traitement biologique par *T. harzianum*.

Mots-clés : *Fusarium graminearum*, *Trichoderma* spp, Traitements biologique, blé dur *Triticum durum* L entomofaune.

Abstract

The main objective of this study is to test the efficacy of biological antagonists (*Trichoderma* spp) against Fusarium head blight caused by *F. graminearum* in vitro and in vivo, and to evaluate their effects on durum wheat (*Triticum durum* L.) entomofauna. In vitro tests showed a very pronounced antagonistic activity of *Trichoderma* species on the mycelial growth of *F. graminearum* with a variable inhibition zone between 15.56 and 72.56%. In vivo treatment with *Trichoderma* spp strains significantly reduced the severity of the disease, with variable rates between 72.12% and 100%. These treatments significantly increased the protective effect of durum wheat plants against *F. graminearum*. Data analysis shows that the overall inventory of five orders in both biological and chemical treatments. Although 53.29% of the population is inventoried in the biological treatment *T. harzianum*. The order Hymenoptera represents a great diversity with 11 species captured, the family Formicidae is the most dominant with an appearance rate of 20%, while the species *Musca domestica* is the most dominant with an appearance frequency of 12.92%. The Kruskal-Wallis test revealed a statistically significant difference between the distributions of insect counts according to the treatments ($H = 18.4990$, $p = 0.0001$). The analysis of the results obtained shows that the insect population is distributed in a heterogeneous way in the three treatments, the highest rate of which was recorded in the biological treatment by *T. harzianum*.

Keywords: *Fusarium graminearum*, *Trichoderma* spp., biological control, Durum wheat, entomofauna.

TABLE DES MATIERES

Remerciement	
Dédicaces	
Résumé	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
1. Introduction.....	1

CHAPITRE I. MATERIEL ET METHODES

1. Matériels biologiques	3
1.1. Matériels végétales.....	3
1.2. Matériels fongiques.....	3
1.2.1. L'agent pathogène.....	3
1.2.3. L'agent antagoniste	3
2. Méthodes du travail	3
2.1. Evaluation de l'effet de Trichoderma sp contre le Foc in vitro.....	3
2.1.2. Test de Confrontation direct (Technique de double culture)	3
2.1.2 Test de Confrontation indirect.....	4
2.2. Evaluation de l'effet de Trichoderma in vivo.....	5
2.2.1. Préparation de l'inoculum du F.graminearum	5
2.2.2. Préparation de l'inoculum de Trichoderma sp et traitement des semences	5
2.4. Exploitation des résultats et analyses statistiques.....	6
2.4.1. Mesure de l'Incidence	6
2.5. Analyse statistique	6
3. inventaire de l'entomofaune de blé dur	7
3. matériel expérimental utilise	7
3. 1. Sur le terrain	7
3.1.1. Description et fixation des pièges utilisée.....	7
3.1.1.1. Piège adhésif (Pièges jaunes collants).....	7
3.1.1.2. Piège à fosse ou piège barber.....	7

3.1.1.3. Filet fauchoir.....	8
3.1.2. Matériel de conservation.....	8
3.2. Au laboratoire.....	8
3.3. Méthodologie du travail	8
3.4. Prélèvement des échantillons	8
3.4. Détermination des insectes	9
3.5. Exploitation des résultats par les indices écologiques.....	9
3.5.1. La richesse totale.....	9
3.5.2. La richesse spécifique	9
3.5.3. La diversité spécifique	10
3.5.4. Indice d'equi répartition	10

CHAPITRE II. RESULTATS ET DISCUSSION

1. Résultats.....	12
1.1. Résultats des tests antagonistes in vitro et in vivo	12
1.1.1. Résultats des tests directs.....	12
1.1.2. Effet des espèces fongiques in vivo.....	15
1.2. Résultats de l'Inventaire de l'entomofaune.....	15
1.2.1. Distribution de l'entomofaune inventoriée par ordre.....	15
1.2.2. Distribution de l'entomofaune inventoriée par famille	16
1.2.3. Distribution de la population inventoriée par espèce	16
1.2.4. Distribution de la population inventoriée par mode de piégeage	18
1.2.5. Description de la population d'insecte inventoriée.....	18
1.2.5.1. Ordre des Diptères.....	18
1.2.5.1.1. La famille des Muscidae.....	18
1.2.5.1.1.1. <i>Musca domestica</i> L.....	18
1.2.5.1.2. La famille des Calliphoridae.....	18
1.2.5.1.2.1. <i>Calliphora vomitoria</i> L.....	18
1.2.5.1.3. La famille des Syrphidae.....	19
1.2.5.1.3.1. <i>Syrphus balteatus</i> D	19
1.2.5.1.4. La famille des Sarcophagidae	19

1.2.5.1.4.1. <i>Sarcophaga carnaria</i> L.....	19
1.2.5.1.5. La famille des Phoridae	20
1.2.5.1.5.1. <i>Phora</i> sp	20
1.2.5.1.6. La famille des Tachinidae.....	20
1.2.5.1.6.1. <i>Tachina fera</i> L.....	20
1.2.5.2. Ordre des Hyménoptères.....	21
1.2.5.2.1. La famille des Vispidae	21
1.2.5.2.1.1. <i>Vispula germanica</i> F.....	21
1.2.5.2.2. La famille des Apoidae	21
1.2.5.2.3. La famille des Braconidae	21
1.2.5.2.3.1. <i>Chelonus inanitus</i>	21
1.2.5.3. Ordres des Coléoptères.....	22
1.2.5.3.1. La famille des Scaraboidae	22
1.2.5.3.1.1. <i>Epicimetus hitra</i> poda.....	23
1.2.5.3.1.2. <i>Oxyure funesta</i> Poda.....	23
1.2.5.3.2. La famille des Chrysomelidae	23
1.2.6. Description de la population d'insectes en fonction le traitement.....	24
2. Discussion.....	26
Conclusion.....	32
Référencés bibliographiques.....	34

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
g : gramme
I : indice d'inhibition
ISM : l'indice de sévérité moyenne
ITGC : institut technique des grandes cultures
Kg : kilogramme
MGI
ml : Millilitre
Mm : millimeter
PDA : potato dextrose agar
PDB : potato dextrose broth
Ppm : parties par million
SAS : Statistical Analysis System
GLM : General Liner Model.

LISTES DES FIGURES

Figure 1. Modalités de test antagoniste direct	4
Figure 2. Pièges utilisés dans cette étude.	7
Figure 3. L'effet inhibiteur de differents espèces antagonistes Trichoderma sp sur F.	12

graminearum en contact direct.

Figure 4. Effet inhibiteur des espèces de Trichoderma sp sur F. graminearum en contact direct. 13

Figure 05. Observations microscopiques de la zone de confrontation entre Trichoderma et F. graminearum. a) enroulement de mycélium de Trichoderma sur le F. graminearum, b) vacuolisation et c) lyse des hyphes de F. graminearum. 13

Figure 06. Effet des espèces de Trichoderma sur la sévérité de la fusariose de l'épi causé par F. graminearum dans les conditions in vivo. 14

Figure 07. Effet des espèces de Trichoderma sur la sévérité de la fusariose causé par le F. graminearum 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%. 14

Figure 08. Distribution des ordres inventoriés par traitement. 15

Figure 09. Distribution de la population inventoriée dans la station d'étude par famille. 16

Figure 10. Photos des espèces diptères inventoriées

Figure 11. Photos des espèces hyménoptères inventoriées 19

Figure 12. Photos des espèces coléoptères inventoriées 20

Figure 13. Photos des espèces d'orthoptères inventoriées. 22

Figure 14. Distribution et comptage des insectes inventoriés par traitement. 23

24

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Composition taxonomique de l'entomofaune de blé dur. 17

Tableau 2. Les principaux rôles écologiques des familles et espèces d'insectes inventoriés.

25

Introduction

Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) représente une céréale d'une importance capitale à l'échelle mondiale, tant sur le plan économique qu'alimentaire. Sa valeur nutritionnelle, caractérisée par une teneur élevée en protéines et en gluten de haute qualité, en fait un aliment de base pour des millions de personnes et un produit agricole stratégique pour de nombreux pays exportateurs et importateurs. La demande mondiale pour les produits dérivés du blé dur est en constante augmentation, stimulée par l'évolution des habitudes alimentaires et la croissance démographique, ce qui accentue la pression sur les systèmes de production pour garantir des rendements élevés et stables.

Cependant, la culture du blé dur est confrontée à de nombreux défis agronomiques, parmi lesquels les maladies fongiques occupent une place prépondérante. Le blé peut être attaqué par de nombreuses maladies à différents stades de son développement. Ces attaques peuvent occasionner des pertes importantes lorsque les variétés sont sensibles et les conditions de l'environnement sont favorables à l'expansion des maladies (Ezzahiri, 2001).

La fusariose de l'épi (FHB) est causée par une vingtaine d'espèces de *Fusarium* appartenant au complexe d'espèces *Fusarium*, bien que l'espèce *Fusarium graminearum* étant décrite comme particulièrement la plus destructeur (Legrand et al., 2017, Cesarini et al., 2025, Pedrero-M'endez et al., 2025).

La stratégie de protection des cultures de blé dur a longtemps reposé quasi exclusivement sur l'utilisation d'insecticides chimiques de synthèse. L'usage intensif et répété d'insecticides entraîne le développement de résistances chez les populations de ravageurs ciblés, rendant les traitements de moins en moins efficaces au fil du temps et nécessitant des doses plus élevées ou des molécules plus toxiques.

De plus, ces produits chimiques manquent souvent de spécificité provoquant des équilibres écologiques peuvent paradoxalement conduire à des résurgences ou à l'émergence de nouveaux problèmes phytosanitaires. En réponse à ces limites et à ces risques, des approches alternatives, regroupées sous le terme de lutte biologique ou de gestion intégrée des ravageurs (IPM - Integrated Pest Management), gagnent en importance.

En réponse à ces limites et à ces risques, des approches alternatives, regroupées sous le terme de lutte biologique ou de gestion intégrée des ravageurs (IPM - Integrated Pest Management), gagnent en importance. Les agents de lutte biologiques appartenant au genre *Trichoderma* sp sont actuellement considérés très efficaces contre les maladies causées par les phytopathogènes (Chet 1990 ; Herrera-Estrella et Chet 2003, Pedrero-M'endez et al., 2025). Ces

Introduction

espèces sont capables de persister dans le sol et de coloniser les racines des plantes (**Vinale et al., 2008**). Depuis plusieurs décennies, le genre *Trichoderma* sp a suscité l'intérêt des chercheurs et des industries. Approximativement 60 % des biofongicides homologués à base de champignons filamenteux ont été développés à partir de souches de *Trichoderma* sp (**Verma et al., 2007**).

Malgré l'importance croissante des approches de lutte biologique, et la reconnaissance de leurs bénéfices potentiels pour la préservation de la biodiversité fonctionnelle, il subsiste des lacunes notables dans la connaissance scientifique concernant leurs effets spécifiques sur l'entomofaune associée à certaines cultures majeures, notamment le blé dur.

L'entomofaune du blé dur possède ses propres spécificités, avec des cortèges de ravageurs et d'auxiliaires qui lui sont propres ou dont l'importance relative diffère de celle observée dans d'autres cultures.

Dans ce cadre, l'objectif principal de cette étude est de tester l'efficacité des antagonistes biologiques (*Trichoderma* spp) contre la fusariose de l'épi causée par *F. graminearum* *in vitro* et *in vivo*, et évoluer leur effets sur l'entomofaune de blé dur (*Triticum durum* L.).

La présente étude vise donc à accroître les effets de la lutte biologique en mettant en évidence quelques espèces indigènes de *Trichoderma* sp. et leur pouvoir fongicide contre la fusariose de l'épi. Ce modèle de lutte biologique repose sur une analyse *in vitro* et *in vivo* de quelques souches de *Trichoderma* sp. Contre *F. graminearum*, ainsi que sur l'analyse de l'effet des de *Trichoderma* sur l'entomofaune de la culture de blé dur dans les conditions *in vivo*..

