



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE
ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE BLIDA 1
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DÉPARTEMENT DES BIOTECHNOLOGIES
LABORATOIRE DE BIOTECHNOLOGIE DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES

Mémoire

De fin d'étude en vue de l'obtention du Diplôme de master 2 en Science de la Nature et de la Vie

Spécialité : Phytopharmacie et Protection des Végétaux

Thème

**OPTIMISATION DE L'ACTIVITÉ BIOINSECTICIDE ET
NUTRITIONNELLE (BIOFOURNITURE) DU VERMICOMPOST LIQUIDE**

Par

Mlle : BECHKENDI Farida

Mlle : DIB Nadjia Mouna

Devant le Jury :

Mme. NEBIH .D	M.C.A.	Université de BLIDA 1	Présidente
Mme. CHAICHI. W	M.C.A.	Université de BLIDA 1	Examinatrice
M. DJAZOULI Z.E.	Pr.	Université de BLIDA 1	Promoteur
Mme BELKHOUMALI S.	Doctorante	Université de BLIDA 1	Co-promotrice

Année Universitaire 2019/2020

Remerciements

D'abord nous remercions LE BON DIEU tout puissant de nous avoir donné le courage, santé, souffle et patience pour accomplir ce travail.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui on voudrait témoigner toute notre gratitude.

Nous exprimons nos plus vifs remerciements et reconnaissance à notre promoteur le professeur DJAZOULI Z.E, d'avoir bien voulu nous encadrer et nous orienter durant ce travail, et pour sa patience, sa disponibilité, son encouragement surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué énormément à alimenter notre réflexion.

Nos vifs remerciements vont à Mme NEBIH.D, Maitre de Conférences A au département des Biotechnologies de l'Université de Blida 1, pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant de présider le jury de ce mémoire.

Nous tenons à exprimer également notre très grande considération et notre reconnaissance à Madame CHAICHI W., Maitre de Conférences A au département des Biotechnologies de l'Université de Blida 1, et Doyenne de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (Université de Blida 1), pour l'honneur qu'elle nous fait en acceptant d'examiner notre travail.

Nous remercions également notre Co-promotrice Mme BELKHOUMALI S., pour son aide, ses conseils et son soutien.

Nous remercions très sincèrement Monsieur MOUSSAOUI K, Maitre-assistant A au département des Biotechnologies de l'Université de Blida 1, pour son encouragement, sa bonne humeur et son aide tout au long de cette formation en Phytopharmacie.

Nous remercions en particulier Madame BELEMANE S. Maitre de Conférences B au département Agro-alimentaire de l'Université de Blida 1, pour son aide, ses conseils et son soutien.

Nos remerciements vont aux doctorantes Melle MOHAMMEDI A et Melle STASAIID F.Z. pour leur aide et disponibilité.

Nous désirons aussi remercier les enseignants de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (Université de Blida 1), qui nous ont fourni les outils nécessaires à la réussite dans nos études universitaires.

Enfin, les mots les plus simples étant les plus forts, nous adressons toute notre affection à nos familles, qui se sont consacrées à leur tâche avec dévouement et patience et ceci tout le long de nos études.

Merci pour avoir fait de nous ce que nous sommes aujourd'hui.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à *ma famille ma chère maman qui était toujours à mes côtés et qui m'a accompagnée durant les moments les plus pénibles*

Mon père et mon petit frère

A mon binôme Mouna

A mes tantes mes oncles ma grande mère mes cousins et cousines

A Mes amies Romy lydia, Nahla, Imen, Mina, Sanaa, DJILALI youcef,

Nadhir, Wadie, Adel

Bien sûr monsieur Youcef SKANDER

*Et toute la promo de phytopharmacie **2019***

Farida

Dédicace

Je dédie ce mémoire à mes très chers parents «My garden angels », qui m'ont beaucoup soutenue et encouragée jusqu'au bout et qu'ALLAH leur accorde une longue vie.

Je leur adresse mes remerciements les plus profonds et ma gratitude, pour leurs conseils, leur compréhension et surtout leurs efforts qu'ils ont fournis à fin de me permettre les meilleures conditions d'études et de vie.

À

L'âme de mon grand-père « Saïd » qui m'a toujours encouragé à poursuivre mes études.

À

Mon chère frère «Reda»

Mes chères sœurs « Maroua & Manel »

Mes Grand'mères, oncles et tantes ; cousins et cousines ; paternelles et maternelles.

Mes proches amies : ma BFF Maroua, Zahra, Soumia et mon binôme Farida.

Je me rappellerai toujours de tous les bons moments que nous avons partagés ensemble et qui resteront gravés dans ma mémoire

À

Toutes mes collègues et amis de la promotion de PPV 2020.

Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

Mouna

Résumé

OPTIMISATION DE L'ACTIVITÉ BIOINSECTICIDE ET NUTRITIONNELLE (BIOFOURNITURE) DU VERMICOMPOST LIQUIDE

L'intérêt porté sur l'utilisation du vermicompost en vue de réduction d'utilisation des intrants de synthèse a suscité l'attention de nombreux chercheurs au cours des dernières années par sa richesse en éléments nutritifs, et sa capacité à améliorer l'état physicochimique du sol, promouvoir la croissance végétale et de stimuler la défense naturelle des plantes. Dans cette optique, le but de cette approche vise à optimiser l'activité bioinsecticide du vermicompost liquide (VLC) par l'addition de ratios d'extraits méthanoliques des feuilles et de l'écorce de *Salix sp* sur le haricot vert *Phaseolus vulgaris* L. Ainsi afin d'appréhender la meilleure combinaison entre les différents mélanges, nous avons mené cette étude sur quelques paramètres de croissance végétale et l'état d'infestation des plants de haricot vert soumis aux différents traitements pendant 3 semaines. Les résultats obtenus révèlent que le facteur mélange montre une différence hautement significative pour l'effet bioinsecticide. Les taux d'infestation sous l'effet du mélange 10 par rapport aux mélanges M3, M4, M6, M9, M11 et le témoin eau signalent cette discrimination. En outre, les mêmes résultats montrent que le potentiel nutritionnel présente une différence hautement significative sous l'effet des mélanges M2, M4, M9 et M10 par rapport aux autres traitements. L'approche du plan d'expérience a montré que le mélange 1 composé de VLC (50 ml), EF (25 ml) et EE (25 ml); était le plus performant par rapport aux critères retenus dans cette étude, à travers la compatibilité des valeurs prédites obtenus par l'optimisation, avec les valeurs réelles enregistrées lors de l'expérimentation.

Mots clé : jus de vermicompost, extrait *Salix sp*, biofertilisant, bioinsecticide ; optimisation.

Abstract

OPTIMISATION OF THE BIO-INSECTICIDE AND NUTRITIONAL ACTIVITY (BIO-SUPPLY) OF LIQUID VERMICOMPOST

The interest in the use of vermicompost to reduce the use of synthetic inputs has attracted the attention of many researchers in recent years due to its richness in nutrients and its ability to improve the physicochemical state of the soil, promote plant growth and stimulate the natural defence of plants. With this in mind, the aim of this approach is to optimise the bioinsecticidal activity of the liquid vermicompost (VLC) by adding ratios of methanolic extracts from the leaves and bark of *Salix* sp to the green bean *Phaseolus vulgaris* L. Thus, in order to apprehend the best combination between the different mixtures, we conducted this study on a few plant growth parameters and the state of infestation of green bean plants subjected to the different treatments for 3 weeks. The results obtained show that the mixing factor shows a highly significant difference for the bioinsecticide effect. The infestation rates under the effect of mixture 10 compared to mixtures M3, M4, M6, M9, M11 and the witness water, indicate this discrimination. In addition, the same results show that the nutritional potential shows a highly significant difference under the effect of mixtures M2, M4, M9, and M10 compared to other treatments. The approach of the experimental design showed that mixture 1 composed of VLC (50 ml), EF (25 ml) and EE (25 ml); was the most efficient with respect to the criteria retained in this study, through the compatibility of the predicted values obtained by optimisation with the actual values recorded during the experiment.

Keywords: vermicompost juice, *Salix* sp extract, biofertiliser, bioinsecticide ; optimisation.

تحقيق أقصى إستفادة من النشاط البيولوجي للمبيدات الحشرية والتغذوي (الإمداد الحيوي) مستخلص الديدان لفيرميكومب

لاهتمام باستخدام مستخلص الديدان الفيرميكومبوست لتقليل المدخلات التركيبية جذب انتباه العديد من الباحثين في السنوات الأخيرة نظرا لثرائه بالمغذيات وقدرته على تحسين الحالة الفيزيائية الكيميائية للتربة وتعزيز النمو النباتي وتحفيز الدفاع الطبيعي للنباتات. هذا المنظور فإن الهدف من هذا النهج هو تحسين نشاط المبيدات الحشرية الحيوية لمادة الفيرميكومبوست السائلة بإضافة نسب من المستخلصات الميثانولية من أوراق ولحاء نبات الساليكس فاصولياء الخضراء وهكذا، وبغية التوصل إلى أفضل مزيج بين الخلطات المختلفة، أجرينا هذه الدراسة على بعض بارامترات نمو النبات و مدى اصاب فاصولياء للعلاج لمدة ثلاثة أسابيع . وتظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن عامل المزج يظهر فرقا كبيرا في التأثير البيولوجي للمبيدات الحشرية وتشير معدلات الإصابة تحت تأثير المخلوط والمخاليط والشاهد إلى هذا التمييز وبالإضافة إلى ذلك، تظهر نفس النتائج أن الغذائية تظهر فرقا كبيرا في ظل تأثير الخلطات . وأظه نهج

() EE () EF () VLC () التصميم التجريبي أن المخلوط

فيما يتعلق بالمعايير استبقاؤها هذه خلال توافق القيم السابقة للتحسين مع القيم الحقيقية التي تم تسجيلها أثناء

الكلمات المفتاحية: عصير الفيرميكومبوست، مستخلص الساليكس، مخصب حيوي، مبيد حشري حيوي، التحسين.

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Abstract

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....	01
Chapitre I : synthèse bibliographique.....	03
I.1. Les bioproduits	03
I.1.1. Historique de l'utilisation des bioproduits.....	03
I.1.2 type des biopesticides.....	04
I.1.3 classification des biopesticides	04
I.1.4 utilisation efficace des biopesticides	05
I.1.5 définition des biofertilisant	06
I.1.5.1 types des biofertilisant	06
I.1.5.2 intérêt des biofertilisants	06
I.2. Bioadjuvants et performances des activités biologiques des bioproduits.....	07
I.2.1. Définition.....	07
I.2.2 adjuvants agrochimiques.....	07
I.2.3 action et rôle des bioadjuvants.....	07
I.2.4 fonctionnalités des bioadjuvants.....	07
I.2.4.1 dans la cuve	07
I.2.4.2 lors de pulvérisation	08
I.2.4.3 au contact de la plante	08
I.2.5 types des adjuvants.....	09
I.2.5.1 les mouillants	09
I.2.5.2 les huiles	09
I.2.5.3 les sulfates	10
I.2.5.4 les surfactants.....	10
I.2.5.5 les humectants.....	10
I.2.5.6. Les modificateurs de pH de la bouillie.....	10

I.3 les plants d expériences	11
I.3.1 introduction	11
I.3.2 définition de la méthode du plant expériences	11
I.3.3. notion de bases	11
I.3.3.1 quelques terminologies	11
I.3.3.2 notion de surface de repenses	12
I.3.3.3 matrice expérience	13
I.3.3.4 types de plant d expérience	13
I.3.4 mélanges	14
I.3.4.1 domaine expérimental.....	14
I.3.4.2 choix des expériences	14
I.3.5 choix des mélanges	14
I.3.6 modèles des surfaces des réponses	15
Chapitre II : Matériel et méthodes	17
Objectif.....	17
1. Présentation du site d'étude et conditions expérimentales	17
2. Matériel d'étude	18
2.1. Matériel végétale.....	18
2.2. Jus de vermicompos tbrut.....	18
2.3. Extrait aqueux du salix	19
3. Méthode expérimentale	22
3.1 Semis dans les pots	22
3.2 Préparation des mélanges (vermicompost liquide / extrait méthanolique <i>Salix sp.</i>).....	23
3.3 Application des traitements (mélanges).....	24
4. Méthodes de dénombrement	25
4.1 Estimation de l'effet bioinsecticide des mélanges	25
4.2 Estimation de l'effet nutritionnelle des mélanges.....	25
4.2.1 Estimation de la surface foliaire	25
4.2.2 Estimation de la taille de la plante	26
5 . Analyses statistiques des données	
Chapitre III : Résultats	27
1. Potentialité bioinsecticide du mélange vermicompost liquide (VLC)/ <i>Salix sp.</i> sur l'état phytosanitaire du haricot.....	27
1.1. Estimation des infestations.....	27
1.2. Evaluation de l'efficacité bioinsecticide du mélange vermicompost liquide (VLC)/ <i>Salix sp.</i> sur l'état phytosanitaire du haricot.....	28
2. Potentialité nutritionnelle des mélanges vermicompost liquide VLC/ <i>Salix sp.</i> sur la croissance du haricot.....	36

2.1. Estimation de croissance	36
2.2. Evaluation de l'efficacité nutritionnelle du mélange vermicompost liquide (VLC)/ <i>Salix sp</i> sur la croissance du haricot.....	36
3. Optimisation des mélanges vermicompost liquide VLC/ <i>Salix sp</i>	42
3.1. Matrice des mélanges.....	42
3.2. Etude de l'optimisation et vérification de la prédictibilité des modèles.....	42
3.3. Analyse de modèle choisis	44
3.4. Optimisation des modèles.....	47
Chapitre IV : Discussion.....	50
Conclusion et perspectives	54
Références bibliographiques	

Liste des tableaux

Tableau 1 : matrice des mélanges préparés.....	23
Tableau 2 : Taux d'infestation du haricot vert selon les mélanges.....	27
Tableau 3 : Valeurs statistiques des taux d'infestation projetées sur les boites à moustache (axe 1).....	30
Tableau 4 : Analyse de la variance appliquée aux taux d'infestation du haricot vert sous l'effet des mélanges VLC/ <i>Salix sp.</i> (Axe 1).....	31
Tableau 5 : Test Post-Hoc de Tukey appliqué aux taux d'infestation du haricot vert sous l'effet des mélanges VLC/ <i>Salix sp.</i> (Axe 1).....	31
Tableau 6 : Valeurs statistiques des taux d'infestation projetées sur les boites à moustache (axe 2).....	34
Tableau 7 : Analyse de la variance appliquée aux taux d'infestation du haricot vert sous l'effet des mélanges VLC/ <i>Salix sp.</i> (Axe 2).....	34
Tableau 8 : Test Post-Hoc de Tukey appliqué aux taux d'infestation du haricot vert sous l'effet des mélanges VLC/ <i>Salix sp.</i> (axe 2)*.....	35
Tableau 9 : Croissance du haricot vert selon les mélanges.....	36
Tableau 10 : Analyse de la variance appliquée à la croissance globale du haricot vert sous l'effet des mélanges VLC/ <i>Salix sp.</i> (axe 1).....	39
Tableau 11 : Test Post-Hoc de Tukey appliqué à la croissance globale du haricot vert sous l'effet des mélanges VLC/ <i>Salix sp.</i> (axe 1).....	40
Tableau 12 : Matrice des mélanges avec réponses étudiées.....	42
Tableau 13 : Le modèle mathématique suggéré pour traitement des résultats.....	43
Tableau 14 : Résumé de l'ajustement des modèles mathématiques adoptés pour les réponses des paramètres fonctionnelles des mélanges composées.....	43
Tableau 15 : Model quadratique des mélanges.....	44
Tableau 16 : contraintes d'optimisation.....	47
Tableau 17 : des paramètres et réponses du mélange 1 avec la désirabilité.....	48

Liste des figures

Figure 1 : Impact de l'adjuvant sur le jet des gouttelettes (Sangosse, SAS, 2015).....	08
Figure 2 : Le domaine de variation d'un facteur (Sudo, G et Sudo,MC, 2000).....	12
Figure 3 : Représentation d'un espace expérimental (Sudo, G et Sudo,MC, 2000).....	12
Figure 4 : Site d'expérimentation situé dans la région de Meftah (google Maps 2015).....	17
Figure 5 : Dispositif de production du jus de vermicompost (original 2020).....	19
Figure 6 : extraits méthanoliques (originale 2020).....	20
Figure 7 : diapositive rotavapeur (originale 2020).....	20
Figure 8 : appareillage de rotavapeur (originale 2020).....	21
Figure 9 : extrait écorce obtenue après filtration (originale 2020).....	21
Figure 10 : Germination des plants du haricot (originale 2020).....	22
Figure 11 : Vue de dispositif expérimental (originale 2020).....	22
Figure 12 : les mélanges après la dilution (originale 2020).....	23
Figure 13: pots à l'aire libre (originale 2020).....	24
Figure14 : pots sous abri-serre (originale 2020).....	24
Figure 15: Aperçu global du dispositif(originale 2020).....	25
Figure16 : Méthode d'estimation de la surface foliaire.....	25
Figure 17 : Projection des taux d'infestation par application direct des mélanges VLC/ <i>Salix sp.</i> sur les deux axes de l'A.C.P.....	28
Figure 18 : Diagramme de corrélation entre les différents mélanges par rapport à l'axe 1 de l'ACP.....	29

Figure 19 : Présentation en Box Plot des données expérimentales de l'optimisation bioinsecticide du VLC.....	30
Figure 20 : Test One way ANOVA appliqué au taux d'infestation sous l'effet des mélanges VLC/ <i>Salix sp.</i> (axe 1).....	32
Figure 21 : Diagramme de corrélation entre les différents mélanges par rapport à l'axe 2 de l'ACP.....	33
Figure 22 : Présentation en Box Plot des données expérimentales de l'optimisation bioinsecticide du VLC.....	33
Figure 23 : Test One way ANOVA appliqué au taux d'infestation sous l'effet des mélanges VLC/ <i>Salix sp.</i> (axe 2).....	35
Figure 24 : Projection des croissances globales par application direct des mélanges VLC/ <i>Salix sp.</i> sur les deux axes de l'A.C.P.....	37
Figure 25 : Diagramme de corrélation entre les différents effets nutritionnels des mélanges par rapport à l'axe 1 de l'ACP.....	38
Figure 26 : Présentation en Box Plot des données expérimentales de l'optimisation bioinsecticide du VLC.....	39
Figure 27 : Test One way ANOVA appliqué au taux de croissance sous l'effet des mélanges VLC/Sali.....	40
Figure 28 : présentation en Box Plot de taux d'infestation et taux de croissance de mélange 1.....	41
Figure 29 : présentation en Box Plot illustrant la Comparaison des taux d'infestation et croissance entre mélange 1 et les extraits bruts.....	41
Figure 30 : Tracé illustrant l'évolution de la valeur prédite de taux d'infestation en fonction de la valeur expérimentale (Actual).....	45
Figure 31 : Tracé illustrant l'évolution de la valeur prédite de taux d'infestation en fonction de la valeur expérimentale (Actual).....	45
Figure 32 : Graphes d'iso-réponses illustrant l'influence des trois facteurs (VLC, EF, EE) sur le taux d'infestation (effet bioinsecticide.....	46
Figure 33 : Graphes d'iso-réponses illustrant l'influence des trois facteurs (VLC, EF, EE) sur le taux de croissance (effet nutritionnel)	46

Figure 34 : Les intervalles des réponses (taux d'infestation et taux de croissance) et facteurs (VLC, EE, et EF).....	47
Figure 35 : Histogramme des valeurs de désirabilité de mélange 1.....	48
Figure 36 : Graphes d'iso-réponses illustrant la désirabilité de mélange 1.....	48
Figure 37 : Illustration de l'étude graphique en 2D de la zone de compromis acceptable.....	49
Figure 38 : Schéma synthétique des effets du mélange 1 du jus de vermicompost et l'extrait méthanolique de <i>Salix</i> sp. sur l'état phytosanitaire et la croissance de l'haricot vert.....	50
Figure 39 : Schéma synthétique des effets du mélange 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11,12 du jus de vermicompost et les extraits méthanoliques de <i>Salix</i> sp. sur l'état phytosanitaire et la croissance de l'haricot vert.....	50

Introduction

INTRODUCTION

L'agriculture biologique constitue un mode de production qui trouve son originalité dans le recours à des pratiques culturales et d'élevages soucieux du respect des équilibres naturels. Ainsi, elle exclut l'usage des produits chimiques de synthèse, des OGM et limite l'emploi d'intrants. Les bénéfices que la société peut retirer de l'agriculture biologique sont multiples en termes de création d'activités et d'emplois, de préservation de la qualité des sols, de la biodiversité, de l'air et de l'eau. Ce mode de production permet d'expérimenter en vraie grandeur des pratiques innovantes respectueuses de l'environnement et qui sont susceptibles d'être développées plus largement en agriculture. Ses modes de transformation privilégient la mise en valeur des caractéristiques naturelles des produits **(Anonyme, 2017)**.

