



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 بوعريش
Université Mohammed El Bachir El Ibrahimi B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض 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 des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Protection des végétaux

Intitulé :

**Isolement et caractérisation des champignons
entomopathogène et évolution de leur effet insecticide
contre les insectes nuisibles**

Présenté par :

MAHLOUL Nesrine & MECHRI Fadoua

Soutenu le 12/ 06/ 2024, Devant le Jury :

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
Président :	M. S BENSFIA	Pr.	Université De B.B.A.
Encadrant :	M. D MOUTASSEM	MCA	Université de B.B.A.
Co-Encadrant :	Mme. A SAIDI	DOC	Université de B.B.A.
Examineur :	Mme. F TEKKOUK	MCB	Université de B.B.A.

Année Universitaire 2023/2024

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.

Nos vifs remerciements vont également à notre chef de spécialité **Mme S. ZIOUCHE** pour votre dévouement exceptionnel, votre expertise et votre engagement ont eu un impact significatif sur notre succès.

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

Dédicace

Je dédie avec gratitude ce travail à :

*À ma très **chère mère RAZIKA,***

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai jamais te remercier comme il se doit.

Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide, et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force et de réconfort pour affronter les différents obstacles de la vie. Ta sagesse et ton amour inconditionnel m'inspirent chaque jour.

*À mon très **cher père ABD RACHID,***

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduise ma profonde gratitude et mon affection éternelle. Ton dévouement et tes conseils précieux ont été essentiels à ma réussite.

*À mes très chers frères **Yacine et Mohamed,***

*A mes belles-sœurs **Chahinaze et Mélissa,***

Puisse Dieu vous donner santé, bonheur et courage. Votre soutien constant et votre amour fraternel ont été d'un immense secours dans mon parcours.

*Sans oublier mon cher binôme **Fadoua** pour son soutien moral,. Ta collaboration a été inestimable et ton amitié un vrai trésor.*

À tous mes amis qui m'ont toujours encouragé et à qui je souhaite plus de succès. Votre présence et vos encouragements m'ont porté dans les moments difficiles.

*À toute ma famille : **Mahloul et Sebbane,***

Nesrine

Dédicace

Avec tous mes sentiments de respect. Avec l'expérience de ma reconnaissance, je dédie ma remise de diplôme et ma joie

A ma chère mère RACHED, mon paradis, mon port d'attachement, la source de mon bonheur, merci pour ton amour inconditionnel. *J'avoue vraiment que vous êtes pour moi la lumière qui me guide vers le chemin de ma réussite. Je vous offre ce modeste travail pour vous remercier de vos sacrifices consentis et pour l'affection dont vous m'avez toujours témoignée.*

A mon chère père NABIL, celui qui dont je porte le nom, l'épaule solide, mon support qui était toujours à mes côtés merci pour chaque sourire, chaque conseil et chaque moment partagé. *Aucune dédicace ne saurait exprimer mes sentiments, que dieu vous préserve et vous procure santé et longue vie.*

A mes merveilleux frères ZAID et DJALLAL, mes complices de toujours, je vous envoie tout mon amour et ma gratitude, nos liens sont plus que les mots ne peuvent l'exprimer, vous êtes mes piliers, et je vous aime plus que tout au monde.

A ma très chère amie YASMIN, qui a été mon pilier dans les moments difficiles et ma partenaire de fête dans les moments de joie, merci pour votre amitié sincère, votre soutien sans faille et votre amour.

A mes collègues NADA, NESRINE, FATIMA ZOHRA, MADJEDA DALAL, CHAHINEZ, ASMA, LATIFA chaque moment avec vous est un trésor. *Je vous suis reconnaissante votre amitié inestimable.*

A mon binôme NESRINE d'avoir eu le courage d'achever ce travail malgré tout ce qu'elle a enduré.

A toute ma famille MECHRI et chakhechoukh.

Fadoua

Isolement et caractérisation de champignons entomopathogènes et évaluation de leur effet insecticide contre les insectes nuisibles.

Résumé

La présente étude a pour objectif à déterminer le potentiel insecticide de plusieurs espèces fongiques isolées à partir des insectes mycosés contre les larves L4 *Thaumetopoea pityocampa* et les larves et les adultes de *Tribolium castaneum*. Toutes les espèces testées ont été avérées très efficaces cotres les ravageurs cibles avec des dégrées variables en fonction l'espèce fongique, la concentration et le temps d'exposition. Les résultats obtenus indiquent que l'espèce *Trichoderma sp* semble les plus efficace contre *T. pityocampa* avec des valeurs de CL₅₀ et CL₉₀ sont environ $3,44 \times 10^6$ et $8,79 \times 10^7$. Les résultats obtenus montrent que la probabilité de survie de *T. pityocampa* a diminué de 100 % jusqu'à 0 % avec les trois espèces fongiques. Par ailleurs, l'espèce a montré des taux de MC% très remarquable, qui varient entre 30% dans le premier jour après le traitement et 100%, dont les valeurs de CL₅₀ et CL₉₀ sont environ $3,44 \times 10^6$ et $8,79 \times 10^7$ spore/mL après 8 jours, bien que la probabilité de survie de *T. castaneum* a diminué de 100 % jusqu'à 0 % avec les quatre espèces fongiques. Les adultes de *T. castaneum* sont les plus résistants aux espèces fongiques entomopathogènes. Cette espèce a montré des taux de MC% très remarquable, qui varient entre 13.33% dans le premier jour après le traitement et 36.66% le quinzième jour après l'inoculation pour les trois concentrations, avec des valeurs de CL₅₀ et CL₉₀ de l'ordre de $4,58 \times 10^6$ et $4,58 \times 10^6$. A cet effet, la probabilité de survie de *T. castaneum* a diminué de 100 % jusqu'à 76.33 % avec les trois espèces fongiques. L'analyse des réserves énergétiques indique une diminution significative des teneurs en protéines, glucides et lipides chez les insectes traités. Cette étude a mis en évidence la toxicité bio-insecticide d'espèces fongiques contre *T. pityocampa* et *T. castaneum*, révélant des gradients d'activité insecticide positifs et négatifs selon le mode d'exposition.

Mots clés. Mortalité corrigée, inhalation, contact, probabilité de survie, in vivo.

TABLE DES MATIERES

RESUME

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABELAUX

LISTE DES ABREVIATION

Introduction 01

CHAPITRE I. MATERIEL ET METHODES

1.1. Matériel biologique	03
1.1.1. Matériel animal.....	03
2. Récolte des insectes mycosés sur le terrain	04
3. Isolement et purification des champignons entomopathogènes.....	04
4. Identification morphologique de champignons	05
5. Activité insecticides.....	05
5.1. Préparation de l'inoculum.....	05
5.2. Test de pathogénicité.....	05
6. analyse de l'effet sur le profil métabolique des chenilles traitées.....	06
6.1. Dosage des protéines	06
6.2. Dosage des glucides	07
6.3. Dosage des lipides	08
7. Expression des résultats	09
7.1. Calcul de la mortalité corrigée.....	09
7.2. Détermination de la DL ₅₀	10
7.3. Analyses statistiques.....	10

CHAPITRE II. RESULTATS ET DISCUSSION

1. Résultats	11
1.1. Résultats des isolements.....	11
1.2. Potentiels insecticides des entomopathogènes sur les larves L4 de <i>T. pityocampa</i>	12

1.2.1. Mortalité des larves de <i>T. pityocampa</i>	12
1.2.2. Probabilité de survie et relations Temps – mortalité.....	17
1.3. Effets insecticides des entomopathogènes sur les larves et les adultes de <i>T. Castaneum</i>	19
1.3.1. Effets insecticides sur les larves de <i>T. Castaneum</i>	19
1.3.1.1. Mortalité des larves de <i>T. Castaneum</i>	19
1.3.1.2. Probabilité de survie et relations Temps –mortalité.....	23
1.3.2. Effets insecticides sur les adultes de <i>T. Castaneum</i>	24
1.3.2.1. Mortalité des adultes de <i>T. Castaneum</i>	24
1.3.2.2. Probabilité de survie et relations Temps – mortalité.....	28
1.3.2.3. Variation quantitative des réserves énergétiques chez les adultes de <i>T. castaneum</i> traités par les entomopathogènes.....	29
2. Discussion.....	37
Conclusion	38
Références bibliographiques.....	40
Annexe	

LISTES DES FIGURES

Figure 01. Un Nid d'hiver de la chenille processionnaire <i>Thaumetopoea pityocampa</i> sur un arbre de Pin d'Alep <i>Pinus halepensis</i> Mill.....	3
Figure 02. Genre <i>Vaspula</i> mycosé.....	4
Figure 03. Schéma récapitulatif représente le dosage des protéines.....	7
Figure 04. Schéma récapitulatif représente le dosage des glucides.....	8
Figure 05. Schéma récapitulatif représente le dosage des lipides.....	9
Figure 06. Espèces d'insectes mycosés.....	11
Figure 07. Espèces fongiques à intérêt entomopathogène inventoriés. (A) <i>Metarhizium sp</i> (B) <i>Beauveria sp</i> (C) <i>Trichoderma sp</i> (D) <i>Penicillium sp</i> (E) <i>Beauveria sp</i> (F) <i>Penicillium sp</i>	11
Figure 08. Infection des larves L4 de <i>T. pityocampa</i> par les trois espèces fongiques. Observations à la loupe binoculaire des larves mycosées.....	12
Figure 09. Effet comparé de l'efficacité des espèces fongiques, la concentration et le temps sur les larves de <i>T. pityocampa</i>	13
Figure 10. Probabilité de survie et relations Temps – mortalité des larves de <i>T. pityocampa</i> traités avec les trois espèces fongiques entomopathogènes.....	16
Figure 11. Effet comparé de l'espèce fongique et la concentration sur le taux des, protéines, des lipides et des glucides chez les larves de <i>T. pityocampa</i> traitées par les trois espèces entomopathogènes.....	17
Figure 12. Variation des taux des protéines, des lipides et des glucides chez les larves de <i>T. pityocampa</i> traitées par les trois espèces entomopathogènes. Les résultats représentent la moyenne ± erreur standard. Les lettres a, b....indiquent la différence significative à une probabilité ($p \leq 0.05$).....	18
Figure 13. Infection des larves de <i>T. castaneum</i> par les trois espèces fongiques. Observations à la loupe binoculaire des larves mycosées.....	19
Figure 14. Effet comparé de l'efficacité des espèces fongiques, la concentration et le temps sur les larves de <i>T. castaneum</i>	20
Figure 15. Probabilité de survie et relations Temps – mortalité des larves de <i>T. castaneum</i> traités avec les quatre espèces fongiques entomopathogènes.....	23
Figure 16. Infection des adultes de <i>T. castaneum</i> par les trois espèces fongiques. Observations à la loupe binoculaire des adultes mycosés.....	24
Figure 17. Effet comparé de l'efficacité des espèces fongiques, la concentration et le temps sur les adultes de <i>T. castaneum</i>	25

Figure 18. Probabilité de survie et relations Temps – mortalité des adultes de <i>T. castaneum</i> traités avec les trois espèces fongiques entomopathogènes.....	28
Figure 19. Effet comparé de l'espèce fongique et la concentration sur le taux des, protéines, des lipides et des glucides chez les adultes de <i>T. castaneum</i> traitées par les trois espèces entomopathogènes.....	29
Figure 20. Variation des taux de des glucides chez les adultes de <i>T. castaneum</i> traités avec les trois espèces fongiques. Les résultats représentent la moyenne± erreur standard. Les lettres a, b....indiquent la différence significative à une probabilité ($p \leq 0.05$).....	30

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01. Genre fongique isolées à partir des insectes mycosés.....	12
Tableau 02. Analyse statistique de l'Effet de l'espèce fongique, la concentration et le temps sur les larves de <i>T. pityocampa</i>	13
Tableau 03. Taux de mortalité chez les larves de <i>T. pityocampa</i> traitées avec les trois espèces fongiques entomopathogènes	14
Tableau 04. Résultats de la CL50 et CL 90 des larves de <i>T. pityocampa</i> traitées par les trois espèces fongiques. Les résultats représentent la Moyenne± erreur standard. Les lettres a,b....indiquent la différence significative à une probabilité ($p \leq 0.05$)	15
Tableau 05. Analyse statistique de l'Effet de l'espèce fongique, la concentration et le temps sur les larves de <i>T. castaneum</i>	20
Tableau 06. Taux de mortalité chez les larves de <i>T. castaneum</i> traitées avec les trois espèces fongiques entomopathogènes.....	21
Tableau 07. Résultats de la CL50 et CL 90 des larves de <i>T. castaneum</i> traitées par les trois espèces fongiques. Les résultats représentent la Moyenne± erreur standard. Les lettres a, b....indiquent la différence significative à une probabilité ($p \leq 0.05$).....	22
Tableau 08. Analyse statistique de l'effet de l'espèce fongique, la concentration et le temps sur les adultes de <i>T. castaneum</i>	24
Tableau 09. Taux de mortalité chez les adultes de <i>T. castaneum</i> traitées avec les trois espèces fongiques entomopathogènes.....	26
Tableau 10. Résultats de la CL50 et CL 90 des adultes de <i>T. castaneum</i> traitées par les trois espèces fongiques. Les résultats représentent la Moyenne± erreur standard. Les lettres a, b....indiquent la différence significative à une probabilité ($p \leq 0.05$).....	27

Liste des abréviations :

HR : Humidité relative.

CCLS : Coopératives des céréales et des légumes secs.

PDA: Potato dextrose agar.

SDA: Sabouraud Dextrose Agar.

DL50 : Dose Létale.

G.L.M : Modèle Général linéaire.

ANOVA : Analyse factorielle de la variance.

LT : Temps létale.

INTRODUCTION

L'agriculture est une activité humaine essentielle sous adaptation aux exigences sociétales, aux variations climatiques, la fertilité des sols, ainsi que la prolifération des ravageurs (Lewandowski 2018, Méndez-González *et al.*, 2022). En effet, les ravageurs ont un potentiel de dégâts affectant plusieurs espèces végétales et générant des pertes économiques annuelles estimées entre 20 à 40 % (Ramírez-Guzmán *et al.*, 2018 ; Arredondo-Bernal et González-Cabrera, 2020). Cependant, les pertes causées par les insectes ou les ravageurs pendant les conditions de stockage accélèrent ce défi. Selon les rapports publiés, environ 20 % des produits stockés sont perdus chaque année (Phillips et Throne, 2010).

A cet effet, l'agriculture a massivement utilisé des produits chimiques tels que les engrais et les pesticides pour répondre à la demande croissante de production alimentaire. Ces produits ont permis de protéger les cultures contre les maladies et les ravageurs, entraînant ainsi une augmentation significative des rendements. Cependant, cette utilisation intensive a entraîné une dégradation des sols, des impacts négatifs sur la biodiversité, comme la diminution des populations animales et végétales, ainsi que l'émergence d'organismes résistants. De plus, elle a eu des conséquences préjudiciables sur la santé des consommateurs et des agriculteurs. (Bernard et Claire, 2024).

L'impact néfaste des insecticides chimiques sur la chaîne alimentaire, les risques sanitaires dus à leur nature toxique et l'émergence de ravageurs résistants ont détourné l'attention vers les techniques de lutte alternatives qui doit être non toxique, économique et respectueuse à l'environnement (Rossi *et al.*, 2010 ; Eddé 2012). Dans ce contexte, la lutte biologique par les moyens des antagonistes microbiens est une approche émergente pour réduire l'impact des ravageurs dans les conditions de culture ou bien dans les lieux de stockage.

Dans le passé récent, les champignons entomopathogènes ont aperçu une importance cruciale pour lutter contre divers insectes nuisibles (Rath, 2000 ; Sindhu *et al.*, 2011 ; Batta et Kavallieratos, 2018). Ces microorganismes représentent un groupe très hétérogène. Ils sont répartis en environ 100 ordres et environ 700 espèces appartenant approximativement à 100 ordres, mais beaucoup appartiennent aux ordres des Entomophthorales et des Hypocreales (Eparvier *et al.*, 2018).

En tant que parasites, les champignons entomopathogènes infectent un large éventail d'insectes hôtes, à tous les stades de développement (œufs, larves, nymphes et adultes). Au sein des populations d'insectes, ils peuvent se propager de trois manières : horizontalement (individus infectés au sein d'une même génération), verticalement (entre générations) ou par l'intermédiaire de vecteurs (Eparvier *et al.*, 2018).

Ces microorganismes sont utilisés soit à l'état individuel en remplacement directement les insecticides chimiques de synthèse, soit en association avec d'autres produits biologiques en raison de mettre en œuvre un programme de gestion intégrée.

La présente étude vise donc à accroître les effets de la lutte biologique par la mise en évidence de quelques champignons entomopathogènes indigènes et leur pouvoir insecticides contre les stades larvaires de la chenille processionnaire de pin et les insectes des denrées stockées. Ce modèle de lutte biologique s'appuiera en premier lieu sur l'isolement et l'identification de souches fongiques associées aux cadavres d'insectes, et en seconde lieu sur l'analyse de l'effet insecticides des souches fongiques isolées sur des stades larvaires et adulte de quelques insectes ravageurs.

CHAPITRE I.

MATERIEL ET METHODES

1. Matériel et méthodes

1.1. Matériel biologique

1.1.1. Matériel animal

L'étude de l'effet insecticide des champignons a portée sur la chenille processionnaire *Thaumetopoea pityocampa*. Au quatrième stade L4, elle forme des nids volumineux sur les arbres de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.). Ces derniers ont été prélevés à partir des arbres de pin d'Alep localisée dans le Forêt de Mansoura Bordj Bou Arreridj le 14/04/2024. Les échantillons ont été menés au laboratoire dans sa forme naturel, hébergés dans des boites en plastiques, et conservés dans les conditions ambiantes de Température et d'humidité ($25\pm 3^{\circ}\text{C}$ /75%HR).



Figure 1 : Un Nid d'hiver de la chenille processionnaire *Thaumetopoea pityocampa* sur un arbre de Pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill.

L'étude a portée sur les adultes de *Tribolium castaneum*, ces derniers ont été prélevés à partir des graines de blé déjà infestées. Les échantillons ont été récupérés à partir des aires de stockage appartenant aux coopératives de stockage des céréales et des légumes secs (CCLS) de Bordj Bou Arreridj le 15/03/2024. Les échantillons ont été menés au laboratoire et tamisés afin de récupérer et identifier les insectes adultes. L'identification de l'espèce *T. castaneum* a été faite par SAI Bilal ; Ingénieur en protection des végétaux responsable des airs de stockage au niveau de CCLS de BBA (Ain Tassara).

L'élevage de cette espèces ravageuse a été effectué dans des boites en plastique mesurant $20\times 30 \times 15\text{cm}$, continent 1Kg de mélange de blé/farine selon les volumes (1v :1v). Ces boites ont été infestées par 40 individus (20 males et 20 femelles), et placées dans un incubateur avec

les conditions favorables de température et d'humidité ($25\pm 3^{\circ}\text{C}$ et 75% d'humidité). Les tests de l'effet insecticides ont été effectués sur des individus âgés de 15 jours.

2. Récolte des insectes mycosés sur le terrain

Sur le terrain, deux échantillons d'insectes mycosés ont été prélevés à l'aide d'une pince stérile. Les échantillons cibles représentés par les larves d'*Ergate forgeron* et l'adulte de genre *Vaspula* qui ont été prélevés à partir de bois de Pins d'Alep (*Pinus halepensis*) du foret de Bou-Khmise wilaya de Sétif le 24/02/2024.



Figure 2 : Genre *Vaspula* mycosé.

3. Isolement et purification des champignons entomopathogènes

Dans notre expérience, la première stratégie consiste à collecter des insectes mycosés dans la nature ; l'insecte de genre *Vaspula* est prélevé à partir de la forêt Bou-Khmise ; wilaya de Sétif, enroulées de mycélium blanc ayant servi à l'isolement des champignons.

La deuxième technique est basée sur le piégeage des champignons entomopathogènes en utilisant la technique décrite par Zimmermann (1986). Cette technique consiste à la mise de Cinq larves d'*Ergate forgeron* dans des godets en plastique portant un sol préalablement homogénéisé et humidifié. Ces derniers ont été incubés dans les conditions de laboratoire pendant deux semaines.

Les insectes et les larves mycosés ont été lavées trois fois successives avec l'hypochlorite de sodium (0.5%), puis rincés trois fois successives à l'eau distillée stérile pendant trois minutes. Ces insectes ont été séchés entre deux papiers filtres puis découpés en petites fragments déposés dans des boites de pétrie stériles de 9 cm de diamètre contenant un milieu de culture PDA et SDA (voir annexe 1). Les boites ont été incubées à $25\pm 3^{\circ}\text{C}$ à l'obscurité et observées quotidiennement pendant trois semaines. Les colonies fongiques obtenues ont été purifiées par des repiquages successifs nécessaires jusqu'à obtention d'une souche pure.

4. Identification morphologique de champignons

Les champignons ont été identifiés selon caractères morphologiques (Samson, 1974 ; Domsch *et al.*, 1980). L'identification des isolats est basée sur les observations du mycélium fongique :

Observation macroscopique : qui permet de déterminer la couleur de la colonie pendant le développement et à mesurer son diamètre.