1. Matériels biologiques

1.1. Matériels végétales

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est constituée une variété de blé dure MBB (*Triticum durum* L.), Cette variété nous ont été fournis par la coopérative des céréales et légumes secs (CCLS) de Bordj Bou Arreridj, où elles sont multipliées chaque saison.

1.2. Matériel fongique

1.2.1. L'agent pathogène

L'isolat de *F. graminearum* utilisé dans cette étude a été obtenu à partir des plants de blé présentant des symptômes de jaunissement vasculaire, originaire de la région de Bordj Bou Arreridj.

1.2.2. L'agent antagoniste

Trois agents biologiques de *Trichoderma sp* ont été utilisés pour réaliser cette étude. Les agents de lutte biologique ont été isolés de la rhizosphère de céréales provenant de la région de Mascara. Les souches font partie d'une collection de 12 souches de *Trichoderma* ont été maintenu sur un milieu PDA par des repiquages réguliers.

2. Méthodes du travail

2.1. Evaluation de l'effet de *Trichoderma sp* contre le Foc *in vitro*

2.1.1. Test de confrontation directe (Technique de double culture)

Les isolats de *Trichoderma spp* ont été estimés pour leur pouvoir antagoniste vis-à-vis le *F. graminearum* agent pathogène de blé dur. Le test a été accompli par la méthode de double culture décrite par **Morton et Stroube, (1955)**. Cette méthode consiste à mettre dans une boîte de Pétri de 9 cm de diamètre contenant le milieu PDA (annexe 1); deux pastilles comptant cinq millimètre de diamètre, l'une portant l'espèce antagoniste *Trichoderma* et l'autre *F. graminearum*. Les deux pastilles sont installées selon un axe diamétral à 4 cm et à équidistance au centre de la boîte. Le témoin est représenté par une plantation du *F. graminearum* seul dans la boîte de pétri qui contient un milieu de culture PDA. Bien que, l'incubation a été effectuée à $28\pm 3^{\circ}\text{C}$ pendant six jours. Quatre répétitions indépendantes ont été réalisées pour chaque souche de *Trichoderma*.

Des notations relatif à l'inhibition de la croissance mycélienne diamétrale des colonies de *F. graminearu* et leur envahissement par le mycélium du *Trichoderma sp* sont effectuées chaque jour jusqu'aux le sixième jour. Le pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne est estimé comme étant la méthode décrite par :

$$ZI(\%) = (1 - (C_n/C_0)) \times 100 \text{ où :}$$

C_n diamètre de la colonie de pathogène dans la présence de pathogène, C_0 : diamètre de la colonie de control.

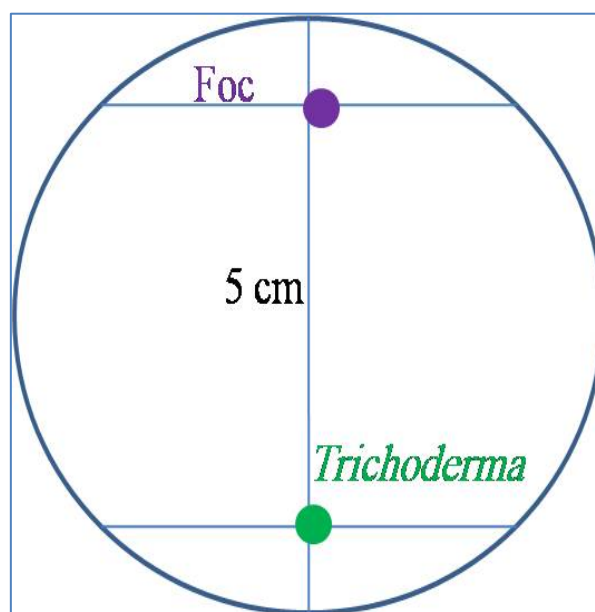


Figure 1. Modalités de test antagoniste direct

2.1.2. Test de confrontation indirecte

In vitro, les quatre espèces de *Trichoderma sp* ont été estimées pour leur activité antagoniste par la méthode de confrontation indirecte, qui inhibe la croissance des phytopathogènes en produisant des substances volatiles suivant la méthode décrite par **Dennis et Webster (1971)**. Cette technique comprend un repiquage de l'espèce pathogène *F. graminearum* et les espèces antagonistes dans deux boîtes de pétri (mesurant 9 cm de diamètre) séparées. Un assemblage est réalisé par superposition des deux boîtes par la suite, à savoir *F. graminearum* en haut et l'espèce de *Trichoderma* en bas (Figure 01). Le rattachement entre les deux boîtes portant les deux protagonistes est exécuté par le Parafilm afin d'éviter toute évaporation des substances volatiles produites de l'antagoniste. Le témoin

est représenté par superposition de deux boîtes, celle du haut contenant une pastille de *F. graminearum* alors que celle du bas ne contient que le milieu PDA. Bien que, l'incubation a été effectuée à $28\pm 3^{\circ}\text{C}$ pendant six jours.

Quatre répétitions indépendantes ont été réalisées pour chaque souche de *Trichoderma*. Des notations relatif à l'inhibition de la croissance mycélienne diamétrale des colonies du *F. graminearum* sont effectuées chaque jour jusqu'aux le sixième jour. Le pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne est estimé comme étant la méthode décrite précédemment.

2.2. Evaluation de l'effet de *Trichoderma in vivo*

2.2.1. Préparation de l'inoculum du *F. graminearum*

Selon la technique de **Merkuz et al, (2012)** dans des sacs de 3kg en plastiques contenant du sable tamisé et ajouté à la farine de maïs humidifié par l'eau distillée, selon la proportion de 9/1/2 respectivement. Le mélange est stérilisé trois fois à l'autoclave pendant 15 min à 105°C , puisensemencé par 20 explants de 5mm de diamètre prélevé à partir d'une culture de *F. graminearum* âgées de 7 jours, l'incubation est réalisée pendant 21 jours. Une agitation des sacs tous les jours est effectuée afin de permettre une colonisation homogène du milieu par le pathogène. L'inoculum ainsi obtenu est incorporé dans des pots contenant le substrat de culture stérilisé à raison de 100g d'inoculum pour 1kg de substrat, ce dernier est composé d'un mélange de sable, terre et terreau selon les proportions respectivement de 1/1/1. Le semis est réalisé 15 jours après l'incorporation de l'inoculum au substrat, afin de permettre une meilleure colonisation par le champignon.

2.2.2. Préparation de l'inoculum de *Trichoderma sp* et traitement des semences

Les isolats de *Trichoderma sp* ont été cultivés dans des erlenmeyers contenant chacune 200 ml de bouillon de pommes de terre dextrose (PDB) pendant une semaine à 25°C et bien mélangé avec le milieu en utilisant un agitateur magnétique. Après filtration, la suspension sporale a été ajustée à 5×10^8 spores / ml (**Calvet et al., 1990**).

L'enrobage des semences par les deux espèces de *Trichoderma* a été effectué selon la méthode proposée par **Akladious et al, (2012)**. Les semences du blé dur ont été désinfectées en surface par immersion dans une solution d'hypochlorite de sodium (5%) trois fois

successives pendant 3 min, lavées trois fois avec de l'eau distillée stérile et séchées entre deux papiers filtres stériles.

Les graines de la variété testée ont été immergées dans 5 ml de la suspension sporale de *Trichoderma* pendant 30 min.

2.2.3. Évaluation de *Trichoderma* spp. contre le *F. graminearum* en conditions réelles

Des expériences en plein champ ont été menées pendant la saison 2024-2025 à la Station de recherche de la Faculté SNV. L'expérience a été réalisée selon un dispositif en blocs complets randomisés (RBD) avec trois répétitions de six traitements.

- Des blocs traités avec quatre espèces fongiques de *Trichoderma*.
- Des blocs traités avec un produit chimique.
- Des blocs non traités.

Les parcelles mesuraient 1 m de largeur (cinq rangs espacés de 60 cm) sur 1 m de longueur, avec un espacement entre les plantes de 5 cm. Le cultivar de blé dur (cv. Surya), une variété sensible au *F. graminearum*, a été utilisé pour l'expérience. Les souches de *Trichoderma* spp., se sont révélées inhiber au maximum *F. graminearum* en conditions de laboratoire et ont été choisies pour l'évaluation en plein champ.

Des formulations à base de talc de *Trichoderma* spp. (*Trichoderma* sp1, *Trichoderma* sp2 et *Trichoderma* sp3) ont été préparées à une concentration de 5×10^8 spore/ml par gramme et utilisées directement pour le traitement des semences (10 g/kg de semences). Les observations concernant l'incidence et la gravité du *F. graminearum* ont été réalisées sur 20 plants inoculés des rangs intermédiaires de chaque parcelle.

2.4. Exploitation des résultats et analyses statistiques

2.4.1. Mesure de l'Incidence

L'incidence est le pourcentage de plantes malades. Il nous donne une idée sur l'état de la population de pois chiche vis-à-vis de l'agent pathogène.

L'incidence est le moyen le plus rapide pour la mesure de la maladie ; il nécessite seulement le comptage du nombre d'unités malades qui peut être exprimé par un pourcentage du nombre total d'unités. L'incidence (*DI*) est évaluée selon la formule :

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

2.5. Analyse statistique

Les expériences ont été analysées en utilisant une analyse standard de la variance (ANOVA) effectuée par le logiciel STATITICA 8. Pour tous les tests, le niveau de la signification a été évalué au seuil 5%. Le cas échéant, la comparaison des moyennes était faite moyennant le test de Tukey afin de distinguer des groupes selon les valeurs des moyennes des variables testées.

3. inventaire de l'entomofaune de blé dur

3. matériel expérimental utilise

3. 1. Sur le terrain

Sur le terrain, nous avons utilisé le matériel de récolte et le matériel de conservation.



Figure 2. Pièges utilisés dans cette étude.

3.1.1. Description et fixation des pièges utilisée

3.1.1.1. Piège adhésif (Pièges jaunes collants)

Un dispositif en plaque ou en feuille recouvert d'une substance collante retient les insectes qui s'y posent ou le percutent (figure 2).

3.1.1.2. Piège à fosse ou piège barber

Un récipient enfoncé dans le sol intercepte les animaux mobiles qui tombent à l'intérieur (figure 2).

3.1.1.3. Filet fauchoir

Le fauchage à l'aide d'un filet fauchoir (figure 2), l'opérateur capture les insectes en « fauchant » la végétation par un mouvement de va-et-vient.

3.1.2. Matériel de conservation

Les insectes capturés sont mis dans des bocaux en plastique sur lesquels on indique l'orientation et la date de récolte. Ces échantillons seront déterminés au laboratoire.

3.2. Au laboratoire

Les insectes capturés sur le terrain sont ramenés au laboratoire afin d'être déterminés et collectionnés.

Pour cela nous avons disposé d'un matériel qui comporte :

- Des flacons en verre remplis à moitié d'alcool 70° pour la conservation des insectes.
- Une pince pour la récupération des insectes.
- Une loupe binoculaire pour faciliter l'observation et la détermination des insectes.
- Des épingles entomologiques servant à la fixation des insectes.

3.3. Méthodologie du travail

Notre travail est basé sur l'inventaire de l'entomofaune dans une durée et sur un lieu déterminé, consiste de donner plus d'information sur les populations d'insectes provenant de la parcelle, afin de dresser une liste sur les espèces d'insectes présentes dans le milieu étudié.

3.4. Prélèvement des échantillons

Les bons résultats pour l'inventaire entomologique sont issus d'un travail réglé temporairement suivie par une organisation pratique soit dans le terrain soit au laboratoire.

Les insectes capturées sont ramenée au laboratoire pour les conservés dans des boites plains d'alcool (70%).

Ces espèces vont être séparé en premier lieu selon leur forme extérieure puis les classer à l'aide d'une loupe et d'un microscope sous les ordres, les familles, le genre, et l'espèce c'il est possible qu'il est convient.