En Algérie tout le monde s'accorde sur le fait que les produits agricoles qui se vendent sur le marché Algérien sont loin d'être «BIO». Ces produits sont-ils au moins sains quand on sait que les produits chimiques interviennent à tous les niveaux de la production agricole : de la semence (semences traitées) jusqu'à la récolte (la durée avant la récolte n'est souvent pas respectée)? Un moment où les différents acteurs intervenant dans le processus de l'agriculture parlent de l'agro-écologie comme une alternative à la politique agricole en vigueur, le débat sur l'usage excessif des pesticides et des engrais dans la production végétale n'a toujours pas trouvé de solutions. Les experts en agriculture tirent la sonnette d'alarme quant à l'usage incontrôlé des produits chimiques **(Rahmani, 2019)**.

En outre, une application élevée d'engrais inorganiques pour une production accrue des cultures s'accompagne d'une augmentation des dangers pour la santé humaine et des problèmes environnementaux négatifs tels que la pollution des sols. Par conséquent, l'accent a été mis sur les engrais naturellement dérivés pour les systèmes agricoles durables. Au cours des dernières années, l'utilisation du vermicompost comme engrais organique a été recommandée en tant que tentative d'agriculture durable. Le vermicompost est généré par l'activité des vers de terre à partir d'une large gamme de déchets organiques. Le vermicompost possède de nombreuses propriétés souhaitables, il contient des éléments nutritifs sous des formes facilement absorbées par les plantes telles que les nitrates, le phosphore échangeable et des formes solubles de potassium, de calcium et de magnésium ainsi. Plusieurs études confirment que le vermicompost a un effet bénéfique sur la croissance et le

développement des plantes (**Atiyahet al.,2000, Chaichi et al, 2018 ; Guermache et al., 2018, Benazzouk et al., 2019**).

Le présent travail s'inscrit dans l'optique d'optimisation l'effet bioinsecticide du vermicompost liquide (VLC) par l'addition d'extrait méthanolique de *Salix sp.* Pour cela nous avons émis quelques hypothèses auxquelles nous allons essayer de répondre et qui se résument comme suit : (i) Quelle est l'influence de l'apport de d'extrait méthanolique de *Salix sp.* sur le taux d'infestation du haricot ? (ii) Le mélange VLC/*Salix sp.* Peut-il réduire les infestation et promouvoir la croissance végétale ?

Chapitre I

Synthèse bibliographique

Chapitre I

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1. Les bioproduits

I.1.1. Historique de l'utilisation des bioproduits

Plusieurs courants d'idées ont contribué à la naissance de l'agriculture biologique, système global de production agricole (végétaux et animaux) qui privilégie les pratiques de prévention et de gestion dans le respect des équilibres naturels plutôt que le recours à des interventions et facteurs de production d'origine extérieure issus de la chimie de synthèse **(Steiner 'Howard Rusch, 2016)**

Après d'être développée en Autriche, en Allemagne ou encore en Suisse et en Angleterre dès les années 1920, l'agriculture biologique fait son apparition en France au début des années 1950. Au début des années 1960, des alertes sont données quant aux conséquences sur la santé et l'environnement de l'agriculture intensive et des pesticides. Le livre de Rachel Carson *Printemps silencieux* en 1962 a un retentissement considérable **(Anonyme, 2016)**

Les bioproduits sont des produits fabriqués en partie à base de matières biologiques ou renouvelables. Le préfixe «bio» s'applique aux composantes de ces produits qui sont dérivées de sources biologiques notamment agricoles par exemple : cultures et résidus de cultures, drêches sèches de distillerie) ou de la transformation des aliments (sous-produits, résidus et matières non conformes) **(Mahendra, 2020)**.

Les bioinsecticides, sont des organismes vivants ou produits issus de ces organismes ayant la particularité de supprimer ou limiter les ennemis des cultures» **(Thakore, 2006)**. Selon **Deravel et al. (2013)**, ce système permet de contrôler les populations d'insectes, de champignons et les maladies en étant moins toxiques pour l'environnement que les pesticides chimiques. Ils sont utilisés depuis des siècles par les agriculteurs du monde entier. Ce sont les agriculteurs biologiques qui utilisent le plus (la réglementation interdit aux cultures biologiques l'usage de produits chimiques de synthèse). Ils peuvent être achetés ou fabriqués soi-même.

I.1.2. Types des biopesticides

-Biopesticide végétal : L'huile de neem, biopesticide végétal le plus utilisé, comme fongicide, insecticide, et nématicide. L'extrait de fleurs de pyrèthre (*Tanacetum*) qui paralyse tous les insectes et les acariens rapidement. Le marc de café contre les pucerons, les fourmis, les limaces et les escargots. Autres substances issues du végétal utilisées comme biopesticides : certaines huiles végétales (comme le colza et la menthe verte), la nicotine, la prêle, et beaucoup de formes de purins ou de tisanes (**Schmutterer, 1990**).

-Biopesticide animal : D'après **Goettel et al. (2001) ; Saidenberg et al.(2009) ; Aquiloni et al.(2010)**, certains acariens sont des prédateurs des insectes ravageurs, les coccinelles s'alimentent des pucerons, Certains nématodes, comme *Phasmarhabditis* et *Sphermaphrodita sp*, sont utilisés contre les limaces. Les phéromones de *Cydiapomonella* (papillon), sont utilisées contre les autres animaux de la même espèce dans les vergers. Autres substances : venins d'araignées pour paralyser les insectes, hormones d'animaux, huile de poisson.

-Biopesticide microbien : Substances à base de bactérie *Bacillus thuringiensis* est utilisée comme insecticide, le Virus *nucleopolyhedrosis* est utilisé comme larvicide contre les chenilles de *Spodopteraexigua*. Utilisation du champignon *Trichoderma spp*. Est utilisé comme fongicide sur d'autres espèces de champignons (**Garcia, 2009**).

I.1.3. Classification des biopesticides

Selon **Badran (2019)**, les biopesticides sont classés en plusieurs groupes :

-Agents antiparasitaires microbiens: Ils regroupent des microorganismes naturels ou génétiquement modifiés, qui comprennent des bactéries, algues, champignons, protozoaires, virus, mycoplasmes ou rickettsies ainsi que des organismes apparentés; Economes: Ce sont des substances porteuses de message et produites par une plante ou par un animal ou, encore, des analogues synthétiques de cette substance, qui provoquent une réponse comportementale chez des individus appartenant à la même espèce ou à d'autres espèces. Les phéromones en sont des exemples.

-Autres pesticides non classiques : Cette catégorie inclut des aliments, des agents de préservation ou des additifs, des extraits végétaux et des huiles, etc.

-Régulateurs de croissance des insectes (IGRs): C'est l'ensemble de composés qui empêchent les insectes d'atteindre le stade reproductif. Ils agissent soit par dérèglement de l'activité hormonale des insectes ou de la synthèse de la chitine, principal constituant de leur exosquelette.

-Acides organiques : Il s'agit principalement des peroxyacides, qui résultent de la combinaison du peroxyde d'hydrogène et des acides organiques. Ces composés sont largement utilisés dans la dépollution des eaux d'irrigation.

-Minéraux et autres: Ce sont des minéraux qui agissent comme des barrières qui empêchent les insectes d'atteindre les tissus des végétaux, comme le surround WP dont le principe actif est l'argile de Kaoline ou des inducteurs d'abrasion ou d'étouffement chez les insectes (huiles minérales, diatomaceous earth DE, etc.)

I.1.4. Utilisations efficaces des biopesticides

Les biopesticides ne sont généralement pas conçus comme «remède miracle» et devraient toujours être utilisés parallèlement avec d'autres stratégies de lutte contre les ennemis de cultures. Ainsi, les biopesticides jouent un rôle important et sont largement utilisés dans le cadre de l'agriculture intégrée (IPM: Integrated Pest Management). Pour illustration, la gestion de la production des fleurs de «lys» au Brésil est montrée ci-dessous. La culture des fleurs de «lys» est menacée par plusieurs genres de champignons phytopathogènes. Parmi lesquels, les genres, *Botrytis*, *Phytophthora*, *Fusarium*, *Sclerotinia*, *Penicillium*, *Rhizoctonia* et *Pythium*.

En 2000, pour résoudre ce problème, 30 produits phytosanitaires chimiques ont été utilisés pour 10.00 USD/m². L'augmentation des doses de ces produits chimiques au cours des années est indispensable au bon contrôle de cette culture. Face à cette situation, un autre programme de production a été proposé dans le but de minimiser l'usage des pesticides chimiques. En fait, l'utilisation de ces derniers a été graduellement remplacée par des méthodes de contrôle biocompatibles. Dans un premier temps les pesticides les plus dangereux ont été éliminés progressivement, pendant deux ans. Ensuite, des procédures de fertilisation ont été mises en place, pour adapter le sol aux besoins des agents microbiens de biocontrol. Le traitement biologique était principalement basé sur l'utilisation des suspensions de *Trichoderma*, *Metarhizium*, *Clonostachys*, *Beauveria* et *Bacillus*, appliquées chaque semaine pour lutter contre *Botrytis* et autres pathogènes. Quand c'est nécessaire, l'huile de neem, la propolis, le phosphite et autres

biopesticides biochimiques sont utilisés. Un programme d'assainissement est maintenu dans la serre par élimination des parties de plantes malades (**Wit et al.,2009**).

I.1.5. Définition des biofertilisants

Un biofertilisant est un produit contenant des micro-organismes vivants qui contribue à améliorer la croissance des plantes. Il optimise les fonctions du sol et sa fertilité grâce à l'action des micro-organismes qu'il contient. Pour assurer leur développement, les plantes ont besoin de lumière, d'eau, de dioxyde de carbone (CO₂), d'oxygène (O₂), et d'éléments minéraux. Grâce à leur système racinaire, elles puisent ces ressources stockées dans le sol, afin de permettre leurs nutriments. Mais le sol ne joue pas uniquement le rôle de «réservoir à nutriments» pour les végétaux, il s'agit d'un écosystème complexe. Même s'il possède un « capital nutritionnel » conséquent, une fraction des apports servant à nourrir la plante peut être immobilisée, donc indisponible pour celle-ci (Anonyme ,2016)

I.1.5.1.Types des biofertilisants

Plusieurs types de biofertilisants peuvent être différenciés, en fonction des micro-organismes qui les composent. A l'heure actuelle, les micro-organismes identifiés comme ayant les propriétés les plus intéressantes pour une utilisation agricole sont les suivants :

- **Les Bactéries fixatrices d'AZOTE** : Les [bactéries fixatrices d'azote](#) sont, comme leur nom l'indique, des bactéries dont la fonction principale est de capter l'azote présent dans le sol et dans l'air.

- **Les Bactéries solubilisatrices de PHOSPHORE** : Permettent de solubiliser le phosphore présent dans le sol, c'est-à-dire de le transformer sous une forme soluble et biodisponible pour la plante.

- **Les champignons Mycorhiziens** : Ce sont des champignons qui ont la particularité d'être en symbiose avec les racines de plantes (c'est-à-dire qu'il y a un accord commun entre les deux organismes).

I.1.5.2.intérêt des biofertilisants

L'utilisation de biofertilisants permet d'apporter une réponse concrète aux enjeux actuels, et constitue une alternative naturelle à l'utilisation d'engrais «chimiques». Dans le domaine de la nutrition des plantes, les progrès des techniques agricoles se sont centrés depuis plus de 60 ans sur l'amélioration des propriétés physico-chimiques des sols. Compte tenu des enjeux de

productivité de l'agriculture, l'intérêt de son fonctionnement biologique était devenu secondaire.

Mais les données socio-économiques de production agricole (raréfaction et enchérissements des intrants, respect de l'environnement, changement climatique...) imposent désormais de prendre en compte le fonctionnement biologique de sol. Le sol est une matière vivante composée d'une grande quantité de micro-organismes qui disposent de fonctions et d'intérêts différents. Soutenir cet élément vivant est donc primordial pour que les pratiques agricoles n'altèrent pas son fonctionnement et les multitudes de ressources qu'il offre (anonyme,2016).

I.2. Bioadjuvants et performances des activités biologiques des bioproduits

I.2.1.Définition

Toute substance qui aide et renforce l'accomplissement d'un processus de traitement tout en améliorant les caractéristiques agrochimies pour renforcer l'absorption, la pénétration, la mouillabilité, la diffusion d'un produit fini(Moussaoui, 2019).

I.2.2.Adjuvants Agrochimiques

Classe :

- **Surfactants** (ioniques/non-ioniques)
- **Huiles** (minérales/végétales)
- **Fertilisants** (mélange des tensioactifs azotés)
- **Utilitaires** (acidifiants, anti-moussants, dispersants,etc...)

I.2.3.Action et rôles des adjuvants

Selon **Bouhache (2015)**, le choix d'un adjuvant doit être basé essentiellement sur sa fonctionnalité.

I.2.4.Fonctionnalités des adjuvants

I.2.4.1.Dans la cuve

-Amélioration de la qualité de la bouillie, Certains adjuvants permettent de limiter les phénomènes indésirables qui peuvent intervenir au stade de la réalisation de la bouillie et de maintenir les propriétés physico

chimiques dans des plages optimales. L'action anti mousse ou le tamponnage du pH en sont des exemples.

I.2.4.2.Lors de la pulvérisation

-Amélioration de la qualité de la pulvérisation, La phase de pulvérisation est déterminante dans une stratégie de protection des cultures. Qualité et choix judicieux du matériel, réglages adaptés, conditionnent la mise en œuvre de la bouillie. Certains adjuvants peuvent également intervenir en apportant dans la bouillie des composés qui permettent : (Figure 1, a) l'amélioration de la structure des jets de pulvérisation, (figure 1, b) la réduction de la proportion de gouttelettes de très fins diamètres, l'atteinte de l'objectif par une plus grande proportion de gouttelettes. (Fig.1)



a : Avec adjuvant



b : Sans adjuvant

Figure 1 : Impact de l'adjuvant sur le jet des gouttelettes (Sangosse, SAS, 2015)

I.2.4.3.Au contact de la plante

-Amélioration de la rétention, Les feuilles de certaines plantes comme le colza (cuticule très cireuse, hydrophobe, lisse) ont des propriétés gênant la rétention des gouttelettes. Les adjuvants possédant la fonctionnalité d'amélioration de la rétention introduisent dans la bouillie des composés qui limitent le phénomène d'explosion ou de rétractation/rebond à l'impact de la goutte. Le maintien d'un plus grand nombre de gouttelettes de bouillie sur la cible améliore le résultat biologique final.

-Amélioration de l'étalement, Dans beaucoup de cas, l'efficacité du traitement passe par une bonne couverture de la cible, la pulvérisation en gouttelette devant former un film de protection aussi uniforme que possible.

Pour l'illustrer, on peut citer le cas de certains insectes ravageurs qui peuvent être protégés au sein d'une feuille recroquevillée. On peut également citer le cas de mauvaises herbes avec une pilosité foliaire qui perturbe l'étalement des gouttelettes sur la cuticule. L'adjuvant peut accroître la capacité des gouttelettes de bouillie à « s'aplatir » progressivement après l'impact. On obtient ainsi une augmentation de la surface de contact.

-Amélioration de la pénétration, Dans le cas de traitements phytopharmaceutiques avec des molécules systémiques ou pénétrantes, la cuticule forme une barrière au passage de ces actifs.

Son franchissement conditionne l'efficacité. Il peut être amélioré par l'addition d'un adjuvant au pouvoir pénétrant. Ainsi une plus grande quantité d'actif accède au site d'action, au bénéfice de l'efficacité finale.

-Maintien des propriétés de la préparation, Une fois sur la plante, les gouttelettes de bouillie vont avoir tendance à sécher par évaporation de l'eau qui les constitue en grande partie. Les actifs cristallisés perdent dans de nombreux cas leur efficacité phytopharmaceutique. En retardant ce phénomène, certains adjuvants améliorent l'efficacité finale du traitement.

-Réduction du lessivage, Pour illustrer cette notion, on peut faire référence aux fongicides qui ont une action de contact et qui doivent demeurer à la surface de la plante pour être efficaces. Ils sont cependant progressivement lessivés, par la pluie, ou par l'irrigation. Les adjuvants possédant la fonctionnalité de réduction du lessivage aident à maintenir plus longtemps les substances actives phytopharmaceutiques de contact à la surface des feuilles

I.2.5.types d'adjuvants

L'emploi d'un adjuvant vise l'amélioration des propriétés de la bouillie à laquelle on l'associe. Ceci passe avant tout par une bonne connaissance de l'adjuvant et de ses mécanismes d'action, afin de raisonner au mieux sa mise en œuvre. Les adjuvants sont historiquement classés en trois catégories, selon leur nature chimique.

I.2.5.1. Les mouillants (composés tensio-actifs),

I.2.5.2. Les huiles

Sont généralement utilisés comme additives sont connue pour l'effet positive quelles ont sur la rétention et l'absorption des herbicides, ces huiles adjuvant sont soit des huiles de pétrole ou végétale elle peuvent être des huiles végétales méthylées et mélanger avec un émulsifiant qui sert à la

dispenser dans l'eau de la bouillie l'efficacité d'une huile–adjuvant dépend du type d'émulsifiant auquel elle est mélangée, de la classe d'huile (pétrole ou végétale) et du type d'huile (**Bennasseur, 1998**).

I.2.5.3. les sulfates (ou sels ; le plus souvent solution aqueuse de sulfate d'Ammonium).

Cette classification est aujourd'hui complétée par une approche techniquement plus précise qui consiste à les caractériser selon leur(s) fonctionnalité(s).

I.2.5.4.Les surfactant (tensio-actifs)

D'après **Bennasseur (1998)**, Ils sont généralement utilisés à la concentration 0,12 à 0,5 %, le rôle principal joué par le surfactant réside dans l'amélioration de la rétention de l'herbicide. Les surfactants diffèrent beaucoup par leur nature chimique et par leurs effets sur la rétention et l'absorption des herbicides. L'efficacité du surfactant varie également avec la nature de l'herbicide et sa formulation, cette efficacité ne peut pas être déduite en se basant sur la tension de surface ou du degré de répartition des gouttelettes de l'herbicide sur la surface de la feuille des espèces ciblée (**Benasseur, 1998**).

I.2.5.5.Les humectant

Selon **Bennasseur (1998)** et **Gauvrit (1996)**, les humectant sont des produits à forte affinité pour l'eau capable de piéger et retenir l'humidité de l'air Lorsque un humectant est présent dans la formulation, les gouttelettes ne séquent pas complètement (**Gauvrit, 1996**). L'engrais azoté sous forme liquide, mélange d'urée et de nitrate d'ammonium, ainsi que le sulfate d'ammonium sont utilisés pour cette fin.

I.2.5.6.Les modificateurs de ph de la bouillie

Bennasseur (1998), affirment que ces modificateurs sont recommandés pour réduire le ph de la bouillie en vue d'améliorer l'absorption des herbicides de type acide faible. Cependant un faible pH n'est pas essentiel pour optimiser l'absorption de tous les herbicides formulés sous forme de sels contenus dans l'eau de bouillie.

I.3. Les plans d'expériences

I.3.1. Introduction

Dans de nombreuses industries, un grand nombre de produits sont obtenus en mélangeant deux ou plusieurs composants ou ingrédients. Dans chacun des exemples ci-dessus, nous sommes intéressés par la connaissance d'une ou plusieurs propriétés : qualités organoleptiques pour les vins, rendement de brassage et composition chimique en malterie.

Ces propriétés dépendent de la proportion de chaque constituant dans le mélange étudié. Afin de pouvoir établir une formulation adéquate, il s'avère indispensable de suivre la méthode des plans d'expériences qui permet de structurer les démarches expérimentales entreprises et donner ainsi de la crédibilité aux informations et résultats prélevés (**jacques, D., Jeanne, F et Gibert, 2000**).

I.3.2. Définition de la méthode des plans d'expériences

Le terme "Plan d'expériences " vient de l'anglais *Design of Experiments* qui se traduit par "conception des expériences" .En fait, la méthode englobe aussi bien la définition de la séquence d'essais à réaliser pour étudier un problème donné que l'analyse, algébrique et statistique, des résultats de ces essais.