Observation microscopique : réalisée à l'aide d'une lame et d'une lamelle, permet de déterminer la forme des spores et le type de mycélium.

5. Activité insecticides

5.1. Préparation de l'inoculum

Les isolats de *Metarhizium sp*, *Beauveria sp*, et *Trichoderma sp* ont utilisés dans cette étude pour les tests de pathogénicité contre les larves de *Thaumetopoea pityocampa*. (*Lepidoptera* : *Thaumetopoeidae*) et *T. castaneum*. Ces isolats ont été inoculés dans des boites de pétri contenant un milieu de culture PDA, et incubés à $25\pm 3^{\circ}\text{C}$ pendant 15 jours à l'obscurité. Un volume de 10 ml d'eau distillée stérile contenant 0,02 % du Tween 20 a été ajouté à chaque boîte de Pétri et gratté avec un sac en verre pour faire passer les spores dans l'eau. Les suspensions sporales ont été filtrées avec quatre couches de gaze pour éliminer le mycélium, puis vortexés pendant 3 min. Les suspensions sporales ont été ajustées à une concentration de 10^6 et 10^8 conidies /1ml (Saruhan *et al.*, 2015).

5.2. Test de pathogénicité

La toxicité par contact direct a été effectuée selon le protocole décrit par Kushiyevev *et al.*, (2018) avec des mineurs modifications. Deux couches de papier filtre stérile légèrement

humidifié avec de l'eau distillé stérile ont été placées dans des boîtes de Pétri de 90 mm. Un volume de 2 ml d'une concentration sporale de 10^6 conidies/ml ont été pulvérisés sur des larves du quatrième stade de *T. pityocampa* et les larves et les adultes de *T. castaneum* placées dans des boîtes de Pétri (cinq larves par boîte) et une quantité appropriée des feuilles de pin et les graines de blé stérilisé a été placées dans les plats pour nourrir les larves et les adultes. Les larves et les adultes traités avec l'Eau distillée stérile contenant 2 ml de Tween 20 à 0,02 % ont été utilisés comme témoins en utilisant la même méthode. Les boîtes Pétri ont été scellées avec de parafilm et incubées à $25 \pm 3^\circ\text{C}$, 70 ± 5 % d'humidité relative et lumière 16 :8 h période d'obscurité pendant 15 jours. La lecture des résultats a été effectuée pendant 15 jours de traitement, dont le nombre des larves mortes a été déterminé et comparé avec le témoin non traité. Les résultats obtenus de la sensibilité envers ces traitements ont été exprimés en pourcentage de mortalité en fonction des concentrations des champignons entomopathogènes utilisées.

6. analyse de l'effet sur le profil métabolique des chenilles traitées

6.1. Dosage des protéines

Pour l'extraction et la quantification des réserves de protéine des insectes traités champignons, la technique de Blue de Coomassie G-250 (100 mg) de Bradford (1976) a été utilisée. Une quantité de 1 g de bleu de Coomassie a été dissoute dans 50 ml d'éthanol (95 %), et 100 ml de l'acide phosphorique à 85 % (p/v). La solution résultante a été diluée à un volume final de 1 L.

Après avoir écrasés les insectes dans 400 μL de la solution Tris-HCl (20 mM), les échantillons ont été incubés à 4°C pendant 30 minutes pour permettre aux protéines de se dissoudre. Une aliquote de 0,1 ml a été transférée dans un tube à essai de 12×100 mm, 5 ml de réactif de Bradford ont été ajoutés au tube à essai et le contenu a été mélangé par vortex. La concentration en protéines a été déterminée par spectrophotométrie à 595 nm.

Les concentrations de protéines de chaque échantillon ont été déterminées par rapport à une courbe standard construite en utilisant 125, 250, 500, 1 000 et 2 000 μg d'immunoglobuline G bovine (IgG) dissous dans le même tampon que les échantillons. Avant la lecture, les plaques ont été doucement agitées pendant 5 secondes pour séparer les agrégats de protéines

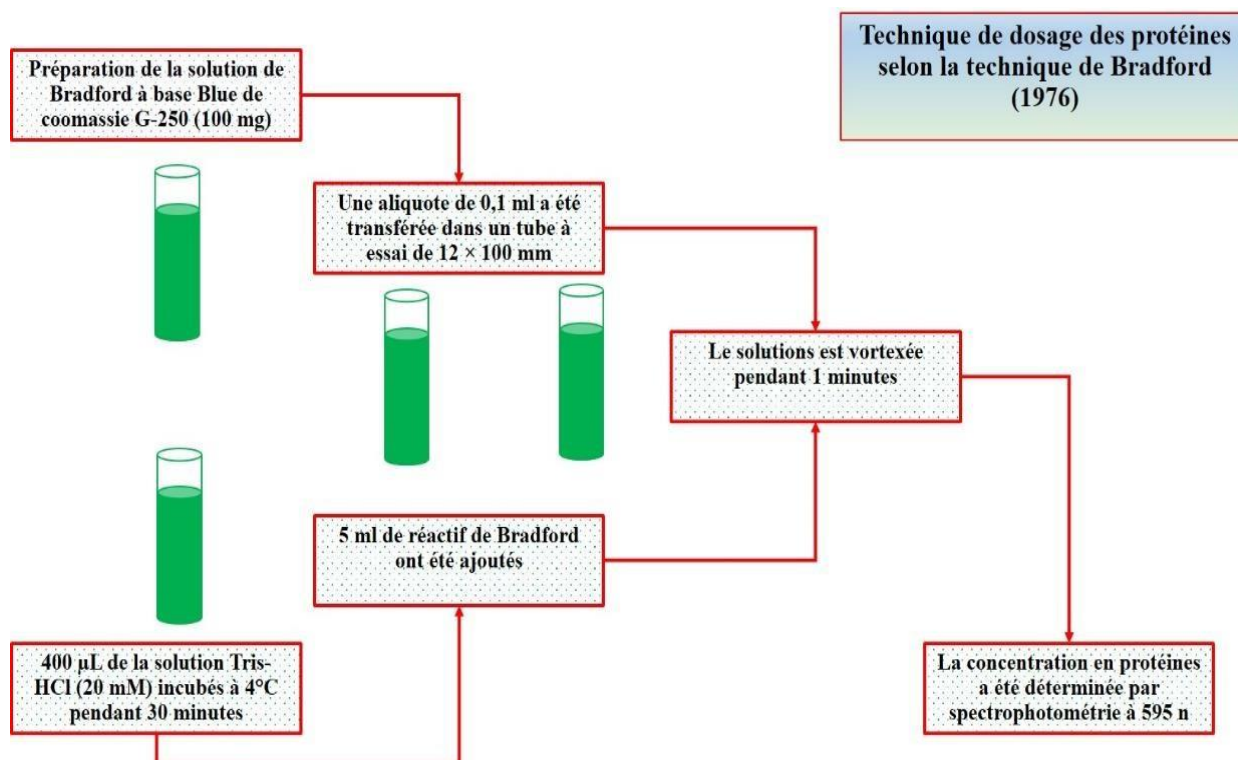


Figure 3 : Schéma récapitulatif représente le dosage des protéines selon la technique de Bradford (1976).

6.2. Dosage des glucides

Pour l'extraction et la quantification des glucides totaux, les méthodes de la solution d'anthrone décrites précédemment par (Van Handel, 1985) et (Bozdoğan *et al.*, 2016) a été utilisée. La Solution d'anthrone a été préparée par la dissolution de 750 mg d'anthrone dans 150 ml d'eau bidistillée et 380 ml de l'acide sulfurique H₂SO₄ concentré. La solution de sulfate de sodium à 2% (Na₂SO₄) a été préparée par l'addition de 2 g de Na₂SO₄ dans 100 ml de l'eau bidistillée. La solution d'attaque composée de mélange Chloroforme/Méthanol (1/2) a été préparée par le mélange de 10 mL de chloroforme et 20 ml de méthanol. Ce mélange a été disposé dans un flacon bien agités par la suite, hermétiquement scellés et stockés.

Les insectes ont été broyés dans 400 µL de la solution sulfate de sodium pendant 2 minutes, suivi par l'addition de 5 mL de la solution chloroforme/méthanol (1-1 ; v-v). Les tubes contenant l'homogénat sont ensuite centrifugés à 4°C pendant à 6000 pendant 10 min. Une aliquote de 100 µL a été transférée dans un nouveau tube de 12 × 75 mm, placés dans un bain marie à 95°C jusqu'à l'évaporation complète de la solution d'attaque.

Les tubes ont été laissés refroidis, puis amendés par 2 ml de réactif anthrone, suivis d'une incubation dans un bain-marie à 95°C pendant 17 min. Les tubes ont ensuite été placés dans un bain de glace à 10 min et la densité optique à 625 nm a été mesurée. Pour les glucides,

une courbe d'étalonnage a été générée à l'aide d'une solution d'étalon de glucose (1 g/L). Le blanc était une solution de glucose à 0,5 mg/ml (5 mg de glucose dans 10 ml d'eau distillée). Une série de dilutions a été effectuée pour obtenir les concentrations de glucose suivantes : 10, 20, 40, 60, 80, 100 et 200 µg/ml.

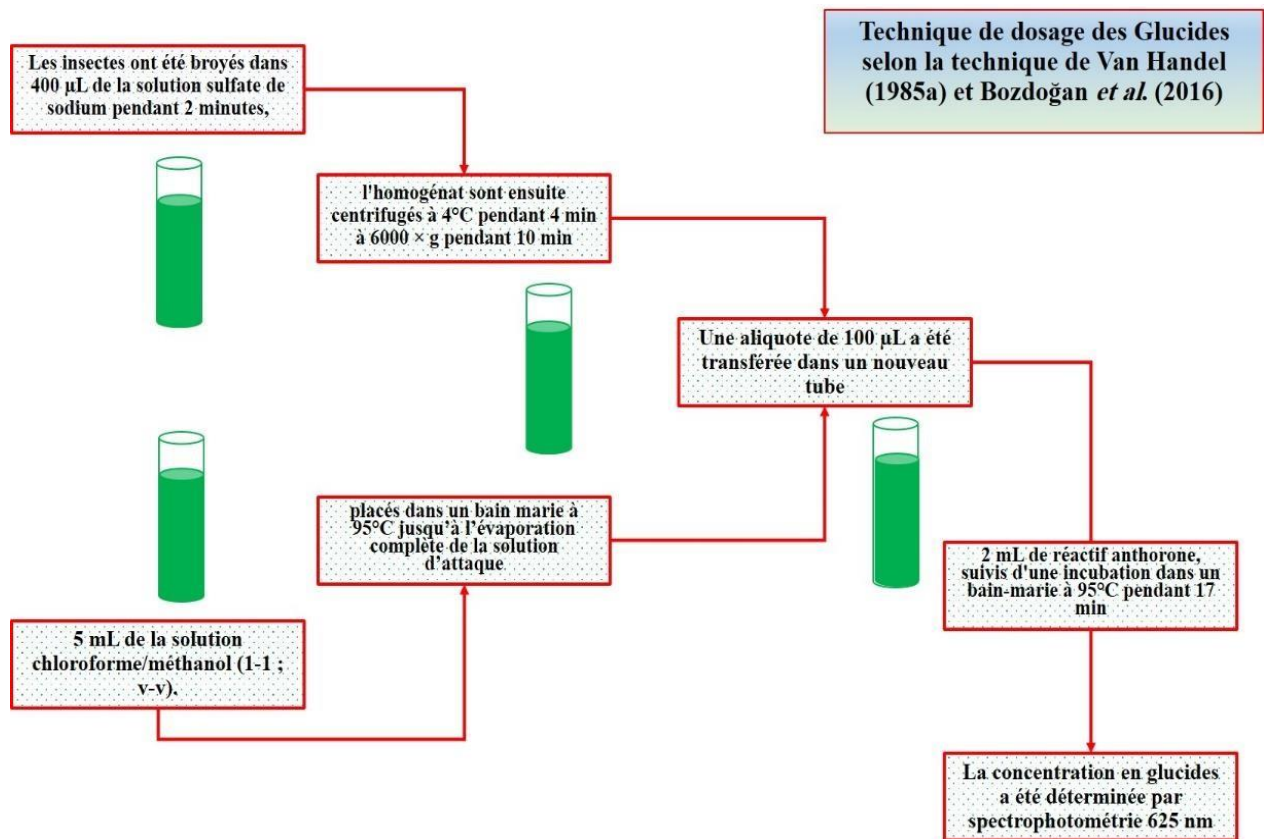


Figure 4 : Schéma récapitulatif représente le dosage des glucides selon la technique de (Van Handel,1985) et (Bozdoğan et al.,2016).

6.3. Dosage des lipides

L'effet des champignons sur les teneurs en lipides des a été déterminé à l'aide des méthodes décrites par (Van Handel ,1985) et (Plaistow *et al.*,2003).

La préparation de la solution de la Vanilline-acide phosphorique : 600 mg de vanilline ont été dissous dans 100 ml d'eau chaude et 400 ml de 85 % l'acide phosphorique bien agitée et conservé à l'obscurité. Les insectes ont été broyés dans 400 µL de solution de chloroforme/méthanol (1 :2, v : v). Le surnageant a été transféré dans un tube propre (16 × 100 mm), qui a été tenu à l'intérieur d'une hotte à 95°C au bain-marie pour permettre au solvant

restant de s'évaporer. Ensuite, 200 µL d'acide sulfurique concentré (95 %) ont été ajoutés et le solvant a été laissé s'évaporer à 90 °C pendant environ 10 min.

L'échantillon a été retiré du bain marie, laissé refroidir, et 5 ml de réactif vanilline ont été ajoutés. Les échantillons ont été vortexés puis exposés à l'air libre pendant 5 minutes pour permettre à la coloration de se développer. La densité optique de chaque échantillon a été mesurée à 525 nm lue après 25 minutes. La concentration en lipides pour chaque échantillon a été déterminée par rapport à une courbe standard construite en utilisant 25, 50, 100, 200, 400, 800 et 1200 µg d'huile végétale commerciale.

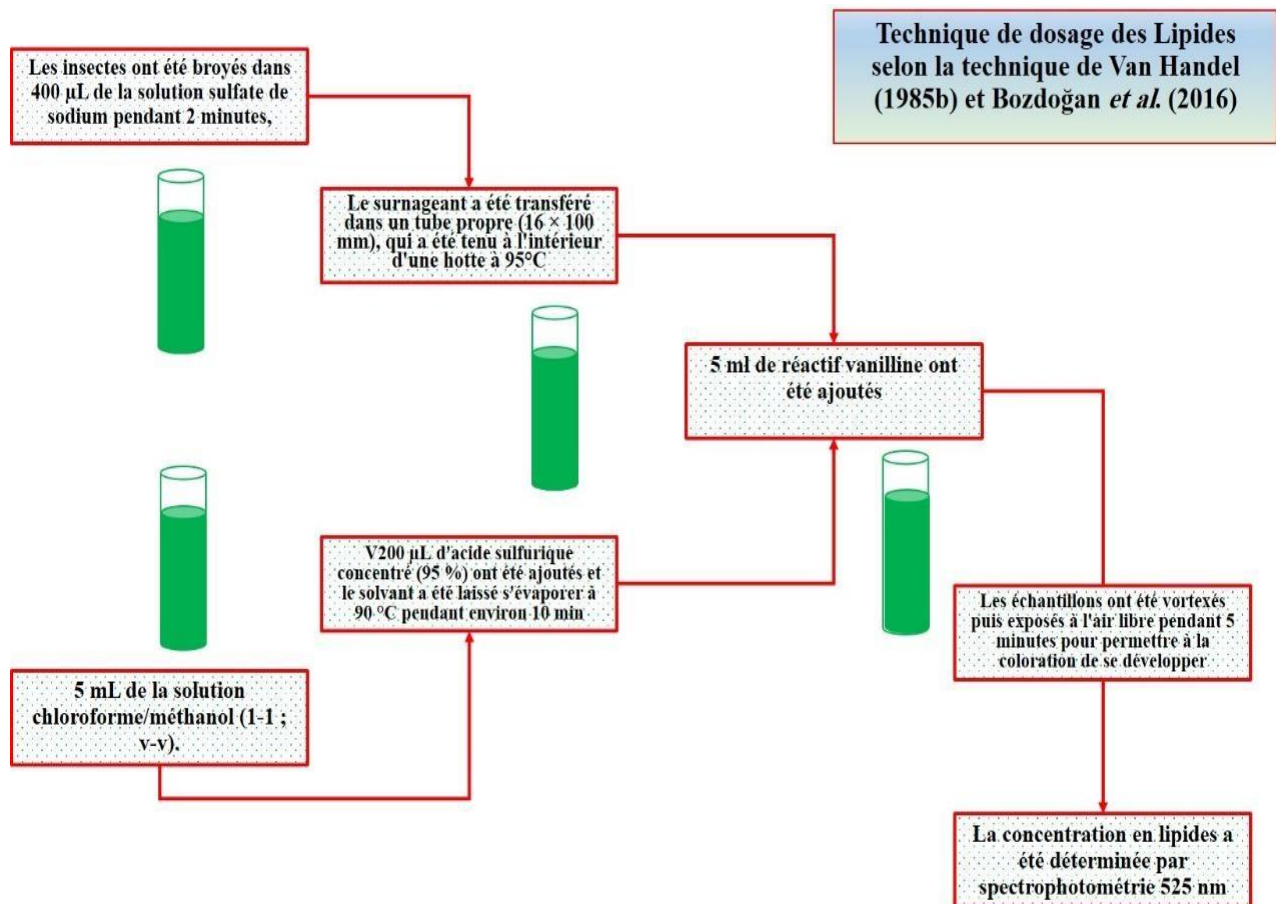


Figure 5 : Schéma récapitulatif représente le dosage des lipides selon la technique de (Van Handel, 1985) et (Bozdoğan et al., 2016).

7. Expression des résultats

7.1. Calcul de la mortalité corrigée

Les taux de mortalités (TM) ont été exprimés selon la formule d'Abbott (1925) en mortalités corrigées (MC%), tenant compte des mortalités naturelles observées dans les boîtes témoins (Mt) selon la formule suivante :

$$MC\% = ((M - Mt) * 100) / (100 - Mt)$$

Mc : la mortalité corrigée.

M : pourcentage de morts dans la population traitée.

Mt : pourcentage de morts dans la population témoin

7.2. Détermination de la DL_{50}

L'efficacité d'un toxique se mesure par sa DL_{50} qui représente la dose conduisant à la mort de 50% des individus d'un même lot. La méthode de (Finney ,2009) et (Ndomo ,1971) basée sur la régression des probités des mortalités en fonction des logarithmes des doses d'huile essentielle a permis de déterminer la DL_{50} .

7.3. Analyses statistiques

Le modèle Général linéaire (G.L.M) a été utilisé pour analyser les valeurs de la mortalité corrigées (MC%) et la quantification des biomarqueurs énergétiques. Le MC% a été soumis à une analyse de probité pour obtenir des valeurs de DL_{50} avec leurs limites de confiance. Les données corrigées de la mortalité et des biomarqueurs énergétiques des insectes pour le test de contact a été soumise séparément à une analyse factorielle de la variance (ANOVA). La comparaison des moyennes a été effectuée à l'aide du test post hoc de Tukey au niveau de probabilité de 5 %.

Les données des essais biologiques temps-mortalité (survie) ont été soumises à une analyse de survie non paramétrique à l'aide d'estimateurs de Kaplan-Meyer pour obtenir les courbes de survie et les estimations du temps de survie médian (LT_{50}). Toutes les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel statistique R Studio 1.2.5019-R version 3.6.1.

CHAPITRE II.
RESULTATS ET DISCUSSION

1. Résultats

1.1. Résultats des isolements

Les isolements effectués sur des espèces d'insectes mycosés (figure 6) ont montré que la plus grande trame des genres fongiques identifiés, lors des isolements effectués est groupée au sein des Champignons Mitosporiques, et dont la plupart des taxons appartiennent au Phylum des *Ascomycota* ; *Penicillium*, *Aspergillus* et *Trichoderma*.

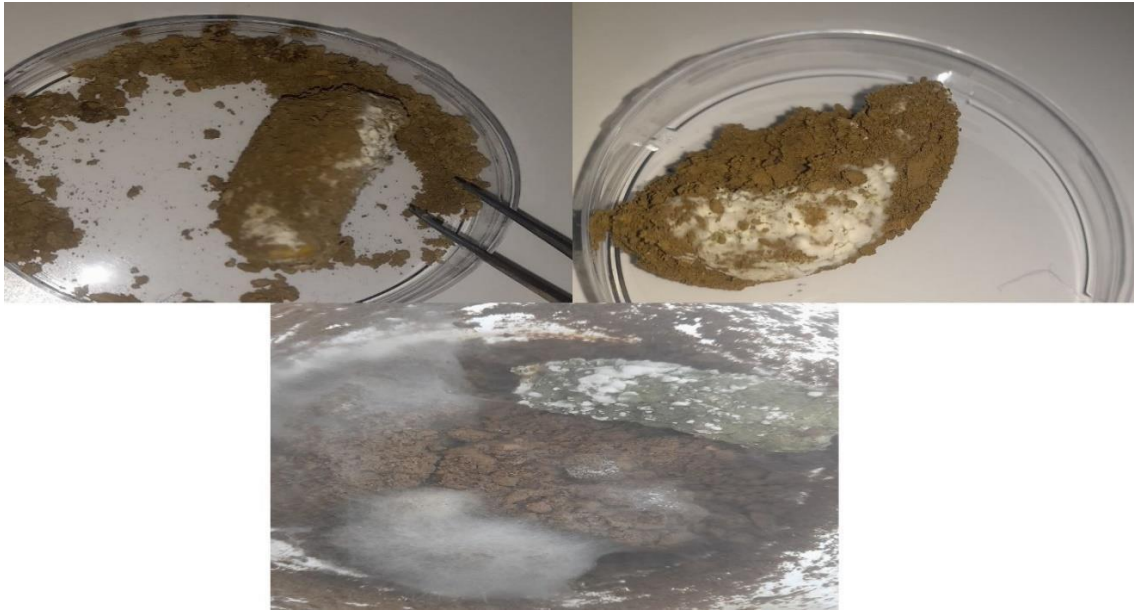


Figure 6. Espèces d'insectes mycosés.