On note le nombre de chaque espèce inventorié, puis le nombre total afin de les mètres dans des boites de conservations pour une autre étude à la future.

3.4. Détermination des insectes

Après 2 mois de travail, le nombre des espèces capturées est très important. Ce dernier nous a demandé un intervalle de temps appréciable et une large recherche bibliographique à l'aide des documentations, soit récente soit anciennes pour mieux exploiter.

Les clés consultées pour la détermination des différents groupes d'insectes sont les suivantes :

- Nouvel atlas d'entomologie-Coleopteres de France .fasc. (1946)
- Nouvel atlas d'entomologie-Coleopteres de France .fasc. (1958)
- Nouvel atlas d'entomologie-Hémipteres de France .fasc. (1951)
- Nouvel atlas d'entomologie-Hyménopters de France .fasc. (1947)
- Nouvel atlas d'entomologie-Dipteres de France .fasc. (1951)
- Nouvel atlas d'entomologie-Dipteres de France .fasc. (1951)
- Guide des Insectes (1992).
- Les Insectes (1985).
- Guide des Insectes (1992).
- Insectes et autre Arthropodes Terrestres (2000).
- Les Coléoptères des denrées alimentaires (1993).

3.5. Exploitation des résultats par les indices écologiques

Plusieurs indices écologiques ont été utilisés pour l'exploitation des résultats obtenus, notamment la richesse totale, la richesse moyenne, l'indice de diversité de Shannon-Weaver et l'équirépartition

3.5.1. La richesse totale

La richesse totale est le nombre d'espèce que compte un peuplement considéré dans un écosystème donné (**Ramade, 1984**). Elle représente un des paramètres fondamentaux caractéristique d'un peuplement (**Muller, 1985**). Pour la présente étude la richesse totale est le nombre total des espèces obtenue à partir du nombre total des relevés.

3.5.2. La richesse spécifique

Il s'agit de la mesure de la diversité la plus ancienne et la plus élémentaire, fondée directement sur le nombre d'espèce dans un site.

Cette méthode dépend de la taille des échantillons et ne considère pas l'abondance relative des différentes espèces (**Gerhard et al, 2001**).

La richesse moyenne spécifique **S_m**, est le nombre moyen des espèces constatées à chaque relevé. Elle est exprimée par la formule suivante :

$$S_m = S/N$$

S_m : est la richesse moyenne spécifique.

S : est le nombre total des espèces.

N : est le nombre total des relevés.

3.5.3. La diversité spécifique

L'étude de la diversité spécifique peut être réalisée selon diverses approches qui sont fondées sur l'usage d'indices de diversité, dont la formulation est plus ou moins complexe (**Ramade, 1984**). L'indice de diversité de Shannon-Weaver permet d'évaluer la diversité d'un peuplement dans un biotope. Il est calculé à partir de la formule suivante :

$$H = \text{Somme } q_i \log 2q_i$$

H : est l'indice de diversité exprimé en bits.

Log 2 : est le logarithme à base 2.

Q_i représente la probabilité de rencontrer l'espèce **i**. Il est calculé par la formule $Q_i = n_i / N$: Où n_i est le nombre d'individus de l'espèce **i** et **n** le nombre totale des individus, toutes espèces confondues (**Barbaulet, 1981**).

La diversité n'exprime pas seulement le nombre d'espèces mais aussi leur abondance relative.

Elle est maximale quand toutes les espèces du peuplement sont représentées par le même nombre d'individus.

Par contre, si la diversité est faible on parle d'un peuplement pauvre en espèces (**Blondel, 1979**).

3.5.4. Indice d'equi répartition :

L'indice d'équirépartition ou l'équitabilité correspond au rapport de la diversité observée (**H**) à la diversité maximale (**Hmax**) (**Weest et Belemsobgo, 2003**).

Il est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$E = H / H_{max}$$

E : est l'équitabilité

H : est la diversité observée (l'indice de diversité de Shannon Weaver)

H max : est la diversité maximale :

$$H_{max} = \log_2 S$$

S : la richesse totale.

Cet indice varie entre 0 et 1. Il tend vers le 0 quand la quasi- totalité des effectifs correspond à une seule espèce du peuplement. Il tend vers le 1 lorsque chacune des espèces est représentée par le même nombre d'individus (**Ramade, 1984**).

1. Résultats

1.2. Résultats des tests antagonistes *in vitro* et *in vivo*

1.2.1. Résultats des tests directs

L'ensemble des espèces de *Trichoderma* ont été testées afin de mettre en évidence leur activité antagoniste directe vis-à-vis *F. graminearum* (figure 3). L'étude et la comparaison de l'efficacité des isolats testés ont exposé une réduction significative de la croissance mycélienne du *F. graminearum* qui varie en fonction le temps d'exposition. A cet effet, l'ANOVA a montré que l'espèce ($F(32,99) = 15,56; P = 0,42$) n'a aucun effet significatif sur la zone d'inhibition de la croissance mycélienne du *F. graminearum*. Bien que, le temps a montré un effet hautement significatif sur la zone d'inhibition de la croissance mycélienne du *F. graminearum*. A cet effet, la zone d'inhibition augmente au fur et à mesure avec l'augmentation de temps d'exposition. Les résultats obtenus, indiquent une zone d'inhibition qui varie entre 15.70 et 72.95% (figure 4). A cet égard, la zone d'inhibition la plus élevée a été constatée chez l'espèce *Trichoderma* sp1.

Les résultats affichés sur la figure 3 montre l'augmentation de la zone d'inhibition avec l'augmentation de temps d'exposition elle est passée de 15.70% après 24h jusqu'à 72.95% après 72h d'exposition.

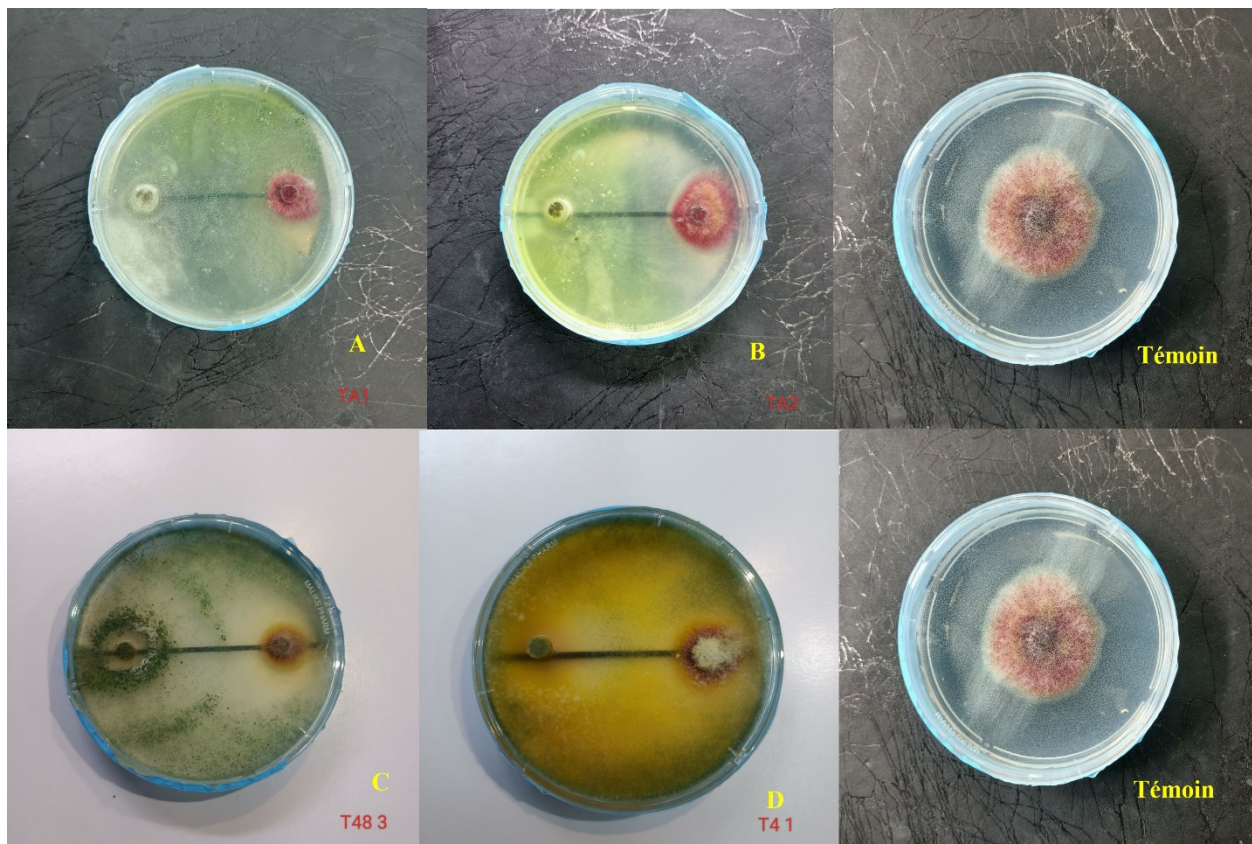


Figure 3. L'effet inhibiteur de différents espèces antagonistes *Trichoderma* sp sur *F. graminearum* en contact direct.

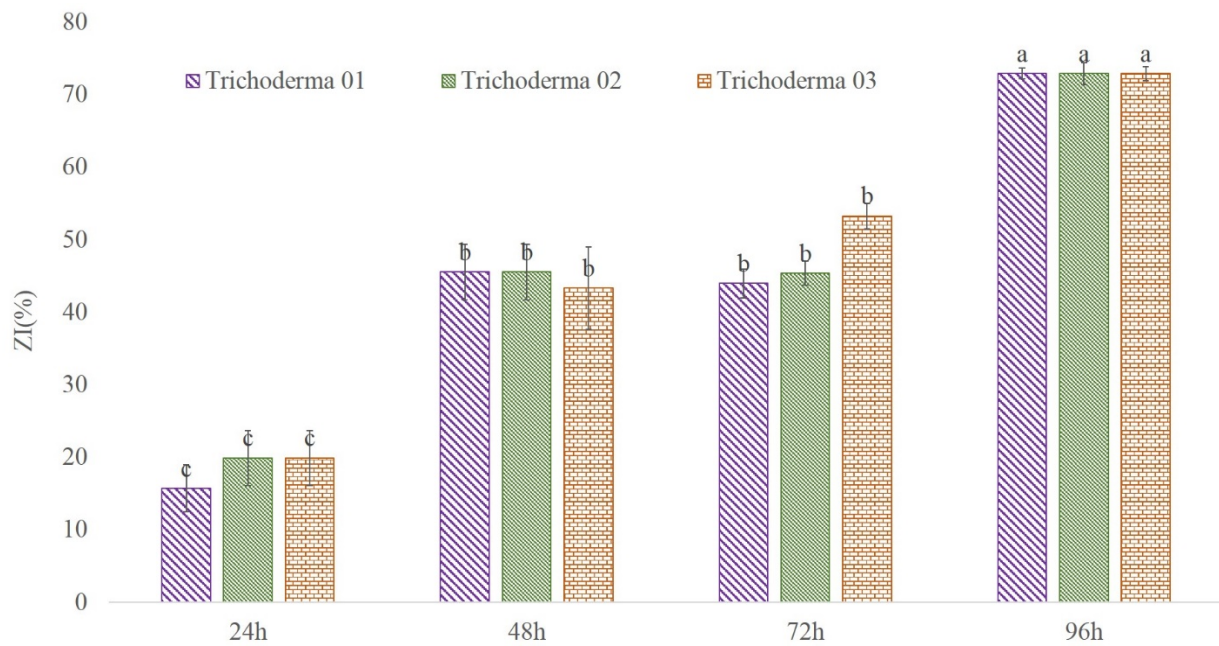


Figure 4. Effet inhibiteur des espèces de *Trichoderma* sp sur *F. graminearum* en contact direct. Les valeurs représentent la moyenne de quatre répétitions \pm l'erreur standard. Les lettres a, b et...représentent le niveau de signification au seuil de 5%.

