

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ DE BLIDA 1

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biotechnologie

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master
académique en sciences de la nature et de la vie

Option : phytopharmacie appliquée

Optimisation d'une formulation d'un bioproduit à base de lombricompost par une modélisation mathématique

Soutenu le : 2 Juillet 2015

Présenté par : Melle MESGHOUNI Salima nour el houda

Devant le jury composé de :

Mr. FELLAG M.	M.A.A. U.S.D.B.	Président
Mr. DJAZOULI Z. E.	M.C.A. U.S.D.B	Promoteur
Mr. AROUN M.E.F.	M.A.A. U.S.D.B.	Co- promoteur
Mr. MOUSSAOUI K.	M.A.A. U.S.D.B.	Examineur

Année Universitaire 2014/2015

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage, la force, la volonté, et la patience pour bien mener ce travail.

Je tiens à exprimer ma gratitude, mes sincères remerciements, ma reconnaissance et mes respects à mon promoteur **Dr DJAZOULI Z.E.** qui m'a fait l'honneur de bien vouloir encadrer et diriger ce travail et pour son aide, ses conseils précieux, sa discrétion, sa rigueur et son soutien moral ont été pour beaucoup dans l'aboutissement de ce travail.

Mes sincères remerciements vont à mon Co-promoteur **AROUN M.E.F** pour son aide et ses conseils, je le prie d'accepter le témoignage de ma sincère reconnaissance et pour ses enseignements.

Mes vifs remerciements et mes respects vont à **Mr. FELLAG** qui m'a fait l'honneur de présider le jury.

Je remercie très sincèrement **Mr. MOUSSAOUI K** D'avoir bien voulu accepter d'être membre de jury et d'examiner ce travail.

À tous mes enseignants et mes professeurs qui ont assuré ma formation sans oublier les personnels du département Biotechnologie de Blida1.

Je remercie également mes très chère parents qui m'ont soutenu le long de mes années d'études avec amour et patience et qui ont sacrifié de tout pour me voir heureuse et réussie, que dieu vous garde pour moi.

Je remercie vivement mes sœurs et mon frère pour leurs soutiens et encouragements.

A tous mes ami(e)s retrouve mes sincères remerciements de m'avoir soutenue par leur sympathie.

Enfin, j'exprime ma profonde reconnaissance à toutes les personnes qui m'ont aidée d'un sourire, d'une critique, d'un encouragement ou d'un service.

Dédicace

Au nom d'ALLAH, le tout Miséricordieux, le très Miséricordieux Je remercie ALLAH le tout Puissant, clément et Miséricordieux de m'avoir motivé à réaliser ce modeste travail

Ensuite je remercie infiniment mes parents, qui m'ont encouragé et aidé à arriver à ce stade de formation.

Je dédie ce modeste travail à ma très chère mère, qui m'a accompagné durant les moments les plus pénibles de ce long parcours de mon éducation, celle qui a fait preuve de ces plus copieux desseins pour me permettre de goûter le fardeau de ce monde et de chercher la voie de ma vie avec ces précieux conseils, donc je devais incessamment être de grande compétence et motivation. Cependant. Je prie ALLAH le Miséricordieux qu'il te portera récompense, car la mienne ne sera guère complète, Et te protège et te garde en bonne santé.

A mon père qui a sacrifié sa vie afin de me voir grandir et réussir dans le parcours de l'enseignement. Celui qui a toujours resté à mes côtés dans les moments rudes de ma vie.

A mon brave frère ; Med Saïd et à mes sœurs Amina, Kaoutar, ma petite sœur Rim.

A tous mes oncles et mes tantes et à toute la famille MESGHOUNI et La famille DJEBALI.

A mon promoteur Djazouli et mon Co- promoteur Mr. Aroun

A tout mes ami(e)s

A tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce mémoire.

Enfin, à tous ceux qui me reconnaîtront

Salima

Optimisation d'une formulation d'un bioproduit à base de lombricompost par une modélisation mathématique

Résumé

L'agriculture durable est appuyée sur l'emploi des produits biologiques pour éviter les effets néfastes des produits chimiques duquel lombricompost qui est une matière peuvent avoir un caractère mixte du fait de leur mode d'action à la fois de la stimulation de la défense naturelle de la plante contre à un stress biotique et biofertilisants qui est riche en nutriment pour maintenir la nutrition des plantes par stimuler sa croissance.

L'étude a porté sur l'effet comparé de deux doses de jus de lombricompost brut formulés (la faible dose et la forte dose) par application foliaire sur les paramètres de croissance et de production ainsi que sur l'état sanitaire de l'haricot vert.

Les résultats montrent que le bioproduit formulé à base de jus de lombricompost brute formulé a un effet convenable. La forte dose de bioproduit est le plus efficace sur l'abondance et la densité de populations d'*Aphis fabae* et touche sévèrement l'activité biotique du puceron par rapport à la faible dose, ces résultats affirmé l'effet de bioproduit à la stimulation des systèmes de défense de *Phaseolus vulgaris* contre se bio agresseur. Ainsi les résultats déposent apparaitre que l'efficacité de bioproduit sur l'évolution des surfaces foliaires et la production florale sont véridique avec un meilleur effet pour la forte dose. Ces résultats assuré l'effet fertilisant de bioproduit.

Mots clefs

Jus de Lombricompost, Bioproduit, Dose, Biofertilisants, SND , *Phaseolus Vulgaris*, *Aphis Fabae*.

Optimization a formulation of a bioproduct based vermicompost by mathematical modeling

Abstract

Sustainable agriculture has relied on the use of organic products to avoid adverse effects of chemicals which vermicompost is a material can have a mixed character due to their mode of action of both the stimulation of natural defense plant against a biotic and biofertilizers that is rich in nutrients for maintaining plant nutrition by stimulating its growth.