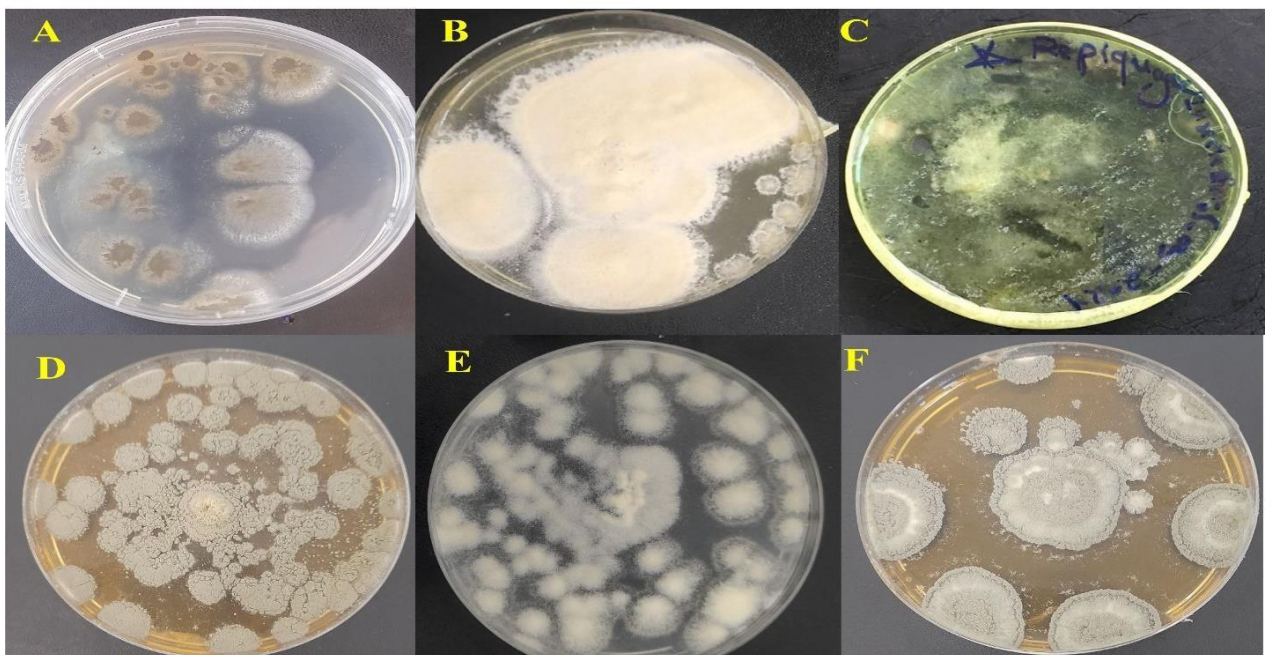


Figure 7. Espèces fongiques à intérêt entomopathogène inventoriés. (A) *Metarhizium* sp (B) *Beauveria* sp (C) *Trichoderma* sp (D) *Penicillium* sp (E) *Beauveria* sp (F) *Penicillium* sp.

L'analyse des données affichées sur le (tableau 1) montrent l'isolement de huit différentes espèces dont le genre *Aspergillus* est le plus dominant avec une fréquence de 27.27%. Cependant, les espèces entomopathogènes sont représentées par 03 genres à savoir, *Entomophthora sp*, *Beauveria sp* et *Metarhizium sp* avec fréquence d'isolement de 4.54% pour chaque genre. Toutes les souches ont été criblées pour leur effet insecticides est les résultats obtenus nous a permis de maintenir quatre espèces pour leurs efficacité dans les tests préliminaires.

Tableau 1. Genre fongique isolées à partir des insectes mycosés.

Espèce fongique	Nombre	Pourcentage
<i>Aspergillus sp</i>	06	27.27
<i>Fusarium sp</i>	05	22.72
<i>Penicillium sp</i>	03	13.63
<i>Entomophthora sp</i>	02	9.09
<i>Beauveria sp</i>	02	9.09
<i>Metarhizium sp</i>	02	9.09
<i>Trichoderma sp</i>	01	4.54
<i>Mucors sp</i>	01	4.54
	22	100

1.2. Potentiels insecticides des entomopathogènes sur les larves L4 de *T. pityocampa* :

1.2.1. Mortalité des larves de *T. pityocampa* :

Le potentiel insecticide et la virulence de trois souches fongiques contre les larves L4 *T. pityocampa* ont été évalués en déterminant la mortalité corrigée, les valeurs de LC₅₀ et LC₉₀, ainsi que la probabilité de survie et relations Temps – mortalité. Les espèces fongiques testées ont montré un effet insecticide très intéressant contre le ravageur étudié. Les larves mortes ont montré la croissance de mycélium sur leur surface. Une lyse de l'insecte mort après 15 jours de traitement (Figure8).



Figure 8. Infection des larves L4 de *T. pityocampa* par les trois espèces fongiques. Observations à la loupe binoculaire des larves mycosées.

L'analyse de la variance ANOVA effectuée par le modèle GLM révèle une différence très hautement significative de l'espèce fongique ($F=9,7$, $P \leq 0.001$), la concentration ($F=8.5$, $P \leq 0.00001$) et le temps d'exposition ($F=146.2$, $P \leq 0.0000$). Bien que, l'efficacité des espèces fongiques est dose dépendante, elle augmente avec l'augmentation de la concentration (Figure 9). La concentration C1 est la plus efficace et la concentration C2 est la faiblement efficace. Autrement, le temps d'exposition affecte l'efficacité, elle augmente avec l'augmentation du temps d'exposition. A cet effet, la mortalité totale a été atteinte dans dis jours après l'exposition.

Tableau 2. Analyse statistique de l'Effet de l'espèce fongique, la concentration et le temps sur les larves de *T. pityocampa*.

effet	SS	D	MS	F	P
Espèce fongique	5051	2	2525	9,7	0,000*
Concentration	4458	2	2229	8,5	0,000*
Temps	5,34E+05	14	3,81E+04	146,2	0,000*

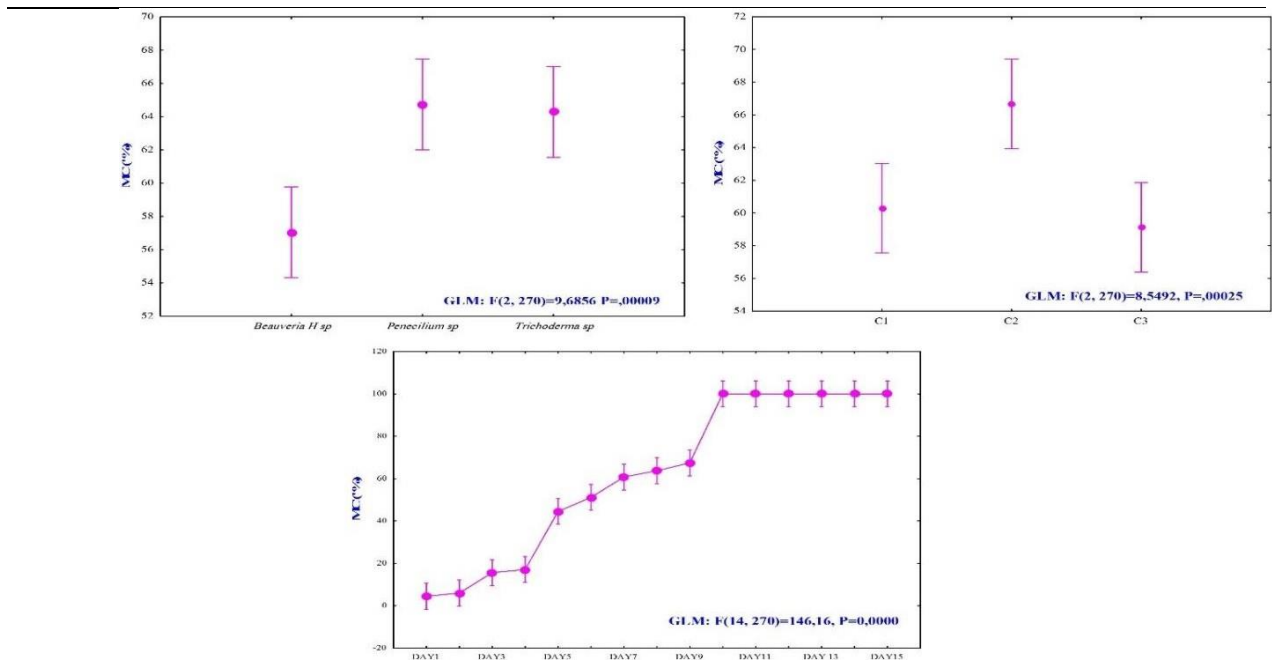


Figure 9. Effet comparé de l'efficacité des espèces fongiques, la concentration et le temps sur les larves de *T. pityocampa*.

Tableau 3. Taux de mortalité chez les larves de *T. pityocampa* traitées avec les trois espèces fongiques entomopathogènes.

	<i>Beauveria sp H</i>			<i>Penicillium sp</i>			<i>Trichoderma sp</i>		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
J1	00,00±00,00	6,66±6,66	00,00±00,00	00,00±00,00	26,66±13,33	00,00±00,00	00,00±00,00	00,00±00,00	6,66±6,66
J2	00,00±00,00	6,66±6,66	00,00±00,00	00,00±00,00	26,66±13,33	13,33±6,66	00,00±00,00	00,00±00,00	6,66±6,66
J3	6,66±6,66	13,33±6,66	00,00±00,00	13,33±13,33	33,33±6,66	40,00±11,54	13,33±6,66	00,00±00,00	13,33±6,66
J4	6,66±6,66	13,33±6,66	00,00±00,00	13,33±13,33	40,00±11,54	40,00±11,54	33,33±13,33	00,00±00,00	13,33±6,66
J5	40,00±20,00	13,33±6,66	00,00±00,00	33,33±6,66	100,00±0,00	40,00±11,54	53,33±17,63	46,66±6,66	73,33±6,66
J6	40,00±20,00	40,00±11,54	20,00±11,54	33,33±6,66	100,00±0,00	40,00±11,54	60,00±23,09	46,66±26,66	80,00±11,54
J7	80,00±20,00	73,33±6,66	40,00±20,00	33,33±6,66	100,00±0,00	40,00±11,54	60,00±23,09	46,66±26,66	80,00±11,54
J8	80,00±20,00	73,33±6,66	40,00±20,00	33,33±6,66	100,00±0,00	40,00±11,54	80,00±20,00	73,33±13,33	80,00±11,54
J9	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00
J10	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00
J11	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00
J12	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00
J13	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00
J14	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00
J15	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00

Tableau 4. Résultats de la CL50 et CL 90 des larves de *T. pityocampa* traitées par les trois espèces fongiques. Les résultats représentent la Moyenne± erreur standard. Les lettres a, b... indiquent la différence significative à une probabilité ($p \leq 0.05$)

	T	LC50	LC90	X ²	Intercep	Slop	R ²
<i>Baeuveria sp H</i>	1	0,00±0,00	0,00±0,00	NA	$1,30 \times 10^8 \pm 5,53 \times 10^7$	NA	NA
	2	$1,17 \times 10^7 \pm 7,17 \times 10^8$	$1,16 \times 10^7 \pm 7,16 \times 10^7$	2.25	$3,90 \times 10^8 \pm 9,00 \times 10^8$	$5,31 \times 10^8 \pm 9,19 \times 10^8$	0.04561
	3	$-3,2 \times 10^7 \pm 2,73 \times 10^8$	$-2,14 \times 10^8 \pm 5,38 \times 10^8$	4	$7,40 \times 10^7 \pm 4,29 \times 10^8$	$6,06 \times 10^7 \pm 4,64 \times 10^8$	0.002428
	4	$2,74 \times 10^7 \pm 2,14 \times 10^8$	$-2,09 \times 10^8 \pm 5,34 \times 10^8$	4	$1,28 \times 10^8 \pm 2,72 \times 10^8$	$2,25 \times 10^6 \pm 3,06 \times 10^8$	7.74e-06
	5	$9,00 \times 10^6 \pm 1,01 \times 10^8$	$3,66 \times 10^9 \pm 1,38 \times 10^9$	13.5	$3,88 \times 10^8 \pm 1,28 \times 10^8$	$-3,65 \times 10^8 \pm 1,68 \times 10^8$	0.4013
	6	$6, \times 10^7 \pm 1,69 \times 10^8$	$3,92 \times 10^8 \pm 2,21 \times 10^8$	15	$2,59 \times 10^8 \pm 1,00 \times 10^8$	$-2,51 \times 10^8 \pm 1,68 \times 10^8$	0.2405
	7	$7,00 \times 10^6 \pm 2,40 \times 10^8$	$1,80 \times 10^8 \pm 1,21 \times 10^8$	18	$1,93 \times 10^8 \pm 6,41 \times 10^7$	$-2,94 \times 10^8 \pm 1,82 \times 10^8$	0.2708
	8	$2,03 \times 10^6 \pm 4,40 \times 10^7$	$3,08 \times 10^8 \pm 4,11 \times 10^7$	18	$1,80 \times 10^8 \pm 6,32 \times 10^7$	$-3,23 \times 10^8 \pm 2,27 \times 10^8$	0.2236
	9	$3,44 \times 10^6 \pm 1,76 \times 10^8$	$8,79 \times 10^7 \pm 1,94 \times 10^8$	12	$1,74 \times 10^8 \pm 6,19 \times 10^7$	$-3,81 \times 10^8 \pm 2,79 \times 10^8$	0.2101
<i>Penicillium sp</i>	1	0,00±0,00	0,00±0,00	NA	$1,30 \times 10^8 \pm 5,53 \times 10^7$	NA	NA
	2	$3,87 \times 10^7 \pm 1,20 \times 10^8$	$6,20 \times 10^7 \pm 2,26 \times 10^8$	9.6	$-3,26 \times 10^8 \pm 2,67 \times 10^8$	$5,25 \times 10^8 \pm 3,02 \times 10^8$	0.3003
	3	$6,55 \times 10^7 \pm 4,01 \times 10^7$	$2,96 \times 10^8 \pm 1,64 \times 10^8$	15	$-9,10 \times 10^7 \pm 1,15 \times 10^8$	$3,54 \times 10^8 \pm 1,69 \times 10^8$	0.3851
	4	$3,62 \times 10^8 \pm 6,33 \times 10^7$	$9,90 \times 10^7 \pm 7,14 \times 10^7$	15	$-2,19 \times 10^7 \pm 8,22 \times 10^7$	$3,08 \times 10^8 \pm 1,39 \times 10^8$	0.4103
	5	$1,44 \times 10^8 \pm 1,04 \times 10^8$	$-9,14 \times 10^6 \pm 1,67 \times 10^8$	18	$3,46 \times 10^7 \pm 6,04 \times 10^7$	$3,62 \times 10^8 \pm 1,56 \times 10^8$	0.4341
	6	$2,13 \times 10^8 \pm 1,03 \times 10^8$	$-3,23 \times 10^7 \pm 1,72 \times 10^8$	18	$5,08 \times 10^7 \pm 6,24 \times 10^7$	$4,25 \times 10^8 \pm 2,19 \times 10^8$	0.351
	7	$3,02 \times 10^8 \pm 9,36 \times 10^7$	$1,11 \times 10^9 \pm 4,12 \times 10^8$	18	$6,51 \times 10^7 \pm 6,36 \times 10^7$	$4,80 \times 10^8 \pm 2,92 \times 10^8$	0.2784
	8	$8,42 \times 10^8 \pm 1,27 \times 10^8$	$9,15 \times 10^8 \pm 1,36 \times 10^8$	18	$7,63 \times 10^7 \pm 6,42 \times 10^7$	$5,38 \times 10^8 \pm 3,80 \times 10^8$	0.2224
	9	$1,87 \times 10^9 \pm 1,02 \times 10^8$	$-1,39 \times 10^9 \pm 1,34 \times 10^8$	18	$8,46 \times 10^7 \pm 6,44 \times 10^7$	$6,05 \times 10^8 \pm 4,85 \times 10^8$	0.1818
<i>Trichoderma sp</i>	1	0,00±0,00	0,00±0,00	NA	$1,29 \times 10^8 \pm 5,53 \times 10^7$	NA	NA
	2	$1,17 \times 10^6 \pm 7,18 \times 10^7$	$1,166 \times 10^8 \pm 7,18 \times 10^7$	2.25	$-5,63 \times 10^8 \pm 8,83 \times 10^8$	$7,08 \times 10^8 \pm 9,01 \times 10^8$	0.08108
	3	$-9,21 \times 10^7 \pm 2,22 \times 10^8$	$-3,60 \times 10^8 \pm 4,26 \times 10^8$	5.6	$2,36 \times 10^8 \pm 4,15 \times 10^8$	$-1,19 \times 10^8 \pm 4,60 \times 10^8$	0.009597
	4	$1,61 \times 10^7 \pm 1,30 \times 10^8$	$3,80 \times 10^9 \pm 1,87 \times 10^9$	9.5	$4,30 \times 10^8 \pm 1,68 \times 10^8$	$-3,96 \times 10^8 \pm 2,12 \times 10^8$	0.3315
	5	$2,16 \times 10^8 \pm 1,26 \times 10^8$	$1,02 \times 10^8 \pm 1,68 \times 10^8$	18	$1,74 \times 10^8 \pm 1,16 \times 10^8$	$-1,38 \times 10^8 \pm 3,05 \times 10^8$	0.02825
	6	$1,94 \times 10^7 \pm 2,80 \times 10^8$	$2,22 \times 10^9 \pm 3,06 \times 10^{10}$	12	$1,20 \times 10^8 \pm 7,62 \times 10^7$	$6,12 \times 10^7 \pm 3,20 \times 10^8$	0.00518
	7	0,00±0,00	$1,61 \times 10^9 \pm 1,21 \times 10^9$	10.5	$1,21 \times 10^8 \pm 7,32 \times 10^7$	$7,38 \times 10^7 \pm 3,88 \times 10^8$	0.005145
	8	$1,06 \times 10^{10} \pm 1,28 \times 10^{10}$	$3,42 \times 10^7 \pm 1,96 \times 10^8$	8.4	$1,10 \times 10^8 \pm 7,06 \times 10^7$	$3,71 \times 10^8 \pm 7,86 \times 10^8$	0.03092
	9	$1,4 \times 10^{10} \pm 3,71 \times 10^{10}$	$2,00 \times 10^8 \pm 2,20 \times 10^8$	8.4	$1.01 \times 10^8 \pm 6.694e+07$	$1.156e+09 \pm 1.443e+09$	0.08395

Les résultats affichés dans la (figure 9) exposent également un effet insecticide très remarquable de toutes les espèces fongiques testées. Les résultats indiquent que les espèces *Trichoderma sp* et *Penicillium sp* semblent les plus efficace en comparaison avec l'espèce *Beauveria sp*. Cependant, l'effet insecticide le plus élevé a été noté chez les individus traités avec les concentrations C3 et C2 de *Trichoderma sp*. Par ailleurs, l'espèce a montré des taux de MC% très remarquable, qui varient entre 5 et 100%, alors que, les concentrations C2 et C3 sont les plus efficaces.

L'examen des valeurs des CL₅₀ et des CL₉₀ des trois espèces fongiques révèlent que l'espèce *Trichoderma sp* est la plus efficace avec des taux environ $3,44 \times 10^6$ et $8,79 \times 10^7$ après 9 jours du traitement, respectivement (tableau 4).