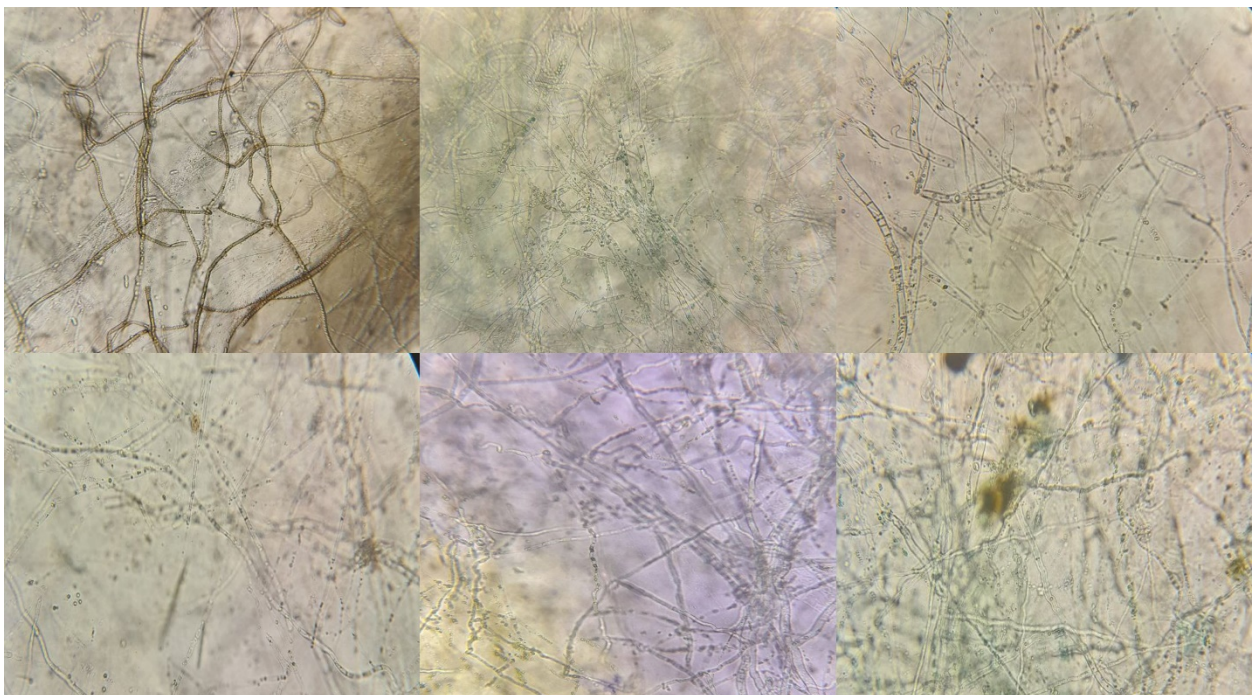


Figure 05. Observations microscopiques de la zone de confrontation entre *Trichoderma* et *F. graminearum*. a) enroulement de mycélium de *Trichoderma* sur le *F. graminearum*, b) vacuolisation et c) lyse des hyphes de *F. graminearum*.

Les observations microscopiques réalisées au niveau de la zone de contact entre les deux antagonistes exposent l'existence de modifications partielles ou totales au niveau du mycélium du pathogène (Figure 05). 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 *F. graminearum*.



Figure 06. Effet des espèces de *Trichoderma* sur la sévérité de la fusariose de l'épi causé par *F. graminearum* dans les conditions *in vivo*.

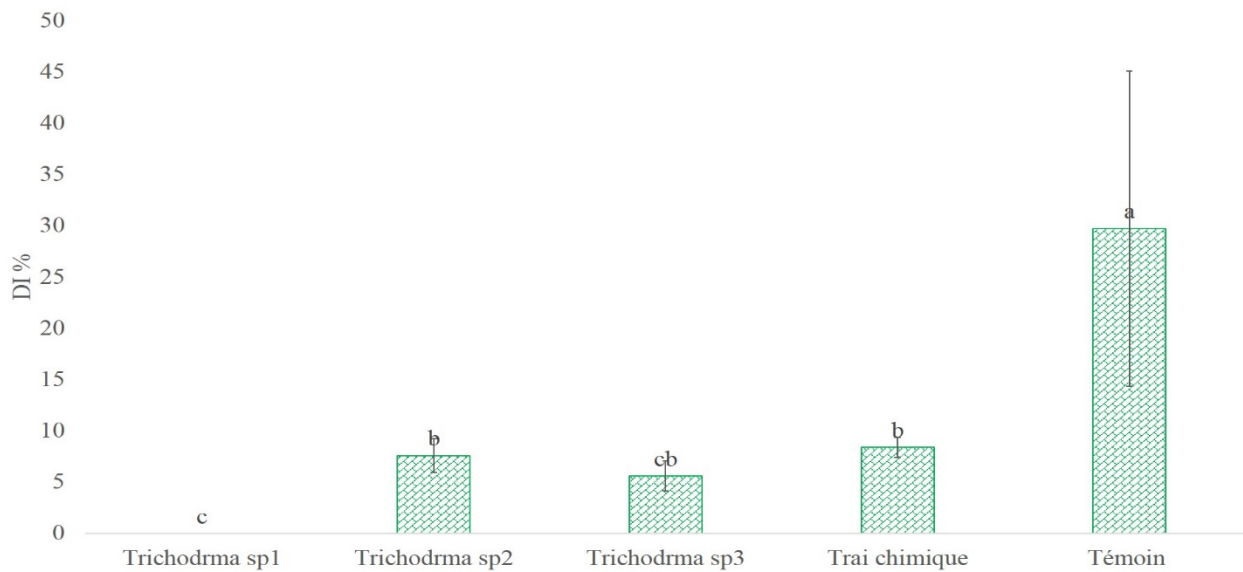


Figure 07. Effet des espèces de *Trichoderma* sur la sévérité de la fusariose causé par le *F. graminearum* dans les conditions *in vivo*. Les valeurs représentent la moyenne de quatre répétitions \pm l'erreur standard. Les lettres a, b et...représentent le niveau de signification au seuil de 5%.

1.4. Effet des espèces fongiques *in vivo*

Le traitement du sol par les différentes souches fongique a exposé effectivement une efficacité très intéressante contre la fusariose de l'épi dans les conditions *in vivo* (figure 5). Les analyses ANOVA effectués par GLM et 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 DI.

La lecture des résultats affichés sur la figure expose une diminution de la valeur de la fréquence de la maladie dans tous les traitements comparativement au témoin non traité. Les valeurs de la fréquence notées chez les plantules traitées sont variables entre 5.6 et 29.74 expliquent une réduction de la maladie variable entre 71.15% et 100 %. Dans ce cadre, *Trichoderma spp1* et *Trichoderma spp2* sont les plus efficaces (figure 6).

1.2. Résultats de l'Inventaire de l'entomofaune

1.2.1. Distribution de l'entomofaune inventoriée par ordre

L'analyse des données affichées sur le tableau montrent l'inventaire global de cinq ordres dans les deux traitements biologiques et chimiques.

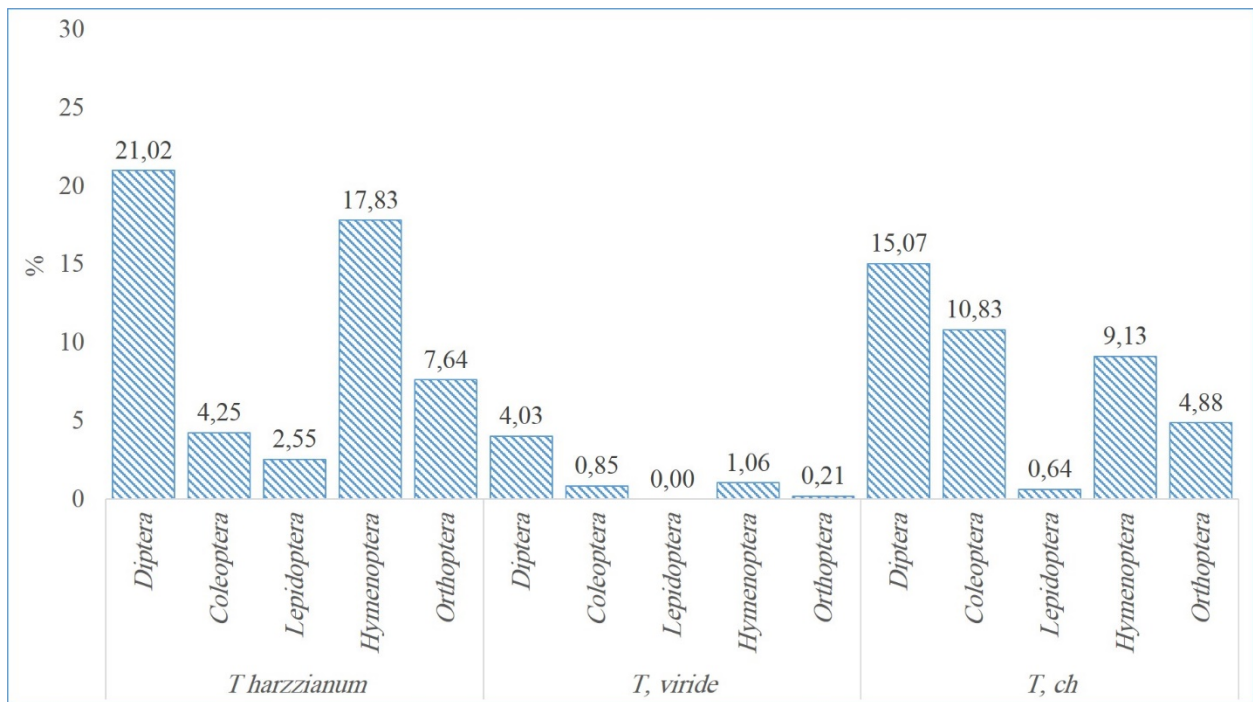


Figure 08. Distribution des ordres inventoriés par traitement.

Cependant, 53.29% de la population inventoriée dans le traitement biologique *T. harzianum* est seulement 6.15% dans le traitement *T. viride*. En revanche, 40,55% de la population est inventoriée sur le traitement chimique. L'ordre des Hyménoptères représente une grande diversité (11 espèces), suivi des Diptères (9 espèces), Coléoptères (07 espèces), Lepidoptera (5 espèces) et Orthoptera (05 espèces). L'analyse des données indique la dominance de l'ordre de Diptère dans les trois traitement avec des fréquences de 21.02, 4.03 et 15.07% pour *T. harzianum*, *T. viride* et traitement chimique, Secondé par l'ordre des hyménoptères avec des fréquence de 17.8, 1.06 et 9.13%, respectivement. En revanche, l'ordre des Lépidoptères est le faiblement représenté par des fréquences de 2.55, 0 et 0.64%, respectivement.

1.2.2. Distribution de l'entomofaune inventoriée par famille

La distribution de l'entomofaune inventoriée par familles en remarque la dominance de la famille des formicidae avec un taux de 20% suivie par la famille des Muscidae (12.92%) Syrphidae (9.75%), Braconidae (7.56%), Acrididae (6.82%), Scarabaeidae (6.82%). Toutefois, les autres familles sont inventoriées avec des pourcentage variable entre 0.24 et 5.36%.