Selon la définition donnée par Fisher, les plans d'expériences constituent "un essai technologique d'utilisation maximale des données". L'efficacité d'un plan d'expériences en termes d'information acquises et de fiabilité de ces informations est supérieure à celle de toute séquence d'essais non structurée de même volume. La méthode des plans d'expériences permet de tirer d'un nombre d'essais donné un maximum d'informations concernant l'influence des facteurs. Elle permet notamment de maximiser le ratio informations recueillies/ nombre d'essais réalisées. Elle offre ainsi la possibilité de quantifier et de hiérarchiser les effets d'un grand nombre de facteurs du système étudié, et cela avec un nombre d'essais relativement faible, c'est-à-dire dans le minimum de temps et de coûts (**garpy, 1999**).

I.3.3. Notions de base

I.3.3.1. Quelques terminologies

La compréhension de la méthode des plans d'expériences s'appuie sur deux notions essentielles, celle d'espace expérimental et celle de modélisation mathématique des grandeurs étudiées. Un expérimentateur qui lance une étude s'intéresse à une grandeur qu'il mesure à chaque essai. Cette grandeur s'appelle la réponse, c'est la grandeur d'intérêt. La valeur de cette grandeur dépend de plusieurs variables.

Au lieu du terme «variable» on utilisera le mot facteur. La réponse dépend donc de un ou de plusieurs facteurs. Le premier facteur peut être représenté par un axe gradué et orienté (Fig. 2). La valeur donnée à un facteur pour réaliser un essai est appelée niveau. Lorsqu'on étudie l'influence d'un facteur, en générale, on limite ses variations entre deux bornes. La borne inférieure est le niveau bas. La borne supérieure est le niveau haut (Sudo, G et Sudo,MC, 2000).

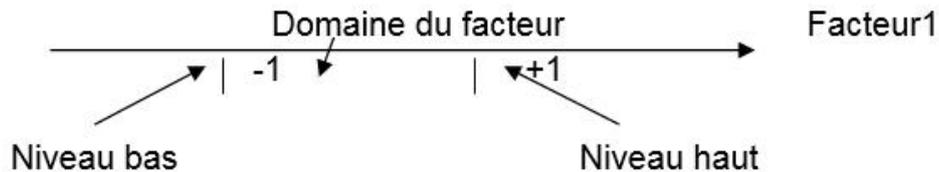


Figure 2 : Le domaine de variation d'un facteur

L'ensemble de toutes les valeurs que peut prendre le facteur entre le niveau bas et le niveau haut, s'appelle le domaine de variation du facteur ou plus simplement le domaine du facteur. On a l'habitude de noter le niveau bas par -1 et le niveau haut +1. S'il y a un second facteur, son niveau haut et son niveau bas et son domaine de variation. Ce second axe est disposé orthogonalement au premier. On obtient ainsi un repère cartésien qui définit un espace euclidien à deux dimensions. Cet espace est appelé l'espace expérimental (Sudo, G et Sudo,MC, 2000). (Fig. 3).

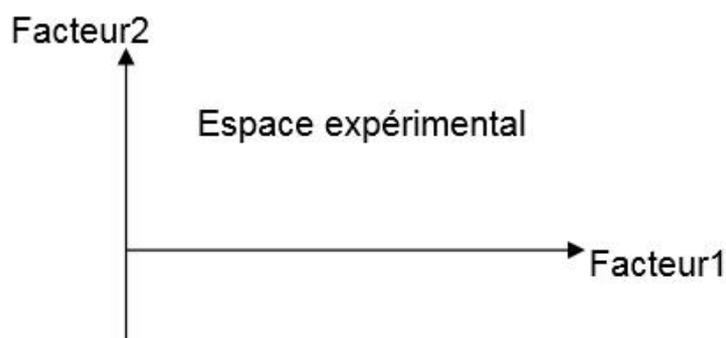


Figure 3 : Représentation d'un espace expérimental

I.3.3.2. Notion de surface de réponse

Les niveaux x_i représentent les coordonnées d'un point expérimental et y est la valeur de la réponse en ce point. On définit un axe orthogonal à l'espace expérimental et on l'attribue à la réponse. La représentation géométrique du plan d'expériences et de la réponse nécessite un espace ayant une dimension de plus que l'espace expérimental. Un plan à deux facteurs un espace à trois dimensions pour être représenté :

Une dimension pour la réponse, deux dimensions pour les facteurs (**jacques, D., Jeanne, F et Gibert, 2000**).

A chaque point du domaine d'étude correspond une réponse. A l'ensemble de tous les points du domaine d'étude correspond un ensemble de réponses qui se localisent sur une surface appelée la surface de réponse.

Le nombre et l'emplacement des points d'expériences est le problème fondamental des plans d'expériences. On cherche à obtenir la meilleure précision possible sur la surface de réponse tout en limitant le nombre d'expériences.

I.3.3.3. Matrice d'expériences

La représentation géométrique d'un plan d'expériences est commode pour imaginer la position des points expérimentaux dans le domaine d'étude. Mais elle ne peut plus être employée dès que le nombre de facteurs est supérieur à trois (**Atkinson, A.C.et Donev, A.N, 1992**).

Pour les espaces multidimensionnels, nous adopterons une représentation en forme de tableau ou matrice d'expériences. Cette dernière comprend une première colonne qui identifie les essais. Les colonnes suivantes indiquent les coordonnées des points représentatifs des expériences prévues. Les expériences géométriques et matricielles sont équivalentes. Les matrices d'expériences présentent l'avantage d'être utilisables quel que soit le nombre de facteurs, c'est-à-dire quel que soit le nombre de dimensions de l'espace expérimental.

I.3.3.4. Types de plan d'expériences

Selon **Jean – jacques, D., Jeanne, F et Gibert (2000)** ; Afin de subvenir aux besoins que peut rencontrer l'expérimentateur pour mener à bien son étude ; différents types de plans d'expériences peuvent être utilisés.

- Plans factoriels complets.
- Plans centrés composites.
- Plans fractionnaires.
- Plans de mélanges.

Chaque plan possède des particularités qui lui sont propre. Nous ne traiterons ici que le plan correspondant à notre étude, il s'agit des plans de mélange.

I.3.4. Mélanges

D'après **Atkinson, A.C. et Donev, A.N, (1992)** ; dans le cas de mélanges, les facteurs sont les proportions de chaque composant. Ils ont donc deux particularités importantes soit leur somme est égale à l'unité, ils ne sont donc pas indépendants ; ou leurs valeurs sont des nombres sans dimension, parfaitement comparables ; une valeur de 0,1 à la même signification, quelle représente la proportion d'un antioxydant dans une crème dessert, ou la proportion d'un cépage dans un vin.

On représente généralement le nombre de composants d'un mélange par q et la proportion du composant i par x_i . Nous avons donc les contraintes suivantes

$$x_i \geq 0 \text{ et } \sum_i x_i = 1 \quad i = 1, 2, \dots, q$$

Ces contraintes sur les valeurs que peut prendre x_i font que les mélanges ne peuvent pas être traités de la même façon que dans le cas générale, dans lequel les valeurs prises par les variables codées ne sont pas soumises à ces contraintes, Compte tenu de celles-ci, toute variation de la proportion d'un composant entraîne une variation de la proportion des autres composants.

I.3.4.1. Domaine expérimental

Le domaine expérimentale possible est un simplexe régulier de dimension $q - 1$ pour $q = 3$, le domaine expérimental est un triangle équilatéral, pour $q = 4$, ce domaine est un tétraèdre régulier. Les coordonnées représentant les valeurs de x_i , $i = 1, 2, 3 \dots, q$, sont appelées : coordonnées du simplexe. Les sommets du simplexe représentent les composants purs : ($x_i = 1, x_j = 0 \ j \neq i$). Les points intérieurs représentent des mélanges dans lesquels tous les composants sont présents $x_i > 0 \ i = 1, 2, \dots, q$.

I.3.4.2. Choix des expériences (mélanges)

Nous désirons connaître pour tous les mélanges possibles situés dans le domaine expérimental d'intérêt, la valeur de (ou des) propriété(s) étudiée(s). Pour obtenir les informations désirées, il faut effectuer des mesures sur des mélanges.

I.3.5. Choix des mélanges ?

Nous devons, après avoir établi la loi de mélange, pouvoir calculer pour l'ensemble des mélanges possibles, la valeur de la propriété étudiée. Considérons un mélange quelconque M_i , connaissant la composition de ce mélange et la loi de mélange, nous pouvons calculer la valeur d'une propriété Q_i .

Cette valeur calculée que nous appelons valeur prévisionnelle, ne devra pas être trop éloignée de la propriété (ou réponse) que nous trouverions si nous effectuions réellement la mesure de ce mélange. Nous disons que la prévision doit être de bonne qualité.

On démontre que la réponse prévisionnelle dépend de la forme de la loi de mélange et du choix de l'ensemble de mélanges soumis à l'expérimentation. Elle est indépendante des résultats des expériences. On peut choisir au hasard ces mélanges et parmi l'ensemble de tous les mélanges possibles, certains d'entre eux apportent plus d'information que d'autres. On aura donc intérêt à choisir ces mélanges préférentiellement. On désigne sous le terme mélanges informatifs. Le choix de ces mélanges se fait en appliquant la Méthodologie de la Recherche Expérimentales (**Mathieu et Phan- Tan-Luu (1995)** [78]).

Mais comment choisir cet ensemble optimal ?

-Pour des raisons de coût d'expérimentation et d'efficacité, on peut chercher à minimiser le nombre de mélanges nécessaires. L'expérimentation pouvant être coûteuse ou même limitée, le nombre de mélanges devra être réduit ;

-La propriété de séquentialité est souvent très recherchée dans les problèmes de mélanges. Elle consiste, lorsque la complexité du problème va en augmentant à effectuer les expérimentations en plusieurs étapes. Le choix des mélanges informatifs à chaque étape doit tenir compte des mélanges déjà mesurés

Comment représenter les résultats ?

Lorsque la loi du mélange est établie, nous pouvons calculer pour n'importe quel mélange possible, appartenant au domaine d'intérêt, la valeur de la réponse étudiée et ceci avec une bonne précision. L'objectif poursuivi : connaître pour tous les mélanges possibles situés dans le domaine expérimental d'intérêt, la valeur de la réponse étudiée est donc atteinte.

I.3.6. Modèles de surfaces de réponses

Les premiers travaux portent sur cette approche méthodologique datent d'une quarantaine d'années ; **Claringbold (1955)**, a publié la première matrice d'expérience raisonnée dans un travail portant sur l'étude des effets d'un mélange d'hormones en 1955. Mais c'est en 1958, que **Scheffé (1958)**, a publié les bases de la stratégie expérimentale optimale appliquée aux mélanges.

Les travaux de Scheffé peuvent être considérées comme étant ceux qui ont apporté les fondements dans ce mélange et sont restés (et restent encore) à l'origine de beaucoup d'applications (**Cheffé 1958 et 1963**), **Cornell (1990)**).

Chapitre 2 : Matériel et méthodes

Chapitre 2 : Matériel et méthodes

Objectif

L'objectif de cette étude est l'optimisation de l'activité du vermicompost (bioengrais) par l'addition de différents ratios d'extrait aqueux des feuilles et de l'écorce de *Salix sp.* par une modélisation mathématique. Les réponses de cette expérimentation (taux d'infestation et croissance végétale) du haricot vert *Phaseolus vulgaris* sont évaluées pour sélectionner le mélange le plus performant en terme d'efficacité bioinsecticide et efficacité nutritionnel.

1. Présentation de la région et du site d'étude

L'étude a été menée dans la Mitidja. Cette dernière est une vaste plaine, située à une altitude Nord moyenne de 36 à 48° et une altitude moyenne de 30 et 50 mètres. Elle s'étend sur une longueur de 100 kilomètres et une largeur de 5 et 20 kilomètres. Elle couvre une superficie de 150 000 ha et correspond à une dépression allongée d'Ouest en Est. Elle est limitée à l'Ouest par l'Oued Nador, à l'Est par l'Oued Boudouaou et bordée par deux zones élevées ; le Sahel au Nord et l'Atlas Tellien au Sud. Elle ne s'ouvre que sur quelques kilomètres sur la mer Méditerranée (**Loucif et Bonafonte, 1977**).

L'expérimentation s'est déroulée dans une parcelle privée dans la région de Meftah. Meftah est située à l'extrême nord-est de la Wilaya de Blida, la ville à une altitude avoisinant les 100 mètres au-dessus du niveau de la mer (Fig.4).



Figure 4 : Site d'expérimentation situé dans la région de Meftah (Google Maps, 2020)

Elle possède un climat méditerranéen chaud avec été sec (Csa) selon la classification de Köppen-Geiger. Sur l'année, la température moyenne à Meftah est de 17,5°C et les précipitations sont en moyenne de 645,2 mm. Des précipitations moyennes de 12,2 mm font du mois d'août le mois le plus sec. En novembre, les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de 90 mM. Au mois d'août, la température moyenne est de 25,6°C. Août est de ce fait le mois le plus chaud de l'année. Janvier est le mois le plus froid de l'année. La température moyenne est de 10,6°C à cette période (**Anonyme, 2019**).

2. Matériel d'étude

2.1. Matériel végétal

L'application des mélanges a été effectuée sur des plantules d'une variété d'haricot vert *Phaseolus vulgaris* L. ; cette dernière est une variété saisonnière, très cultivée en Algérie, sa taille ne dépasse pas 50cm de hauteur.

2.2. Le jus de vermicompost

Dans un bac composteur, Un lombricomposteur comprend trois ou quatre bacs qui se placent les uns sur les autres. Cet accessoire peut être en plastique ou en bois non traité qui contient un mélange de déchets ménagers et l'espèce *Eisinia foetida*, les vers n'aimant pas la lumière. Pour cette raison, il est nécessaire de placer notre installation dans une cave obscure, dans une ambiance ni trop sèche ni trop humide, à température constante entre 13 et 25°C (**Fig. 5**). Le jus de lombricompost récupérer à une forte concentration c'est pour cette raison qu'il est intéressant de faire une dilution avant leur utilisation.



a. Stade adulte d'*EISINIA FOETIDA*



b. Stade œuf d'*EISINIA FOETIDA*

Figure 5 : Dispositif de production du jus de vermicompost

(a) Stade adulte (b) Stade œuf

2.3. Extraits aqueux de *Salix sp.*

-Récolte

La récolte des feuilles et de l'écorce de *Salix sp.* a été réalisée dans la région de Koléa, au niveau des bordures de Oued Mazafran durant le mois de janvier.

-Séchage

Le séchage du matériel végétal a été réalisé dans une à l'étuve ventilée réglée à 40°C pendant 40 min.

-Broyage

Les feuilles et l'écorce ont été réduites en poudre à l'aide d'un broyeur à hélice. Puis un tamisage était effectué à l'aide d'une passoire (raffinerie) en fer qui permet la transition des particules sans s'accrocher.

-Préparation de l'extrait méthanolique

La méthode utilisée consiste à une macération de la poudre végétale dans une solution méthanolique. 100 g de la poudre a été macérée dans mélange d'eau et de méthanol (1 :2). Le mélange a été introduit dans un ballon et mis dans un chauffe ballon porté à 50°C pendant 2 heure (Fig. 6).

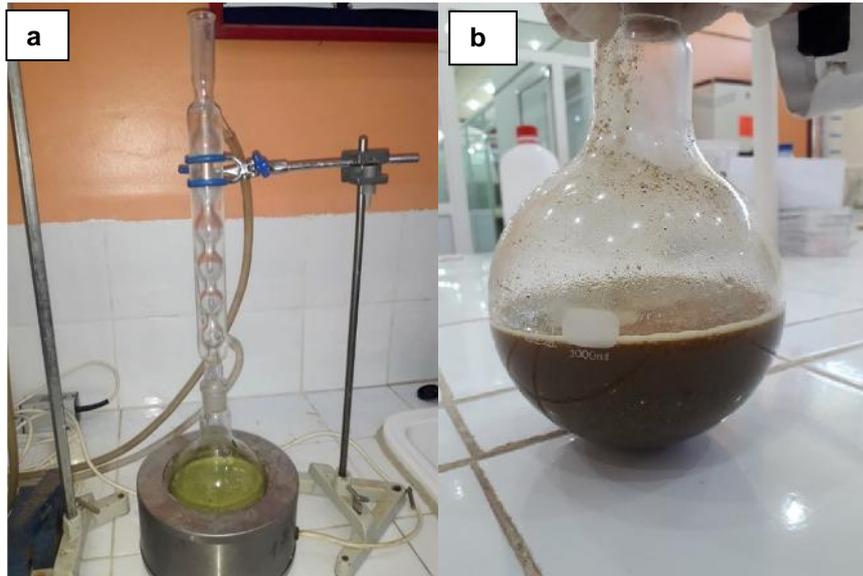


Figure 6 : extraits méthanoliques A ; feuilles ; b écorces

-Récupération de l'extrait méthanolique par le Rotavapeur

La séparation de l'eau du méthanol, exige un passage à chaud sous pression. Le rotavapeur, nous a permis de récupérer les extraits méthanoliques des feuilles et de l'écorce (Fig. 7).



a. Extrait écorces

b. Extrait feuilles

Figure 7 : diapositive rotavapeur (originale 2020)



Figure 8 : appareillage de rotavapeur



Figure9 : extrait écorce obtenue après filtration

3. méthodes expérimentales :

3.1. Le Semis dans les pots

L'expérimentation a été menée sur des plantules d'une variété haricot vert *Phaseolus vulgaris* L. Le semis a été effectué au mois de juillet. Les graines du haricot sont imbibées dans l'eau pendant 24 heures. Par la suite, elles ont été mises dans des alvéoles de 72 plants remplis en tourbe à fin d'assurer leur germination (Fig. 10).



Figure 10 : Germination des plants du haricot vert *Phaseolus vulgaris* L

Au stade deux feuilles, les plants en été transplanter en suite dans des gobelets ; et finalement, la dernière phase qui été la transplantation dans des pots en plastique de 16 cm de hauteur, et de 15 et 13 cm de diamètre supérieur et inférieur respectivement ; 2/4 de chaque pot est remplis en tourbe et 1/4 en une quantité du sol. Avec une irrigation en eau selon besoins (Fig. 11).



Figure 11 : Vue de dispositif expérimental

3.2. Préparation des mélanges (vermicompost liquide / extraits méthanoliques *Salix sp.*)

Les mélanges ont été conçus selon la matrice des mixtures proposées par le logiciel Design Expert (Figure ci-dessous).

	Std	Run	Block	Component 1 A:VLC ml	Component 2 B:EF ml	Component 3 C:EE ml
	4	1	Block 1	50.000	25.000	25.000
	7	2	Block 1	46.667	29.167	24.167
	5	3	Block 1	50.000	27.500	22.500
	6	4	Block 1	50.000	30.000	20.000
	9	5	Block 1	49.167	29.167	21.667
	14	6	Block 1	47.500	27.500	25.000
	13	7	Block 1	50.000	30.000	20.000
	12	8	Block 1	50.000	25.000	25.000
	3	9	Block 1	47.500	30.000	22.500
	11	10	Block 1	45.000	30.000	25.000
	10	11	Block 1	48.333	28.333	23.333
	8	12	Block 1	49.167	26.667	24.167
	1	13	Block 1	45.000	30.000	25.000
	2	14	Block 1	47.500	27.500	25.000

Tableau 1 : matrice des mélanges préparés

Les mixtures obtenues ont été diluées dans 300 ml d'eau de robinet pour préparer individuellement chaque mélange (Fig. 12)



Figure12 : mélanges obtenus après dilution.

3.3. Application des traitements (mélanges)

Les pots ont été mis dans un espace qui permet l'arrivée de la lumière. Afin d'accélérer la croissance des plantes, un les pots ont été placés sous un abri serre. L'essai est réalisé en bloc complet à 36 répétitions.

Ainsi, les blocs sont distantes de 10 cm les uns des autres. Les plantules sont irriguées régulièrement selon leur besoin par l'eau de robinet. A partir du stade deux feuilles, nous avons procédé à l'apport par application foliaire des différents traitements aux doses différentes.

Le bloc témoin a reçu une application foliaire à l'eau courante. L'apport des traitements est renouvelé chaque 7 jour durant toute la période d'étude. Avant chaque apport de deux plants sont prélevés de chaque blocs afin d'estimer les paramètres biochimiques, de croissance de production et les attaques.