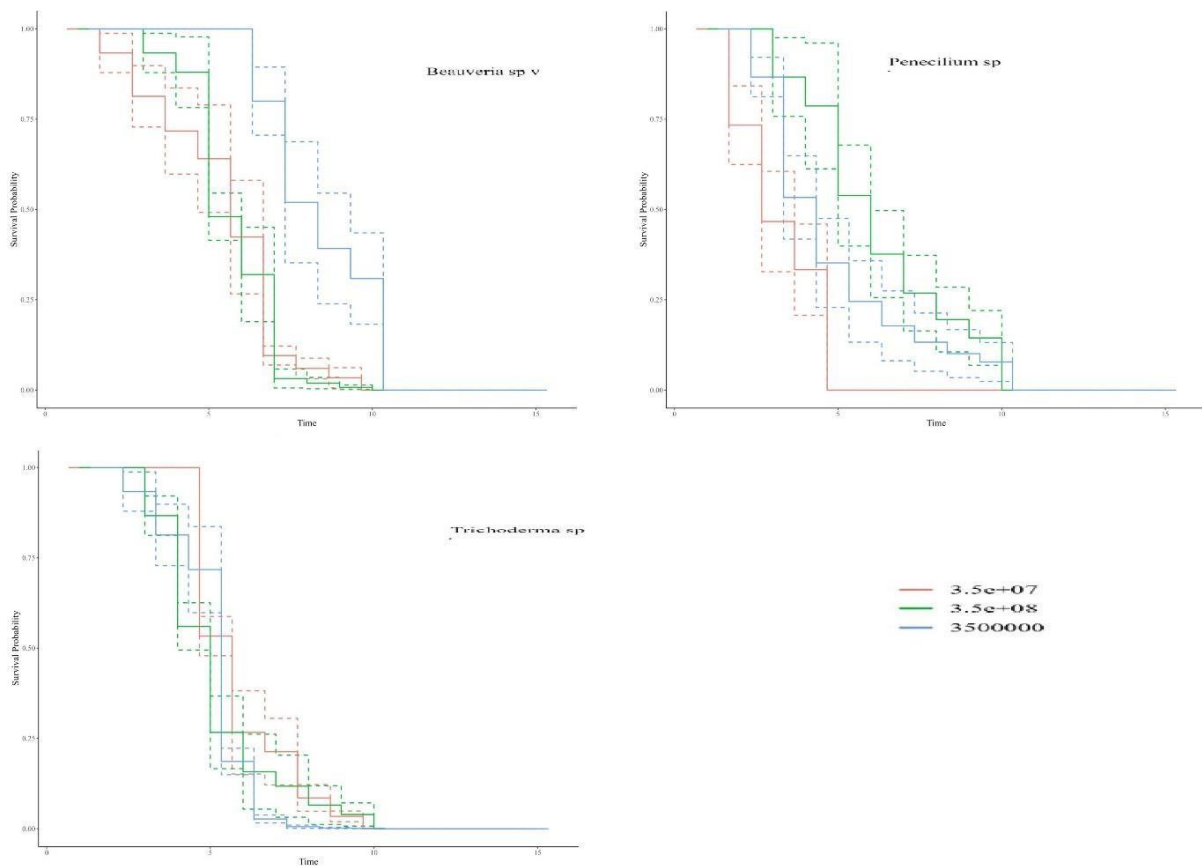


Figure 10. Probabilité de survie et relations Temps – mortalité des larves de *T. pityocampa* traités avec les trois espèces fongiques entomopathogènes.

1.2.2. Probabilité de survie et relations Temps – mortalité

Le taux de survie a été déterminé pendant 15 jours après l'exposition des individus de *T. pityocampa* aux espèces fongiques entomopathogènes (figure 10). La probabilité de survie est varié significativement en fonction l'espèce fongique (test du log-rank, $\chi^2= 178.6$, $df = 2$; $P<0,00001^{***}$). Les résultats obtenus montrent que la probabilité de survie de *T. pityocampa* a diminué de 100 % jusqu'à 0 % avec les trois espèces fongiques. Cependant, les temps de survie moyens (LT₅₀) de la population de *T. pityocampa* traitées les espèces fongique *Trichoderma sp* étaient de 5.33 et 6.47 et 7.45 jours, respectivement (Figure 10).

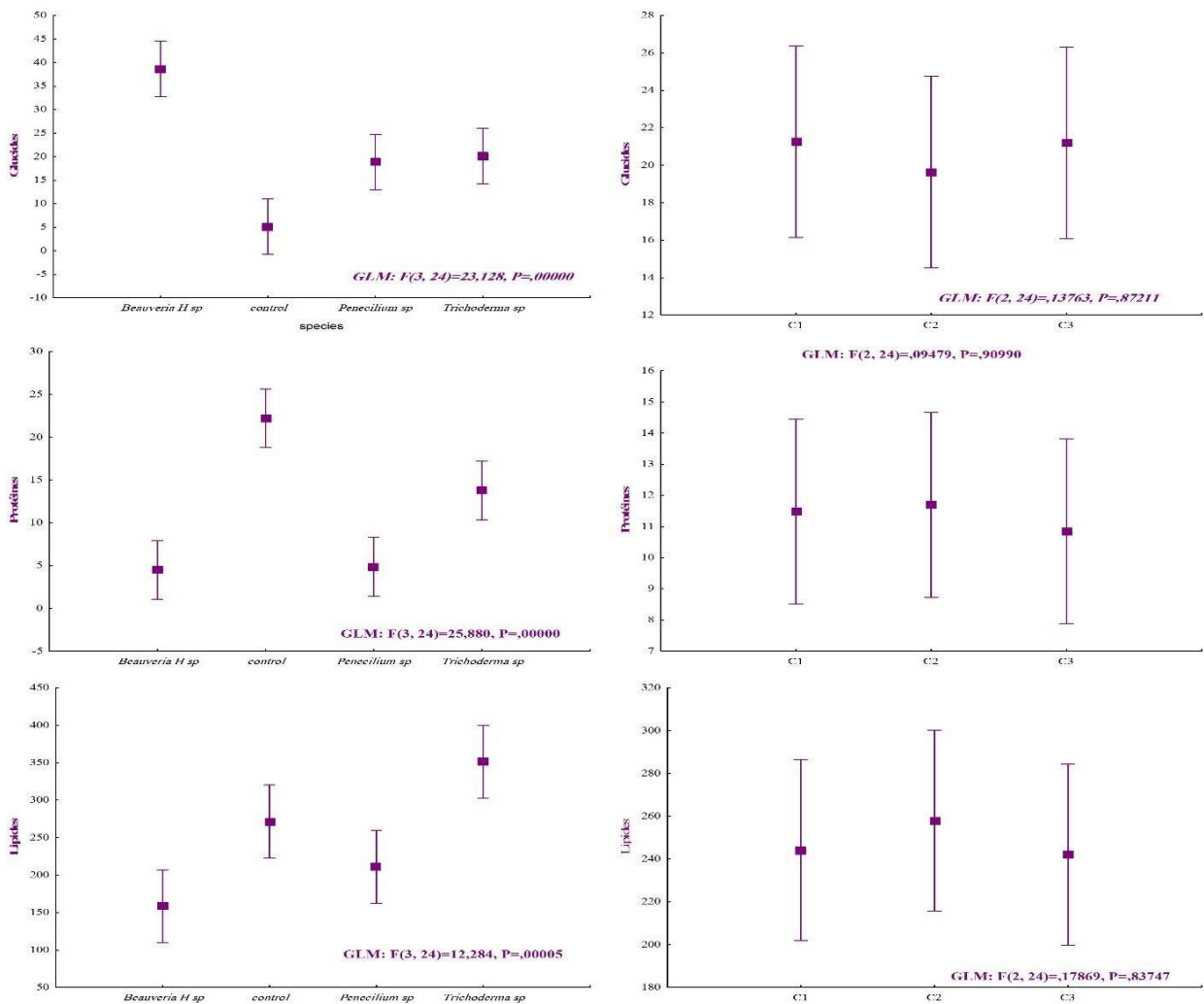


Figure 11. Effet comparé de l'espèce fongique et la concentration sur le taux des, protéines, des lipides et des glucides chez les larves de *T. pityocampa* traitées par les trois espèces entomopathogènes.

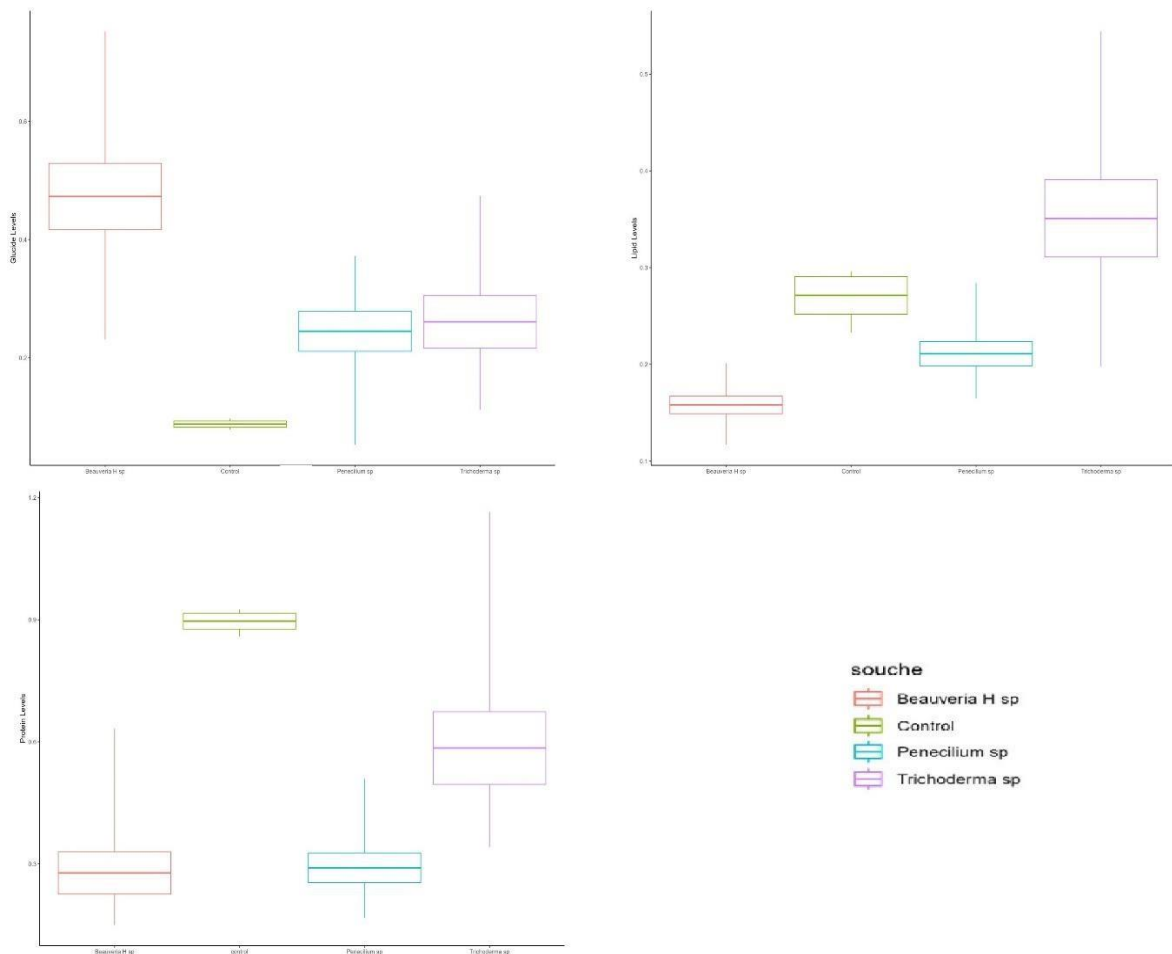


Figure 12. Variation des taux des protéines, des lipides et des glucides chez les larves de *T. pityocampa* traitées par les trois espèces entomopathogènes. Les résultats représentent la moyenne \pm erreur standard. Les lettres a, b... indiquent la différence significative à une probabilité ($p \leq 0.05$).

Les teneurs en lipides ont été diminués significativement chez les larves de *T. pityocampa* traités par les trois formulations d'espèces fongiques (Figure 12). Chez les larves traitées la diminution est variée entre 9.35 à 45.85%, pour toutes les espèces fongiques. Cependant, l'espèce *Beauveria sp* a noté le taux le plus élevé de diminution.

Les teneurs glucidiques chez les larves de *T. pityocampa* traités avec les trois formulations d'espèces fongiques ont montré une significative augmentation en comparaison avec le témoin non traité. Par ailleurs, les traitements par les trois espèces fongiques ont montré une augmentation très importante qui varie entre 85.10 jusqu'à 516%. Toutefois, les larves de *T. pityocampa* traités par la formulation de *Beauveria sp* ont enregistré le taux d'augmentation des teneurs glucidiques le plus élevé (Figure 12).

1.3. Effet insecticides des entomopathogènes sur les larves et les adultes de *T. Castaneum*

1.3.1. Effet insecticides sur les larves de *T. Castaneum*

1.3.1.1. Mortalité des larves de *T. Castaneum*

Les études préliminaires de quelques souches fongiques, isolées de différents hôtes et différents origines géographique a permis de sélectionner trois espèce afin de tester leur effet pathogène sur les larves de *T. castaneum*. Pour tous les traitements causent des mortalités élevées chez la population des larves de *T. castaneum*. Bien que une croissance de mycélium de toutes espèces fongiques sur les larves mortes après 15 jours du traitement (Figure 13).



Figure 13. Infection des larves de *T. castaneum* par les trois espèces fongiques. Observations à la loupe binoculaire des larves mycosées.

L'analyse de la variance ANOVA effectuée par le modèle GLM révèle une différence très hautement significative de l'espèce fongique ($F=74.7$, $P \leq 0.000$), la concentration ($F=24.5$, $P \leq 0.000$) et le temps d'exposition ($F=283.6$, $P \leq 0.000$) sur le taux de mortalité corrigée des sur les larves des *T. castaneum*.

Tableau 5. Analyse statistique de l'Effet de l'espèce fongique, la concentration et le temps sur les larves de *T. castaneum*.

effet	SS	D	MS	F	P
Espèce	2,13E+04	3	7084	74,7	0,000*
Concentration	4643	2	2322	24,5	0,000*
Temps	3,76E+05	14	2,69E+04	283,6	0,000*

L'efficacité des espèces fongiques est dose dépendante, elle augmente avec l'augmentation de la concentration (Figure 14). La concentration C1 est la plus efficace et la concentration C3 est la faiblement efficace. Autrement, le temps d'exposition affecte l'efficacité, elle augmente avec l'augmentation du temps d'exposition. A cet effet, la mortalité totale a été atteinte dans neuf jours après l'exposition.

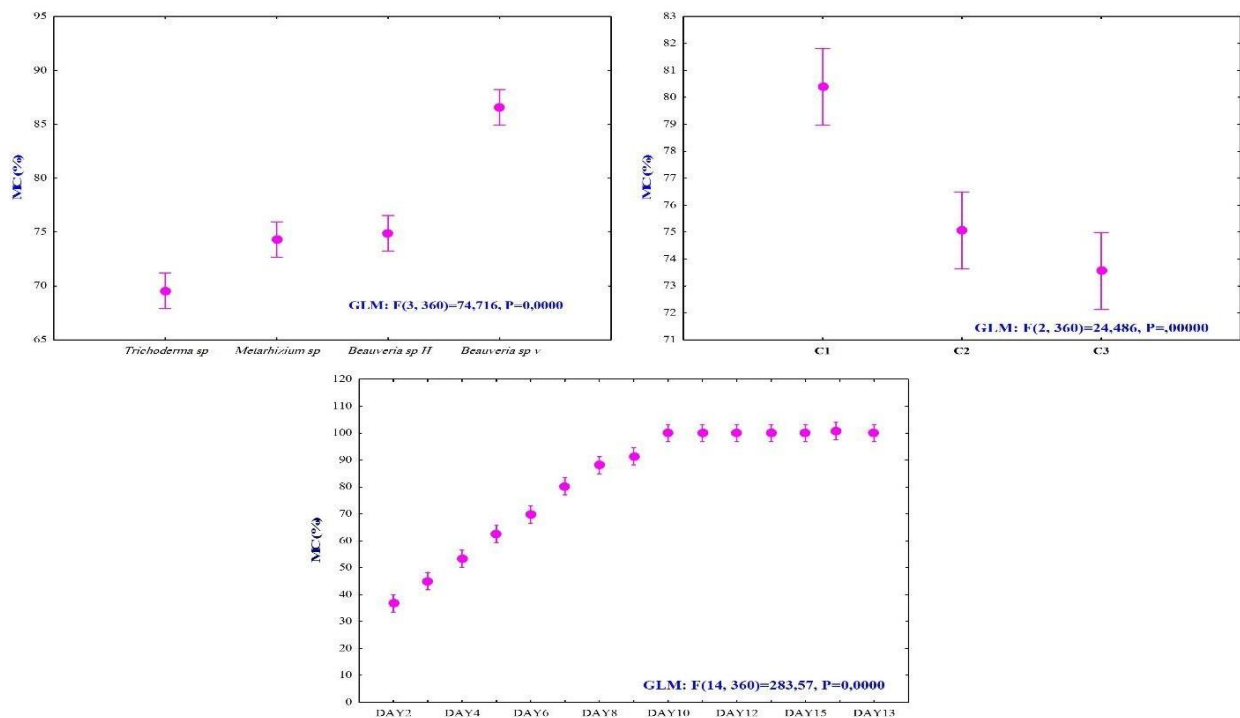


Figure 14. Effet comparé de l'efficacité des espèces fongiques, la concentration et le temps sur les larves de *T. castaneum*.

Les résultats ont démontré que la totalité des souches fongiques testées ont causé des mortalités plus au moins intéressantes chez la population des larves de *T. castaneum*. L'analyse des données affichées sur la figure montre l'efficacité de l'espèce *Beauveria sp v* en comparaison avec les autres espèces fongiques.

Tableau 6. Taux de mortalité chez les larves de *T. castaneum* traitées avec les trois espèces fongiques entomopathogènes.

	<i>Beauveria sp H</i>			<i>Beauveria sp V</i>			<i>Metarhizium sp</i>			<i>Trichoderma sp</i>		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
J1	00,00±0,00	00,00±0,00	00,00±0,00	46,66±14,52	60,00±05,77	30±10	00,00±0,00	00,00±0,00	00,00±0,00	40,00±11,54	10,00±5,77	30,00±0,00
J2	30,00±5,77	26,66±3,33	16,66±3,33	66,66±8,81	63,33±08,81	53,33±8,81	40,00±5,77	30,00±15,27	20,00±5,77	40,00±11,54	20,00±11,54	33,33±3,33
J3	43,33±8,81	40,00±00,00	26,66±6,66	73,33±6,66	66,66±08,81	56,66±6,66	50,00±5,77	40,00±15,27	26,66±8,81	43,33±14,52	30,00±11,54	43,33±8,81
J4	63,33±3,33	46,66±6,66	40,00±5,77	76,66±8,81	70,00±10,00	66,66±8,81	66,66±8,81	50,00±11,54	43,33±3,33	43,33±14,52	30,00±11,54	43,33±8,81
J5	70,00±5,77	56,66±3,33	50,00±5,77	80,00±5,77	80,00±5,77	83,33±6,66	80,00±5,77	50,00±11,54	50,00±00,00	60,00±10,00	36,66±8,81	53,33±8,81
J6	80,00±5,77	70,00±5,77	60,00±0,00	86,66±8,81	83,33±03,33	86,66±8,81	83,33±3,33	63,33±3,33	60,00±5,77	70,00±10,00	43,33±12,01	56,66±6,66
J7	93,33±3,33	100,00±00,00	73,33±3,33	90,00±5,77	93,33±03,33	90,00±90,77	93,33±3,33	76,66±3,33	70,00±5,77	70,00±10,00	50,00±11,54	66,66±6,66
J8	100,00±00,00	100±00,00	83,33±3,33	96,66±3,33	100,00±00,00	96,66±3,33	96,66±3,33	100,00±00,00	80,00±5,77	80,00±5,77	56,66±14,52	70,00±5,77
J9	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00
J10	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00
J11	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00
J12	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00
J13	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00
J14	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00
J15	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00	100,00±00,00

Tableau 7. Résultats de la CL50 et CL 90 des larves de *T. castaneum* traitées par les trois espèces fongiques. Les résultats représentent la Moyenne± erreur standard. Les lettres a, b... indiquent la différence significative à une probabilité ($p \leq 0.05$)