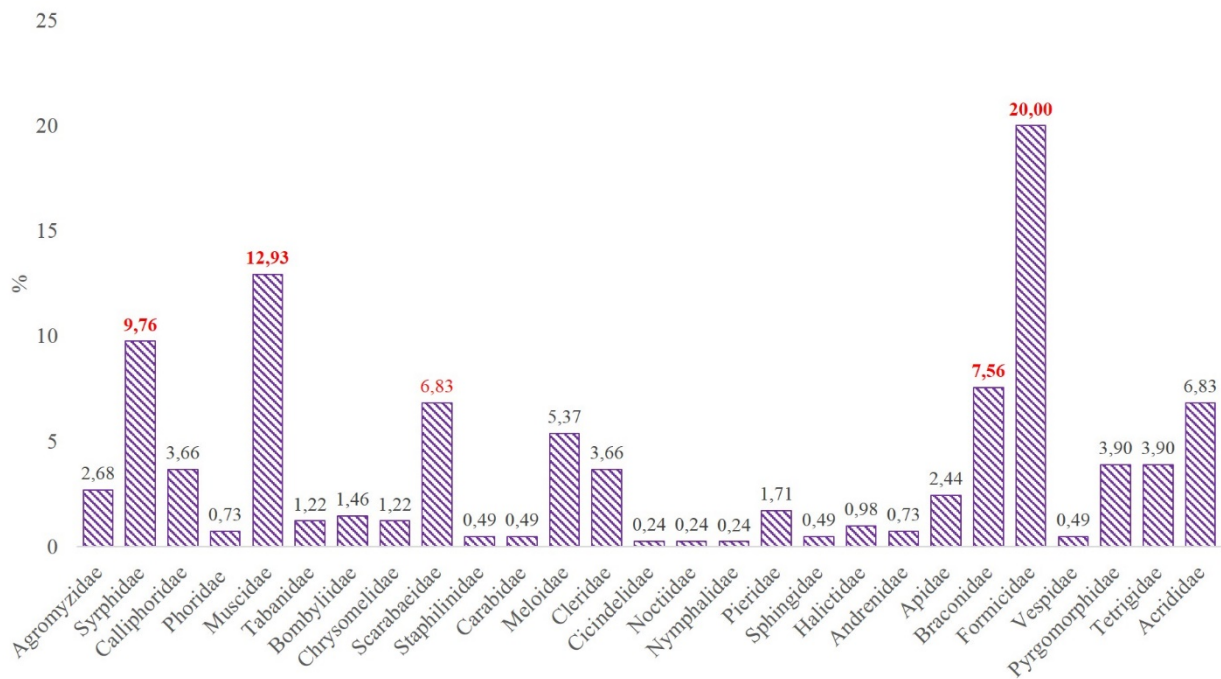


Figure 09. Distribution de la population inventoriée dans la station d'étude par famille.

1.2.3. Distribution de la population inventoriée par espèce

La lecture des résultats obtenus indiquent la dominance de l'espèce *Musca domestica* avec une fréquence d'apparition de 12.92%, suivie par l'espèce *Eristalis sp* (9.02%), *Lysiphlebus fabarum* (7.56%), *Tropinota hirta* Podavon (6.82%) ; *Cordillacris crenulata* (5.85%) et *Mylabris syriaca* (5.32%). Les autres espèces sont représentés par des fréquences d'apparition variable entre 0.24 et 3.90%.

Tableau 1. Composition taxonomique de l'entomofaune de blé dur.

Ordre	Famille	Espèce	T. hazianu		T. viride		% total
			m			e	
Diptera	Agromyzidae	<i>Agromyziidae sp</i>	0	15	3	3,83	
	Syrphidae	<i>Eupeodes corolae</i>	2	3	16	4,47	
		<i>Eristalis sp</i>	24	2	12	8,09	
	Calliphoridae	<i>Calliphora vicina</i>	11	0	5	3,40	
	Phoridae	<i>Phoridae sp</i>	0	3	20	4,89	
	Muscidae	<i>Musca domestica</i>	14	3	48	13,83	
	Tabanidae	<i>Scaptia beyonceae</i>	0	0	5	1,06	
	Sarcophagidae	<i>Sarcophaga carnaria</i>	45	0	13	12,34	
	Bombyliidae	<i>Bombylius major</i>	6	0	0	1,28	
Coleoptera	Chrysomelidae	<i>Oulema melanopa</i>	1	0	0	0,21	

	Scarabaeidae	<i>Tropinota hirta</i> Podavon	12	0	0	2,55
	Staphilinidae	<i>Xantholinus</i> sp	0	0	0	0,00
	Carabidae	<i>Pterostechus</i> sp	1	0	0	0,21
	Meloidae	<i>Mylabris syriaca</i>	2	0	0	0,43
	Cleridae	<i>Trichodes apiarius</i>	3	0	0	0,64
	Cicindelidae	<i>Cicindela campestris</i>	1	0	0	0,21
Lepidoptera	Noctiidae	<i>Autographa gamma</i>	1	0	0	0,21
	Nymphalidae	<i>Melitaea didyma</i>	2	0	3	1,06
	Pieridae	<i>Pieris rapae</i>	7	0	0	1,49
	Sphingidae	<i>Hyles gallii</i>	2	0	0	0,43
Hymenoptera	Halictidae	<i>Lasioglossum subhirtum</i>	0	0	2	0,43
a		<i>Lasioglossum politum</i>	0	0	1	0,21
		<i>Halictus scabiosae</i>	0	0	1	0,21
	Andrenidae	<i>Andrena flavipes</i>	0	1	0	0,21
		<i>Andrena</i> sp	2	0	0	0,43
	Apidae	<i>Apis mellifera</i>	1	1	0	0,43
		<i>Apis mellifera capensis</i>	2	0	5	1,49
		<i>Xylocopa latipes</i>	1	0	0	0,21
	Braconidae	<i>Lysiphlebus fabarum</i>	0	0	31	6,60
	Formicidae	<i>Cataglyphis bicolor</i>	76	3	3	17,45
	Vespidae	<i>Polistes gallicus</i>	2	0	0	0,43
Orthoptera	Pyrgomorphidae	<i>Pyrgomorpha cognata</i>	11	0	5	3,40
	Tetrigidae	<i>Falconius dubius</i>	8	0	6	2,98
	Acrididae	<i>Cordillacris crenulata</i>	15	0	9	5,11
		<i>Gryllus turritus</i>	2	1	0	0,64
		<i>Sphingonotus</i> sp	0	0	1	0,21

1.2.4. Distribution de la population inventoriée par mode de piégeage

La lecture des résultats affichés sur le tableau 2 indiquent que Pièges jaunes collants sont les plus efficaces avec un taux de capture des insectes avec environ 64.81% de la population totale suivie par le filet fauchure (28.67%) et finalement les puges berbères (6.50%).

1.2.5. Description de la population d'insecte inventoriée :

1.2.5.1. Ordre des Diptères :

Ordre d'insectes comprend seulement deux ailes minces et transparentes, en arrière desquelles de petits appendices nommés balanciers représentent les ailes supérieures. Les

Diptères sont piqueurs et suceurs (moustiques), d'autres sont seulement suceurs (mouche domestique), les Diptères sont d'importants pollinisateurs, prédateurs et décomposeurs de toutes sortes de substances. Beaucoup s'attaquent aux cultures et transmettent des maladies affectant l'homme et le bétail. L'ordre des Diptères englobe 130 familles regroupant 122000 espèces. Ce dernier est présent dans notre travail avec un nombre très important, représente par plusieurs familles identifier et non identifier, on cite par exemple :

2.1.1. La famille des Muscidae :

Les Muscidae se distinguent par les yeux écartés chez les femelles, ordinairement rapprochés ou cohérents chez les mâles. L'espace interoculaire porte des soies croisées ou non. Le corps hérissé de macrochètes sensorielles. La majorité de couleur terne, de longues pattes grêles.

2.1.1.1 *Musca domestica* L

6-9mm, gris avec des taches foncées sur le thorax et l'abdomen celui-ci avec 02 taches latérales jaunâtres séparées par une ligne foncée. Soies sur le corps et les pattes. Yeux roussâtres, grand mais non contigus. Appareil buccal lécheur-suceur.

2.1.2. La famille des Calliphoridae

Ces mouches sont trapues et sont caractérisées par un reflet métallique vert ou bleu qui peut être noir luisant ou terne. Nous avons récolté trois espèces appartenant à deux genres:

2.1.2.1. *Calliphora vomitoria* L

10-12mm, thorax bleu noir, large abdomen à reflets bleu, pattes noires, couvertes comme le corps de soies noires, yeux roux, antenne courtes, ailes légèrement teintées aux bords antérieurs, appareil buccal lécheur-suceur.



Figure 10. Photos des espèces diptères inventoriées

2.1.3. La famille des Syrphidae

Les Syrphidae sont des mouches de 03 à 15mm de long, tête aussi large que le thorax. Les espèces de cette famille sont ordinairement avec un couleur brillant le tégument noir ou orné de bandes jaunes.

2.1.3.1. *Syrphus balteatus* D

9-11mm. Tête jaune, front gris, l'abdomen caractérise par des bandes jaunes

2.1.4. La famille des Sarcophagidae

2.1.4.1. *Sarcophaga carnaria* L

8-13mm. Corps rétréci à l'extrémité postérieure, thorax fortement strié de gris et de noir, abdomen tacheté de même couleur ; pattes noires couvertes, comme le corps de soies noires. Tête triangulaire yeux roux séparés par des raies noires et grisâtres antenne courtes ; ailes légèrement teintées aux bords antérieur. Appareil buccal lécheur-suceur.

2.1.6. La famille des Phoridae

Des petites mouches jaunes, brunes ou noires, mesurent 0,5 à 6mm environ. Tête petite aplatie trompe grand, troisième article antennaire élargie, pattes très développées armées de long chète épines.

2.1.6.1. Phora sp

1,5-2,5mm. Tête noire arrondie petite. Abdomen arqué et rayée par des bandes noires et gris, des pattes noires, longues et grêles avec des chètes épines.

2.1.7. La famille des Tachinidae

Les Tachinidae se distinguent par les yeux écartés chez les femelle, ordinairement rapprochés ou cohérents chez les males. Postscutellum saillant et convexe. Quatrième nervure brusquement coudée dans sa partie discale. Le deuxième sternite abdominal ne recouvre jamais les bords du tergite correspondant.

2.1.7.2, Tachina fera L

C'est une mouche trapue, au thorax noir et abdomen brun orangé avec une bande noir, les derniers segments ornés de longs poils noirs.



Figure 11. Photos des espèces hyménoptères inventoriées

1.2.5.2. Ordre des Hyménoptères

Les Hyménoptères constituent après les Coléoptères, l'ordre d'insectes le plus diversifié. Leur nombre est plus de 120 000 espèces. Leur nom signifie " ailes en membrane " ; ils sont en effet pourvus de deux paires d'ailes membraneuses reliées l'une à l'autre par un système de couplage. Ce dernier est constitué par une série de crochets (hamules) de l'aile postérieure qui s'engagent dans une gouttière de l'aile antérieure.

L'appareil buccal varie du type broyeur au type lécheur avec des formes intermédiaires. Les mandibules bien développées servent à la capture des proies et au façonnage du nid. Chez tous les Hyménoptères, les maxilles et le labium sont unis par une membrane et forment une sorte de trompe qui permet l'aspiration des liquides. Chez les espèces Nectarifères, la trompe plus ou moins allongée peut se replier au repos à l'intérieur de la cavité buccale. De nombreuses espèces d'Hyménoptères sont carnivores à l'état larvaire et nectarivores à l'état adulte mais toutes les abeilles nourrissent leurs larves de pollen et de nectar. Les larves des Hyménoptères sont pour la plupart dépourvues de pattes mais elles ont une capsule céphalique bien visible. A la fin de leur développement, elles tissent souvent un cocon d'où l'adulte émerge. D'après (Claire Villemant). Les Hyménoptères, Hymenoptera.htm.

2.2.2. La famille des Vespidae

2.2.2.1. *Vispula germanica* F

10à15mm.trois taches noires sur le clypeus ; 04 taches jaune sur le thorax ; taches noires de l'abdomen on forme de coin ou de flèches.

2.2.3. La famille des Apoidae

Cette famille constitue l'un des groupes les plus importants des hyménoptères répartis partout en très grand nombre. Elle est représentée dans les pièges colorés par :

2.2.3.1. *Apis mellifera* L : 13 à 16mm. Corps brun noir.