Figure13 : pots à l'aire libre



Figure14 : pots sous abri-serre



Figure 15: Aperçu global du dispositif

4. Méthodes de dénombrement

4.1. Estimation de l'effet bioinsecticide des mélanges

Durant chaque apport, 3 plants sont retirés de chaque bloc expérimental. À l'aide d'une loupe à mains ; l'observation était faite sur des feuilles ont été examinées. Les installations de la mineuse, de l'aleurode, du puceron noir et de la noctuelle ; ont été comptabilisé au niveau de chaque plante d'haricot.

4.2. Estimation de l'effet nutritionnelle des mélanges

Sur les mêmes plants, l'estimation des paramètres de croissance (surface foliaire, taille des plantes et le nombre de feuilles) a été réalisée du haricot.

4.2.1. Estimation de la surface foliaire

Les feuilles sont prises des mêmes niveaux sur des pots choisis et elles ont été étalées sur un papier millimétré (Fig. 16). Les photos prise par un téléphone Smartphone par la suite nous les avons traités par le logiciel Image DIGIMIZER Afin d'évaluer la surface foliaire.



Figure16 : Méthode d'estimation de la surface foliaire

4.2.2. Estimation de la taille de la plante

La croissance en longueur des plants a été estimée par la même procédure. Les plants ont été étalés, puis pris en photos prise par un téléphone Smartphone par la suite nous les avons traités par le logiciel Image DIGIMIZER Afin d'évaluer la longueur finale totale.

5. Analyses statistique des données

L'analyse statistique a concerné l'impact des différents mélanges sur les paramètres de croissance et l'état phytosanitaire du haricot vert. Les analyses de la variance sont faites sur des moyennes homogènes adoptées sur la base d'un coefficient de variance (C.V. <20%). La signification des comparaisons des moyennes a été confirmée par un test de comparaison par paire (Test Tukey). Les contributions significatives retenues sont au seuil d'une probabilité de 5%, les calculs ont été déroulés par le logiciel PAST vers. 1.37. **(Hammer et al., 2001).**

La tendance de la variation temporelle des infestations et de la croissance du haricot vert par rapport à leurs réactions aux différents mélanges nous a été établie par une analyse en composante principale (A.C.P.). La projection des variables sur les deux axes de l'analyse multivariée a été conduite par le logiciel (PAST vers. 1.37) **(Hammer et al., 2001).**

Chapitre III : Résultats

Chapitre III : Résultats

Les résultats de l'étude de l'optimisation de l'activité bioinsecticide du vermicompost liquide (VLC) par l'addition de l'extrait méthanolique de *Salix sp* sont présentés dans ce chapitre.

1. Potentialité bioinsecticide du mélange vermicompost liquide (VLC)/*Salix sp*.sur l'état phytosanitaire du haricot

1.1. Estimation des infestations

L'évaluation de l'état phytosanitaire du haricot vert a été portée sur l'installation primaire de la larve mineuse *Liriomyza spp.*, l'aleurode (adulte et larve) et le puceron noir et l'acarien jaune . Une estimation globale d'infestation a été considérée par traitement (effet mélange). Les résultats sont mentionnés dans le tableau 2.

Il en ressort des valeurs des taux d'infestations, que les mélanges affectent différemment les installations primaires des ravageurs. Les mélanges M2, M10, M12, EE_B et VLC_B affichent les taux d'infestations les plus élevés.

Tableau 2 : Taux d'infestation du haricot vert selon les mélanges

	Taux_ IN_M1	Taux_ IN_M2	Taux- IN-M3	Taux- IN-M4	Taux- IN-M5	Taux- IN-M6	Taux- IN-M9
T1	0,67	3,89	1,67	2,67	1,17	1,94	3,06
T2	1	2,33	2,61	3,58	1,28	2,33	2,67
T3	1,92	5,61	2,72	0,75	3,47	1,78	2,06
T4	2,5	2,33	1,5	1,08	2,19	0,83	1,67
T5	0,08	0,92	1	1,25	3	1,14	0,75
T6	0,33	1,58	0,67	1,5	2,03	1,17	1,36
IN_GL	1,08	2,78	1,70	1,81	2,19	1,53	1,93

Taux_ IN_M10	Taux_ IN_M11	Taux_ IN_M12	Taux_ IN_EF-B	Taux_ IN_EE-B	Taux_ IN_T-EAU	Taux_ IN_VLC-B
4,92	5,11	3,78	2,08	2,58	3,17	3,92
3,5	1	1,11	1,58	3,75	1,92	2,33
6,42	0,83	1,42	1,42	3	0,58	3,25
2,75	1,25	3	1,75	2,92	0,25	3,17
3,17	2,36	2,42	1,33	1,25	0	2,08
4,42	0,33	1,25	2,83	4,25	0,33	2,75
4,20	1,81	2,16	1,83	2,96	1,04	2,92

IN : infestation, M : mélange, VLC : vermicompost, EE : extrait d'écorce de *Salix sp*, EF : extrait de feuille de *Salix sp*

1.2. Evaluation de l'efficacité bioinsecticide du mélange vermicompost liquide (VLC)/*Salix sp* sur l'état phytosanitaire du haricot.

L'analyse en composantes principales (A.C.P.), effectuée avec le logiciel PAST, à partir des valeurs des taux d'infestation global du haricot vert est satisfaisante pour le paramètre activité bioinsecticide dans la mesure où près de 60% de la variance est exprimée sur les deux premiers axes (Fig.17).

La projection des taux d'infestation sur le premier axe de l'ACP (36,32%), fait apparaître une installation importante et précoce des ravageurs durant la 1^{ère} et la 2^{ème} semaine de traitement (T1 et T2). Les mélanges incriminés par cet effet sont respectivement M4, M11, M12, l'extrait méthanolique brut des feuilles de *Salix sp.* et le témoin eau. Aussi, dès la 3^{ème} semaine de traitement (T3), les infestations se font signaler sous l'effet de l'application M1, M2, M3, M6, M9, M10, l'extrait méthanolique brut de l'écorce de *Salix sp.* et le vermicompost brut (VLC_B). Sous l'effet du mélange 5, l'installation des ravageurs s'est manifestée tardivement dès la quatrième semaine du traitement et au-delà, jusqu'à la fin de l'expérimentation T5 et T6 (cinquième et sixième semaine) du traitement.

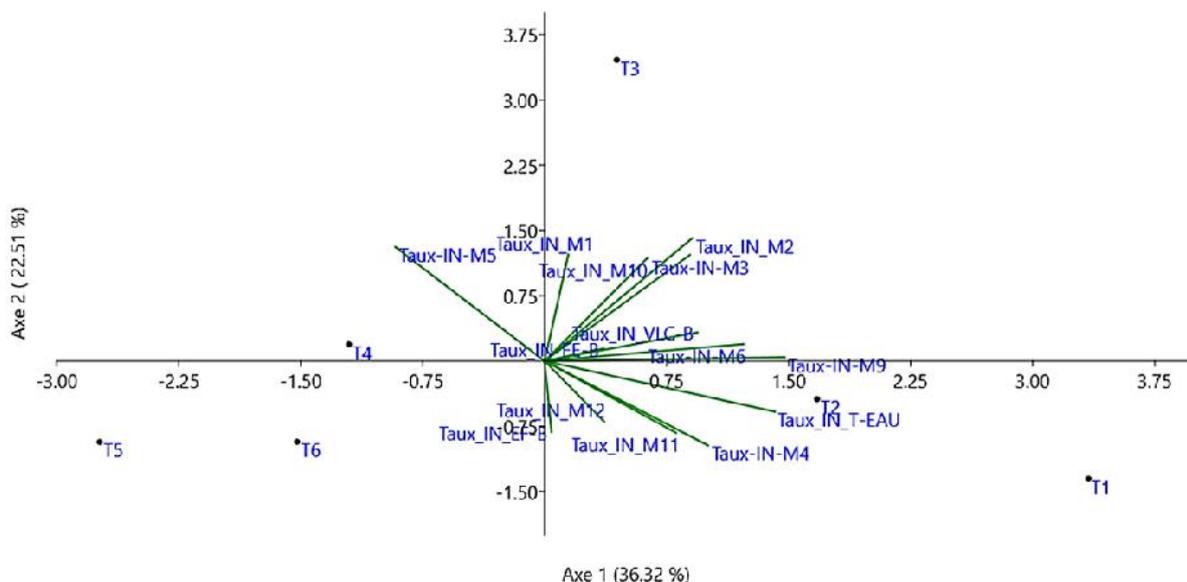


Figure 17 : Projection des taux d'infestation par application direct des mélanges VLC/*Salix sp.* sur les deux axes de l'A.C.P

IN : infestation, **M** : Mélange, **T-eau** : Témoin eau, **VLC** : vermicompost, **B** : brut, **EF** : Extrait méthanolique des feuilles de *Salix sp.*, **EE** : Extrait méthanolique de l'écorce de *Salix sp.*, **T1, T2...T6** : les sorties.

Dans le but de mettre en évidence les traitements ayant conditionnés l'installation primaire des ravageurs (précocement ou tardivement), nous

avons eu recours aux valeurs du coefficient de corrélation de Pearson. Nous nous sommes accommodés sur la valeur ($r = 0,4$), comme valeur de corrélation discriminante, permettant de légiférer les mélanges n'ayant pas un effet substantiel sur l'installation primaire des ravageurs. La projection des valeurs d'infestation de chaque mélange sur l'axe 1 (36,32 %), nous conduit à se focaliser sur l'effet des mélanges M2, M3, M4, M6, M9, M10, M11, Témoin eau, le vermicompost brut (VLC_B) (*infestation précoce*) et le M5 (*infestation tardive*) par référence aux valeurs du coefficient de corrélation ($r = 0,4$) (Fig. 18)

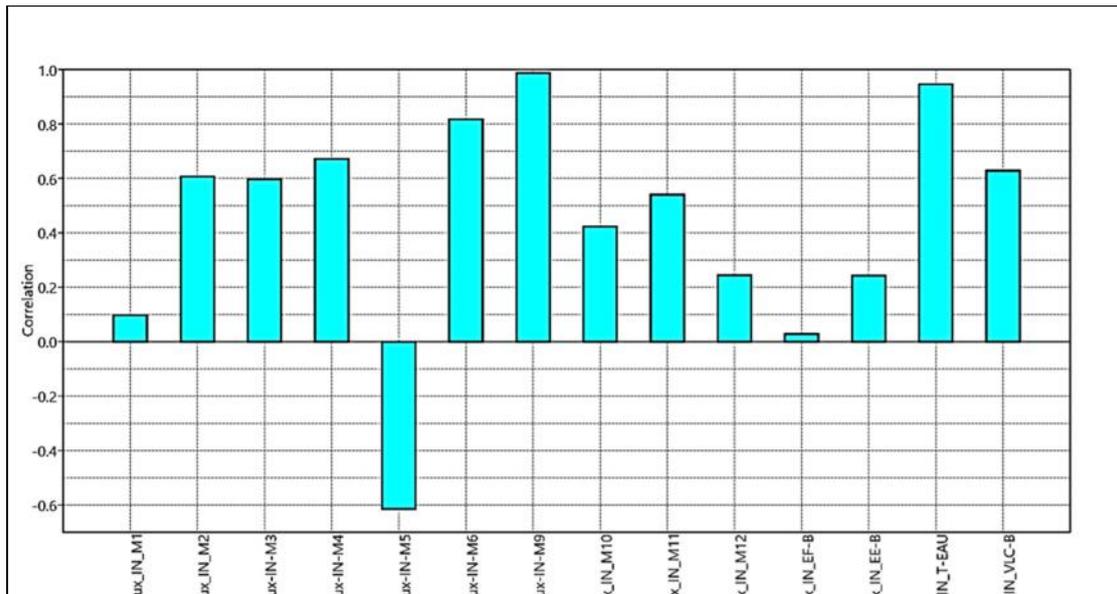


Figure 18 : Diagramme de corrélation entre les différents mélanges par rapport à l'axe 1 de l'ACP

La présentation graphique en Box Plot des données expérimentales est avancée dans le but d'apprécier la variation des infestations observées sous l'effet des différents mélanges **VLC/ *Salix sp.*** (Fig. 19 et tableau 3).

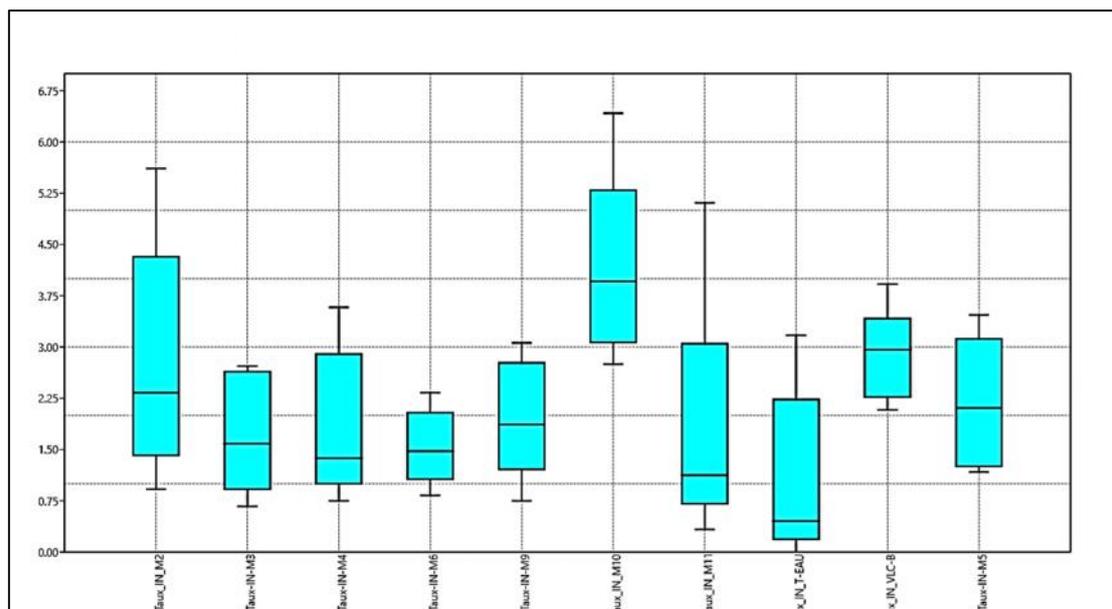


Figure 19 : Présentation en Box Plot des données expérimentales de l'optimisation bioinsecticide du VLC

Tableau 3 : Valeurs statistiques des taux d'infestation projetées sur les boîtes à moustache (axe 1)

	M2	M3	M4	M6	M9	M10	M11	T-EAU	VLC-B	M5
Min	0,92	0,67	0,75	0,83	0,75	2,75	0,33	0	2,08	1,17
Max	5,61	2,72	3,58	2,33	3,06	6,42	5,11	3,17	3,92	3,47
Q2	2,33	1,58	1,37	1,47	1,86	3,96	1,12	0,4	2,96	2,11
Q1	1,41	0,91	0,99	1,06	1,20	3,06	0,70	0,18	2,26	1,25
Q3	4,32	2,63	2,89	2,03	2,76	5,29	3,04	2,23	3,41	3,11

Dans cette partie, nous nous sommes limités à l'interprétation des Box Plot selon les valeurs de la médiane (**Q₂**). La comparaison entre les infestations précoces observées sous l'effet des mélanges annonce une valeur médiane égale à **0,45**. Une similarité d'effet est notée entre les mélanges M3, M4, M6, M9, M11 avec une médiane qui varie entre 1 et 2, puis le mélange M2 et le VLC brut avec une médiane comprise entre **2,5 Q₂ 3**. En revanche, le mélange M10 se distingue par une valeur médiane **Q₂=3,96**. Il faut mentionner que le témoin eau qui avait la valeur Q₂ la plus faible dans cette analyse, avait aussi une valeur maximale égale à 3,17, ce qui implique que ce mélange avait une faible infestation au début de l'expérimentation, et qui a évolué lors de la période d'essai (6 semaines). En fin, nous n'avons enregistré que le mélange M5 comme une infestation tardive avec une médiane égale à 2,11.

L'analyse de la variance à un facteur montre une différence hautement significative pour l'effet bioinsecticide des mélanges ($p=0,001$; $p<0,1$) (Tableau 4).

Tableau 4 : Analyse de la variance appliquée aux taux d'infestation du haricot vert sous l'effet des mélanges VLC/*Salix sp.* (Axe 1)

Test for equal means					
	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p (same)
Between groups:	43.5276	8	5.44095	3.846	0.001608
Within groups:	63.6609	45	1.41469		Permutation p (n=99999)
Total:	107.188	53			0.00189
Components of variance (only for random effects):					
Var(group):	0.671044	Var(error):	1.41469	ICC:	0.321731
ω^2 :	0.2966				
Levene's test for homogeneity of variance, from means				p (same):	0.195
Levene's test, from medians				p (same):	0.8397
Welch F test in the case of unequal variances: $F=3.664$, $df=18,6$, $p=0.009948$					

Les résultats du test post Hoc obtenus par le test de Tukey sont reportés dans le tableau 5. La comparaison par paire montre la présence d'une différence significatif entre les taux d'infestation sous l'effet du mélange 10 par rapport au mélanges M3 ($p=0,01655$), M4 ($p=0,0261$), M6 ($p=0,008167$), M9 ($p=0,04257$), M11 ($p=0,02699$) et le témoin eau ($p=0,0008294$).

Tableau 5 : Test Post-Hoc de Tukey appliqué aux taux d'infestation du haricot vert sous l'effet des mélanges VLC/*Salix sp.* (Axe 1)

	Taux_IN_M2	Taux-IN-M3	Taux-IN-M4	Taux-IN-M6	Taux-IN-M9	Taux_IN_M10	Taux_IN_M11	Taux_IN_T-EAU	Taux_IN_VLC-B	Taux-IN-M5
Taux_IN_M2		0,8378	0,9066	0,7002	0,9576	0,5286	0,9109	0,2541	1	0,9967
Taux-IN-M3	2,274		1	1	1	0,01655	1	0,9926	0,7219	0,9991
Taux-IN-M4	2,043	0,2313		1	1	0,0261	1	0,9784	0,8154	0,9999
Taux-IN-M6	2,618	0,3434	0,5748		0,9999	0,008167	1	0,9992	0,5633	0,9922
Taux-IN-M9	1,784	0,4906	0,2593	0,8341		0,04257	1	0,9446	0,8976	1
Taux_IN_M10	2,986	5,26	5,029	5,604	4,77		0,02699	0,0008294	0,6669	0,1101
Taux_IN_M11	2,026	0,2488	0,01752	0,5923	0,2418	5,012		0,9768	0,8218	0,9999
Taux_IN_T-EAU	3,648	1,374	1,605	1,03	1,864	6,634	1,623		0,1687	0,7861
Taux_IN_VLC-B	0,2944	2,569	2,338	2,912	2,078	2,692	2,32	3,943		0,9845
Taux-IN-M5	1,234	1,041	0,8096	1,384	0,5502	4,22	0,792	2,415	1,528	

L'histogramme ci-après (Fig. 20), nous confirme les résultats obtenus du Test Post Hoc, sur la base des valeurs moyennes des taux d'infestation enregistrées sous l'effet des traitements. Les infestations les plus crédibles, sont celles signalées sous l'effet des mélanges M2, M10, VLC_B et M5.