	T	LC50	LC90	X ²	Intercep	Slop
<i>Beauveria H sp</i>	1	0±0	0±0	NA	$9,25 \times 10^7 \pm 3,95 \times 10^7$	NA
	2	$9,25 \times 10^7 \pm 9,40 \times 10^7$	$5,88 \times 10^7 \pm 5,18 \times 10^8$	6	$1,91 \times 10^8 \pm 1,21 \times 10^8$	$-2,53 \times 10^8 \pm 2,93 \times 10^8$
	3	$5,33 \times 10^8 \pm 2,18 \times 10^9$	$5,13 \times 10^7 \pm 9,85 \times 10^7$	12	$1,62 \times 10^8 \pm 7,23 \times 10^7$	$-4,65 \times 10^8 \pm 4,07 \times 10^8$
	4	$5,52 \times 10^8 \pm 2,28 \times 10^{10}$	$1,11 \times 10^8 \pm 1,25 \times 10^8$	15	$1,33 \times 10^8 \pm 7,91 \times 10^7$	$-7,34 \times 10^8 \pm 7,77 \times 10^8$
	5	$5,26 \times 10^{10} \pm 3,25 \times 10^{11}$	$-2,54 \times 10^8 \pm 5,50 \times 10^9$	18	$1,14 \times 10^8 \pm 5,38 \times 10^7$	$-1,53 \times 10^9 \pm 2,52 \times 10^9$
	6	$2,56 \times 10^{12} \pm 3,90 \times 10^{12}$	$6,97 \times 10^{10} \pm 1,15 \times 10^{11}$	15	$1,04 \times 10^8 \pm 5,16 \times 10^7$	$-3,67 \times 10^9 \pm 9,07 \times 10^9$
	7	$-6,61 \times 10^{13} \pm 5,84 \times 10^{13}$	$-2,57 \times 10^{12} \pm 2,27 \times 10^{12}$	12	$9,87 \times 10^7 \pm 4,99 \times 10^7$	$-1,1 \times 10^{10} \pm 4,75 \times 10^{10}$
	8	$-4,91 \times 10^{11} \pm 3,78 \times 10^{11}$	$-9,797 \times 10^{10} \pm 7,54 \times 10^{10}$	4.2857	$9,35 \times 10^7 \pm 4,73 \times 10^7$	$-2,17 \times 10^{10} \pm 4,64 \times 10^{11}$
<i>Beauveria sp V</i>	1	0±0	0±0	NA	$9,25 \times 10^7 \pm 3,95 \times 10^7$	NA
	2	$2,36 \times 10^8 \pm 7,63 \times 10^7$	$-1,732 \times 10^9 \pm 1,09 \times 10^9$	9	$9,25 \times 10^7 \pm 3,95 \times 10^7$	NA
	4	$-6,77 \times 10^6 \pm 1,47 \times 10^8$	$2,84 \times 10^8 \pm 1,15 \times 10^8$	18	$9,25 \times 10^7 \pm 3,95 \times 10^7$	NA

	5	$1,74 \times 10^8 \pm 1,29 \times 10^9$	$7,22 \times 10^7 \pm 1,08 \times 10^8$	18	$9,25 \times 10^7 \pm 3,95 \times 10^7$	NA
	6	$3,90 \times 10^9 \pm 3,10 \times 10^{10}$	$2,55 \times 10^7 \pm 1,32 \times 10^8$	18	$9,25 \times 10^7 \pm 3,95 \times 10^7$	NA
	7	$-1,60 \times 10^{10} \pm 1,31 \times 10^{11}$	$-3,31 \times 10^8 \pm 2,50 \times 10^9$	18	$9,25 \times 10^7 \pm 3,95 \times 10^7$	NA
	8	$3,09 \times 10^{10} \pm 3,76 \times 10^{12}$	$1,098 \times 10^{10} \pm 1,35 \times 10^{11}$	12	$9,25 \times 10^7 \pm 3,95 \times 10^7$	NA
	9	$2,50 \times 10^6 \pm 6,36 \times 10^{13}$	$2,50 \times 10^6 \pm 2,50 \times 10^{12}$	9	$3,09 \times 10^8 \pm 1,66 \times 10^8$	$-3,09 \times 10^8 \pm 2,31 \times 10^8$
<i>Metarhizium sp</i>	1	0±0	0±0	NA	$2,163 \times 10^8 \pm 8,57 \times 10^7$	$-2,71 \times 10^8 \pm 1,71 \times 10^8$
	2	$2,92 \times 10^8 \pm 1,78 \times 10^8$	$5,58 \times 10^8 \pm 4,44 \times 10^8$	6.5	$1,95 \times 10^8 \pm 6,27 \times 10^7$	$-4,26 \times 10^8 \pm 2,2 \times 10^8$
	3	$2,05 \times 10^7 \pm 5,08 \times 10^7$	$2,52 \times 10^8 \pm 1,41 \times 10^8$	11	$1,76 \times 10^8 \pm 5,04 \times 10^7$	$-6,95 \times 10^8 \pm 3,21 \times 10^8$
	4	$-4,70 \times 10^6 \pm 2,09 \times 10^8$	$2,70 \times 10^8 \pm 2,92 \times 10^7$	18	$1,65 \times 10^8 \pm 4,78 \times 10^7$	$-1,52 \times 10^9 \pm 7,24 \times 10^8$
	5	$8,95 \times 10^7 \pm 1,68 \times 10^8$	$-8,99 \times 10^8 \pm 5,16 \times 10^7$	18	$1,51 \times 10^8 \pm 4,78 \times 10^7$	$-4,40 \times 10^9 \pm 2,23 \times 10^9$
	6	$5,83 \times 10^8 \pm 2,29 \times 10^{10}$	$2,09 \times 10^6 \pm 7,68 \times 10^7$	15	$1,27 \times 10^8 \pm 4,39 \times 10^7$	$-1,72 \times 10^{10} \pm 1,19 \times 10^{10}$
	7	$1,31 \times 10^{10} \pm 3,72 \times 10^{11}$	$4,26 \times 10^8 \pm 9,51 \times 10^9$	13.5	$1,16 \times 10^8 \pm 4,32 \times 10^7$	$-7,23 \times 10^{10} \pm 6,04 \times 10^{10}$
	8	$2,50 \times 10^6 \pm 2,44 \times 10^{13}$	$2,50 \times 10^6 \pm 9,12 \times 10^{11}$	9	$9,25 \times 10^8 \pm 3,95 \times 10^7$	NA
<i>Trichoderma sp</i>	1	0±0	0±0	NA	$9,25 \times 10^8 \pm 3,95 \times 10^7$	NA
	2	$8,56 \times 10^7 \pm 3,58 \times 10^7$	$3,04 \times 10^7 \pm 1,99 \times 10^8$	9	$9,25 \times 10^8 \pm 3,95 \times 10^7$	NA
	3	$-1,03 \times 10^7 \pm 9,43 \times 10^7$	$3,26 \times 10^8 \pm 1,50 \times 10^8$	15	$9,25 \times 10^8 \pm 3,95 \times 10^7$	NA
	4	$2,17 \times 10^8 \pm 1,04 \times 10^8$	$3,96 \times 10^7 \pm 8,39 \times 10^7$	15	$9,25 \times 10^8 \pm 3,95 \times 10^7$	NA
	5	$-3,68 \times 10^7 \pm 1,35 \times 10^8$	$1,39 \times 10^8 \pm 7,96 \times 10^7$	18	$9,25 \times 10^8 \pm 3,95 \times 10^7$	NA
	6	$-5,60 \times 10^9 \pm 3,49 \times 10^9$	$4,93 \times 10^7 \pm 8,98 \times 10^7$	18	$9,25 \times 10^8 \pm 3,95 \times 10^7$	NA
	7	$2,03 \times 10^{10} \pm 2,81 \times 10^{10}$	$-1,80 \times 10^8 \pm 1,55 \times 10^8$	18	$6,12 \times 10^8 \pm 3,31 \times 10^8$	$-6,87 \times 10^8 \pm 4,37 \times 10^8$
	8	$2,71 \times 10^9 \pm 8,77 \times 10^{11}$	$-6,68 \times 10^8 \pm 1,66 \times 10^{10}$	18	$2,86 \times 10^8 \pm 1,42 \times 10^8$	$-3,97 \times 10^8 \pm 2,82 \times 10^8$
	9	$7,14 \times 10^{10} \pm 3,98 \times 10^{11}$	$1,97 \times 10^{10} \pm 1,17 \times 10^{10}$	18	$2,69 \times 10^8 \pm 7,29 \times 10^7$	$-7,06 \times 10^8 \pm 2,66 \times 10^8$
	10	0±0	0±0	NA	$2,05 \times 10^8 \pm 5,51 \times 10^7$	$-1,00 \times 10^9 \pm 4,05 \times 10^8$
	11	0±0	0±0	NA	$1,78 \times 10^8 \pm 4,86 \times 10^7$	$-2,21 \times 10^9 \pm 9,46 \times 10^8$
	12	0±0	0±0	NA	$1,28 \times 10^8 \pm 4,46 \times 10^7$	$-4,96 \times 10^9 \pm 3,48 \times 10^9$
	13	0±0	0±0	NA	$1,21 \times 10^8 \pm 4,32 \times 10^7$	$-2,50 \times 10^{10} \pm$
	14	0±0	0±0	NA	$9,25 \times 10^8 \pm 3,95 \times 10^7$	NA
	15	0±0	0±0	NA	$9,25 \times 10^8 \pm 3,95 \times 10^7$	NA

Par ailleurs, l'espèce a montré des taux de MC% très remarquable, qui varient entre 30% dans le premier jour après le traitement et 100% le huitième jour après l'inoculation pour les trois concentrations, alors que, les concentrations C2 et C3 sont les plus efficaces. L'examen des valeurs des CL₅₀ et CL₉₀ des trois espaces fongiques révèlent que l'espèce est la plus efficace avec des valeurs de l'ordre de $3,44 \times 10^6$ et $8,79 \times 10^7$ spore/mL après 8 jours de traitement, respectivement (tableau 9).

1.3.1.2. Probabilité de survie et relations Temps – mortalité

Dans les tests *in vivo*, le taux de survie a été déterminé pendant 15 jours après l'exposition des individus de *T. castaneum* aux espèces fongiques entomopathogènes. La probabilité de survie est varié significativement en fonction l'espèce fongique (test du log-rank, $\chi^2 = 282.9$, $df = 2$; $P < 0,00001$ ***). Les résultats obtenus montrent que la probabilité de survie de *T. castaneum* a diminué de 100 % jusqu'à 0 % avec les quatre espèces fongiques. Cependant, les temps de survie moyens (LT₅₀) de la population des larves de *T. castaneum* traitées avec les concentrations C1, C2 et C3 de l'espèce *Beauveria sp* étaient de 3.89, 4.33, et 5.11 jours, respectivement (Figure 15).

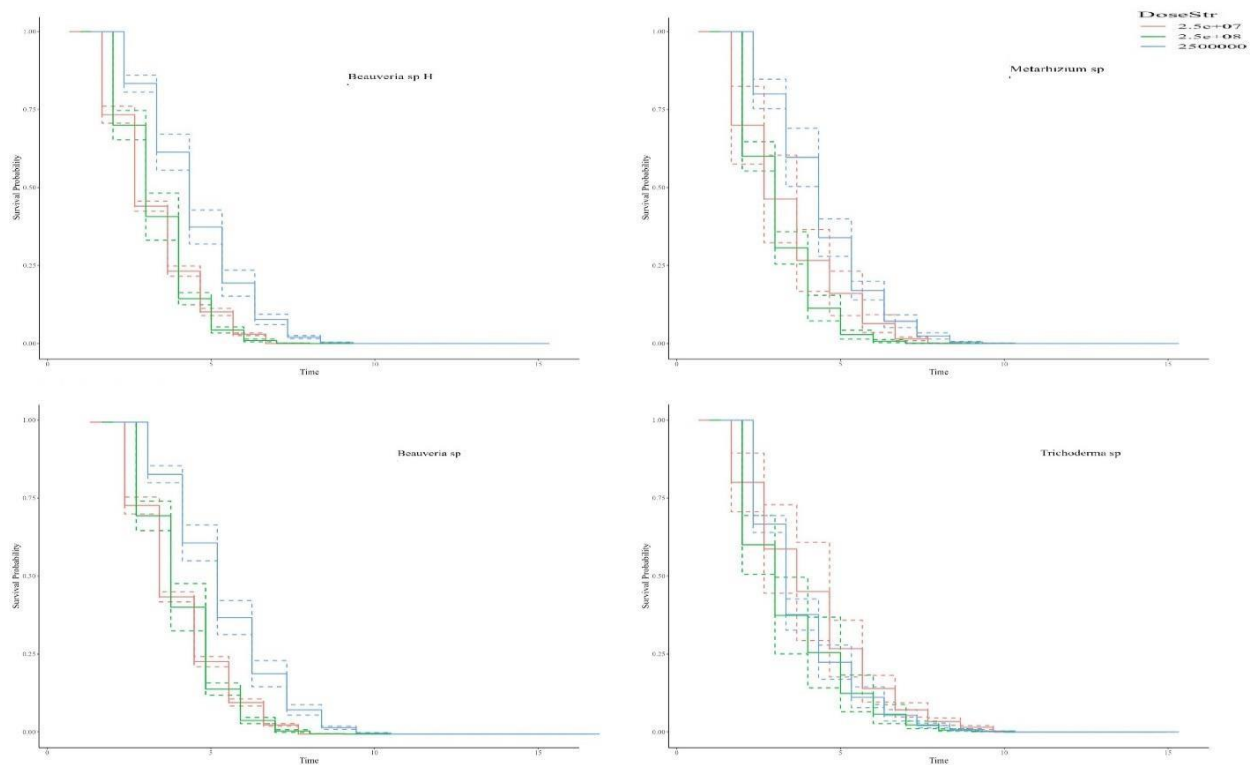


Figure 15. Probabilité de survie et relations Temps – mortalité des larves de *T. castaneum* traités avec les quatre espèces fongiques entomopathogènes.

1.3.2. Effet insecticides sur les adultes de *T. Castaneum*

1.3.2.1. Mortalité des adultes de *T. Castaneum*

Des épreuves biologiques ont été effectuées afin de tester la pathogénicité de quelques espèces fongiques contre les adultes de *T. castaneum*. À cet égard, toutes les espèces testées sont avérées pathogènes. Cependant, les adultes de *T. castaneum* morts ont montré le développement de mycélium des espèces pathogènes sur leur cuticule (Figure16).



Figure 16. Infection des adultes de *T. castaneum* par les trois espèces fongiques. Observations à la loupe binoculaire des adultes mycosés.

L'analyse de la variance ANOVA effectuée par le modèle GLM montre une différence très hautement significative de l'espèce fongique ($F=41.77$, $P \leq 0.000$), non significative pour la concentration ($F=1.82$, $P \leq 0.164$) et significative pour le temps d'exposition ($F=2.07$, $P \leq 0.164$) sur le taux de mortalité corrigée des sur les adultes de *T. castaneum*.

Tableau 8. Analyse statistique de l'effet de l'espèce fongique, la concentration et le temps sur les adultes de *T. castaneum*.

Temps	5821	14	416	2,07	0,013*
espèce fongique	1,67E+04	02,1	8374	41,77	0,000*
Concentration	729	2	365	1,82	0,164

L'efficacité des espèces fongiques est dose dépendante, elle augmente avec l'augmentation de la concentration (Figure 17). La concentration C3 est la plus efficace et la concentration C1 est la faiblement efficace. Autrement, le temps d'exposition affecte l'efficacité, elle augmente avec l'augmentation du temps d'exposition. A cet effet, la mortalité totale a été atteinte dans neuf jours après l'exposition.

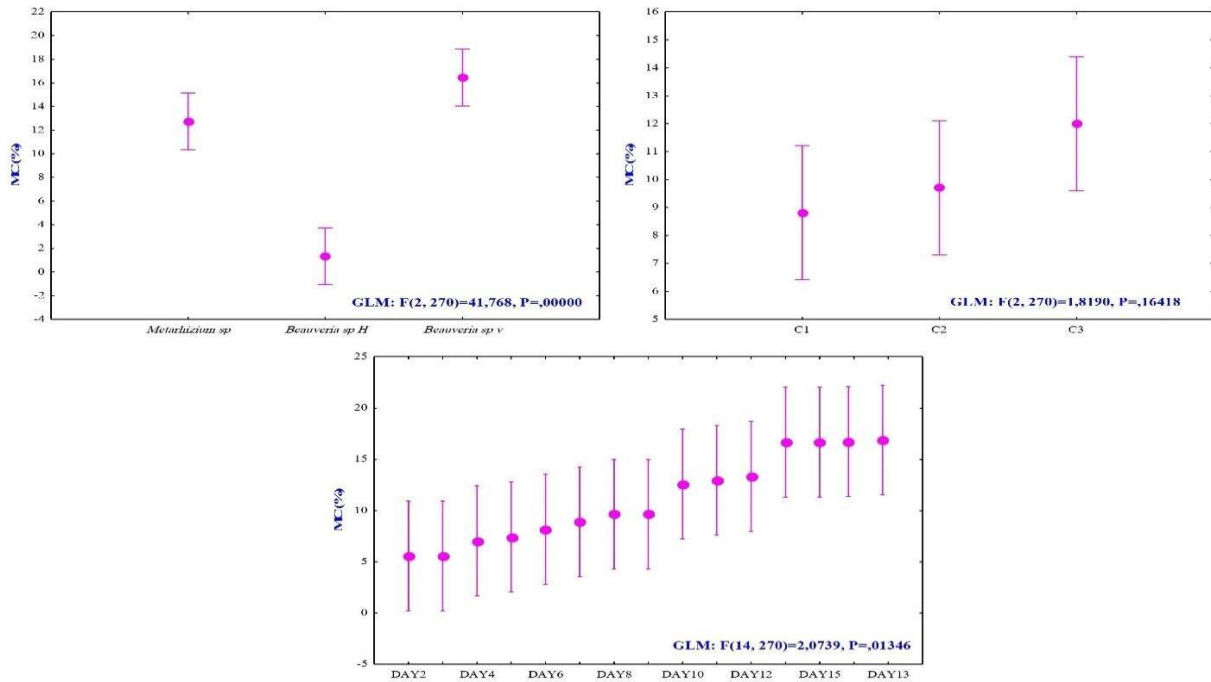


Figure 17. Effet comparé de l'efficacité des espèces fongiques, la concentration et le temps sur les adultes de *T. castaneum*

Les résultats ont démontré que la totalité des souches fongiques testées ont causé des mortalités plus au moins intéressantes chez la population des adultes de *T. castaneum*. L'analyse des données affichées sur la figure montre l'efficacité de l'espèce *Beauveria sp v* en comparaison avec les autres espèces fongiques. Cette espèce a montré des taux de MC% très remarquable, qui varient entre 13.33% dans le premier jour après le traitement et 36.66% le quinzième jour après l'inoculation pour les trois concentrations. Les résultats affichés sur le tableau indiquent que, les concentrations C2 et C3 sont les plus efficaces. A cet effet, les adultes de *T. castaneum* semblaient les plus résistants aux espèces fongiques entomopathogènes. Les insectes morts avaient une croissance fongique sur leur cuticule en particulier l'espèce *Beauveria sp v* (Figure 16). Il est très important de signaler qu'aucune mortalité n'a été observée chez les témoins non traités.

L'examen des valeurs des CL₅₀ et CL₉₀ des trois espèces fongiques révèle que l'espèce *Beauveria sp* est la plus efficace avec de l'ordre $4,58 \times 10^6$ et $4,58 \times 10^6$ sur le stade adulte de *T. castaneum*. Cependant, l'efficacité elle augmente avec l'augmentation de temps d'exposition (Tableau).

Tableau 9. Taux de mortalité chez les adultes de *T. castaneum* traitées avec les trois espèces fongiques entomopathogènes.

	<i>Beauveria sp H</i>			<i>Metarhizium sp</i>			<i>Beauveria sp v</i>		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
1	00,00±00,00	00,00±00,00	00,00±00,00	00,00±00,00	6,66±3,33	6,66±3,33	13,33±6,66	00,00±00,00	16,66±16,66
J2	00,00±00,00	00,00±00,00	00,00±00,00	00,00±00,00	10,00±5,77	6,66±3,33	13,33±6,66	3,33±3,33	16,66±16,66
J3	00,00±00,00	00,00±00,00	00,00±00,00	00,00±00,00	10,00±5,77	6,66±3,33	13,33±6,66	3,33±3,33	16,66±16,66
J4	00,00±00,00	00,00±00,00	00,00±00,00	00,00±00,00	10,00±5,77	6,66±3,33	16,66±8,81	3,33±3,33	20,00±20,00
J5	00,00±00,00	00,00±00,00	00,00±00,00	00,00±00,00	13,33±3,33	10,00±00,00	16,66±8,81	3,33±3,33	23,33±23,33
J6	00,00±00,00	00,00±00,00	00,00±00,00	3,33±3,33	16,66±3,33	10,00±00,00	16,66±8,81	3,33±3,33	23,33±23,33
J7	00,00±00,00	3,33±3,33	3,33±3,33	3,33±3,33	16,66±3,33	10,00±00,00	16,66±8,81	3,33±3,33	23,33±23,33
J8	00,00±00,00	3,33±3,33	3,33±3,33	6,66±3,33	16,66±3,33	10,00±00,00	16,66±8,81	6,66±3,33	23,33±23,33
J9	00,00±00,00	3,33±3,33	3,33±3,33	6,66±3,33	16,66±3,33	10,00±00,00	16,66±8,81	6,66±3,33	23,33±23,33
J10	00,00±00,00	3,33±3,33	3,33±3,33	20,00±5,77	26,66±3,33	10,00±00,00	16,66±8,81	10,00±00,00	23,33±23,33
J11	00,00±00,00	3,33±3,33	3,33±3,33	20,00±5,77	26,66±3,33	10,00±00,00	16,66±8,81	13,33±3,33	23,33±23,33
J12	00,00±00,00	3,33±3,33	3,33±3,33	20,00±5,77	26,66±3,33	13,33±3,33	16,66±8,81	13,33±3,33	23,33±23,33
J13	00,00±00,00	3,33±3,33	3,33±3,33	20,00±5,77	26,66±3,33	13,33±3,33	20,00±10,00	13,33±3,33	23,33±23,33
J14	00,00±00,00	3,33±3,33	3,33±3,33	20,00±5,77	26,66±3,33	13,33±3,33	23,33±6,66	23,33±3,33	36,66±21,85
J15	00,00±00,00	3,33±3,33	3,33±3,33	20,00±5,77	26,66±3,33	13,33±3,33	23,33±6,66	23,33±3,33	36,66±21,85

Tableau 10. Résultats de la CL50 et CL 90 des adultes de *T. castaneum* traitées par les trois espèces fongiques. Les résultats représentent la Moyenne± erreur standard. Les lettres a, b... indiquent la différence significative à une probabilité ($p \leq 0.05$).