2.2.6. La famille des Braconidae

La famille des Braconidae représentée par le genre *Chelonus* qui appartient à la sous famille des Chiloninae qui ont les segments abdominaux fusionnés en une seule pièce ; l'abdomen a l'air complètement soudée comme en une carapace ; de plus il est concave en dessous.

2.2.6.1. *Chelonus inanitus*

3 à 5mm de long. Leur segment abdominal fusionné en une seule pièce concave au-dessus. Corps noir. Possède deux taches jaunes à la partie avant l'abdomen. Parasites de la teigne d'olive.

1.2.5.3. Ordres des Coléoptères :

Ordre très important représenté par plusieurs familles dont : La famille des Scaraboidae, Les Curculionidé, les Anthicidae, les Carabidae, les Chrysomélidé, les Cyrmbicidae, les Tenebrionidae, les Coccinillidae, les Bruchidae, les Staphilinidae, les Bostrychidae, les Malachidae, les Dermastidae, les Nitudulidae.



Figure 12. Photos des espèces coléoptères inventoriées

2.3.1. La famille des Scaraboidae

Les Scaraboides constituent l'une des plus importantes familles de coléoptères, tant au point de vue systématique qu'au point de vue importance économique, les adultes de beaux coups d'espèces sont phytophages. Morphologiquement Les Scaraboides forme une famille très

homogène et ceci est valable pour les adultes comme pour les larves. Les adultes se reconnaissent par la forme des antennes qui sont terminés par une massue, très caractéristique composée de 3 à 7 articles en feuillets très mobiles souvent plus nombreux et plus développés chez les males. Les élytres recouvrent généralement tout l'abdomen et ne laissent visible que le pygidium, les stigmates au nombre de 7 accusent une disposition variée et servent à la différenciation des grandes divisions des Scaraboides.

Epicimetis hitra poda:

appartenant à la sous familles des Cetoniinae. C'est un insecte noire mat abondamment velu, de 1cm environ de long possède sur ces élytre une douzaine de taches blanches qui s'estompent chez les sujets âgés. Les dégâts, intéressent une multitude d'espèces végétales. C'est une espèce qui recherche tous les organes végétaux riches en sucre, aussi l'ors que les fleurs fonds défaut, elles s'attaquent aux jeunes veilles et aux bourgeons (RIGHI. 2003).

2.3.1.2. Oxyure funesta Poda : c'est la cétoine mouchetée plus petite que la cétoine velue ne mesurant que 4,5 à 5mm de long, proportionnellement plus allongée, son corps noir violet luisant, parfois un peu verdâtre est parsemé de nombreuses taches blanches, garnies de poils blanchâtres assez longs et peu touffus (RIGHI. 2003). Cette petite cétoine se montre parfois très nuisible à l'état adulte au moment de la floraison se diverses cultures : arbres fruitières plantes ornementales.



Figure 13. Photos des espèces d'orthoptères inventoriées.

2.3.2. La famille des Chrysomelidae :

Ce sont des insectes aux formes très diverses, souvent globuleux hémisphériques, parés de couleurs vives. Leur tarse est pentamère, les antennes plus courtes que chez les Cérambycides. Ce groupe de Coléoptères comprend de nombreuses espèces nuisibles à beaucoup de plantes agricoles.

Description de la population d'insectes en fonction du traitement

L'analyse des résultats obtenus montre que la population d'insectes est répartie d'une façon hétérogène dans les trois traitements, dont le taux le plus élevé a été enregistré dans le traitement biologique par *T. harzianum* () en comparaison avec le traitement chimique ().

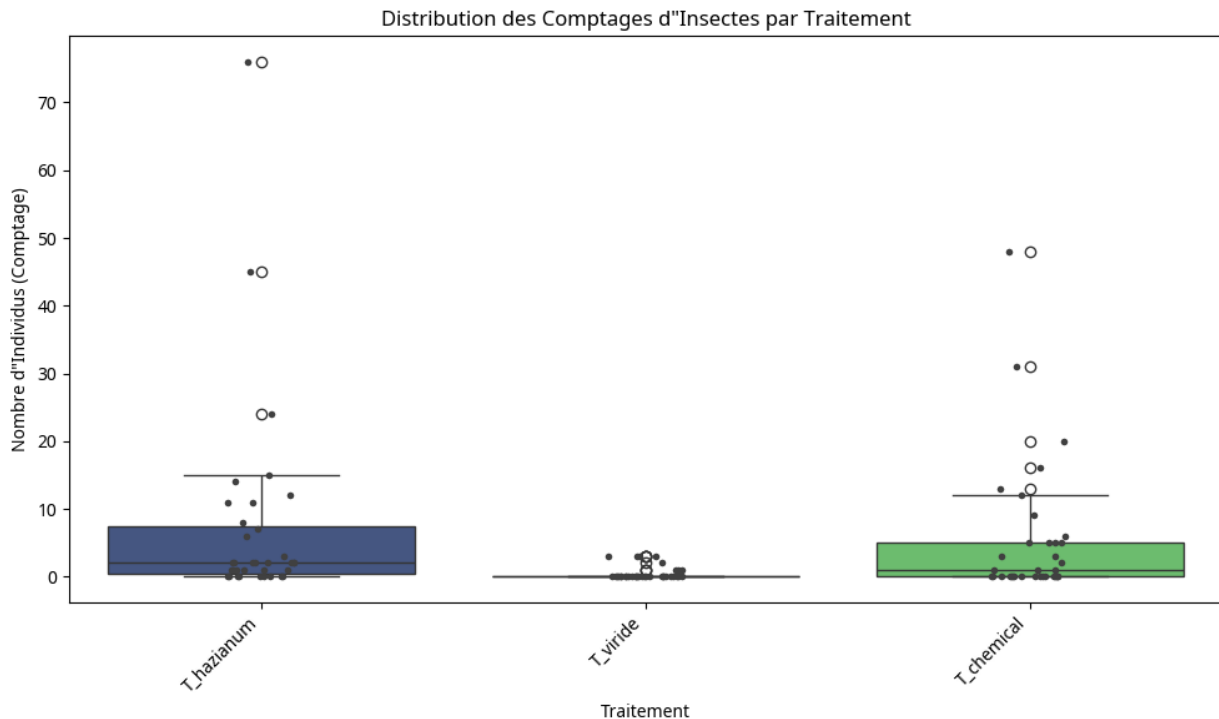


Figure 14. Distribution et comptage des insectes inventoriés par traitement.

Le test de Kruskal-Wallis a révélé une différence statistiquement significative entre les distributions des comptages d'insectes selon les traitements ($H = 18.4990$, $p = 0.0001$). Les comparaisons par paires ont montré que le traitement *T_viride* a des comptages significativement plus bas que *T_hazianum* ($p < 0.0001$). Le traitement *T_viride* a des comptages significativement plus bas que *T_chemical* ($p = 0.0119$). Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les traitements *T_hazianum* et *T_chemical* ($p = 0.5542$). Plus spécifiquement, le traitement *T_viride* est associé à des comptages d'insectes significativement plus faibles que les traitements *T_hazianum* et *T_chemical*. Aucune différence significative n'a été détectée entre les traitements *T_hazianum* et *T_chemical* sur la base des données analysées. Ces résultats suggèrent que le traitement *T_viride* pourrait avoir un impact plus marqué (réducteur) sur les populations d'insectes étudiées par rapport aux deux autres méthodes de traitement.

Cependant, la population parasite a été présente dans les deux traitements avec des pourcentages élevés dans le traitement par *T. harzianum* en comparaison avec le traitement chimique. Par contre, l'analyse des données indique que la population d'auxiliaires est assez présente dans les traitements biologiques particulièrement chez le blé dur traités avec l'espèce *T. harzianum*.

Tableau 02. Les principaux rôles écologiques des familles et espèces d'insectes inventoriés.

Famille (Ordre)	Espèce(s) Exemple(s) /	Rôle(s) Écologique(s) Principal (aux)	Classification Générale
Agromyzidae (Diptera)	<i>Liriomyza</i> sp., <i>Agromyzidae</i> sp.	Larves phytophages (mineuses de feuilles/ tiges), consommateurs primaires. Certaines espèces contrôlent des adventices.	Principalement Ravageur , potentiellement Auxiliaire
Syrphidae (Diptera)	<i>Eupeodes corollae</i>	Larves prédatrices (aphidiphages). Adultes pollinisateurs.	Auxiliaire (Lutte biologique & Pollinisation)
	<i>Eristalis</i> sp.	Larves saprophages/ décomposeuses (milieux aquatiques). Adultes pollinisateurs.	Auxiliaire (Pollinisation) & (Décomposeur)
Calliphoridae	<i>Calliphora vicina</i>	Larves nécrophages/ décomposeuses (cadavres). Adultes pollinisateurs (mineur). Rôle en entomologie médico-légale.	Autre (Décomposeur) & Auxiliaire (Pollinisateur)
Phoridae	<i>Phoridae</i> sp., <i>Pseudacteon</i> sp.	Très diversifié : Larves parasitoïdes (insectes), saprophages/ nécrophages, phytophages	Variable : Auxiliaire , Autre , Ravageur
Muscidae (Diptera)	<i>Musca domestica</i>	Larves saprophages/ décomposeuses (déchets, fumier). Adultes pollinisateurs (mineur), vecteurs mécaniques de	Autre (Décomposeur) & Nuisible/Ravageur (Vecteur)
Tabanidae (Diptera)	<i>Scaptia beyonceae</i> , <i>Tabanidae</i> sp.	Femelles souvent hématophages. Adultes pollinisateurs (nectar). Larves prédatrices (milieux humides).	Nuisible/Ravageur & Auxiliaire
Bombyliidae (Diptera)	<i>Bombylius maior</i>	Adultes pollinisateurs. Larves parasitoïdes (nids d'hyménoptères solitaires).	Auxiliaire (Pollinisation & Régulation)
Chrysomelidae (Coleoptera)	<i>Oulema melanopa</i>	Adultes et larves phytophages (ravageurs de céréales). Consommateurs primaires. Proie.	Ravageur
Scarabaeidae (Coleoptera)	<i>Tropinota hirta</i>	Adultes floricoles/ anthophages (dommages aux fleurs, pollinisation mineure). Larves saprophages (sol, matière organique).	Ravageur (Adulte) & Autre (Larve Décomposeuse)

2. Discussion

Aujourd'hui, la lutte contre les phytopathogènes des céréales est majoritairement accomplie par les pesticides chimiques, provoquant par conséquent des perturbations

bioécologiques ; à savoir les effets néfastes sur la santé humaine et animale, aussi le développement de la résistance chez les souches phytopathogènes contre ces produits. En effet, un nouveau système agricole plus durable doit être développé pour augmenter la productivité en respectons la santé humaine et animale, ainsi que le maintien des ressources naturelles. Cela a incité la communauté scientifique pour progresser vers des méthodes contrôle alternatives, avec l'utilisation de agents antagonistes biologiques et en amont les espèces fongiques (Asghar et al. 2024, Moutassem et al., 2020, Moutassem et al., 2024).

En effet, les agents de lutte biologiques en particulier les *Trichoderma* spp. peuvent être un outil pour favoriser cette transition, car ils peuvent remplacer ou parachever les produits agrochimiques qui ne répondent pas aux critères normatifs (Díaz-Urbano et al., 2023). Ces espèces fongiques sont des micro-organismes telluriques colonisent, partiellement ou totalement les tissus internes de la plante, tels que les racines, les tiges, les graines, les feuilles et les fruits sans provoquer des maladies (Kumar et al., 2021 ; Díaz-Urbano et al., 2023). Ils se trouvent dans toutes les plantes de la planète et il en existe une grande diversité. Certains sont spécifiquement associés à certaines espèces, tandis que d'autres sont cosmopolites. Qu'ils soient utilisés individuellement, et/ou en association, se distinguent par leur potentiel antagonistes.