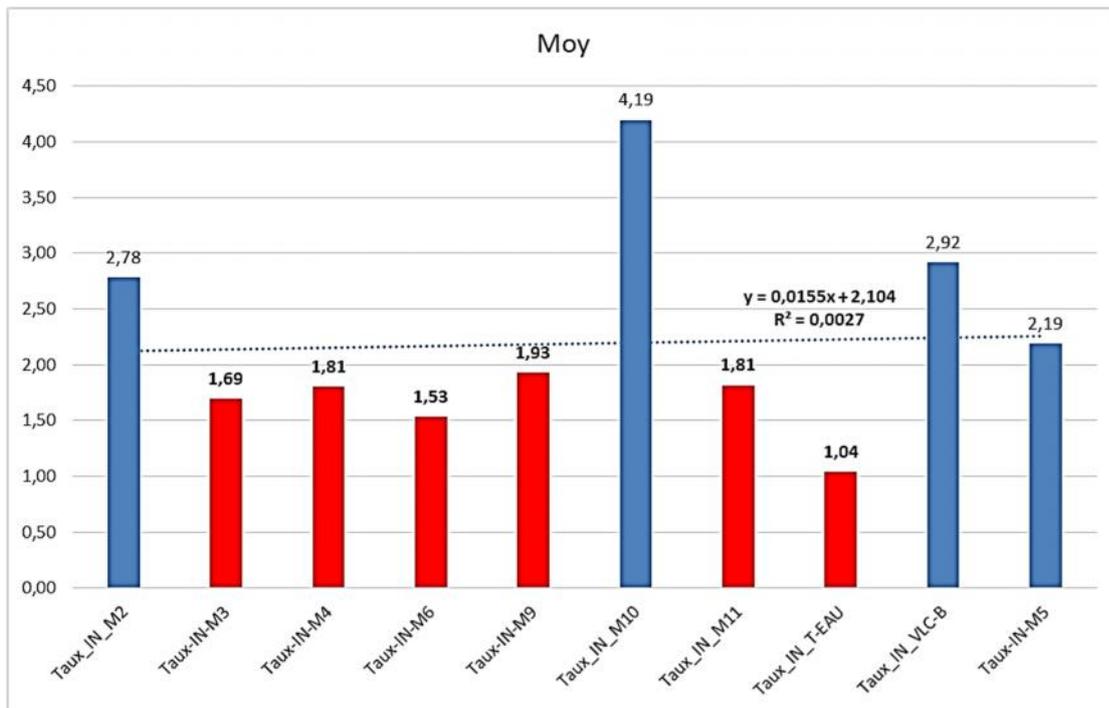


Figure 20 : Test One way ANOVA appliqué au taux d'infestation sous l'effet des mélanges VLC/*Salix sp.* (axe 1)

La projection des mêmes données à travers le deuxième axe de l'ACP (22,51%), fait apparaître que la plupart des traitements conditionnent l'installation primaire des ravageurs à savoir : M1, M2, M3, M5, M6, M9, EE_B et VLC_B. Cependant, les traitements M4, M11, M12, EF_B se rapprochent de l'infestation du bloc témoin (T_EAU) (Fig. 1).

Dans le but de mettre en évidence les traitements ayant enregistrés des écarts par rapport au témoin, nous avons retenu la valeur ($r = 0,4$), du coefficient de corrélation de Pearson. La projection des valeurs d'infestation de chaque mélange sur l'axe 2(22,51%), nous indique une divergence d'effet bioinsecticide entre les mélanges M1, M2, M3, M5 et les mélanges M4, M11 et EF_B (Fig. 21)

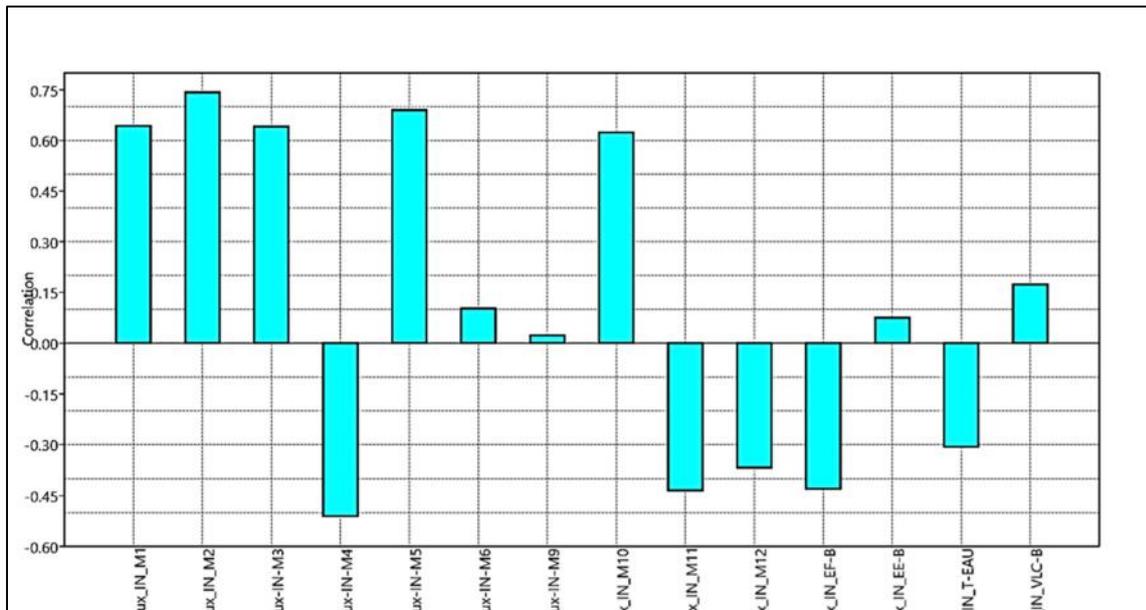


Figure 21 : Diagramme de corrélation entre les différents mélanges par rapport à l'axe 2 de l'ACP

La comparaison des infestations observées sous l'effet des différents mélanges montre que les mélanges M1, M2, M3, M5 sont corrélés négativement aux mélanges M4, M11 et EF_B (Fig. 22 et Tableau 6).

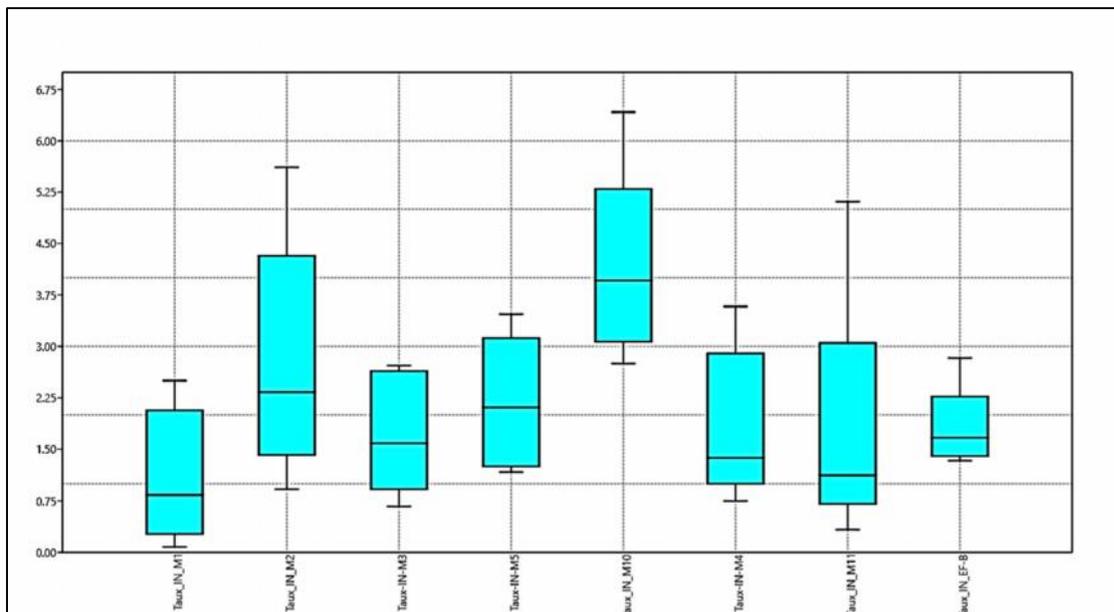


Figure 22 : Présentation en Box Plot des données expérimentales de l'optimisation bioinsecticide du VLC

Tableau 6 : Valeurs statistiques des taux d'infestation projetées sur les boîtes à moustache (axe 2)

	M1	M2	M3	M5	M10	M4	M11	EF-B
Min	0,08	0,92	0,67	1,17	2,75	0,75	0,33	1,33
Max	2,5	5,61	2,72	3,47	6,42	3,58	5,11	2,83
Q2	0,83	2,33	1,58	2,11	3,96	1,375	1,12	1,66
Q1	0,26	1,41	0,91	1,25	3,06	0,99	0,70	1,39
Q3	2,06	4,32	2,63	3,11	5,29	2,89	3,04	2,26

Le mélange M1 (**Q₂=0,83**) avec une valeur minimale de **0,08** et une valeur maximale de **2,5** ; suivi par le mélange M3 (**Q₂=1,58**) et les mélanges qui ont une similarité d'effet citant le mélange M2 (**Q₂=2,33**) et le mélange M5 (**Q₂=2,11**), et finalement le mélange M10 avec une infestation très importante avec un **Q₂=3,96**, **Q₁=2,75** et **Q₃=6,42**. La suite de comparaison est faite par rapport au mélange M11 qui a un **Q₂** égale à **1,12**, avec **0,33** et **5,11** respectivement comme valeurs minimale et valeur maximale de taux d'infestation.

L'analyse de la variance à un facteur montre une différence hautement significative pour l'effet mélanges sur l'activité bioinsecticide ($F=3,66$ $p=0,003818$ $p < 0,001$) (Tableau 7)

Tableau 7 : Analyse de la variance appliquée aux taux d'infestation du haricot vert sous l'effet des mélanges VLC/*Salix sp.* (axe 2)

Test for equal means					
	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p (same)
Between groups:	37,5424	7	5,3632	3,661	0,003818
Within groups:	58,6027	40	1,46507		Permutation p (n=99999)
Total:	96,1451	47			0,00404
Components of variance (only for random effects):					
Var(group):	0,649689	Var(error):	1,46507	ICC:	0,307217
<i>omega</i> ² :	0,2796				
Levene's test for homogeneity of variance, from means				p (same):	0,2318
Levene's test, from medians				p (same):	0,7727
Welch F test in the case of unequal variances: $F=2,82$, $df=16,93$, $p=0,03841$					

Le résultat du Test Post-Hoc, montrent que le taux d'infestation présente une différence hautement significatif sous l'effet du mélange 10 par rapport au mélanges M1, M3, M4, M11, et l'extrait feuilles brut (EF_B) (**Tableau 8**).

Tableau 8 : Test Post-Hoc de Tukey appliqué aux taux d'infestation du haricot vert sous l'effet des mélanges VLC/*Salix* sp. (axe 2)

	Taux_IN_M1	Taux_IN_M2	Taux-IN-M3	Taux-IN-M5	Taux_IN_M10	Taux-IN-M4	Taux_IN_M11	Taux_IN_EF-B
Taux_IN_M1		0,2584	0,9867	0,7569	0,001559	0,9664	0,9643	0,9592
Taux_IN_M2	3,427		0,7771	0,9896	0,4744	0,8562	0,8615	0,8727
Taux-IN-M3	1,238	2,189		0,9963	0,01882	1	1	1
Taux-IN-M5	2,24	1,187	1,002		0,106	0,9992	0,9993	0,9995
Taux_IN_M10	6,3	2,874	5,063	4,061		0,02841	0,02929	0,03133
Taux-IN-M4	1,46	1,966	0,2226	0,7791	4,84		1	1
Taux_IN_M11	1,477	1,95	0,2395	0,7623	4,823	0,01686		1
Taux_IN_EF-B	1,514	1,912	0,2766	0,7252	4,786	0,05397	0,0371	

L'histogramme ci-après (**Fig. 23**), nous confirme les résultats obtenus du Test Post-Hoc, sur la base des valeurs moyennes des taux d'infestation enregistrées sous l'effet des traitements. Le facteur mélange influence significativement l'activité bioinsecticide. Il est clair que cette différence est due aux ratios combinés qui s'est traduite par des taux d'infestation très élevé dans le cas des mélanges M10 (4,19) M2 (2,78) et M5 (2,19) par rapport aux mélanges M1, M3 ; M4, M11 et extrait feuilles brut qui ont tous un taux d'infestation inférieur à 2.

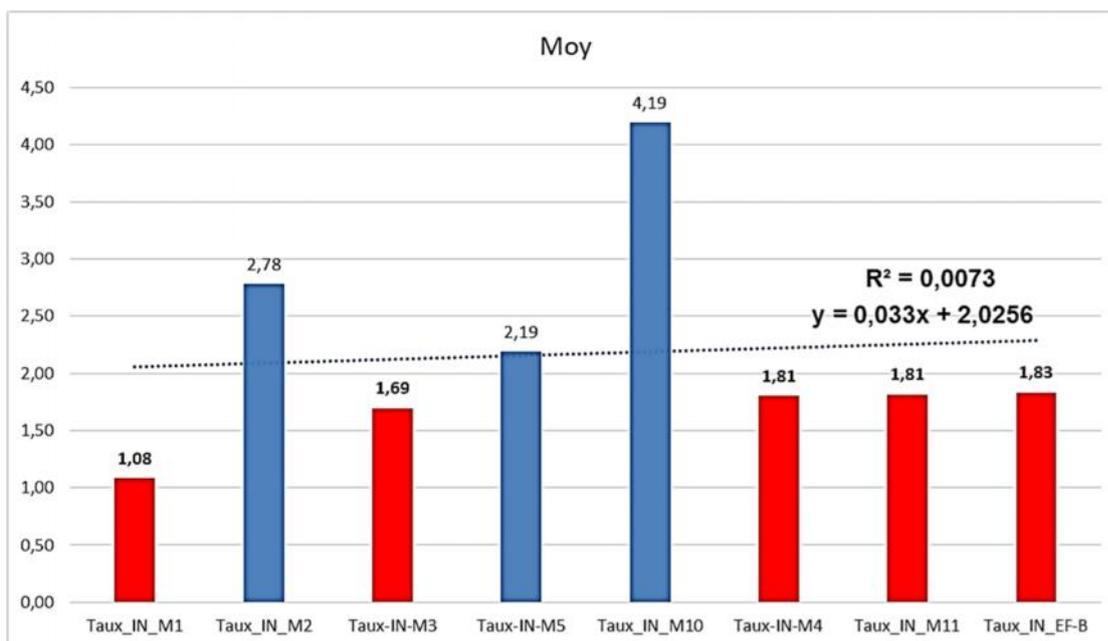


Figure 23 : Test One way ANOVA appliqué au taux d'infestation sous l'effet des mélanges VLC/*Salix* sp.(Axe 2)

2. Potentialité nutritionnelle des mélanges vermicompost liquide VLC/*Salix sp.* sur la croissance du haricot

2.1. Estimation de croissance

L'évaluation de l'expression végétative a été portée sur la croissance des différentes parties de la plante (nombre de feuilles, surface foliaire et croissance finale des plants). Une appréciation globale de la croissance a été considérée par traitement (effet mélange). Les résultats sont mentionnés dans le **tableau 9**.

Il en ressort des valeurs de la croissance globale, que les mélanges affectent différemment l'expression végétative. Les traitements T_EAU et EF_B affichent les taux de croissance les plus faibles.

Tableau 9 : Croissance du haricot vert selon les mélanges

Mélanges	Crois_ M1	Crois_ M2	Crois_ M3	Crois_ M4	Crois_ M5	Crois_ M6	Crois_ M9
T1	23,62	17,22	16,00	17,57	15,14	15,23	16,71
T2	18,49	20,30	22,05	21,52	18,43	18,86	20,28
T4	23,51	22,77	21,78	20,5	22,57	23,28	23,90
T6	23,57	22,51	21,67	24,25	23,08	18,04	21,85
Crois_GL	22,30	20,70	20,38	20,96	19,81	18,85	20,69

Crois_ M10	Crois_ M11	Crois_ M12	Crois_ T-EAU	Crois_ EF-B	Crois_ EE-B	Crois_ VLC-B
17,12	11,66	10,62	11,33	6,47	9,57	13,47
23,47	16,66	14,18	16,19	9,47	15,74	15,73
24,94	18,42	20,94	16,5	14,61	19,31	22,71
27,42	17,15	22,05	9	13,30	18,78	25,49
23,24	15,97	16,95	13,26	10,96	15,85	19,35

Crois : Croissance, M : mélange, VLC : vermicompost, EE : extrait d'écorce de *Salix sp.*, EF : extrait de feuille de *Salix sp.*

2.2. Evaluation de l'efficacité nutritionnelle du mélange vermicompost liquide (VLC)/*Salix sp.* sur la croissance du haricot.

L'analyse en composantes principales (A.C.P.), effectuée avec le logiciel PAST, à partir des valeurs de croissance globale du haricot vert est satisfaisante pour le paramètre nutrition organique dans la mesure où plus de 85% de la variance est exprimée sur les deux premiers axes (**Fig. 24**).

Selon les valeurs des axes de l'ACP, nous allons nous contenter d'expliquer les tendances de croissance du haricot vert sous l'effet des traitements qu'à travers la projection de la croissance globale sur le premier axe de l'ACP (75,00%) du fait que la totalité de la variance est exprimée sur cet axe.

Le graphique fait montrer que l'expression végétative s'exprime dès la troisième semaine du traitement (T3).

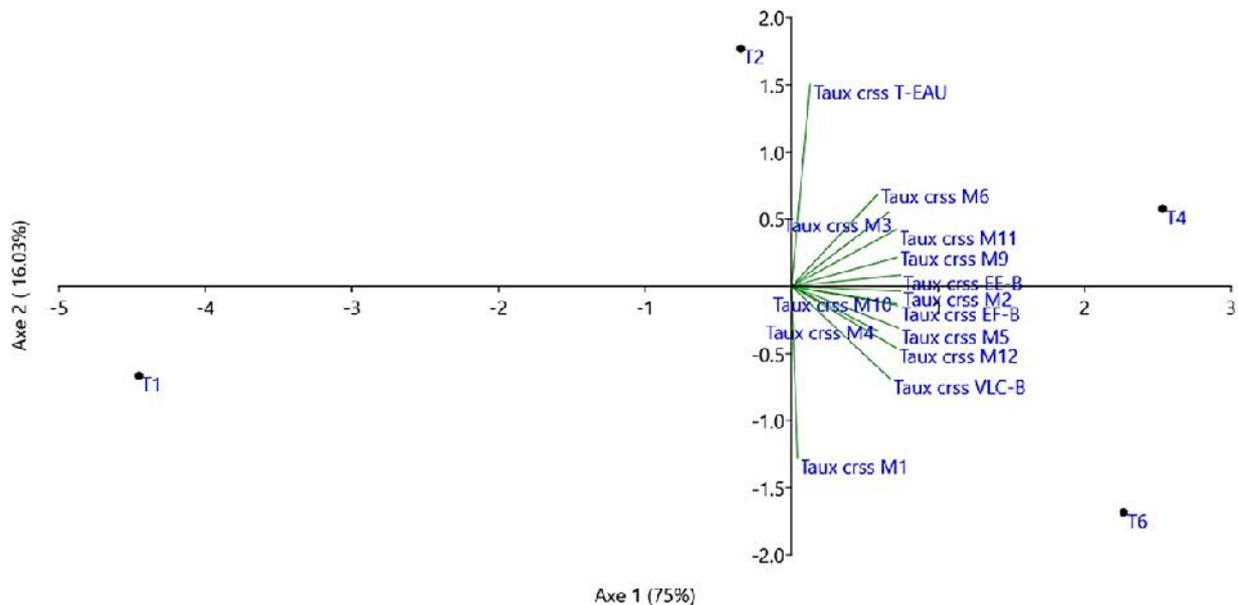


Figure 24 : Projection des croissances globales par application direct des mélanges VLC/*Salix sp.* sur les deux axes de l'A.C.P

CRSS : Croissance, **M** : Mélange, **T-eau** : Témoin eau, **VLC** : vermicompost , **B** : brut, **EF** : Extrait méthanolique des feuilles de *Salix sp.*, **EE** : Extrait méthanolique de l'écorce de *Salix sp.*, **T1, T2...T6** : les sorties.

Les valeurs du coefficient de corrélation de Pearson enregistrées (r 0,4), montrent un effet similaire en matière de croissance globale, il s'agit des mélanges M2, M3, M4, M6, M9, M10, M11, M12 , l'extrait brut des feuilles , l'extrait brut de l'écorce et le VLC brut (**Fig. 25**).