	LC50	LC90	X ²	Intercep	Slop	R ²	
	1	0±0	0±0	NA	9,25 × 10 ⁷ ± 3,95 × 10 ⁷	NA	NA
<i>Beauveria sp H</i>	2	2,50 × 10 ⁶ ± 9,85 × 10 ⁷	-2,48 × 10 ⁹ ± 1,11 × 10 ⁹	8.4	1,36 × 10 ⁸ ± 2,39 × 10 ⁸	-4,92 × 10 ⁷ ± 2,64 × 10 ⁸	0.00492
	3	2,84 × 10 ⁸ ± 9,13 × 10 ⁷	-3,76 × 10 ⁸ ± 2,22 × 10 ⁸	8.4	1,41 × 10 ⁸ ± 1,44 × 10 ⁸	-5,00 × 10 ⁷ ± 1,70 × 10 ⁸	0.01765
	4	2,46 × 10 ⁸ ± 6,88 × 10 ⁷	2,03 × 10 ⁶ ± 9,91 × 10 ⁷	8.4	1,47 × 10 ⁸ ± 1,08 × 10 ⁸	-7,30 × 10 ⁷ ± 1,32 × 10 ⁷	0.04193
	5	2,04 × 10 ⁸ ± 9,70 × 10 ⁷	1,01 × 10 ⁸ ± 7,49 × 10 ⁷	8.4	1,49 × 10 ⁸ ± 9,61 × 10 ⁸	-7,1 × 10 ⁷ ± 1,15 × 10 ⁸	0.06443
	6	1,39 × 10 ⁸ ± 1,08 × 10 ⁸	1,38 × 10 ⁸ ± 6,64 × 10 ⁷	8.4	1,51 × 10 ⁸ ± 8,29 × 10 ⁷	-8,57 × 10 ⁷ ± 1,06 × 10 ⁸	0.08542
	7	6,78 × 10 ⁷ ± 9,11 × 10 ⁷	1,67 × 10 ⁸ ± 6,26 × 10 ⁷	8.4	1,51 × 10 ⁸ ± 7,73 × 10 ⁷	-8,90 × 10 ⁷ ± 1,00 × 10 ⁸	0.1013
	8	2,33 × 10 ⁷ ± 1,19 × 10 ⁸	1,60 × 10 ⁸ ± 6,88 × 10 ⁷	10.5	1,49 × 10 ⁸ ± 739 × 10 ⁷	-8,94 × 10 ⁷ ± 9,82 × 10 ⁷	0.1059
	9	2,48 × 10 ⁶ ± 1,33 × 10 ⁸	1,53 × 10 ⁸ ± 7,15 × 10 ⁷	10.5	1,46 × 10 ⁸ ± 7,18 × 10 ⁷	-8,83 × 10 ⁷ ± 9,67 × 10 ⁷	0.1065
	10	-9,90 × 10 ⁵ ± 1,40 × 10 ⁸	1,56 × 10 ⁸ ± 8,19 × 10 ⁷	14	1,42 × 10 ⁸ ± 695 × 10 ⁷	-8,50 × 10 ⁷ ± 9,81 × 10 ⁷	0.09872
	11	-7,88 × 10 ⁶ ± 1,50 × 10 ⁸	1,47 × 10 ⁸ ± 8,43 × 10 ⁷	14	1,36 × 10 ⁸ ± 6,75 × 10 ⁷	-7,95 × 10 ⁷ ± 9,88 × 10 ⁷	0.08462
	12	-1,52 × 10 ⁶ ± 1,66 × 10 ⁸	1,37 × 10 ⁸ ± 8,89 × 10 ⁷	14	1,30 × 10 ⁸ ± 6,57 × 10 ⁷	-7,30 × 10 ⁷ ± 9,91 × 10 ⁷	0.07189

	13	$1,25 \times 10^7 \pm 1,66 \times 10^8$	$1,23 \times 10^8 \pm 8,92 \times 10^7$	14	$1,26 \times 10^8 \pm 6,38 \times 10^7$	$-6,73 \times 10^7 \pm 9,88 \times 10^7$	0.06209
	14	$247 \times 10^7 \pm 1,19 \times 10^8$	$1,03 \times 10^8 \pm 1,22 \times 10^8$	15	$1,19 \times 10^8 \pm 6,29 \times 10^7$	$-6,45 \times 10^7 \pm 1,14 \times 10^8$	0.04369
	15	$-6,02 \times 10^6 \pm 1,31 \times 10^8$	$769 \times 10^7 \pm 1,50 \times 10^8$	15	$1,13 \times 10^8 \pm 6,17 \times 10^7$	$-5,97 \times 10^7 \pm 1,30 \times 10^8$	0.02906
	1	0±0	0±0	NA	$9,25 \times 10^8 \pm 3,95 \times 10^7$	NA	NA
<i>Metarhizium sp</i>	2	$4,16 \times 10^7 \pm 2,49 \times 10^8$	$7,05 \times 10^7 \pm 4,85 \times 10^8$	5.6	$-7,63 \times 10^8 \pm 4,85 \times 10^8$	$9,06 \times 10^8 \pm 5,13 \times 10^8$	0.3083
	3	$2,85 \times 10^7 \pm 1,39 \times 10^8$	$4,30 \times 10^7 \pm 2,61 \times 10^8$	5.6	$-3,59 \times 10^8 \pm 2,51 \times 10^8 \pm$	$5,03 \times 10^8 \pm 2,78 \times 10^8$	0.3192
	4	$2,45 \times 10^7 \pm 1,00 \times 10^8$	$1,60 \times 10^8 \pm 1,06 \times 10^9$	10.5	$-2,61 \times 10^8 \pm 1,55 \times 10^8$	$4,23 \times 10^8 \pm 1,81 \times 10^8$	0.4378
	5	$1,52 \times 10^7 \pm 6,76 \times 10^6$	$1,13 \times 10^8 \pm 7,88 \times 10^7$	15	$-2,37 \times 10^8 \pm 1,08 \times 10^8$	$4,23 \times 10^8 \pm 1,35 \times 10^8$	0.5851
	6	$965 \times 10^5 \pm 1,91 \times 10^7$	$1,56 \times 10^8 \pm 1,65 \times 10^8$	15	$-2,16 \times 10^8 \pm 8,02 \times 10^7$	$4,35 \times 10^8 \pm 1,08 \times 10^8$	0.6982
	7	$9,90 \times 10^6 \pm 8,75 \times 10^6$	$1,06 \times 10^8 \pm 7,73 \times 10^7$	15	$-1,75 \times 10^8 \pm 6,42 \times 10^7$	$4,13 \times 10^8 \pm 9,31 \times 10^7$	0.7374
	8	$1,90 \times 10^7 \pm 2,17 \times 10^7$	$8,01 \times 10^7 \pm 1,28 \times 10^8$	15	$-1,46 \times 10^8 \pm 5,88 \times 10^7$	$4,08 \times 10^8 \pm 9,31 \times 10^7$	0.7313
	9	$8,41 \times 10^6 \pm 3,13 \times 10^7$	$2,56 \times 10^7 \pm 9,59 \times 10^7$	15	$-1,16 \times 10^8 \pm 5,57 \times 10^7$	$3,93 \times 10^8 \pm 9,56 \times 10^7$	0.7074
	10	$1,06 \times 10^7 \pm 5,76 \times 10^7$	$2,32 \times 10^7 \pm 9,29 \times 10^7$	15	$-8,01 \times 10^7 \pm 6,53 \times 10^7$	$3,96 \times 10^8 \pm 1,35 \times 10^8$	0.5505
	11	$-8,75 \times 10^8 \pm 2,59 \times 10^7$	25868808	18	$-4,04 \times 10^7 \pm 6,99 \times 10^7$	$3,68 \times 10^8 \pm 1,71 \times 10^8$	0.3986
	12	$-1,50 \times 10^8 \pm 1,78 \times 10^{10}$	$1,65 \times 10^7 \pm 1,46 \times 10^8$	18	$-1,25 \times 10^7 \pm 6,85 \times 10^7$	$3,52 \times 10^8 \pm 1,97 \times 10^8$	0.3127
	13	$-9,25 \times 10^7 \pm 6,86 \times 10^8$	$1,52 \times 10^7 \pm 1,49 \times 10^8$	18	$8,72 \times 10^6 \pm 6,61 \times 10^7$	$3,38 \times 10^8 \pm 2,22 \times 10^8$	0.249
	14	$-4,63 \times 10^7 \pm 3,75 \times 10^8$	$9,32 \times 10^7 \pm 1,63 \times 10^8$	18	$2,42 \times 10^7 \pm 35 \times 10^7$	$3,28 \times 10^8 \pm 2,45 \times 10^8$	0.2034
	15	$1,52 \times 10^8 \pm 1,65 \times 10^8$	$1,48 \times 10^8 \pm 1,10 \times 10^8$	18	$3,54 \times 10^7 \pm 6,11 \times 10^7$	$3,24 \times 10^8 \pm 2,70 \times 10^8$	0.1708
<i>Beauveria sp v</i>	1	0±0	0±0	NA	$9,25 \times 10^8 \pm 3,95 \times 10^7$	NA	NA
	2	0±0	0±0	NA	$9,25 \times 10^8 \pm 3,95 \times 10^7$	NA	NA
	3	0±0	0±0	NA	$9,25 \times 10^8 \pm 3,95 \times 10^7$	NA	NA
	4	0±0	0±0	NA	$9,25 \times 10^8 \pm 3,95 \times 10^7$	NA	NA
	5	0±0	0±0	NA	$9,25 \times 10^8 \pm 3,95 \times 10^7$	NA	NA
	6	0±0	0±0	NA	$9,25 \times 10^8 \pm 3,95 \times 10^7$	NA	NA
	7	$4,58 \times 10^6 \pm 3,62 \times 10^7$	$4,58 \times 10^6 \pm 3,62 \times 10^7$	1.2857	$-8,98 \times 10^8 \pm 9,21 \times 10^8$	$1,01 \times 10^9 \pm 9,41 \times 10^8$	0.1419
	8	$4,58 \times 10^6 \pm 3,62 \times 10^7$	$4,58 \times 10^6 \pm 3,62 \times 10^7$	1.2857	$-4,18 \times 10^8 \pm 4,76 \times 10^8$	$5,33 \times 10^8 \pm 4,95 \times 10^8$	0.1419
	9	$4,58 \times 10^6 \pm 3,62 \times 10^7$	$4,58 \times 10^6 \pm 3,62 \times 10^7$	1.2857	$-2,59 \times 10^8 \pm 3,29 \times 10^8$	$3,74 \times 10^8 \pm 3,47 \times 10^8$	0.1419
	10	$4,58 \times 10^6 \pm 3,62 \times 10^7$	$4,58 \times 10^6 \pm 3,62 \times 10^7$	1.2857	$-1,79 \times 10^8 \pm 2,56 \times 10^8$	$2,94 \times 10^8 \pm 2,73 \times 10^8$	0.1419
	11	$4,58 \times 10^6 \pm 3,62 \times 10^7$	$4,58 \times 10^6 \pm 3,62 \times 10^7$	1.2857	$-1,32 \times 10^8 \pm 2,13$	$2,47 \times 10^8 \pm 2,30 \times 10^8$	0.1419
	12	$4,58 \times 10^6 \pm 3,62 \times 10^7$	$4,58 \times 10^6 \pm 3,62 \times 10^7$	1.2857	$-1,01 \times 10^8 \pm 1,84 \times 10^8$	$2,16 \times 10^8 \pm 2,01 \times 10^8$	0.1419
	13	$4,58 \times 10^6 \pm 3,62 \times 10^7$	$4,58 \times 10^6 \pm 3,62 \times 10^7$	1.2857	$-7,91 \times 10^7 \pm 1,64 \times 10^8$	$1,94 \times 10^8 \pm 1,80 \times 10^8$	0.1419
	14	$4,58 \times 10^6 \pm 3,62 \times 10^7$	$4,58 \times 10^6 \pm 3,62 \times 10^7$	1.2857	$-6,28 \times 10^7 \pm 1,50 \times 10^8$	$1,78 \times 10^8 \pm 1,65 \times 10^8 \pm$	0.1419
	15	$4,58 \times 10^6 \pm 3,62 \times 10^7$	$4,58 \times 10^6 \pm 3,62 \times 10^7$	1.2857	$-5,03 \times 10^7 \pm 1,38 \times 10^8$	$1,65 \times 10^8 \pm 1,54 \times 10^8$	0.1419

1.3.2.2. Probabilité de survie et relations Temps – mortalité

Dans les tests *in vivo*, le taux de survie a été déterminé pendant 15 jours après l'exposition des individus de *T. castaneum* aux espèces fongiques entomopathogènes (figure 10A). La probabilité de survie est varié significativement en fonction l'espèce fongique (test du log-rank, $\chi^2= 172.9$, $df = 2$; $P<0,0001***$). Les résultats obtenus montrent que la probabilité de survie de *T. castaneum* a diminué de 100 % jusqu'à 76 % avec les trois espèces fongiques. Cependant, les temps de survie moyens (LT₅₀) de la population des adultes de *T. castaneum* traitées étaient de 10.24, 14.15 et plus de 15 jours, respectivement (Figure 18).

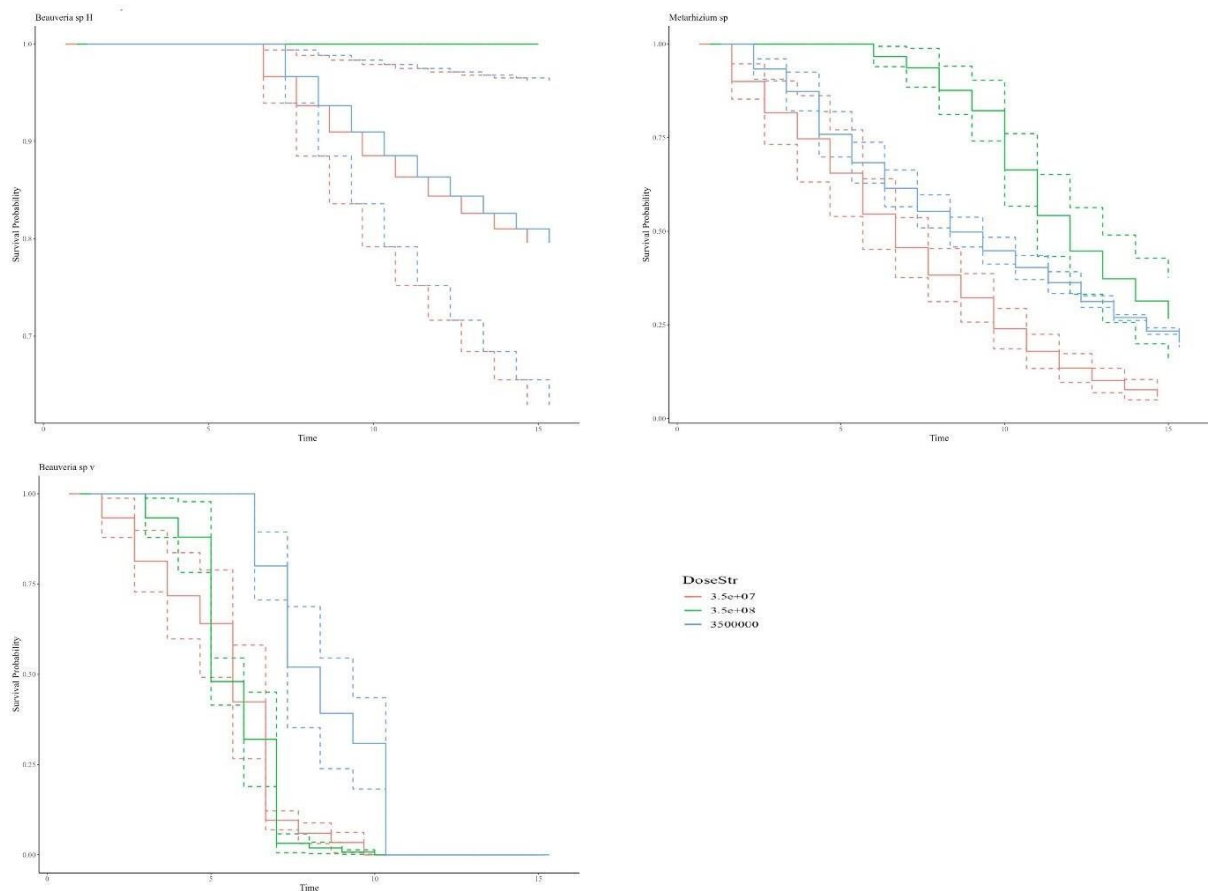


Figure 18. Probabilité de survie et relations Temps – mortalité des adultes de *T. castaneum* traités avec les trois espèces fongiques entomopathogènes.

1.3.2.3. Variation quantitative des réserves énergétiques chez les adultes de *T. castaneum* traités par les entomopathogènes :

Les traitements des adultes de *T. castaneum* par les trois espèces fongiques ont montré un effet très hautement significatif sur les réserves énergétiques des insectes traités. L'analyse de données affichées sur la figure 13 indique une augmentation significative des teneurs en protéines

chez les adultes de *T. castaneum* traités. Cette augmentation est variable entre 31.37 à 97.05%. Le taux d'augmentation le plus élevée a été noté chez les adultes traités avec l'espèce *Beauveria Hsp*.

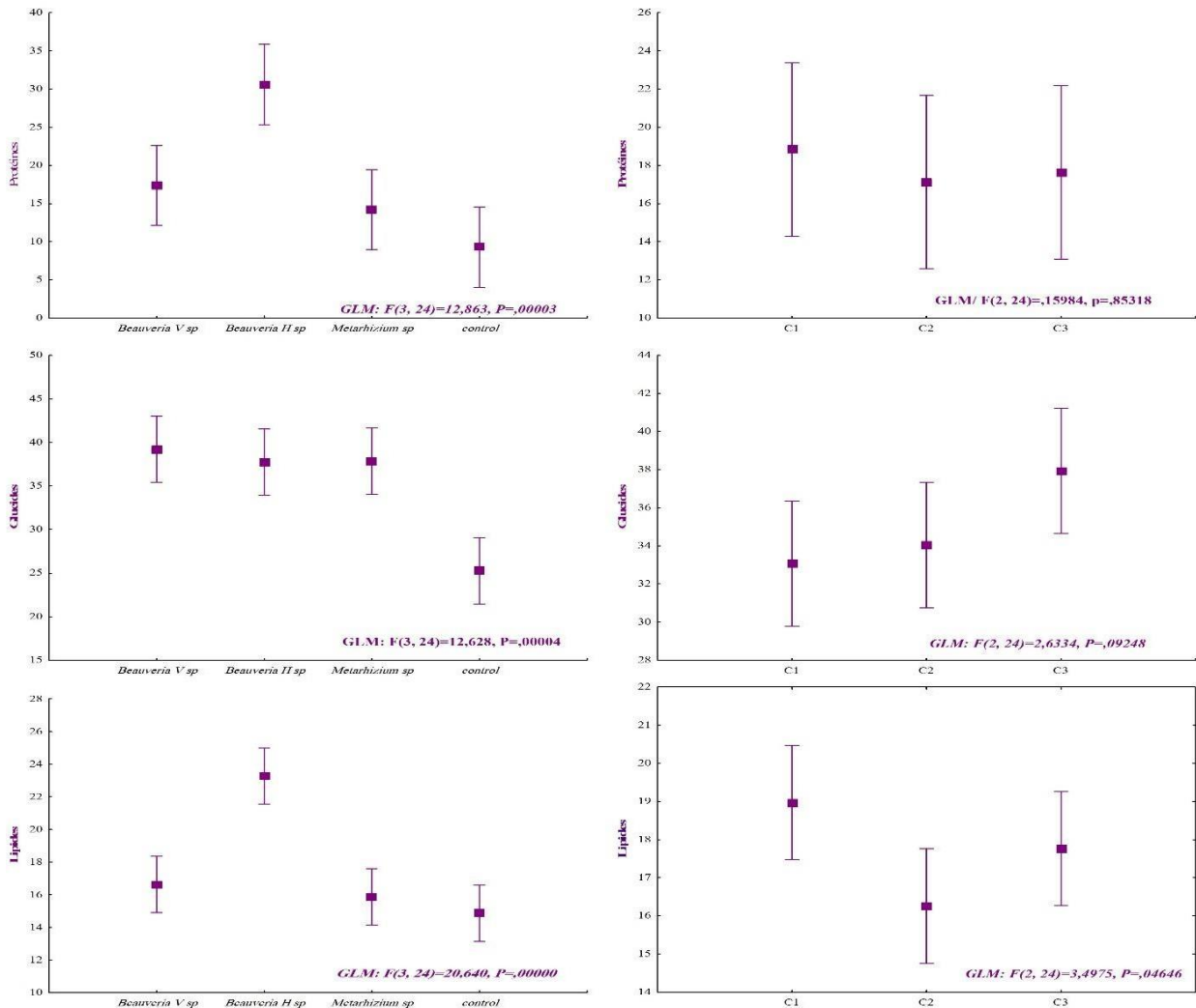


Figure 19. Effet comparé de l'espèce fongique et la concentration sur le taux des, protéines, des lipides et des glucides chez les adultes de *T. castaneum* traitées par les trois espèces entomopathogènes.