Les résultats obtenus sur l'effet antagoniste *in vitro* des *Trichoderma* sp ont démontré une activité inhibitrice très intéressante de la croissance mycélienne du *F. graminearum* avec des fréquences variables entre 10 et 80%, en fonction l'espèce fongique et le temps d'exposition. Les résultats de confrontation directe présentent une compétitivité potentielle des espèces de *Trichoderma*, accordé principalement au phénomène de l'hyperparasitisme, confirmé par l'observation microscopique de la zone de contact entre les deux antagonistes. Les observations microscopiques de la zone de contact exposent une altération du mycélium du *F. graminearum* suivant une activité lytique très prononcée, une transformation dans les cordons des filaments mycéliens et l'enroulement du mycélium des espèces de *Trichoderma* spp sur celle du *F. graminearum*.

La compétition est le processus qui se produit lorsqu'un organisme pathogène subit une déficience de nutriments et d'espace vital après un rapprochement avec une espèce fongique antagoniste. La faim provoquée par une insuffisance nutritive est la cause la plus redoutable pour le biocide fongique. Ces résultats sont confirmés par nos expériences où nous avons constaté un développement rapide des antagonistes en comparaison avec le pathogène *F. graminearum*. Ces

constats sont conformes aux résultats précédents apportés par Kthiri et al.2020 ; Younesi et al., 2021; Mukherjee et al., 2022 ; Asad 2022 ; Ren et al., 2023 ; Abdelmoteleb et al., 2023 ; Sirikamonsathien et al., 2023, révèlent une concurrence pour l'espace et les nutriments des espèces de *Trichoderma* avec *F. graminearum* inhibent par la suite la croissance mycélienne. En effet, la diminution des nutriments provoque couramment à une inhibition de la germination des conidies, ainsi qu'une croissance plus lente des germes de *F. graminearum*. Les résultats obtenus sont similaires à ceux obtenus par (Kthiri et al.2020 ; Asad, 2022).

En effet, les observations microscopiques effectuées sur la zone de contact entre les espèces de *Trichoderma* testées affirment un enroulement de mycélium de *Trichoderma sp* en forme spirale et attache à ceux du *F. graminearum* pendant la phase de croissance. Néanmoins, avec l'accroissement du temps d'exposition au phénomène antagoniste, le mycélium de *F. graminearum* s'amincit progressivement et cesse de croître. A ce titre, les conclusions obtenus par (Chet, 1990 ; Dubey et al., 2007 ; Mukherjee et al., 2022) confirment nos résultats et montrent que le processus d'hyperparasitisme, commence le plus souvent par la croissance mycélienne de l'antagoniste envers le pathogène, l'établissement de contact, enroulement et pénétration.

Nos résultats dévoilent aussi un effet lytique partiel et/ou total des mycéliums du *F. graminearum* après une confrontation directe. Ce constat est expliqué par les sécrétions enzymatiques issues des souches de fongiques antagonistes. En effet, selon (Mukherjee et al., 2022) les espèces antagonistes exsudent des enzymes lytiques notamment, les chitinases, cellulases, xylanases, glucanases et protéinases, dégradant par conséquent les paroi cellulaires des pathogènes. Autrement, les métabolites secondaires dégagés par les espèces de *Trichoderma* exercent un effet inhibiteur sur les espèces pathogènes et dégradent d'une manière synergique la paroi cellulaire du pathogène (Xiong et al., 2016). Ces constatation sont confirmés par nos résultats indiquent des activités inhibitrice de *F. graminearum* avec des taux variables en fonction l'espèce de *Trichoderma* ainsi que la concentration utilisée.

Toutefois, l'effet est dû à des substances de nature chimique libérées par les *Trichoderma* (phénomène d'antibiose) (Meslouhi, 1989). La capacité à produire de telles substances varie selon les isolats de la même espèce ou d'espèces différentes. L'antibiose est le mécanisme impliqué dans la lutte biologique, représenté par l'interférence des métabolites secondaires spécifiques ou non spécifiques d'origine fongique, par des substances volatiles et d'autres

composés toxiques des pathogènes (Dennis et Websters, 1971a, Mukherjee et al., 2022 ; Asad 2022 ; Pandey et al. 2022 ; Ling et al., 2023 ; Rajab et al., 2023).

En analysant les résultats de la confrontation à distance, nous pouvons également conclure que les espèces de *Trichoderma* testées inhibent significativement la croissance mycélienne du *F. graminearum* par la libération de substances volatiles. Nos résultats indiquent une fréquence d'inhibition qui varie entre 10 et 15%, avec des fréquences élevées chez les *Trichoderma* spp. D'une manière générale, l'effet des substances volatiles émises par les espèces de *Trichoderma* est sensiblement faible. L'espèce *Trichoderma viride* est la plus efficace avec des taux d'inhibition supérieur à 20%. D'après Dennis et Websters (1971), les *Trichoderma* émettent des substances biocide toxiques qui sont des dérivés de l'hydrazine présents sous formes des substances volatiles importantes. Nos résultats sont analogues a ceux obtenus par (Pandey et al. 2022) (Swapan et al, 2022) (Sirikamonsathien et al., 2023). Ces auteurs ont suggérés que les composés volatils produits par *Trichoderma* ont prouvé l'inhibition de la croissance mycélienne contre *Alternaria alternata*, *Pseudopezalotiopsis theae*, *Phytophthora infestans* et d'autres phytopathogènes. En effet, *T. harzianum* est également connu par sa production de certains composés volatils et non volatils (Markuz et al., 2012; Singh et al., 1997).

In vivo, nos résultats montrent l'efficacité de toutes les espèces de *Trichoderma* testées, par conséquent diminuent la sévérité de la de la maladie dans les conditions non contrôlées. Les résultats obtenus montrent la réduction de la sévérité de la fusariose de l'épi avec des pourcentages qui s'étalent entre 28.27 et 64.27 %. L'efficacité des *Trichoderma* dans les conditions non contrôlées pourrait être expliquée par la réduction de la population du *F. graminearum* du sol d'une part et à l'induction de la résistance systémique chez la plante hôte d'autre part. Ces résultats témoignent ainsi l'activité antifongique des espèces de *Trichoderma* *in vitro*

Les *Trichoderma* spp présentent une efficacité de lutte biologique prometteuse et ont fait l'objet d'études intensives dans le contrôle des maladies des plantes diverses cultures économiques (Zin et Badaluddin, 2020 ; Ferreira et Musumeci, 2021). Ils procèdent par divers mécanismes contre les agents phytopathogènes à la fois par les voies directes et indirectes, y compris l'hyperparasitisme, l'antibiose, l'expression génétique des plantes pour induire la résistance systémique des plantes (Kaewsalong et al., 2019 ; Sood et al., 2020). Ces agents sont

caractérisés par une force adaptative très élevée dans les plantes hôtes et dans diverses conditions environnementales (Moutassem, 2020). Ces mécanismes sont utilisés séparés ou d'une manière combinée et agissent souvent en synergie pour prévenir et éradiquer les maladies des plantes (Adeleke et al., 2022). Par la suite, ces espèces antagonistes peuvent accroître la croissance des racines, détruisent les substances toxiques fabriquées par la microflore pathogène, contrôlent par conséquent directement les pathogènes telluriques. Les observations microscopiques effectuées par Shalini et al., (2007) sur des cultures traitées par les *Trichoderma* spp ont montré que ces espèces croît au fur et à mesure la croissance de pathogène, s'enroulent autour du *Rhizoctonia solani* et forment des crochets empêchant ainsi le développement de ce dernier.

Dennis et Webster (1971) ont montré l'effet des antibiotiques secrété par les *Trichoderma*, solubles dans le chloroforme et extractibles à partir du milieu de culture. D'après Comporata (1985), cette interprétation favorise l'action des enzymes (β 1-3) gluconase- chitinase qui conduisent à la lyse du mycélium du parasite.

Nous pensons qu'en plus de l'action des antibiotiques, *Trichoderma* se développe plus rapidement par rapport à au FOC en colonisant le milieu nutritif et en ravissant les éléments nutritifs, c'est le phénomène de compétition (Dubot, 1985; Davet, 1996, Cesarini et al., 2025).

L'induction de la résistance chez les plantes par *Trichoderma* a été étudiée et comparée avec les réponses induites par les *Rhizobactéries*. *Trichoderma* est résistante aux cyanures et produit deux différentes enzymes qui sont capables de dégrader les cyanures dans la zone racinaire (Ezzi et al., 2002). Par la suite, ce champignon peut augmenter la croissance racinaire, détruit les métabolites toxiques produits par la microflore et contrôle directement les pathogènes des racines. Des observations microscopiques sur des cultures de différents champignons ont montré que *Trichoderma* croît parallèlement avec *Rizoctonia Solani*.

Les travaux menés par Cesarini et al., 2025 sur la fusariose de l'épi montrent que les deux espèces *Trichoderma asperellum* ICC012 et *Trichoderma gamsii* managent efficacement la maladie in vivo par conséquent réduisent la sévérité d la maladies avec des taux supérieur à 60%, ce qui est en accord avec nos résultats. Ces résultats sont justifiés expérimentalement par la réduction potentielle de population de l'agent pathogène et l'induction des mécanismes de résistance.

Pedrero-M'endez et al., 2025 ont rapportés que les traitement par des souches de *Trichoderma* activent les mécanismes de défense de blé contre *F. graminiarum* par l'activation

des voies de l'acide salicylique. A ce titre, les résultats obtenus exposent une réduction importante de l'indice de la fusariose de l'épi avec environ 60% suite à un traitement par *T. asperellum* T25. Ce qui témoigne nos résultats

Dans le même ordre des idées Stummer et al., 2022 ont exposés l'effet biologique des *Trichoderma harzianum* et *T. gamsii* envers *Fusarium pseudograminearum* *in vitro* et *in vivo*. Les souches A5MH et Tr906 ont activement colonisé la rhizosphère du blé et supprimé l'abondance du pathogène *in planta*. Les souches fongiques ont améliorées la qualité microbiologique du sol via l'augmentation de la microflore bénéfique.

L'efficacité de *Trichoderma gamsii* T6085), contre *F.graminarum* a été prouvée par Risoli et al, (2025). Les tests *in vivo* montrent la réduction de la maladie avec des taux de 55 et 64%, respectivement. Les travaux de Kthiri et al.2020 indiquent la diminution de la maladie de collet causée par *F. colmurum* avec des fréquences variables entre 66 et 68%. De même, Bouanaka et al., 2021 exhibent l'efficacité de 15 isolats de *Trichoderma* auprès *Fusarium culmorum* *in vitro* et *in vivo*, dont 50 à 63.63% de la sévérité de la maladie a été réduite.

Cet effet bénéfique est obtenu même en absence de tout agent pathogène. En effet, Windham et al, (1986) ont montré que l'addition de *T. harzianum* et de *T. koningii* à un sol préalablement autoclavé a augmenté le pourcentage de germination des semences de tomate et du tabac en le comparant au témoin et que l'application de ces deux espèces de *Trichoderma* au substrat de culture a amélioré le poids sec des racines ainsi que de la partie aérienne de ces deux espèces qui représentait 213 % à 291 % de celui du témoin non traité.

Toutes les études antérieures portées sur les *Trichoderma* ont montré leur efficacité *in vivo* vis à vis une multitude des microorganismes phytopathogène et en particulier le Foc (Moutassem et al., 2020). Des études récentes sur le rôle de *Trichoderma* dans la biologie contrôle ont principalement utilisé des souches telles que *T. harzianum* (Ferrigoa,et al. 2020 ; Mei et al. 2019, Moutassem et al., 2020, Mironenka et al., 2021), *T. asperellum* 525, and *T. pseudokoningii* (Mei et al. 2019 ; Cheng et al. 2010 ; Bi 2016 ; Díaz-Gutiérrez et al.,), *T. longibrachiatum* (Bi 2016; Zhang et coll. 2016), *T. reesei* (Luo et al., 2016) et *T. atroviride* (Han et al. 2013).