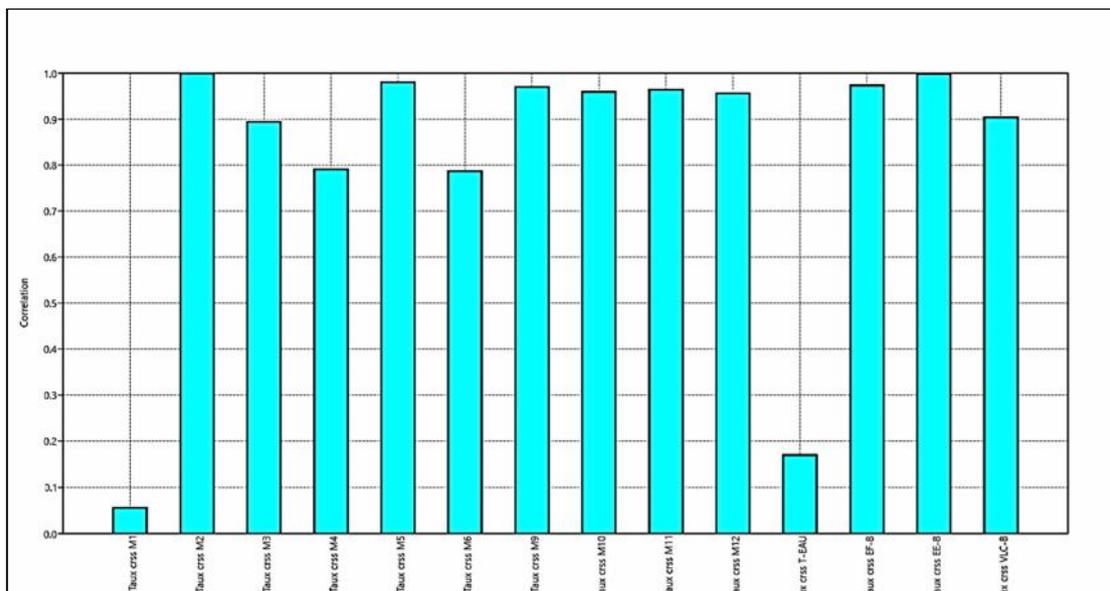


Figure 25 : Diagramme de corrélation entre les différents effets nutritionnels des mélanges par rapport à l'axe 1 de l'ACP

La présentation graphique en Box Plot des données expérimentales est avancée dans le but d'apprécier la variation des potentialités nutritionnelles observées sous l'effet des différents mélanges. D'après la figure 26, nous avons enregistré un taux de croissance très élevé, dans le cas du mélange 10 avec une valeur maximale de (**max=27,42**) et une valeur minimale de (**min=17,12**) et des quartiles **Q₁=18,7** et **Q₃=26,8** et une valeur médiane **Q₂=24,20**. Cependant, la croissance sous l'effet de l'extrait méthanolique brut des feuilles a enregistré une activité nutritionnel très faible avec une valeur maximale (**max=14,61**) et une valeur minimale (**min=6,47**) dont les quartiles 1 (**Q₁=7,22**), et quartile 3 (**Q₃=14,28**) et une médiane (**Q₂=11,38**)

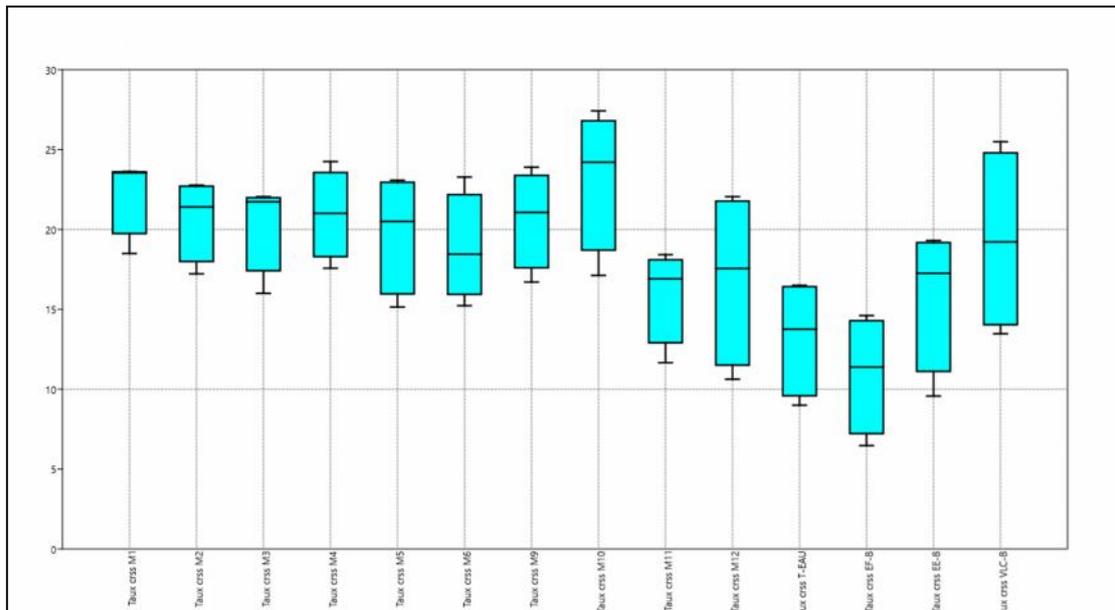


Figure 26 : Présentation en Box Plot des données expérimentales de l'optimisation bioinsecticide du VLC

L'analyse de la variance à un facteur montre une différence hautement significative pour l'effet mélanges sur l'activité nutritionnelle ($F=2,809$; $p=0,00949$; $p<0,001$) (**Tableau 10**)

Tableau 10 : Analyse de la variance appliquée à la croissance globale du haricot vert sous l'effet des mélanges VLC/*Salix sp.* (axe 1)

Test for equal means					
	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p (same)
Between groups:	466.28	11	42.3891	2.809	0.00949
Within groups:	543.179	36	15.0883		Permutation p (n=99999)
Total:	1009.46	47			0.01033
Components of variance (only for random effects):					
Var(group):	6.82519	Var(error):	15.0883	ICC:	0.31146
omega ² :	0.2931				
Levene's test for homogeneity of variance, from means				p (same):	0.339
Levene's test, from medians				p (same):	0.4935
Welch F test in the case of unequal variances: $F=2.185$, $df=14.16$, $p=0.08427$					

Les résultats du test Post-Hoc obtenus par le test de Tukey sont reportés dans le **tableau 11 et la figure 27**. Ces derniers montrent que le potentiel nutritionnel présente une différence hautement significative sous l'effet des mélanges M2, M4, M9, M10 par rapport aux autres traitements

Tableau 11 : Test Post-Hoc de Tukey appliqué à la croissance globale du haricot vert sous l'effet des mélanges VLC/*Salix* sp. (axe 1)

	Taux crss M2	Taux crss M3	Taux crss M4	Taux crss M5	Taux crss M6	Taux crss M9	Taux crss M10	Taux crss M11	Taux crss M12	Taux crss EF-B	Taux crss EE-B	Taux crss VLC-B
Taux crss M2	1											
Taux crss M3	0,1673	1										
Taux crss M4	0,1339	0,3012	1									
Taux crss M5	0,4608	0,2935	0,5947	1								
Taux crss M6	0,9512	0,7839	1,085	0,4904	1							
Taux crss M9	0,007723	0,1596	0,1416	0,4531	0,9435	1						
Taux crss M10	1,307	1,474	1,173	1,767	2,258	1,314	1					
Taux crss M11	2,434	2,267	2,568	1,973	1,483	2,426	3,741	1				
Taux crss M12	1,932	1,765	2,066	1,471	0,9809	1,924	3,239	0,502	1			
Taux crss EF-B	5,014	4,846	5,148	4,553	4,062	5,006	6,32	2,58	3,082	1		
Taux crss EE-B	2,497	2,33	2,631	2,036	1,546	2,489	3,804	0,06307	0,5651	2,516	1	
Taux crss VLC-B	0,6951	0,5278	0,829	0,2343	0,2562	0,6874	2,002	1,739	1,237	4,319	1,802	1

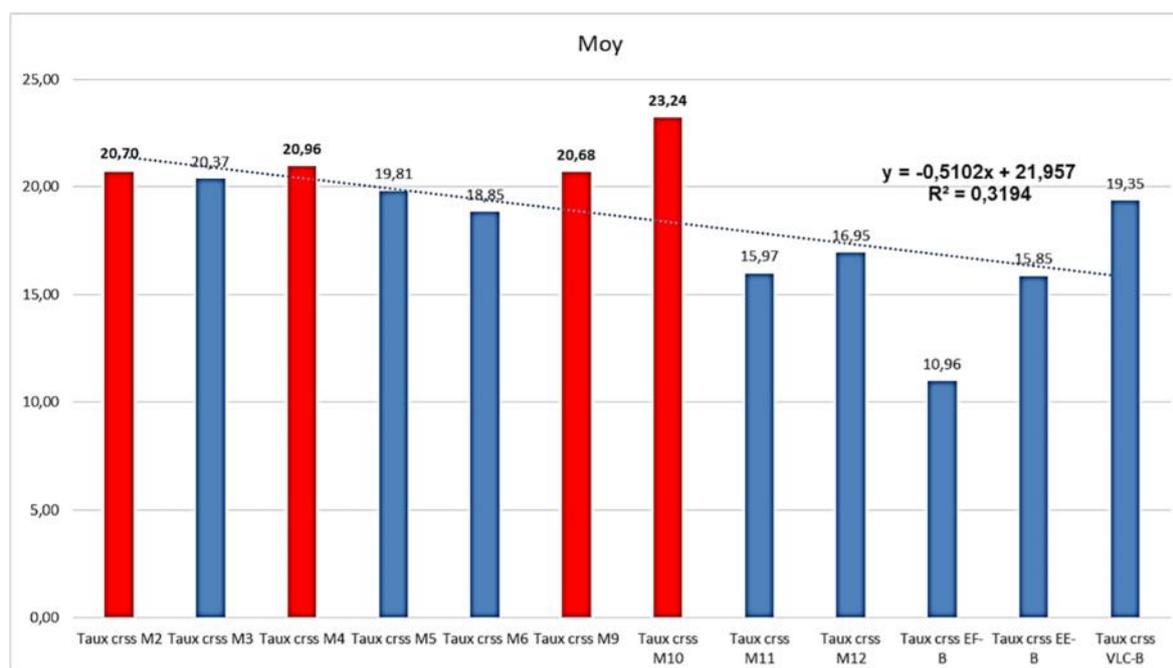


Figure 27 : Test One way ANOVA appliqué au taux de croissance sous l'effet des mélanges VLC/*Salix*

Les présentations graphiques ci-dessus des box plot nous montre les réponses étudiées de mélange 1 en comparant avec les extraits brut (figure 28 et 29)

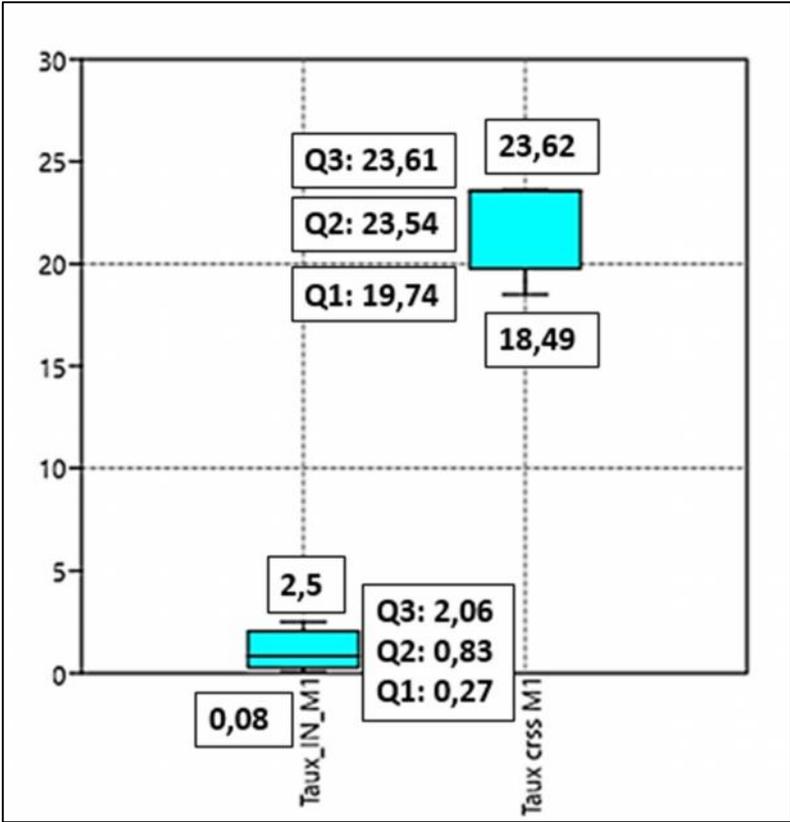


Figure 28 : présentation en Box Plot de taux d’infestation et taux de croissance de mélange 1

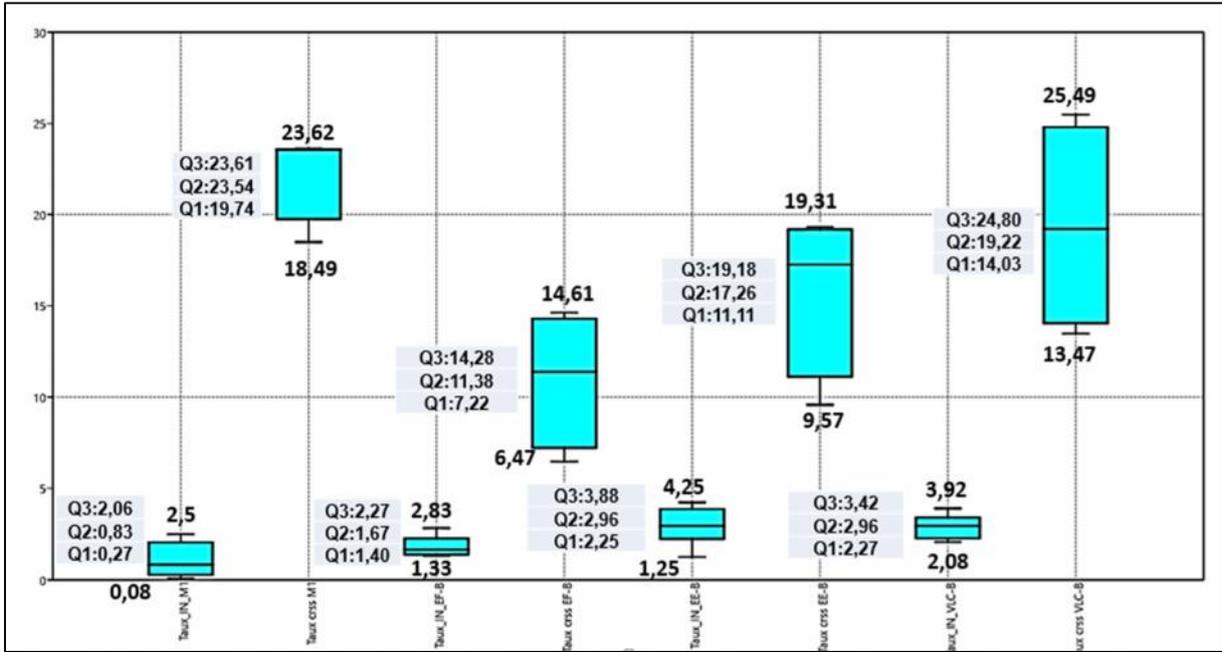


Figure 29 : présentation en Box Plot illustrant la Comparaison des taux d’infestation et croissance entre mélange 1 et les extraits bruts

3. Optimisation des mélanges vermicompost liquide VLC/*Salix sp.*

3.1. Matrice des mélanges

Le logiciel Expert-Design 7.0.7 trial software (Stat-Ease Inc. Minneapolis, MN, USA) est utilisé pour réaliser le plan de mélange et analyser les résultats obtenus. Dans notre étude, le plan de mélange simplex lattice à 03 composants a été adopté pour déterminer la formulation optimale. Les variables (contrôlées) sont : A (VLC) , B(EE) et C (EF), et nous avons prévus deux réponses (taux d'infestation croissance végétale).

Le confection des mélanges et leurs apport par aspersion foliaire nous a conduit à obtenir 14 mélanges et les valeurs des deux réponses étudiées (tableau 12).

	Std	Run	Block	Component 1 A:VLC ml	Component 2 B:EF ml	Component 3 C:EE ml	Response 1 Taux d'infestation	Response 2 effet nutritionnel
	4	1	Block 1	50.000	25.000	25.000	1.08	22.3
		7	Block 1	46.667	29.167	24.167	2.78	20.7
		5	Block 1	50.000	27.500	22.500	1.69	20.37
		6	Block 1	50.000	30.000	20.000	1.81	20.96
		9	Block 1	49.167	29.167	21.667	2.19	19.81
		14	Block 1	47.500	27.500	25.000	1.53	18.85
		13	Block 1	50.000	30.000	20.000	1.81	20.96
		12	Block 1	50.000	25.000	25.000	1.08	22.3
		3	Block 1	47.500	30.000	22.500	1.93	20.86
		11	Block 1	45.000	30.000	25.000	4.19	23.24
		10	Block 1	48.333	28.333	23.333	1.81	15.97
		8	Block 1	49.167	26.667	24.167	2.16	16.95
		1	Block 1	45.000	30.000	25.000	4.19	23.24
		2	Block 1	47.500	27.500	25.000	1.53	18.85

Tableau 12: Matrice des mélanges avec réponses étudiées.

3.2. Etude de l'optimisation et vérification de la prédictibilité des modèles

L'analyse de la variance (ANOVA) des modèles suggérés représentant les plans de mélanges utilisés sont exposés respectivement dans les tableaux 1, 2 et 3.

Les facteurs significatifs des sources de variances des modèles (probabilité inférieur à 5%) ont été déterminés en réalisant une analyse de variance (ANOVA) sur les résultats expérimentaux obtenus.

Tableau 13 : Le modèle mathématique suggéré pour traitement des résultats

Source	Squares	df	Square	Value	Prob > F	
Mean vs Total	63.35	1	63.35			
Linear vs Mean	9.30	2	4.65	16.63	0.0005	
<u>Quadratic vs Lin</u>	<u>2.24</u>	<u>3</u>	<u>0.75</u>	<u>7.11</u>	<u>0.0121</u>	<u>Suggested</u>
Sp Cubic vs Qua	0.31	1	0.31	4.14	0.0812	
Cubic vs Sp Cub	0.11	2	0.057	0.68	0.5461	Aliased
Residual	0.41	5	0.083			
Total	75.73	14	5.41			

L'analyse de la variance (ANOVA) présentée dans les tableaux 1 et 2 ; nous suggère des modèles quadratiques reliant respectivement les réponses (taux d'infestation et taux de croissance) aux variables (VLC, EF, EE). Les valeurs des coefficients de détermination R^2 indiquent pour toutes les réponses étudiées ont une bonne adéquation entre les modèles adoptés et les valeurs expérimentales.

Les tests statistiques (test F) issues des tableaux 1 ; dénotent que les effets principaux de régression sont significatifs avec une probabilité p-value inférieure à 0,05 et les termes de chacun des modèles sont aussi statistiquement significatifs. De ce fait, les termes AB, AC et BC sont significatifs. Le manque d'ajustement est non significatif, il est démontré par une probabilité élevée, (p-value > 0,05) ceci indique que les modèles sont bons et convenablement ajustés.

Tableau 14 : Résumé de l'ajustement des modèles mathématiques adoptés pour les réponses des paramètres fonctionnelles des mélanges composés.

	Taux d'infestation	Taux de croissance
R^2	0.9322	0.7901
R^2 -ajusté	0.8898	0.6589

R^2 : Coefficient de corrélation, R^2 -Ajusté : coefficient de corrélation ajusté.

Le coefficient de détermination R^2 définit le ratio de la variation des réponses qui est expliqué par le modèle, Plus la valeur du R^2 est proche de 1, plus la qualité d'ajustement du modèle est bonne.

R²-Ajusté est une correction apportée à la valeur de R² en fonction du nombre de degré de liberté (**R² : 0.9322 & R² :0.8898**) (Tableau 2et tableau 3.a, 3.b).

D'après les résultats on constate que les valeurs des coefficients de détermination R² indiquent pour toutes les réponses étudiées une bonne adéquation entre les modèles adoptés et les valeurs expérimentales.