Les adultes de *T. castaneum* traités avec les trois formulations fongiques ont montré augmentation des taux des lipides, dont l'augmentation est variée entre 0.94 à 103 %. Toutefois, l'augmentation la plus élevée a été enregistrée chez les adultes traités par de *Beauveria Hsp*. La concentration C1 a exhibé une augmentation considérable dans les teneurs en lipides.

Par ailleurs, les traitements adultes de *T. castaneum* par les trois formulations fongiques ont enregistré une augmentation des teneurs glucidiques avec des pourcentages variables entre 28.73

et 278.27 %. Cependant, les individus traités par la formulation de *Beauveria Hsp* montrent un taux d'augmentation le plus élevé.

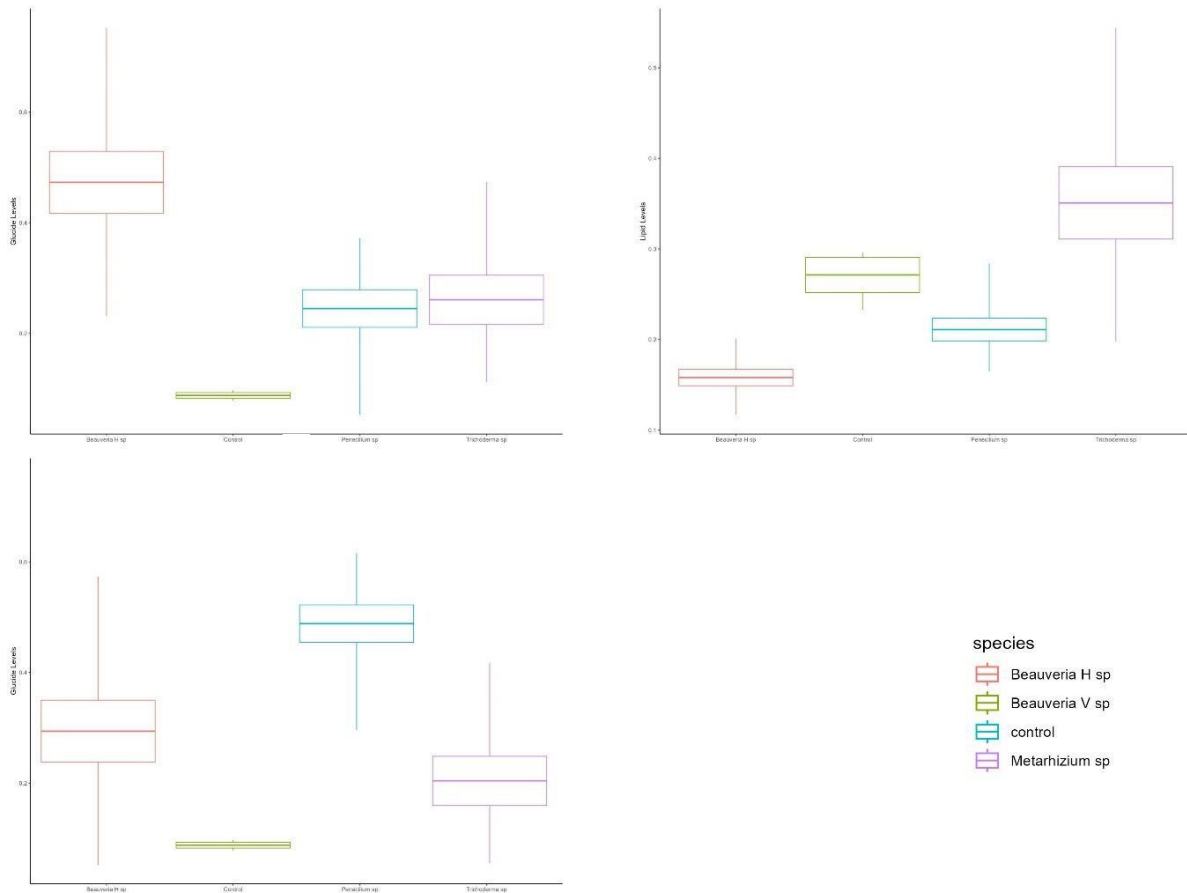


Figure 20. Variation des taux de des glucides chez les adultes de *T. castaneum* traités avec les trois espèces fongiques. Les résultats représentent la moyenne \pm erreur standard. Les lettres a, b....indiquent la différence significative à une probabilité ($p \leq 0.05$).

2. Discussion

Actuellement, l'utilisation des insecticides chimiques non sélectifs fait partie des mesures de contrôle très importants des insectes ravageurs des plantes. Néanmoins, l'utilisation massive de ces produits conduit souvent à des préoccupations de la santé publique qui ont stimulé la nécessité d'explorer des méthodes de contrôle alternatives plus sûres afin de contrôler les insectes nuisibles et de garantir aussi la santé publique.

Dans ce contexte, les champignons entomopathogènes pourraient présenter des méthodes de lutte alternative aux insecticides chimiques pour contrôler les insectes ravageurs (Komaki et al., 2017). Bien que l'exploration du potentiel des champignons entomopathogènes contre les insectes nuisibles a été la question de différentes études au cours de la dernière décennie, mais il reste encore à rechercher de nouvelles souches fongiques plus efficaces afin d'avoir les meilleures options disponible pour la lutte contre les insectes nuisibles (Rumbos et Athanassiou, 2017 ; Batta et Kavallieratos, 2018).

Les champignons entomopathogènes sont des micro-organismes susceptibles de provoquer des infections parasitaires et altérer les arthropodes. Ces microorganismes telluriques appartiennent majoritairement à des carcasses d'arthropodes (Behie et Bidochka, 2014). En raison de leur présence cosmopolite et de leur grande diversité, les champignons entomopathogènes sont considérablement contribuer en tant qu'agents de biocontrôle à la gestion durable des insectes ravageurs. Les entomopathogènes constituent une arme de biocontrôle accordent de nombreux avantages par rapport aux insecticides conventionnels, notamment l'efficacité élevée, faibles coûts, sécurité des organismes utiles, diminution de la pollution de l'environnement, ainsi qu'une biodiversité amplifiée dans la communauté contrôlée par l'homme (Asi *et al.*, 2013 ; Ortiz-Urquiza et Keyhani ,2013 ; Gul *et al.*, 2014).

Dans le présent travail, l'activité insecticide des champignons entomopathogènes, constitue une étude préliminaire sur la recherche de nouvelles espèces bioactives à intérêt insecticides. Les résultats des expériences sur le pouvoir insecticides sont très encouragés du fait qu'ils constituent une initiative sur des champignons parasites des insectes nuisibles aux cultures. Le potentiel insecticide et la virulence de trois souches fongiques contre les larves L4 *T. pityocampa* ont été évalués en déterminant la mortalité corrigée, les valeurs de LC₅₀ et LC₉₀, ainsi que la probabilité de survie et relations Temps – mortalité.

Nos résultats ont également révélé l'efficacité des entomopathogènes dans le contrôle des insectes cibles avec des taux variable entre 3 et 100% en fonction l'espèce ravageurs, l'espèce fongique, la concentration et le temps d'exposition.

Ces effets insecticides des champignons entomopathogènes ont été déjà signalés pour les mêmes cibles biologiques dans cette étude (Sevim *et al.*, 2010 ; Sönmez *et al.*, 2017, Oguz Ozdemir *et al.*, 2019 ; Saidi *et al.*, 2023, Wakil *et al.*, 2023) et même pour d'autres ravageurs des cultures tels que *Thaumetopoea wilkinsoni* (Topkara *et al.*, 2022), *Orosanga japonica* (Erper *et al.*, 2022), *Rhizopertha dominica*, *Sitophilus zeamais* and *Trogoderma granarium* (Khan et Khan, 2023), *Spodoptera litura* (Gebreslasie *et al.*, 2023), *Bemisia tabaci* (Hameed *et al.*, 2023), *Tuta absoluta* (Giannoulakis *et al.*, 2023).

Des études antérieures expliquant le mode d'action des espèces fongiques entomopathogènes ont montré que ces composés naturels peuvent provoquer des symptômes qui indiquent une activité neurotoxique, tel que l'hyperactivité, saisies et des tremblements suivis d'une paralysie et la mort de l'insecte qui sont très semblables aux effets produits par les Insecticides de type pyréthroïdes.

Les principaux groupes des champignons entomopathogènes infectent les insectes par le tégument. Cet aspect important de leur biologie lui permet d'infecter différents stades de développement des insectes ravageurs, y compris les œufs et les pupes, et donne donc un avantage aux champignons par rapport à d'autres micro-organismes qui ne peuvent infecter leurs hôtes que par ingestion (Goettel *et al.*, 2010 ; Chandler 2017). La pénétration des cuticules se fait par pression mécanique combinée à l'action d'enzymes telles que les lipases, les lipoxygénases, les chitinases et les protéases. En plus d'être une virulence importante facteurs pour les champignons entomopathogènes, ces enzymes sont potentiellement applicables dans la lutte contre les insectes (Sánchez-Pérez *et al.*, 2014).

Bien que les champignons puissent occasionnellement utiliser des infections buccales et respiratoires comme alternative pour pénétrer dans la cuticule de l'hôte (Schabel ,1976 ; Wei *et al.*, 2017 ; Biswas et coll., 2018 ; Rafaluk-Mohr *et al.*, 2018). Ces alternatives peuvent conduire à une plus grande efficacité dans l'infection des arthropodes avec des composés antifongiques dans leur cuticule (Pedrini *et al.*, 2010 ; Da Silva *et al.*, 2015).

Considérant la poursuite enzymatique élevée, le potentiel de synthèse de métabolites secondaires, ainsi qu'un développement vertueux sur des milieux de culture, leur application probable dans d'autres domaines de la biotechnologie est possible, également la biosynthèse des nanoparticules, ce qui les rend économiquement importantes (Kozłowska *et al.*, 2019 ; Dou *et al.*, 2019).

Bien que certains champignons entomopathogènes tuent l'insecte par libération des toxines, ceux appartenant aux Entomophthorales ne libèrent pas de toxines et tuent les insectes

hôtes par colonisation des tissus (Charnley,2003 ; Freimoser *et al.*,2003b). Les événements ultérieurs de l'infection impliquent la mélanisation de l'hémolymphe et les EF forment des tubes de pénétration étroits pour empêcher la déshydratation des hôtes.

La production de métabolites secondaires par les champignons entomopathogènes interrompt les réponses physiologiques du système immunitaire de l'insecte cible et aide à apaiser ou à tuer les cellules hôtes, facilitant ainsi l'acquisition de ressources nutritives par le champignon (Donzelli et Krasnoff ,2016). Certains métabolites produits par les champignons entomopathogènes agissent comme des toxines et peuvent provoquer des altérations du comportement telles qu'un manque de coordination, des convulsions, une paralysie, une perte d'appétit, entre autres. Un équilibre entre la croissance du champignon et la production de toxines doit être atteint pour éviter des niveaux élevés de toxines provoquant la mort de l'hôte avant le champignon a accumulé suffisamment de masse cellulaire pour développer les structures nécessaires à sa dispersion ultérieure (Boomsma *et al.*,2014).

La plupart des champignons entomopathogènes provoquent la mort de leurs hôtes avant la production de spores. Les champignons associés aux insectes peuvent produire des spores d'origine sexuée et asexuée, généralement dans des structures élevées qui favorisent leur dispersion vers de nouveaux hôtes. Par exemple, les espèces de *Metarhizium* produisent des spores asexuées directement sur les conidiophores des cadavres d'insectes, et certaines espèces d'*Akanthomyces* et de *Cordyceps* forment des spores asexuées. La production de spores sexuelles peut avoir lieu dans des structures immergées dans un stroma ; par exemple, *Ophiocordyceps nutans*, *Cordyceps ninchukispora*, *Cordyceps militaris* et *Elaphocordyceps paradoxa*, qui développent des asques et des ascospores au sein de périthèces immergés dans un stroma (Vega *et al.*,2012).

La cuticule de l'insecte contient des lipides qui servent de réserves d'énergie et sont importants pour le succès des mycoses, car ces lipides peuvent faciliter ou empêcher la croissance et la pénétration des FE (Ortiz-Urquiza et Keyhani,2013). En plus, on sait que la cuticule des insectes présente des effets antifongiques chez plusieurs insectes (Golebiowski *et al.*,2014a, b, 2015). Des études ont révélé que la mélanisation de la cuticule est importante pour la défense ; par exemple, chez *B. bassiana*, lorsque TEP-1 et CLIPA-8 (régulateurs de mélanisation) sont inhibés, ils rendent les moustiques plus sensibles aux infections fongiques (Yassine *et al.*,2012).

Les protéases fongiques fonctionnent en dégradant la cuticule et en décomposant les molécules de défense de l'hôte, facilitant ainsi l'invasion fongique (Vilcinskis,2010). EF devrait affaiblir le système immunitaire de l'hôte ; cependant, cela ne devrait pas être trop nocif pour l'hôte

ni entraîner la mort de l'hôte avant qu'une biomasse suffisante ne soit générée pour une infection ultérieure.

Diverses réponses au stress comme le stress osmotique, la température, le rayonnement UV et le stress oxydatif (UV et stress thermique), ainsi que la production d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) inhibent également le succès de l'invasion des FE. Bien que les FE produisent de nouvelles propagules comme les microsclérotés (qui sont compris être des agrégats compacts et mélanisés) et des pellets d'EF ayant la capacité de résister à la dessiccation et au séchage (Huarde-Bonnet *et al.*, 2019).

Récemment, différentes études ont démontré l'efficacité des champignons entomopathogène contre les insectes nuisibles en laboratoire, sur le terrain. Par exemple, (Athanassiou *et al.*, 2017) ont évalué l'efficacité d'une formulation à base de *B. bassiana* (Bb38) ainsi que par voie électrostatique poudre chargée (Entostat) comme traitement de surface contre *Sitophilus granarius* L., *Oryzaephilus surinamensis* L. et *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) dans des conditions de laboratoire et sur le terrain. Ces travaux ont montré que *B. bassiana* assurait un contrôle satisfaisant contre *O. surinamensis* dans les conditions du terrain. Dans une autre étude, l'efficacité d'une formulation commerciale à base de *B. bassiana* (Exosect Ltd, Royaume-Uni) a été réalisée sur les surfaces cubulaire contre *Sitophilus oryzae* L. et *R. dominica*, *C. ferrugineus* et *Tribolium confusum* (George *et al.*, 2018).

Bien que l'exploration du potentiel des champignons entomopathogènes contre les insectes nuisibles stockés a été la question de différentes études au cours de la dernière décennie, mais il reste encore à rechercher de nouvelles souches de champignons plus efficaces afin d'avoir les meilleures options disponible pour la lutte contre les insectes nuisibles entreposés (Rumbos et Athanassiou, 2017 ; Batta et Kavallieratos, 2018).

Notre étude a démontré l'efficacité de *Metarhizium sp* et *Beauveria sp* contre la chenille processionnaire de pin *T. pityocampa*. Cette étude rapporte que *Metarhizium sp* et *Beauveria sp* sont des espèces hautement pathogènes contre les larves du quatrième stade de *T. pityocampa*. (Sonmez et coll., 2017) ont remarqué une différence dans la sensibilité des larves de différents stades larvaires de la processionnaire du pin. Les larves des stades les plus avancés étaient probablement plus résistantes aux agents biologiques. Ce constat a été justifié par l'épaississement de leurs cuticules. Étant donné que *T. pityocampa* hiverne fréquemment au stade larvaire du quatrième stade, cette adaptation physiologique peut aider les larves à résister au froid et les infections fongiques. Par conséquent, dans cette étude, les larves du quatrième stade a été très sensibles aux différentes espèces fongiques testées.

Dans les études précédentes sur les champignons entomopathogènes, *M. anisopliae* et *B. bassiana* s'est avéré être des espèces naturellement pathogènes contre *T. pityocampa* (Veen 1968 ; Vargas-Osuna *et al.*, 1994). Toutefois, (Er *et al.*,2007) ont rapporté l'efficacité des souches *B. bassiana* 134 et *M. anisopliae* FI 23 contre les larves du quatrième stade de *T. pityocampa* à des concentrations 10^5 conidies/ml, provoqués une mortalité de 30 à 90 % après 8 jours de traitement. De même, (Sevim *et al.*,2010, ont démontré l'effet parasitaire des isolats de *B. bassiana* obtenus à partir de *T. pityocampa* par application à une concentration de 10^5 conidies/ml ont donné un résultat de 100 % mortalité des larves du troisième stade après 10 jours d'application. Ceci est conforme avec nos résultats démontrent des valeurs des CL_{50} et des CL_{90} avec des taux environ $3,44 \times 10^6$ et $8,79 \times 10^7$ après 9 jours du traitement, respectivement.

Dans d'autre étude, (Akinici *et al.*,2017) ont appliqué *B. bassiana* (TP-153) contre les larves de *T. pityocampa* avec des concentrations de 10^8 conidies/ml sur les larves du quatrième stade par trois différentes méthodes. La méthode d'immersion était la plus efficace avec un taux de mortalité allant de 13% à 31%. (Sánmez *et al.*,2017) ont signalé que l'application de *B. bassiana* KTU-24 avec différentes techniques contre les larves du quatrième stade de *T. pityocampa* a entraîné une mortalité de 72,2 à 84,4 %. Dans notre étude, un taux de mortalité de 100 % a été enregistré le huitième jour après l'application avec des concentrations de 10^8 et 10^6 conidies/ml de *Trichoderma sp* et *Beauveria sp*.

Les travaux menés par (Toshova *et al.*,2022) indiquent que l'espèce *Metarhizium pemphigi*, testée avec cinq concentrations conidiennes ($2 \times 10^3 - 2 \times 10^7$ conidies/ml), est relativement efficace contre les adultes de *Diabrotica virgifera virgifera*. Les essais ont montré après dix jours de traitement, la moyenne corrigée de la mortalité des spécimens testés variait entre 14 à 73 %. Bien que, la CL_{50} était de $3,3 \times 10^6$ conidies/ml. Cette étude a montré la virulence de 13 souches de *Metarhizium rileyi* contre le dernier stade larves et pupes de *Spodoptera litura* avec une variabilité de la mortalité en fonction la souche fongique et le stade de développement (Gebreslasie *et al.*, 2023).

Les protéines fongiques extraites à partir de *Metarhizium anisopliae* et *Beauveria bassiana* ont montré l'effet insecticide très considérable contre *Bemisia tabaci* avec des taux de mortalité variable entre 3.33 et 86.3% (Hameed *et al.*, 2023).

Les bioessais sur l'effet insecticide de *Myriodontium keratinophilum* contre huit insectes nuisibles à savoir, *Agriotes lineatus* L, *Corythucha arcuata* Say, *Corythucha ciliata* Dis, *Leptinotarsa decemlineata* Say, *Agelastica alni* L., *Lobesia botrana* Denis., *Tanymecus dilaticollis* Gyll., et *Hyphantria cunea* Drury., ont montré des taux de mortalité variable entre 53 et 100 %

selon l'espèce avec une concentration de 10^7 conidies, 15 jours après l'inoculation (Sönmez, 2023).

Le taux de mortalité corrigé pour les larves du quatrième stade de *Galleria mellonella* L. traitées avec une concentration sporale de $6,4 \times 10^5$ spores/ml de *Beauveria bassiana* est de 96 % après 10 jours, tandis que la mortalité des larves du dernier stade d'*Agrotis ipsilon* (Hufn.) était (48 et 100 %) aux concentrations de $9,2 \times 10^4$ et $2,9 \times 10^6$ spores/ml, respectivement, après 14 jours de traitement (Ahmed *et al.*, 2022).

Les travaux menés par (Wakil *et al.*, 2023) ont prouvé l'efficacité de l'entomopathogène contre les insectes des denrées stockés *R. dominica*, *S. granarius*, *T. castaneum* et *T. granarium*. Les résultats obtenus indiquent une mortalité qui varie entre 13.3 et 99.2%. Bien que *T. castaneum* présente une mortalité entre 43.5 et 71.5% avec une concentration de 10^7 spores/ml après 14 jours d'exposition.

L'application de *M. robertsii* contre *T. castaneum* avec une concentration de 10^7 spore /ml a montré un effet insecticide très prononcé avec des taux de mortalité qui varie entre 23.41 et 31.51 % après une durée d'exposition de 7 et 14 jours respectivement (Wakil *et al.*, 2024).