En plus de son pouvoir de lutte biologique, *T. viride* est connu comme agent d'amélioration de croissance chez la plupart des plantes, les résultats de Verma et al, (2007) qui ont travaillé sur la tomate et de Gravel et al. (Avis et al., 2008) ont prouvé que *Trichoderma* est un améliorateur de croissance chez certains types de végétaux. D'après Yedida et al,(2001), Généralement, *Trichoderma* inhibe ou dégrade la pectinase et d'autres enzymes qui sont essentiels pour les phytopathogènes. En plus de son effet inhibiteur, *Trichoderma* est aussi

capable d'induire une résistance localisée et systématique. L'amélioration de la croissance des plantes par *Trichoderma* peut prendre lieu soit au niveau de la plante (Yedida *et al.*, 2001), soit au niveau du sol (Chang *et al.* 1986; Harman, 2001).

Les insectes forment l'une des classes la plus importante de tous les êtres vivants et le règne animal en particulier. Ils sont caractérisés par sa diversité, son abondance et son occupation des niches écologiques très variée. Ils peuvent être nuisibles telle que la mouche de l'olivier *Dacus oleae* qui elle fait partie de cette étude.

L'adoption de traitements biologiques et de stratégies IPM a des répercussions profondes et généralement positives sur la structure et la fonction des communautés d'insectes au sein des agroécosystèmes. Contrairement aux insecticides chimiques à large spectre, les agents de lutte biologique sont souvent plus spécifiques, ciblant préférentiellement les ravageurs tout en épargnant une grande partie de l'entomofaune non-cible. Cette sélectivité est cruciale pour la préservation des ennemis naturels. En réduisant la pression insecticide sur les prédateurs (comme les araignées, les coccinelles, les carabes) et les parasitoïdes (hyménoptères et diptères spécifiques), les traitements biologiques permettent à ces auxiliaires de se maintenir et de se développer, renforçant ainsi les processus naturels de régulation des populations de ravageurs. Des études récentes, bien que ne portant pas spécifiquement sur le blé dur, confirment ces bénéfices. Par exemple, une étude menée dans un agroécosystème du Midwest américain a démontré que l'adoption de l'IPM, par opposition à une gestion conventionnelle basée sur des applications préventives d'insecticides, favorisait significativement l'abondance des prédateurs généralistes comme les araignées, ainsi que celle des proies non-ravageuses (Collembolés), contribuant à une meilleure régulation biologique globale (Grijalva *et al.*, 2024). Cette conservation des réseaux trophiques est essentielle, car les ennemis naturels nécessitent souvent des proies alternatives ou des ressources complémentaires pour survivre lorsque les populations

de ravageurs sont faibles. L'utilisation de biopesticides, tels que ceux à base de *Bacillus thuringiensis* (Bt) ou de champignons entomopathogènes, présente également des avantages en termes de sélectivité. Ces agents agissent souvent par ingestion ou contact sur des groupes cibles spécifiques, limitant leur impact sur les insectes bénéfiques. Cependant, il est important

de noter que même les approches biologiques ne sont pas dénuées d'effets potentiels sur l'entomofaune non-cible. L'introduction massive d'un agent de lutte biologique peut, dans

certains cas, entrer en compétition avec des espèces indigènes ou affecter des niveaux trophiques supérieurs. De même, certains biopesticides peuvent avoir une certaine portée d'action au-delà du ravageur visé. Par conséquent, une évaluation rigoureuse des impacts écologiques de chaque traitement biologique est nécessaire avant son déploiement à grande échelle. L'étude de ces effets, directs et indirects, sur l'ensemble de la communauté entomologique, incluant les ravageurs, les auxiliaires, les décomposeurs et les espèces neutres, est fondamentale pour optimiser les stratégies de lutte biologique et garantir leur durabilité écologique dans des cultures spécifiques comme le blé dur.

Une recherche ciblée sur la base de données Grijalva et al. (2024) n'a pas permis d'identifier d'études récentes se focalisant précisément sur l'impact des traitements biologiques sur la communauté d'insectes (i.e., l'entomofaune) dans les cultures de *Triticum durum*. Si des travaux comme ceux de Grijalva et al. (2024) apportent des éclairages précieux sur les principes généraux de conservation des ennemis naturels via l'IPM dans d'autres systèmes de culture, l'extrapolation directe de ces résultats au contexte spécifique du blé dur reste délicate. Les communautés d'insectes varient considérablement en fonction de la plante hôte, des conditions pédo-climatiques, des pratiques culturales environnantes et du paysage agricole.

L'entomofaune du blé dur possède ses propres spécificités, avec des cortèges de ravageurs et d'auxiliaires qui lui sont propres ou dont l'importance relative diffère de celle observée dans d'autres cultures. Comprendre comment différents types de traitements biologiques (qu'il s'agisse de lâchers d'auxiliaires, d'applications de biopesticides microbiens ou botaniques, ou de pratiques culturales favorisant les ennemis naturels) modifient la structure de cette communauté entomologique (abondance, diversité, interactions trophiques) est essentiel pour développer des stratégies de protection du blé dur qui soient à la fois efficaces contre les ravageurs et respectueuses de l'environnement. Il est crucial d'évaluer non seulement l'efficacité de ces traitements sur les populations de ravageurs clés du blé dur, mais aussi leurs effets non intentionnels sur les populations d'arthropodes bénéfiques et neutres, afin d'éviter des déséquilibres écologiques imprévus. Dans ce contexte, une étude approfondie de l'effet des traitements biologiques sur l'entomofaune du blé dur apparaît nécessaire. L'objectif général d'une telle étude serait d'évaluer et de comparer l'impact de différentes stratégies de protection biologique (par rapport à une lutte conventionnelle ou à un témoin non traité) sur la diversité,

l'abondance et la structure fonctionnelle de la communauté d'arthropodes présente dans les parcelles de blé dur. Cela impliquerait un suivi détaillé des populations de ravageurs

principaux, mais aussi des différents groupes d'ennemis naturels (prédateurs et parasitoïdes) et d'autres insectes non-cibles, afin de mieux comprendre les interactions complexes au sein de cet agroécosystème et de fournir des bases scientifiques solides pour une gestion durable des ravageurs du blé dur.

Conclusion

L'objectif de notre travail est de tester l'effet antagoniste *in vitro* ainsi qu'*in vivo* de quelques souches de *Trichoderma* sp contre le *F. graminearum* agent de la fusariose de l'épi, ainsi d'évaluer leurs effet sur l'entomofaune de Blé dur.

La zone d'inhibition augmente au fur et à mesure avec l'augmentation de temps d'exposition. Les résultats obtenus, indiquent une zone d'inhibition qui varie entre 15.70 et 72.50%. A cet égard, la zone d'inhibition la plus élevée a été constatée chez l'espèce *Trichoderma* spp1. Les résultats obtenus montrent l'augmentation de la zone d'inhibition avec l'augmentation de temps d'exposition elle est passée de 15.70 après 24h jusqu'à 72.95% après 72h d'exposition. . Les examens microscopiques ont révélé des changements profonds au niveau de mycélium de *F. graminearum*, indiquées par une vacuolisation et une induction du vieillissement précoce par épaissement pariétal et une lyse des mycéliums de pathogène.

Les souches de *Trichoderma* ont été avérés très efficaces *in vivo*. Les valeurs de la fréquence notées chez les plantules traitées sont variables entre 5.6 et 29.74 expliquent une réduction de la maladie variable entre 71.15% et 100 %. Dans ce cadre, *Trichoderma* spp1 et *Trichoderma* spp2 sont les plus efficaces.

L'étude des variations de l'entomofaune de blé dur en fonction les traitements biologiques et chimiques montrent un effet très hautement significatif sur la population d'insectes. L'analyse des données affichées sur le tableau montrent l'inventaire global de cinq ordres dans les deux traitements biologiques et chimiques. Cependant, 53.29% de la population inventoriée dans le traitement biologique *T. harzianum* est seulement 6.15% dans le traitement *T. viride*. En revanche, 40,55% de la population est inventoriée sur le traitement chimique. L'ordre des Hyménoptères représente une grande diversité avec 11 espèces capturées, suivi des Diptères (9 espèces) et de Coléoptères (07 espèces). L'aalyse de donnée par famille expose la dominance de la famille des formicidaee avec un taux de 20% suivie par la famille des Muscidae (12.92%) et des Syrphidae (9.75%). Cependant, l'espèce *Musca domestica* est la plus dominante avec une fréquence d'apparition de 12.92%, suivie par *Eristalis* sp (9.02%), *Lysiphlebus fabarum* (7.56%) et *Tropinota hirta* Podavon (6.82%). La lecture des résultats indique que les Pièges jaunes collants sont les plus efficaces avec un taux de capture des insectes avec environ 64.81% de la population totale suivie par le filet fauchure (28.67%) et finalement les piges berbères (6.50%).

Conclusion

Le test de Kruskal-Wallis a révélé une différence statistiquement significative entre les distributions des comptages d'insectes selon les traitements ($H = 18.4990$, $p = 0.0001$). L'analyse des résultats obtenus montrent que la population d'insectes est répartie d'une façon hétérogène dans les trois traitements, dont le taux le plus élevée a été enregistré dans le traitement biologique par *T. harzianum*.

Références

- Ezzahiri B., 2001. Les maladies du blé : identification, facteurs de développement et méthodes de lutte. *Bulletin de transfert de technologie en agriculture*, N° 77, 4p.
- Cote, J., Bestion, E., Jacob, S., Travis, J., Legrand, D., & Baguette, M. (2017). Evolution of dispersal strategies and dispersal syndromes in fragmented landscapes. *Ecography*, 40(1), 56-73.
- Cesarini, M., Petrucci, A., Hotaj, E., Venturini, G., Liguori, R., & Sarrocco, S. (2025). Use in a controlled environment of *Trichoderma asperellum* ICC012 and *Trichoderma gamsii* ICC080 to manage FHB on common wheat. *Microbiological Research*, 290, 127941.
- Pedrero-Méndez, A., Cesarini, M., Mendoza-Salido, D., Petrucci, A., Sarrocco, S., Monte, E., & Hermosa, R. (2025). *Trichoderma* strain-dependent direct and indirect biocontrol of *Fusarium* head blight caused by *Fusarium graminearum* in wheat. *Microbiological Research*, 296, 128153.
- Pe'er, S., & Chet, I. (1990). *Trichoderma* protoplast fusion: a tool for improving biocontrol agents. *Canadian Journal of Microbiology*, 36(1), 6-9.
- Mendoza-Mendoza, A., Pozo, M. J., Grzegorski, D., Martínez, P., García, J. M., Olmedo-Monfil, V., ... & Herrera-Estrella, A. (2003). Enhanced biocontrol activity of *Trichoderma* through inactivation of a mitogen-activated protein kinase. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(26), 15965-15970.
- Verma, M., Brar, S. K., Tyagi, R. D., Surampalli, R. N., & Valero, J. R. (2007). Antagonistic fungi, *Trichoderma* spp.: panoply of biological control. *Biochemical Engineering Journal*, 37(1), 1-20.
- Untiedt, E., & Müller, K. (1985). Colonization of *Sphagnum* cells by *Lyophyllum palustre*. *Canadian Journal of Botany*, 63(4), 757-761.
- Wischmann, T., Stammer, H., Scherg, H., Gerhard, I., & Verres, R. (2001). Psychosocial characteristics of infertile couples: a study by the Heidelberg Fertility Consultation Service'. *Human reproduction*, 16(8), 1753-1761.
- Ramade, F. (1984). *Ecology of natural resources* (pp. 231-pp).
- Barbault, R., & Maury, M. E. (1981). Ecological organization of a Chihuahuan desert lizard community. *Oecologia*, 51(3), 335-342.
- Blondel, J., & Bourlière, F. (1979). La niche écologique, mythe ou réalité?. *Revue d'Écologie*, (3), 345-374.
- Ramade, F., & Ramade, F. (1984). *Éléments d'écologie: écologie fondamentale*. Paris: McGraw-Hill.