Tableau 15 : Model quadratique des mélanges

a. Model taux infestation (bioinsecticide) :

Model Summary Statistics						
Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS	
Linear	0.53	0.7515	0.7063	0.6222	4.68	
<u>Quadratic</u>	<u>0.32</u>	<u>0.9322</u>	<u>0.8898</u>	<u>0.6859</u>	<u>3.89</u>	<u>Suggested</u>
Special Cubic	0.27	0.9574	0.9209	0.6018	4.93	
Cubic	0.29	0.9666	0.9131	-2.9956	49.47	Aliased

b. Model taux de croissance (effet nutritionnel) :

Model Summary Statistics						
Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS	
Linear	2.28	0.0615	-0.1091	-0.5077	91.91	
<u>Quadratic</u>	<u>1.26</u>	<u>0.7901</u>	<u>0.6589</u>	<u>0.2600</u>	<u>45.11</u>	<u>Suggested</u>
<u>Special Cubic</u>	<u>0.94</u>	<u>0.8985</u>	<u>0.8116</u>	<u>-0.4972</u>	<u>91.27</u>	<u>Suggested</u>
Cubic	0.45	0.9831	0.9561	-1.0191	123.08	Aliased

3.3. Analyse de modèle choisis

Les tracés de l'évolution des valeurs prédites des propriétés fonctionnelles des mélanges composées en fonction des valeurs expérimentales (**Actual**) sont montrés par les figures ci-dessus :

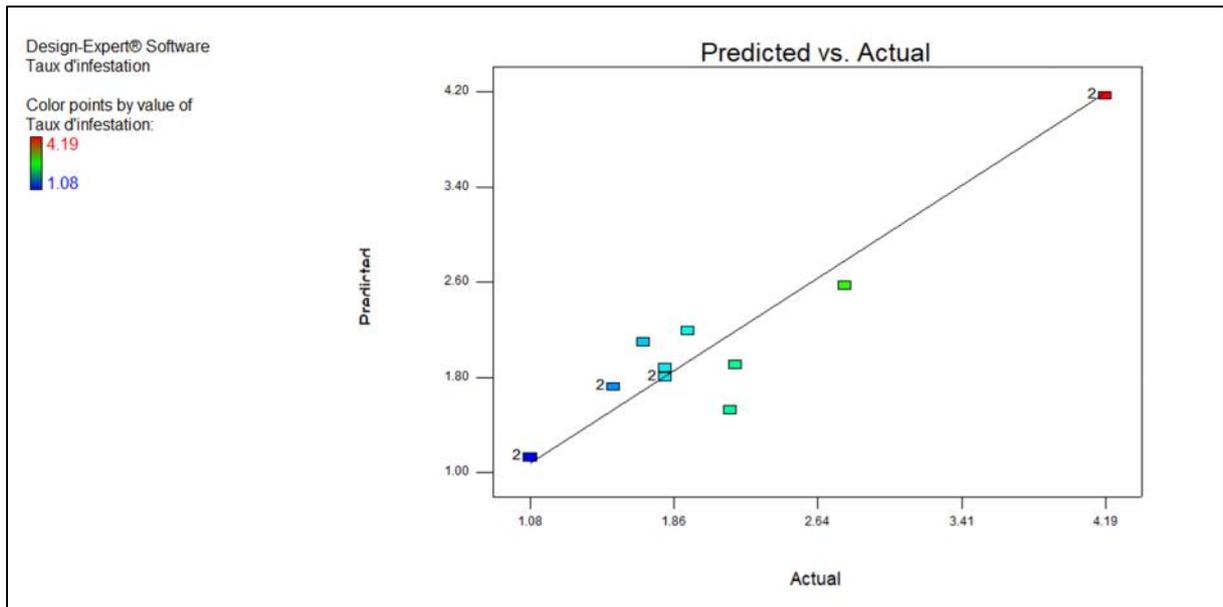


Figure 30 : Tracé illustrant l'évolution de la valeur prédite de taux d'infestation en fonction de la valeur expérimentale (Actual)

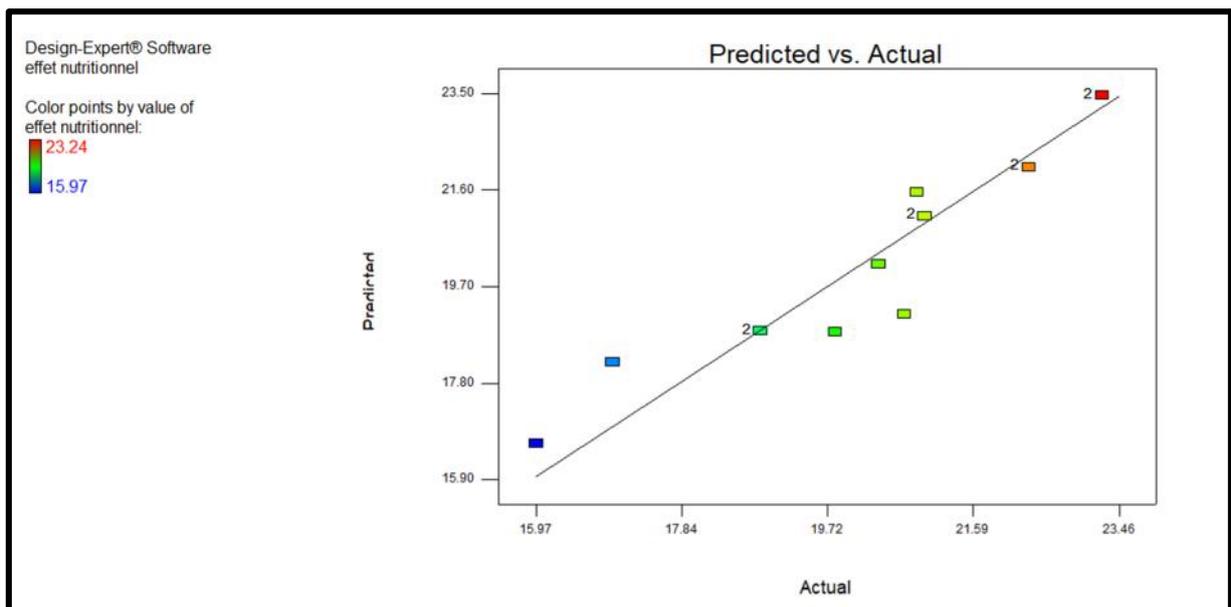


Figure 31 : Tracé illustrant l'évolution de la valeur prédite de l'effet nutritionnel en fonction de la valeur expérimentale (Actual)

Les courbes d'iso-réponses présentées dans les figures ci-dessus et engendrées par le modèle validé montrent les interactions entre les variables (A ; VLC, B : EF, C : EE) et les réponses observées (taux d'infestation et taux de croissance).

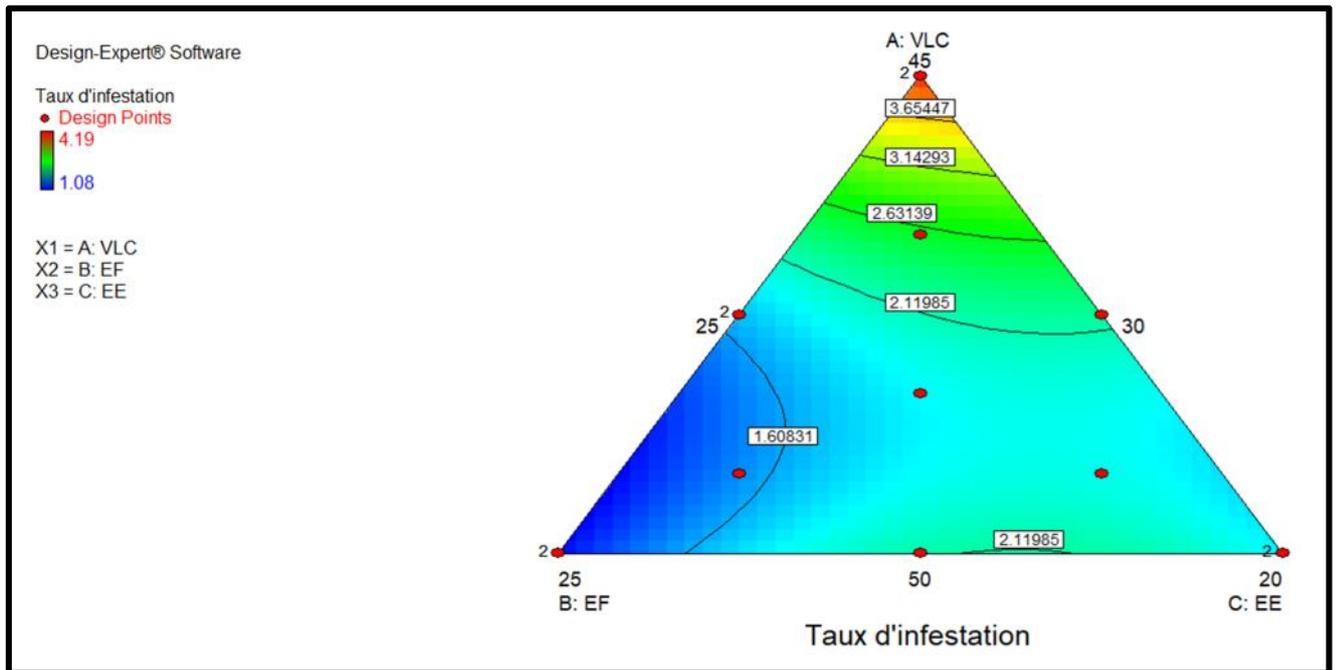


Figure 32 : Graphes d'iso-réponses illustrant l'influence des trois facteurs (VLC, EF, EE) sur le taux d'infestation (effet bioinsecticide)

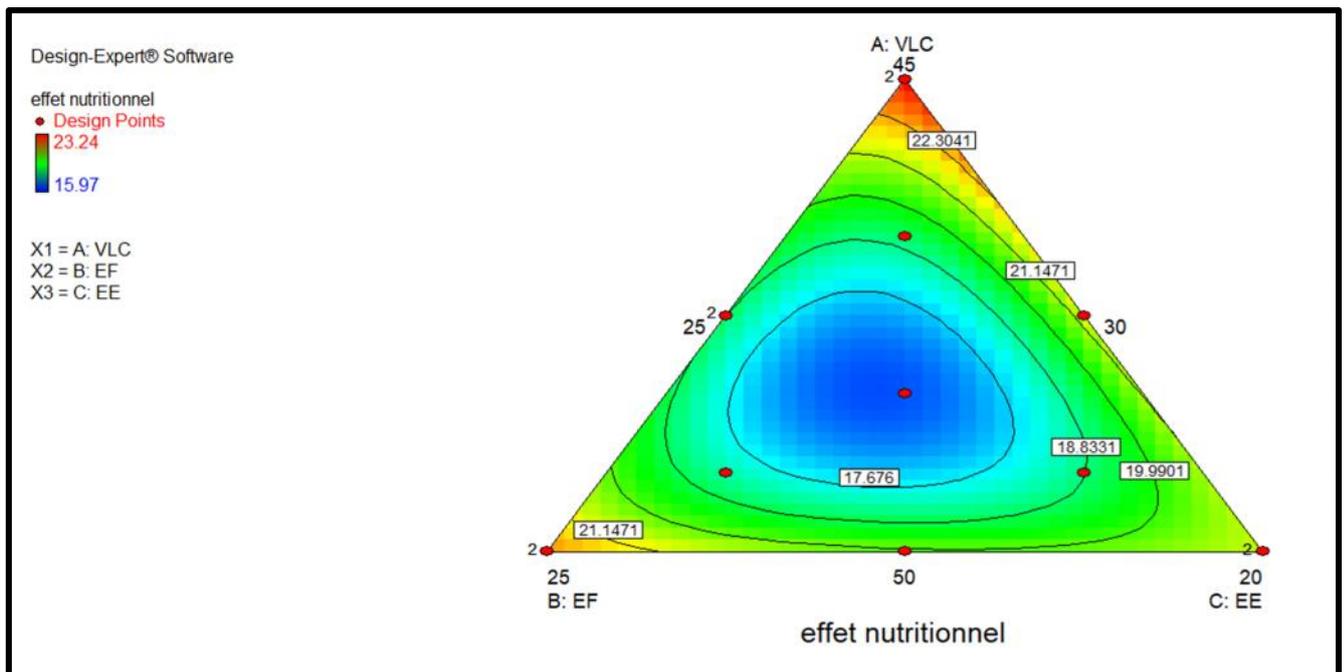


Figure 33 : Graphes d'iso-réponses illustrant l'influence des trois facteurs (VLC, EF, EE) sur le taux de croissance (effet nutritionnel)

3.4. Optimisation des modèles

L'analyse multicritère à l'aide de la fonction désirabilité est adoptée pour déterminer la formulation ayant des réponses optimales. Les contraintes imposées sur les réponses (**Tableau 14 et figure 34**) sont :

- Taux d'infestation maximum
- Taux de croissance (Effet nutritionnel) maximum

Les résultats montrent que la désirabilité est proche 1 lorsque les conditions optimales multicritères suivantes sont réalisées : VLC (A) = 50 ml, EF (B) = 25 ml et EE (C) = 25 ml. (**FIGURE 35 et 36**)

Tableau 16 : Contraintes d'optimisation

Name	Goal	Lower	Upper
		Limit	Limit
VLC	is in range	45	50
EF	is in range	25	30
EE	is in range	20	25
Taux d'infestatio	minimize	1.08	4.19
effet nutritionnel	maximize	15.97	23.24

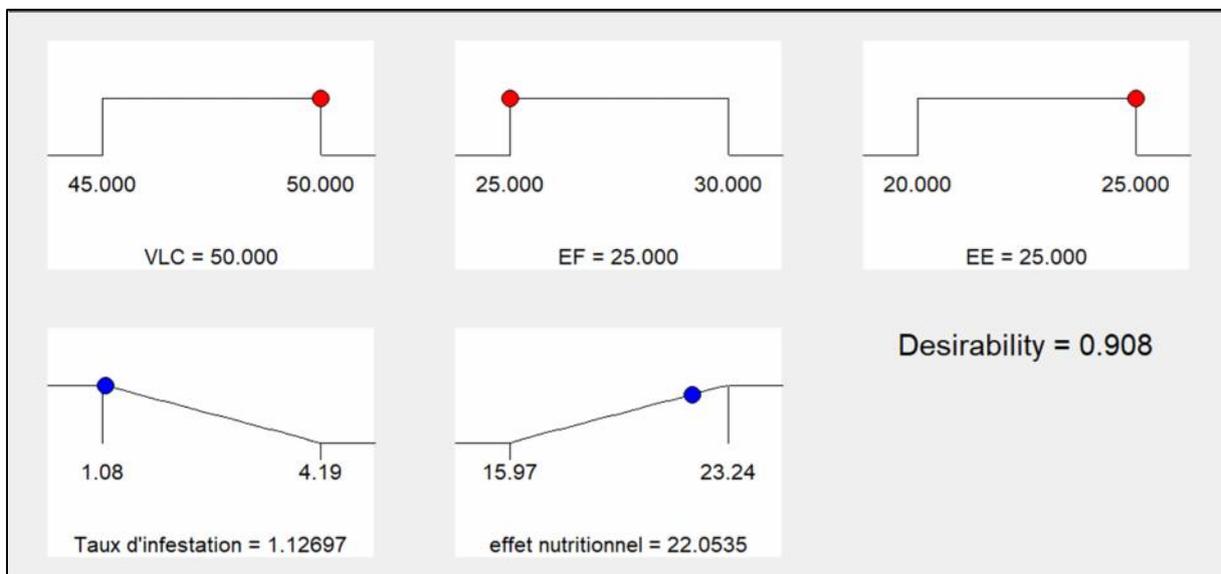


Figure 34 : Les intervalles des réponses (taux d'infestation et taux de croissance) et facteurs (VLC, EE, et EF)

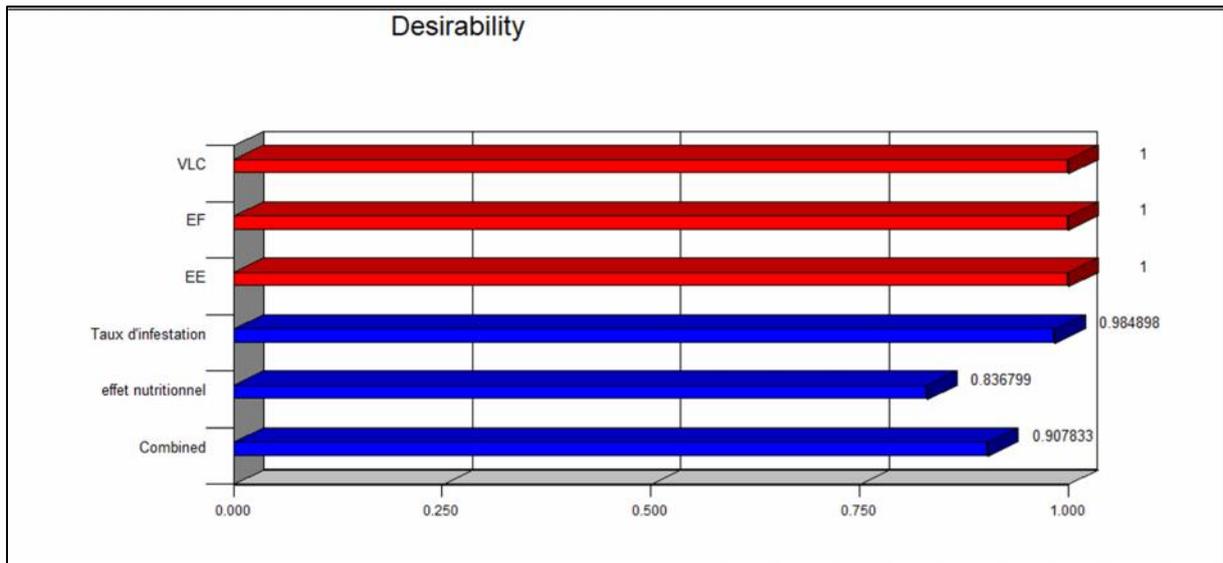


Figure 35 : Histogramme des valeurs de désirabilité de mélange 1

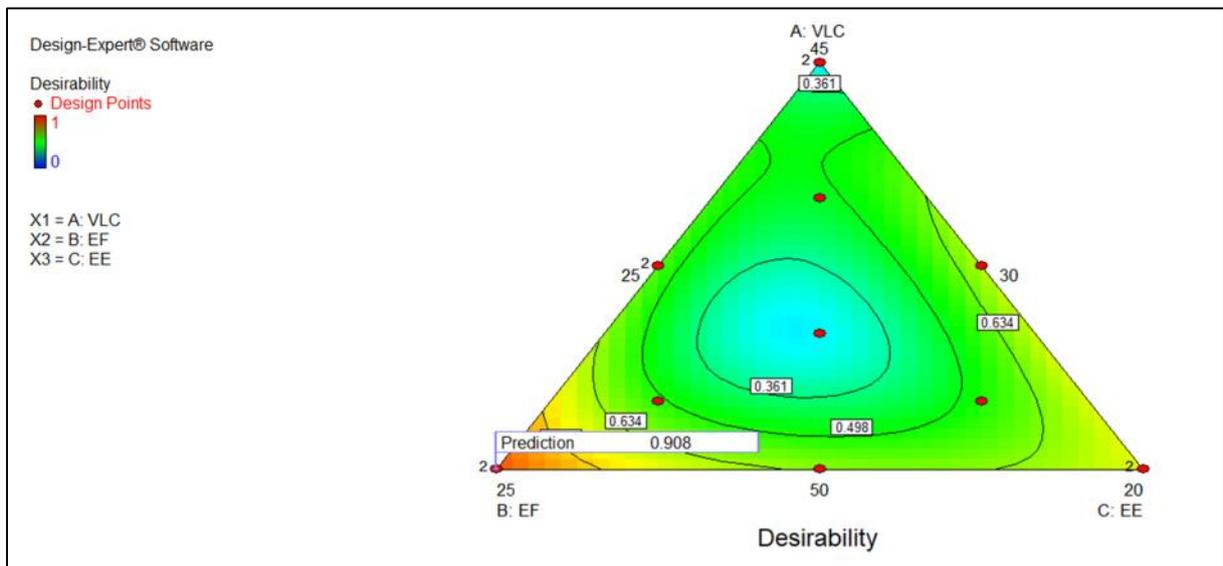


Figure 36 : Graphes d'iso-réponses illustrant la désirabilité de mélange 1

Cela signifie que les valeurs prédites sont proches des valeurs réalisées lors de l'expérimentation.

La discrimination, porte sur la **notion de désirabilité**. Lorsque la désirabilité se proche de 1 les résultats sont plus signifiantes (**tableau 17**).

Solutions						
Number	VLC	EF	EE	Taux d'infestation	effet nutritionnel	Desirability
1	<u>50.000</u>	<u>25.000</u>	<u>25.000</u>	<u>1.12697</u>	<u>22.0535</u>	<u>0.908</u>

Selected

Tableau 17 : des paramètres et réponses du mélange 1 avec la désirabilité.