Les espèces fongiques d'origine végétale peuvent affecter le métabolisme et la croissance des insectes par le biais de divers processus biochimiques et physiologiques (Senthil-Nathan 2013). Cette étude a également révélé que l'intensité métabolique de *T. pityocampa* et *T. castaneum* est fortement affectée par l'exposition aux espèces fongiques entomopathogènes. A ce titre les espèces fongiques ont provoqué un stress physiologique, qui peut expliquer les effets de toxicité contre les insectes cibles. Nous avons constaté que le traitement entraînait des diminutions significatives des niveaux de protéines, de glucides et des lipides par rapport à ceux des témoins non traités. Cette diminution de la teneur en protéines pourrait être attribuée à un ou plusieurs facteurs, comme une diminution de la synthèse des protéines ou une augmentation de la dégradation des protéines, pour détoxifier les molécules affectées par les principes bioactifs sécrétés par les espèces fongiques (Vijayaraghavan *et al.*, 2010 ; Ranjini *et al.*, 2016).

Dans notre étude, la teneur en glucides de l'insecte ravageur testé était significativement diminuée sous le stress biologique exécuté par les espèces fongiques. Les insectes transforment généralement les glucides en lipides et en glycogènes (Sonmez et Gulel ,2008), ce qui pourrait expliquer la réduction observée des taux de glucides et l'augmentation des taux de lipides observés chez les insectes traités. Des résultats similaires ont été obtenus chez la population de *S. granarius* traitée avec l'HE de *Citrus limonum* (Guettal *et al.*, 2020) et chez *T. castaneum* et *Callosobruchus maculatus* traités avec les huiles essentielles de cardamome, de cannelle et de muscade (Tarigan

et Harahap ,2016). Des résultats similaires ont été obtenus après l'utilisation d'huile essentielle de *Citrus limonum* contre *S. granarius* (Guettal *et al.*, 2020).

Nos résultats sont similaires à ceux obtenus par (Moutassem *et al.*,2021) montrent l'efficacité insecticide de la citronnelle et de thym contre *S. granarius*. Ces résultats ont été expliqués par les perturbations physiologiques de métabolismes de l'insecte, où ils ont constaté la diminution des lipides, des protéines et des glucides chez les insectes traités avec les deux huiles essentielles.

CONCLUSION

La recherche de nouvelles méthodes alternatives plus efficaces et moins polluantes s'avère donc nécessaire, ainsi l'utilisation de formulations à base des entomopathogènes fongiques peut présenter de nombreux avantages par rapport aux insecticides chimiques de synthèse. Dans cette optique, notre étude a été achevée pour évaluer l'importance des espèces fongiques comme une méthode de lutte alternative aux pesticides chimique contre un ravageur potentiel des céréales à savoir *T. castaneum* et *Thaumetopoea pityocampa*, afin de montrer l'effet de ces organismes sur les réserves énergétiques de ces derniers.

L'analyse des données montre l'isolement de huit différentes espèces dont le genre *Aspergillus* est le plus dominant avec une fréquence de 27.27%. Cependant, les espèces entomopathogènes sont représentées par 03 genres à savoir, *Entomophthora sp*, *Beauveria sp* *Metarhizium sp* avec fréquence d'isolement de 4.54% pour chaque genre.

Le potentiel insecticide et la virulence de trois souches fongiques contre les larves L4 *T. pityocampa* ont été évalués en déterminant la mortalité corrigée, les valeurs de LC₅₀ et LC₉₀, ainsi que la probabilité de survie et relations Temps – mortalité. Les résultats obtenus exposent également un effet insecticide très remarquable de toutes les espèces fongiques testées. Les espèces *Trichoderma sp* et *Penicillium sp* semblent les plus efficace en comparaison avec l'espèce *Beauveria sp*. Cependant, l'effet insecticide le plus élevé a été noté chez les individus traités avec les concentrations C3 et C2 de *Trichoderma sp*. L'examen des valeurs des CL₅₀ et des CL₉₀ des trois espaces fongiques révèlent que l'espèce *Trichoderma sp* est la plus efficace avec des taux environ $3,44 \times 10^6$ et $8,79 \times 10^7$ après 9 jours du traitement, respectivement. Les résultats obtenus montrent que la probabilité de survie de *T. pityocampa* a diminué de 100 % jusqu'à 0 % avec les trois espèces fongiques. Cependant, les temps de survie moyens (LT₅₀) de la population de *T. pityocampa* traitées les espèces fongiques étaient de 5.33 et 6.47 et 7.45 jours, respectivement.

Les résultats ont démontré que la totalité des souches fongiques testées ont causé des mortalités plus au moins intéressantes chez la population des larves de *T. castaneum*. Par ailleurs, l'espèce a montré des taux de MC% très remarquable, qui varient entre 30% dans le premier jour après le traitement et 100% le huitième jour. L'examen des valeurs des CL₅₀ et CL₉₀ des trois espaces fongiques révèlent que l'espèce est la plus efficace avec des valeurs de l'ordre de $3,44 \times 10^6$ et $8,79 \times 10^7$ spore/ml après 8 jours de traitement, respectivement. Les résultats obtenus montrent que la probabilité de survie des larves de *T. castaneum* a diminué de 100 % jusqu'à 0 % avec les quatre espèces fongiques. Cependant, les temps de survie moyens (LT₅₀) de la population des larves de *T. castaneum* traitées avec les concentrations C1, C2 et C3 de l'espèce *Beauveria sp* étaient de 3.89, 4.33, et 5.11 jours, respectivement.

Les résultats ont démontré que la totalité des souches fongiques testées ont causé des mortalités plus au moins intéressantes chez la population des adultes de *T. castaneum*. Les résultats montrent l'efficacité de l'espèce *Beauveria sp v* en comparaison avec les autres espèces fongiques. Cette espèce a montré des taux de MC% très remarquable, qui varient entre 13.33% dans le premier jour après le traitement et 36.66% le quinzième jour après l'inoculation pour les trois concentrations. L'examen des valeurs des CL₅₀ et CL₉₀ des trois espèces fongiques révèlent que l'espèce *Beauveria sp* est la plus efficace avec de l'ordre $4,58 \times 10^6$ et $4,58 \times 10^6$ sur le stade adulte de *T. castaneum*. Les résultats obtenus montrent que la probabilité de survie de *T. castaneum* a diminué de 100 % jusqu'à 74 % avec les trois espèces fongiques. Cependant, les temps de survie moyens (LT₅₀) de la population des larves d *T. castaneum* traitées étaient de 10.24, 14.15 et plus de 15 jours, respectivement.

La population de *T. castaneum* traitée a enregistré une diminution significative des teneurs en protéines en lipides et en glucides chez les individus traités avec les deux formulations et avec toutes les concentrations dans les traitements par contact et par inhalation chez les adultes et même chez les larves.

REFEFRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Abdel-Azeem, A. M., Yadav, A. N., Yadav, N., & Usmani, Z. (2021).** *Industrially important fungi for sustainable development*. Springer International Publishing.
2. **Ahmed, A. A. I., Khalil, S. S. H., & Sahab, A. F. (2022).** Identification and evaluation of isolated entomopathogenic fungus from Egyptian soil against the black cutworm larvae of *Agrotis ipsilon* (Hufnagel) (Lepidoptera: Noctuidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 32(1): 67.
3. **Álvarez-Baz, G., Fernández-Bravo, M., Pajares, J., & Quesada-Moraga, E. (2015).** Potential of native *Beauveria pseudobassiana* strain for biological control of Pine Wood Nematode vector *Monochamus galloprovincialis*. *Journal of invertebrate pathology*, 132: 48-56.
4. **Amaresan, N., Sankaranarayanan, A., Dwivedi, M. K., & Druzhinina, I. S. (Eds.). (2022).** *Advances in Trichoderma Biology for Agricultural Applications*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
5. **Arora, P., Sindhu, A., Dilbaghi, N., & Chaudhury, A. (2011).** Biosensors as innovative tools for the detection of food borne pathogens. *Biosensors and Bioelectronics*, 28(1) : 1-12.
6. **Arredondo-Bernal, H. C., & González-Cabrera, J. (2020).** El comercio del control biológico en México. *Fundamento y práctica del control biológico de plagas y enfermedades, 1st edn. bba, México*, 599-629.
7. **Batta, Y. A., & Kavallieratos, N. G. (2018).** The use of entomopathogenic fungi for the control of stored-grain insects. *International Journal of Pest Management*, 64(1) : 77-87.
8. **Bradford, M. M. (1976).** A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1-2) : 248-254.
9. **Edde, P. A., Eaton, M., Kells, S. A., Phillips, T. W., & Hagstrum, D. W. (2012).** Biology, behavior, and ecology of pests in other durable commodities. *Stored product protection* :45-61.
10. **Er, M. K., Tunaz, H., & Gökçe, A. (2007).** Pathogenicity of entomopathogenic fungi to *Thaumetopoea pityocampa* (Schiff.) (Lepidoptera: Thaumetopoeidae) larvae in laboratory conditions. *Journal of pest science*, 80: 235-239.
11. **Erper, I., Ak, K., Turkkan, M., Yildirim, E., Alkan, M., & Ozer, G. (2022).** Potential of Turkish *Beauveria bassiana* isolates for the management of the polyphagous planthopper, *Orosanga japonica* Melichar 1898 (Hemiptera: Ricaniidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 32: 104.
12. **Gebreslasie, M. G., Nishi, O., Wasano, N., & Yasunaga-Aoki, C. (2023).** Varied selectivity of caterpillar-specific *Metarhizium rileyi* and generalist entomopathogenic fungi against last instar larvae and pupae of common cutworm, *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *Applied Entomology and Zoology*, 58(3): 219-228.
13. **Giannoulakis, E., Mantzoukas, S., Lagogiannis, I., Dervisoglou, S., & Perdakis, D. (2023).** Efficacy of endophytic wild strains of entomopathogenic fungi against the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in tomato plants. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 33(1) :19.
14. **Hameed, O., Qayyum, M. A., Saeed, S., Naeem-Ullah, U., & Ali, M. (2023).** Integration of insecticidal plant crude protein and the entomopathogenic fungus crude

- protein against the whitefly, *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) Mitotype Asia II-1. *International Journal of Tropical Insect Science*, 43(5): 1701-1713.
15. **Khan, H. A. A., & Khan, T. (2023)**. Efficacy of entomopathogenic fungi against three major stored insect pests, *Rhyzopertha dominica*, *Sitophilus zeamais* and *Trogoderma granarium*. *Journal of Stored Products Research*, 104 :102188.
 16. **Kumar, B., & Omkar. (2018)**. *Insect pest management* (pp. 1015-1078). Springer Singapore.
 17. **Kushiyevev, R., Tuncer, C., Erper, I., Ozdemir, I. O., & Saruhan, I. (2018)**. Efficacy of native entomopathogenic fungus, *Isaria fumosorosea*, against bark and ambrosia beetles, *Anisandrus dispar* Fabricius and *Xylosandrus germanus* Blandford (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 28 : 1-6.
 18. **Lewandowski, I. (2018)**. *Bioeconomy: Shaping the transition to a sustainable, biobased economy* (p. 356). Springer nature.
 19. **Moutassem, D., Bellik, Y., & Sannef, M. E. H. (2021)**. Toxicity and repellent activities of *Thymus pallescens* and *Cymbopogon citratus* essential oils against *Sitophilus granarius*. *Plant Protection Science*, 57 :4
 20. **Opkara, E. F., Yanar, O., Tuncer, C., Ozdemir, I. O., & Yildirim, E. (2022)**. Efficacy of *Beauveria bassiana* and *Beauveria pseudobassiana* isolates against the pine processionary moth, *Thaumetopoea wilkinsoni* Tams, 1926 (Lepidoptera: Notodontidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 32: 3.
 21. **Ozdemir, I. O., Kushiyevev, R., Erper, I., & Tuncer, C. (2019)**. Efficacy of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* against *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptera: Thaumetopoeidae). *Archives of phytopathology and plant protection*, 52(5-6): 470-480.
 22. **Prigent-Combaret, C., & Dumas, B. (2024)**. *Biocontrôle des maladies des plantes: Avancées récentes et perspectives en matière de protection des plantes*.
 23. **Phillips, T. W., & Throne, J. E. (2010)**. Biorational approaches to managing stored-product insects. *Annual Review of Entomology*, 55, 375-397.
 24. **Pilloud, C., Sandoz, Y., Swinarski, C., Zimmermann, B., & Pictet, J. S. (Eds.) (1986)**. *Commentaire des protocoles additionnels du 8 juin 1977 aux Conventions de Genève du 12 août 1949*. Martinus Nijhoff Publishers.
 25. **Quesada-Moraga, E. E. A. A., Maranhao, E. A. A., Valverde-García, P., & Santiago-Álvarez, C. (2006)**. Selection of *Beauveria bassiana* isolates for control of the whiteflies *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum* on the basis of their virulence, thermal requirements, and toxicogenic activity. *Biological control*, 36(3) :274-287.
 26. **Ramírez-Guzmán, K. N., Torres-León, C., Martínez-Terrazas, E., De la Cruz-Quiroz, R., Flores-Gallegos, A. C., Rodríguez-Herrera, R., & Aguilar, C. N. (2018)**. Biocontrol as an efficient tool for food control and biosecurity. In *Food Safety and Preservation* (pp. 167-193). Academic Press.
 27. **Sahayaraj, K., & Hassan, E. (2023)**. *Worldwide Predatory Insects in Agroecosystems*. Springer Nature.
 28. **Saidi, A., Mebdoua, S., Mecerlem, D., Al-Hoshani, N., Sadrati, N., Boufahja, F., & Bendif, H. (2023)**. Dual biocontrol potential of the entomopathogenic fungus

- Akanthomyces muscarius against Thaumetopoea pityocampa and plant pathogenic fungi. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 30(8): 103719.
29. **Sevim, A., Demir, I., & Demirbag, Z. (2010).** Molecular characterization and virulence of *Beauveria* spp. from the pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa* (Lepidoptera: Thaumetopoeidae). *Mycopathologia*, 170(4) :269–277.
 30. **Sönmez, E. (2022).** Myriodontium keratinophilum (Ascomycota: Myriodontium) as a potential entomopathogenic fungus for a wide range of pests. *Biology Bulletin*, 49: S51–S59.
 31. **Sönmez, E., Demir, İ., Bull, J. C., Butt, T. M., & Demirbağ, Z. (2017).** Pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*, Lepidoptera: Thaumetopoeidae) larvae are highly susceptible to the entomopathogenic fungi *Metarhizium brunneum* and *Beauveria bassiana*. *Biocontrol science and technology*, 27(10): 1168-1179.
 32. **Topkara, E. F., Yanar, O., Tuncer, C., Ozdemir, I. O., & Yildirim, E. (2022).** Efficacy of *Beauveria bassiana* and *Beauveria pseudobassiana* isolates against the pine processionary moth, *Thaumetopoea wilkinsoni* Tams, 1926 (Lepidoptera/Notodontidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 32: 1-6.
 33. **Tshova, T., Velchev, D., Barta, M., Takov, D., Todorov, I., Pilarska, D., & Nikolova, M. (2022).** Insecticide activity of Greek oregano essential oil and entomopathogenic fungus *Metarhizium pemphigi* against *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte. *Cereal Research Communications*, 50(4): 1045-1054.
 34. **Van Handel, E. (1985).** Rapid determination of total lipids in mosquitoes. *J Am Mosq Control Assoc*, 1(3) :302-304.
 35. **Van Handel, E. M. I. L. E. (1985).** Rapid determination of glycogen and sugars in mosquitoes. *J. Am. Mosq. Control Assoc*, 1(3) : 299-301
 36. **Véronique EPARVIER., Didier STIEN., Isabelle DUSFOUR. (2018).** Interactions insectes – micro-organismes entomopathogènes comme source d’inspiration pour la découverte concomitante de bio-insecticides et d’antimicrobiens (Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie).
 37. **Wakil, W., Kavallieratos, N. G., Eleftheriadou, N., Haider, S. A., Qayyum, M. A., Tahir, M., ... & Aldawood, A. S. (2024).** A winning formula: sustainable control of three stored-product insects through paired combinations of entomopathogenic fungus, diatomaceous earth, and lambda-cyhalothrin. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(10) :15364-15378.
 38. **Wakil, W., Kavallieratos, N. G., Nika, E. P., Qayyum, M. A., Yaseen, T., Ghazanfar, M. U., & Yasin, M. (2023).** Combinations of *Beauveria bassiana* and spinetoram for the management of four important stored-product pests: Laboratory and field trials. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(10): 27698-27715.
 39. **Yanar, O., Topkara, E. F., Sahin, F., Yanar, Y., Yanar, D., & Terzi, Y. (2023).** Efficacy of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium brunneum* isolates against the pine processionary moth, *Thaumetopoea wilkinsoni* Tams, 1926 (Lepidoptera: Notodontidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 33(1) : 32.

Annex :

PDA : Potato dextrose agar

200g pomme de terre

17g Glucose

17g Agar Agar

1L Eau distillée

Chloramphenicol (Antibiotique)

SDA : Sabouraud Dextrose Agar

61,4 g /l

Chloramphenicol (Antibiotique)

Isolation and characterization of entomopathogenic fungi and evaluation of their insecticidal effect against harmful insects.

ABSTRACT

The purpose of this study is to determine the insecticide potential of several fungal species isolated from mycosed insects against the L4 *Thaumetopoea pityocampa* larvae and the *Tribolium castaneum* larvae and adults. All tested species have been shown to be highly effective against target pests with varying degradations depending on fungal species, concentration and exposure time. The results obtained indicate that the species *Trichoderma sp* appears to be most effective against *T. pityocampa* with values of CL₅₀ and CL₉₀ are approximately 3.44×10^6 and 8.79×10^7 . The results show that the likelihood of *T. pityocampa* survival decreased from 100% to 0% with the three fungal species. Furthermore, the species showed very remarkable MC% rates, ranging from 30% in the first day after treatment to 100%, with CL₅₀ and CL₉₀ values of approximately 3.44×10^6 and 8.79×10^7 spores/mL after 8 days, although the likelihood of *T. castaneum* survival decreased from 100% to 0% with the four fungal species. Adults of *T. castaneum* are most resistant to entomopathogenic fungal species. This species showed very remarkable MC percentage rates, ranging from 13.33% in the first day after treatment to 36.66% on the fifteenth day after inoculation for the three concentrations, with CL₅₀ and CL₉₀ values ranging in the order of 4.58×10^6 and 4.58×10^6 . For this purpose, the probability of survival of *T. castaneum* decreased from 100% to 76.33% with the three fungal species. The analysis of energy reserves indicates a significant decrease in protein, carbohydrate and lipid levels in treated insects. This study highlighted the bio-insecticide toxicity of fungal species against *T. pityocampa* and *T. castaneum*, revealing positive and negative gradients of insecticidal activity depending on the mode of exposure.

Keywords. Corrected mortality, inhalation, contact, probability of survival, in vivo.

عزل وتوصيف الفطريات الممرضة للحشرات وتقييم تأثيرها المبيدات الحشرية ضد الحشرات الضارة.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد القدرة المبيدة لعدة أنواع فطرية معزولة من الحشرات المصابة ضد اليرقات L4 من نوع *Thaumetopoea pityocampa* واليرقات والبالغين من نوع *Tribolium castaneum*. أظهرت جميع الأنواع المختبرة فعالية عالية ضد الآفات المستهدفة مع فعالية متفاوتة يعتمد على نوع الفطر والتركيز ومدة التعرض. تشير النتائج المحصل عليها إلى أن الفطر *Trichoderma sp* يبدو الأكثر فعالية ضد *T. pityocampa* حيث تبلغ قيم CL_{50} و CL_{90} حوالي 3.44×10^6 و 8.79×10^7 بوغة / مل على التوالي. أظهرت النتائج أن احتمالية بقاء *T. pityocampa* انخفضت من 100% إلى 0% مع الأنواع الثلاثة من الفطريات. علاوة على ذلك، أظهر النوع معدلات MC% ملحوظة للغاية، تتراوح بين 30% في اليوم الأول بعد العلاج و 100%، مع قيم CL_{50} و CL_{90} تبلغ حوالي 3.44×10^6 و 8.79×10^7 بوغة / مل بعد 8 أيام، على الرغم من أن احتمالية بقاء *T. castaneum* انخفضت من 100% إلى 0% مع الأنواع الأربعة من الفطريات. البالغين من *T. castaneum* هم الأكثر مقاومة لأنواع الفطريات المبيدة للحشرات. أظهر هذا النوع معدلات MC% ملحوظة للغاية، تتراوح بين 13.33% في اليوم الأول بعد العلاج إلى 36.66% في اليوم الخامس عشر بعد تجريب لثلاث تراكيز، مع قيم CL_{50} و CL_{90} بترتيب 4.58×10^6 و 4.58×10^6 . وبالتالي، انخفضت احتمالية بقاء *T. castaneum* من 100% إلى 76.33% مع الأنواع الثلاثة من الفطريات. أظهر تحليل الاحتياطات الطاقة انخفاضًا كبيرًا في مستويات البروتين والكريبوهيدرات والدهون في الحشرات المعالجة. أبرزت هذه الدراسة سمية الفطريات الحيوية المبيدة للحشرات ضد *T. castaneum* و *T. pityocampa*، مكشوفة الحركة المبيدة الإيجابية والسلبية اعتمادًا على طريقة التعرض.

الكلمات المفتاحية: الوفاة المصححة، التنفس، الاتصال، احتمال البقاء على قيد الحياة، في الجسم.