L'équation du modèle validé qui montre la relation entre les variables (A, B, C) et le taux d'infestation s'écrit sous la forme suivante :

$$\text{Taux d'infestation} = +430.79726 \cdot \text{VLC} + 219.99205 \cdot \text{EF} + 47.70595 \cdot \text{EE} - 1484.92637 \cdot \text{VLC} \cdot \text{EF} - 1267.85719 \cdot \text{VLC} \cdot \text{EE} + 1006.42853 \cdot \text{EF} \cdot \text{EE}.$$

L'équation du modèle validé qui montre la relation entre les variables (A, B, C) et l'effet nutritionnel s'écrit sous la forme suivante :

$$\begin{aligned} \text{Effet nutritionnel} = & +24366.48675 \cdot \text{VLC} + 57207.20614 \cdot \text{EF} + 70396.64533 \cdot \text{EE} - \\ & 1.62620\text{E}+005 \cdot \text{VLC} \cdot \text{EF} - 1.88731\text{E}+005 \cdot \text{VLC} \cdot \text{EE} - \\ & 3.14948\text{E}+005 \cdot \text{EF} \cdot \text{EE} + 6.25311\text{E}+005 \cdot \text{VLC} \cdot \text{EF} \cdot \text{EE} \end{aligned}$$

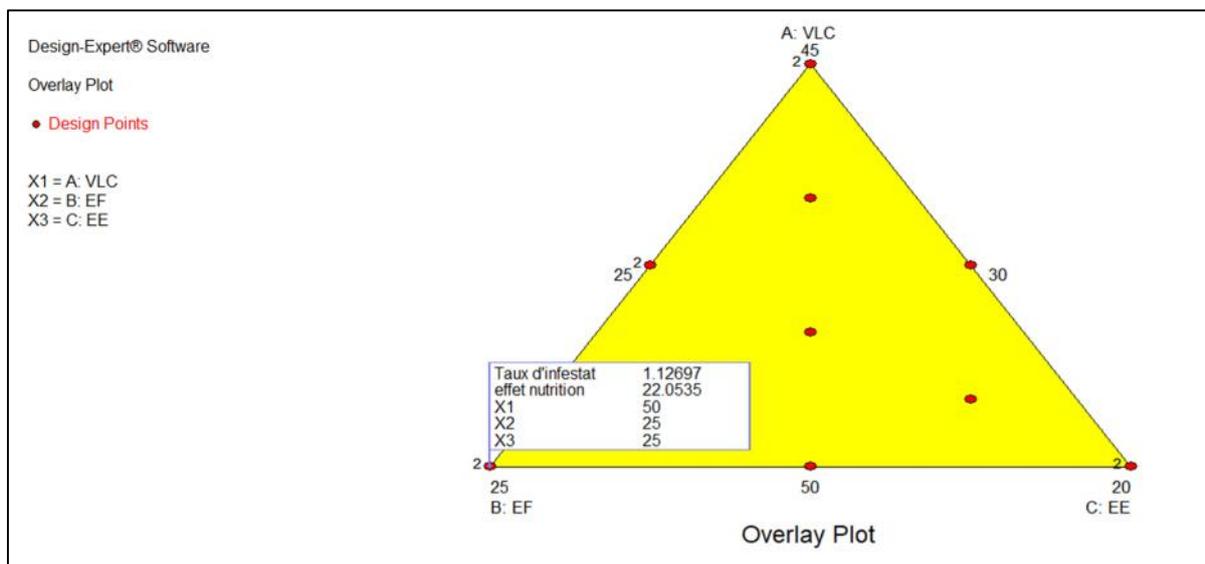


Figure 37 : Illustration de l'étude graphique en 2D de la zone de compromis acceptable

Chapitre IV : Discussion

Chapitre IV : Discussion

Les substances d'origine végétale ont toujours constitué source majeure pour la fabrication de nouveaux produits à visée thérapeutique propriétés. De nombreux travaux ont montré que les extraits de plantes ont été généralement identifiés comme d'importants produits naturels à activité insecticide (**Rahuman et al., 2009**).

Dans ce contexte, cette étude préliminaire visant à rechercher des processus pour optimiser l'efficacité de nouvelles molécules bioactives par la proposition de mélange de bioproduits (extraits de plantes et bioengrais).

Les résultats auxquels nous avons aboutis en traitant les effets des mélanges avec des ratios de vermicompost et d'extraits méthanoliques de *Salix sp* sur les paramètres de croissance et l'état phytosanitaire du haricot nous ont permis de dégager les hypothèses suivantes :

Le mélange 1 composé de VLC (A) = 50%, EF (B) = 25% et EE (C) = 25%. ; favorise la croissance de la plante en longueur et augmente la surface foliaire ; aussi il joue un rôle très important dans la protection de la plante contre les ravageurs et même la diminution du taux d'infestation (Fig. 38). En revanche les autres mélanges avec différents ratios n'ont pas exprimés un effet significatif comparés au mélange 1. Les effets signalés vont dans un sens se rapportant soit à la réduction des infestations soit à l'accroissement végétatif.

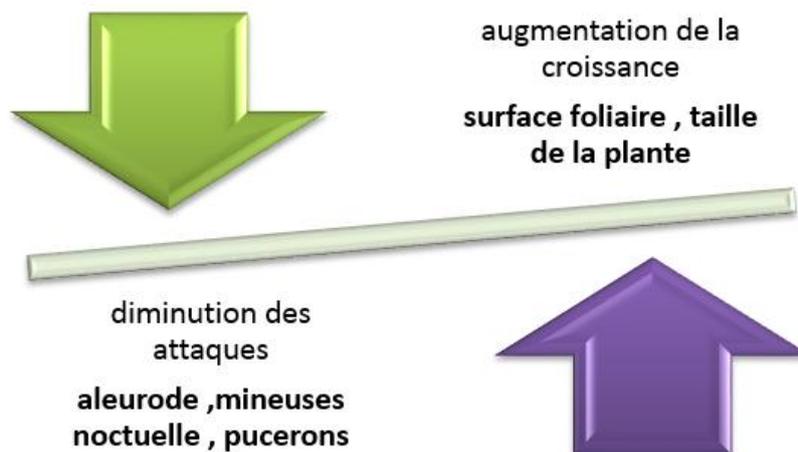


Figure 38 : Schéma synthétique des effets du mélange 1 du jus de vermicompost et l'extrait méthanolique de *Salix sp* sur l'état phytosanitaire et la croissance de l'haricot vert.

Les mélanges 2, 3, 4, 5, 6, 9,10, 11 et 12 à base de jus lombricompost et les extraits méthanoliques de *Salix sp.* à ratios différents n'agissent pas clairement sur la croissance et même sur l'état phytosanitaire de la plante, car ils peuvent augmenter la croissance mais influent négativement sur la défense de la plante (**Fig. 39**).

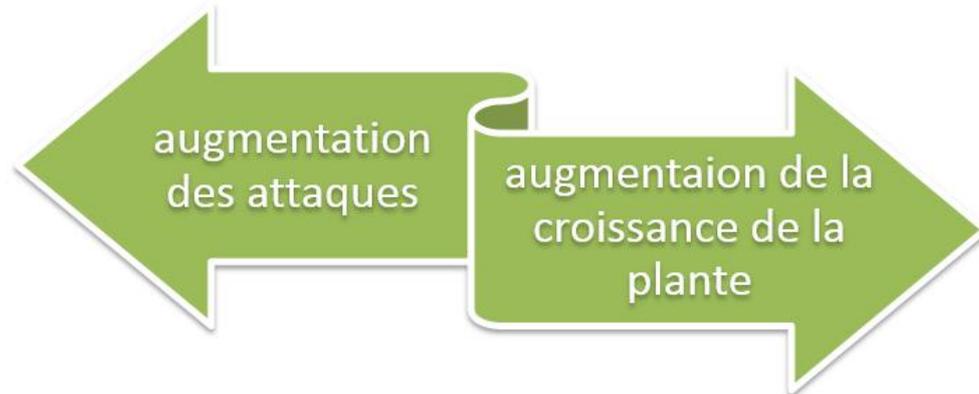


Figure 39 : Schéma synthétique des effets du mélange 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11,12 du jus de vermicompost et les extraits méthanoliques de *Salix sp.* sur l'état phytosanitaire et la croissance de l'haricot vert.

Les résultats concernant les paramètres de croissance affichent une croissance de la phytomasse des plantules qui exposent un développement très rapide et une surface foliaire très importante, sous l'effet des mélanges.

Un compost de bonne qualité peut être utilisé avec succès dans le contrôle biologique des maladies entre autres dans les cultures maraîchères (**Fuchs, 2002 ; Fuchs et Larbi, 2004**) et dans l'horticulture, en particulier pour les cultures hors sol (**Inbar et al., 1993**).

L'extraits aqueux de composts peuvent aussi avoir des effets positifs contre les maladies foliaires (**Weltzien, 1992 ; Scheuerell et Mahaffe, 2002**). Ces effets protecteurs ne se limitent pas à de simples observations au laboratoire, mais leur efficacité a souvent été observée dans la pratique. L'utilisation d'un compost à base de fumier a pu réduire d'environ 80 % à 90 % la maladie du gazon de golf «Dollar Spot» causée par le champignon *Sclerotinia homeocarpa* (**Block, 1997**).

Widmer et al. (1998), ont aussi constaté que l'apport de compost d'ordures ménagères (compost de cuisine) a protégé des boutures d'agrumes contre *Phytophthora nicotiana*.

Selon **Voland et Epstein(1994), Craft et Nelson(1996),Hoitinketal.,(1997),IssanayakeetHoy (1999), Fuchs (2000) et Fuchs et Larbi(2004)**, une quantité de compost trop importante peut avoir une influence négative sur la croissance des plantes, probablement à cause d'une teneur en sels trop élevée. Tous les composts ne possèdent pas le même potentiel à protéger les plantes contre les maladies.

D'autre part ,les *Salix sp* .ont un rôle très important dans la protection de l'environnement ; il existe plus de 300 espèces répartie à travers le monde principalement dans les zones fraîches et humides, ils colonisent les berges et les rivières.

On propose comme hypothèse aussi, la présence des molécules à effet insecticide dans certaines plantes comme trouvé dans des études citant **(Berini et al.,2018)**,qui dénonce que les chitinases sont particulièrement intéressantes , car ils ont des activités fongicides, insecticides et nématocides. Ici, les connaissances actuelles sur l'action biopesticide des chitinases microbiennes et virales sont passées en revue, ainsi qu'une analyse critique de leur développement futur en tant que biopesticides.

Selon **Adrangi et al.(2018)**,qui annonce aussi que les chitinases sont également synthétisées par des insectes, des virus, des plantes et des vertébrés à différentes fins, notamment morphogenèse, pathogénie, parasitisme et défense

En agriculture, l'écorce de saule est utilisé comme fongicide avec des propriétés d'éliciteur via les mécanismes de défenses de la plantes. Ce qui lui confère d'être un excellent stimulateur naturel grâce aux polyphénols, phénols et surtout l'acide salicylique qu'elle contient. L'acide salicylique est un élément très important dans la protection des plantes. Il provoque la production de stilbènes avant l'attaque de mildiou et autres maladies cryptogamiques. La synthèse de protéines de résistance lors de l'attaque réduisant la sporulation, elle permet de bloquer la réponse à une blessure provenant de l'acide abscissique qui est une hormone de stress libérée par toute les plantes en réponse à un ravageur ou maladie. Il induit la fermeture rapide des stomates et la fermeture des secteurs blessés de la plante. L'acide salicylique a également le pouvoir de diminuer l'impact de l'humidité en contrôlant l'ouverture des stomates de la plante. L'écorce de saule a été très longtemps utilisée pour le bouturage des plantes, un juste retour au naturel. Différentes appellation de l'écorce de saule sont mentionnées, on parle d'osier ou de spiruline végétale **(anonyme, 2015)**.

L'Étude menée par **Agale et al.(2019)**, a révélé que tous les traitements biopesticides sélectionnés se sont avérés plus sûrs pour les ennemis

naturels, ce qui a contribué à renforcer l'activité de la population d'ennemis naturels dans la culture du pois D'Angole. Cela est compatible avec le but de notre étude qui est la réalisation d'un bioinsecticide efficace contre tout nuisible et non néfaste aux ennemis naturels et environnement.

En résumé, plusieurs plantes indigènes que l'on trouve couramment dans le bassin méditerranéen présente une activité insecticide importante contre plusieurs insectes des cultures maraîchères, alors que la demande mondiale de biopesticides augmente, de même que la demande des consommateurs pour une utilisation réduite des insecticides conventionnels. En outre, les extraits des espèces évaluées ont présenté de multiples mécanismes d'action, qui peuvent être considérés comme un attribut positif à leur large utilisation. Dans ce l'effort, le développement de formulations appropriées de biopesticides, telles que les suspensions de capsules, seront cruciales en termes d'accroître l'efficacité des insecticides à base de produits naturels en conjonction avec leur effet résiduel d'augmentation. La normalisation de la composition chimique de ces insecticides doit être sérieusement prise en compte, en tant qu'espèces différentes, ou même différentes populations de ces espèces, varient souvent remarquablement dans la composition et le confinement d'un composé donné. En conséquence, l'application des biopesticides tels que les extraits de plantes peuvent être utilisés pour la lutte contre les insectes, mais de nombreuses mesures doivent être prises pour être acceptables par les agriculteurs **(Karakanis et Athanassio, 2020)**.

Conclusion

A l'issue de la présente étude consacré essentiellement à l'étude des paramètres de croissance du *Phaseolus vulgaris* et les paramètres phytosanitaire sous l'effet de l'application foliaire des différents mélanges du bioproduit a base du jus de lombricompost brut et l'extrait méthanolique du *Salix sp.* Il nous a paru intéressant d'exposer les principaux résultats auxquels nous avons aboutis.

Les résultats relatifs aux paramètres phytosanitaires des ravageurs (aleurode, puceron mineuse, acarien) montrent que le mélange 1 du vermicompost liquide et extrait de *Salix sp* exprime les meilleurs résultats par rapports aux autres mélanges, en induisant une diminution remarquable sur les taux d'infestation durant toute la période d'exposition. Cette réduction d'infestation est accompagnée par des taux d'accroissement important sur le plan végétatif.

Le bioinsecticide composé des ratios de 50 ml du vermicompost liquide, 25ml d'extrait de feuilles de *Salix sp* et 25ml d'extrait d'écorce de *Salix sp* ; touche sévèrement l'activité des ravageurs par rapport aux autres mélanges qui n'avaient pas cette influence en terme de réduction d'infestation.

Le développement de la surface foliaire ainsi que la taille des plants était très important dans presque tous les mélanges grâce à l'extrait de vermicompost qui a exprimé sa capacité nutritionnelle.

La modélisation mathématique par plans de mélanges offre la possibilité de quantifier, extraire et hiérarchiser les effets de nombre composants du bioproduit à base de jus de lombricompost brut et les extraits du *Salix sp* ; et notamment étudier l'influence des proportions des constituants de ce bioproduit sur les réponses.

L'ensemble de ce travail, à but appliqué, a conduit à l'obtention de résultats qui nous permettent de mieux comprendre la capacité des bioproduits de lever les contraintes phytosanitaires et nutritionnelles. En terme de perspectives, il conviendrait d'exploiter la totalité des résultats obtenus afin d'assurer un programme de gestion des cultures durablement, d'analyser la capacité de chaque mélange, pour confirmer ou infirmer l'importance de l'utilisation du principe d'enrichissement du vermicompost pour atténuer l'effet indésirable et aider la plante à résister aux facteurs biotique et abiotique. Il convient aussi d'adapter au mieux leur utilisation dans des stratégies alternatives ou complémentaires de la gestion des cultures.

Références bibliographiques

- 1 **Adrangi .P., Faramarzi M.,2013 , Karasuda N., 2003 ; Shinoda M., 2001:** Microbial and viral chitinases Attractive biopesticides for integrated pest management Francesca ;biothechnological advances.
- 2 **Atkinson C., Donev A., 1992:** Optimum experimental design, oxford Clarendon
- 3 **Agale V., Rangarao C., 2019:** Effect of selected bio- pesticides on natural enemies in pigeonpea (CajanuscajanL.). journal of entomology and zoologystudies.
- 4 **Anestis C., Karkanis M., 2020:** Natural insecticides from native plants of the Mediterranean basin and their activity for the control of major insect pests in vegetable crops. shifting from the past to the future ; Springer-Verlag GmbH Germany.
- 5 **Anonyme., 2016 :** que ce q un biofertilisant .comprendre les biofertilisants en ligne disponible sur <http://www.biofertilisants.fr/comprendre-les-biofertilisants/biofertilisant-quest-ce-cest-ca-sert/> consulté le 01/10/2020.
- 6 **Anonyme., 2017 :** agriculture biologique quelle réglementation ? en ligne disponible sur <https://agriculture.gouv.fr/lagriculture-biologique-1> consulté le 08/10/2020.
- 7 **Anonyme., 2018 :** les biopesticides.10/2020
- 8 **Anonyme., 2016 ;** Histoire de l'agriculture biologique et la création de la FNAB
en ligne <https://www.fnab.org/un-reseau-des-valeurs-des-hommes/historique/2-lhistoire-de-lagriculture-biologique-a-travers-quelques-ouvrages#:~:text=Plusieurs%20courants%20d'id%C3%A9es%20ont,facteurs%20de%20production%20d'origine> consulté le 08/10/2020.
- 9 **Anonyme.,2020;**au jardin mineuse, en ligne <https://www.aujardin.info/fiches/mineuse.php> consulté le 03/10/2020.
- 10 **Anonyme., 2020 :** manger bio.topsant. en ligne disponible sur <https://www.topsante.com/nutrition-et-recettes/equilibre-alimentaire/manger-bio>(consulté le 4/09/2020).

- 11 **Anonyme., 2020** : l'histoire de la bio .produire bio en ligne disponible sur <https://www.produire-bio.fr/cest-quoi-la-bio/histoire-de-la-bio/>
Consulté le 02/09/2020.
- 12 **Anonyme., 2019** : la grainetière – haricot coco rose en ligne disponible sur <http://www.lagrainetiere.com/haricot-coco-rose/> consulté le 02/10/2020.
- 13 **Anonyme., 2020** : le monde des adjuvant .helioterpen en ligne disoponible sur <https://www.helioterpen.fr/fr/pages/le-monde-des-adjuvants> consulté le 12/09/2020.
- 14 **Bedre. M., 2019** : les biopesticides. Agronomie info, en ligne <https://agronomie.info/fr/les-biopesticides/> consulté le 08/10/2020.
- 15 **Benasseur .M., 1998** : les adjuvants en agricultures : historique caractérisation, et utilisation .malherbologie,volume 2, 1.
- 16 **Benaazok. S., Djazouli .Z., Stanley. L. ; 2019** ; Vermicompost leachate as a promising agent for priming and rejuvenation of salt-treated germinating seeds in Brassica napus.Communications in Soil Science and Plant Analysis
- 17 **Berini. F., Katz. C., Gruzdev .N., 2018** ; Microbial and viral chitinases: Attractive biopesticides for integrated pest management, Flavia Marinelli.;biological advances
- 18 **Camus G., 2006** ; que ce que un produit bio planet vie en ligne disponible sur:<https://planet-vie.ens.fr/thematiques/ecologie/production-agricole-agrosystemes/qu-est-ce-qu-un-produit-bio> consulté le 11/09/2020 (consulté le 10/09/2020).
- 19 **Chaichi .W, Djazouli . Z.E., Zebib .B. & Merah. O. ;2018.** Effect of Vermicompost Tea on Faba Bean Growth and Yield. Compost Science &Utilization
- 20 **Catherine .D., et Emmanuelle . S ; 2017** ;-Aleurode : les traitements naturels contre la mouche blanche. détente jardin ,109,supplément en ligne disponible sur <https://www.detentejardin.com/en-pratique/les-soins-pb-solutions/aleurode-les-traitements-naturels-contre-la-mouche-blanche-4937> consulté le 03/10/2020.
- 21 **Garpy J., 1999** ; plans d'expérience pour surface de réponse”, Dunod, paris, 409p.
- 22 **Guermache. L., Kobbi .S., Aroun .M., Merrah .O. et Djazouli .Z.E. ;2018** : Evaluation des changements induits par différents types de vermicompost sur les

traits morpho-physiologique et biochimique du haricot vert. *Agrobiologia*, 8(2) : 1066-1077.

- 23 **Jovana. D et al ; 2013** : Les biopesticides, compléments et alternatives aux produits phytosanitaires chimiques . *Biotechnol. Agron. Soc.* , 2014 ,18(2), 220-232.
- 24 **Jean – jacques .D., Jeanne. F., 2000** : plans d'expériences applications à l'entreprise- édition technique 27 Rue Ginaux 75737 Paris cedex.
- 25 **Rahmani .D., 2019** : Pesticides empoisonnent à petite dose .el waten
- 26 **Sudo, Get Sudo,MC., 2000** : les plans d'expériences AFNOR, paris, 405 p.
- 27 **Tchaker .F., djazouli et al ;2016** Toxicity Evaluation of *Dittrichiaviscosa* L's Aqueous Extracts in Combination with Bio-Adjuvant *Silenefuscata* on *Chaitophorus leucomelas* Koch. (Hom.,Aphididae) and on Biocenotic Resumption of Functional Groups, oatao .