The study compared the effect of two vermicompost raw juice formulated doses (low dose and high dose) by foliar application on the growth and production parameters and on the health status of the bean green.

The results show that the bioproduct formulated with raw vermicompost formulated juice has a suitable effect. The high dose of bioproduct is most effective on the abundance and density of populations of *Aphis fabae* and severely affects the biotic activity of aphids compared to the low dose, the results affirmed the bioproduct effect stimulation defense systems against *Phaseolus vulgaris* is bio aggressor. Thus the results file appear as the effectiveness of bioproduct on the evolution of leaf area and flower production are truthful with a better effect for the high dose. These results provided the fertilizing effect of bioproduct.

Key words:

Vermicompost Juice, Bioproduct, Dose, Biofertilisants, SND , *Phaseolus Vulgaris*, *Aphis Fabae*

استعمال النمذجة الرياضية في تحديد الصيغة الكيميائية المثلى للمنتج الطبيعي المستخلص من عصير الديدان

ملخص

الإنتاجية المتكاملة في الزراعة الحديثة تهدف إلى استعمال المواد الطبيعية لتفادي الأضرار الناجمة عن استعمال المواد الكيميائية ومن بين هذه المواد الطبيعية عصير الديدان الغني بالمواد العضوية والمعدنية و الذي له خاصية مزدوجة تتمثل في تغذية وحماية النباتات.

الهدف من هذه الدراسة يتمثل في مقارنة تأثير التركيز القوي والمخفف للصيغة الكيميائية لعصير الديدان الأصلي باستعماله على أوراق نبات الفاصوليا كمخصب وكمحفز دفاعي طبيعي ذاتي ضد تهديد حشرة المن.

حيث أظهرت نتائج الدراسة المفعول الايجابي لعصير الديدان المركب على كثافة وخصوبة حشرة المن وعلى نمو النبات بزيادة مساحة الأوراق وعدد الزهور وثبتت كفاءة وفاعلية التركيز القوي للمركب مقارنة بالتركيز المخفف الذي اظهر نتائج أقل.

كلمات المفتاح

عصير الديدان- منتج طبيعي - التركيز- مخصب طبيعي- محفز دفاعي - فاصوليا خضراء- حشرة المن

Liste des figures

Figure1	Exemples de défense constitutive mécanique de la plante (Stanislas, 2001).....	4
Figure2	Exemples de défenses constitutives chimiques de la plante (Stanislas, 2001).....	4
Figure3	Résistance active (induite) à effets comportementaux de la plante suite à la reconnaissance d'un éliciteur (Maumené et Bousquet, 2009).....	5
Figure4	ver de compost, <i>Eisenia foetida</i> (originale, 2015).....	11
Figure5	le compost issu de lombriculture (originale, 2015)	12
Figure6	le jus compost issu de lombriculture (originale, 2015).....	12
Figure7	Représentation géométrique d'un mélange à trois constituants à l'aide d'un triangle équilatéral (Goupy, 1999).....	18
Figure8	Représentation géométrique d'un mélange à quatre constituants par un tétraèdre régulier (Goupy, 1999).....	19
Figure9	site du travail expérimental la région de Touggourt (Google, 2015)....	21
Figure10	dispositif de production du jus de lombricompost.....	23
Figure11	Vue de dispositif expérimental.....	23
Figure12	schéma représentatif d'hypothèse.....	24
Figure13	Aspect général des plantes pulvérisé par les traitements.....	25
Figure14	Méthode d'estimation de la croissance foliaire.....	26
Figure15	Variation temporelle de l'abondance globale du puceron sous l'effet du bioproduit.....	29
Figure16	Etude comparé des différentes doses du bioproduit sur l'abondance	29
Figure17	Variation temporelle de la densité du puceron sous l'effet du bioproduit.....	30
Figure18	Etude comparé des différentes doses du bioproduit sur la densité.....	31
Figure19	Variation temporelle de la fécondité du puceron selon l'application foliaire des traitements.....	32
Figure20	Etude comparé des différentes doses du bioproduit sur la fécondité.	32
Figure21	Variation temporelle de la croissance de la surface foliaire sous l'effet du bioproduit.....	33
Figure22	Etude comparé des différentes doses du bioproduit sur la croissance foliaire.....	34
Figure23	Etude comparé des différentes doses du bioproduit sur la croissance foliaire.....	35
Figure24	Etude comparé des différentes doses du bioproduit sur la production florale.....	35
Figure25	Insertion des facteurs dans logiciel	37
Figure26	Insertion des réponses dans logiciel.....	38
Figure27	Les différentes formules du plan d'expériences pour 100ml de bioproduit.....	39
Figure28	Position des mélanges dans le domaine expérimental.....	39

Liste des tableaux

Tableau1	Exemples de défenses constitutives de la plante, mécaniques et chimiques (Stanislas, 2001).....	3
Tableau2	les types d'adjuvants et leurs activités (Smith, 2006).....	16
Tableau3	Représentation des facteurs retenus et leurs niveaux pour 100ml de bioproduit.....	36

Sommaire

Remerciement
Dédicaces
Résumé
Abstract
ملخص
Liste des figures
liste des tableaux

Introduction générale	1
Chapitre I : synthèse bibliographique	2
1. La stimulation de défenses naturelles des plantes (SDN)	2
1.1. Mécanismes de défenses naturelles des plantes.....	2
1.1.1. Défense passive.....	3
1.1.1.1. Les barrières structurales constitutives.....	3
1.1.1.2. Les barrières chimiques constitutives.....	4
1.1.2. Défense active.....	5
1.1.2.1. Reconnaissance de l'agent pathogène.....	5
1.1.2.2. Réponse précoce.....	6
1.1.2.3. La réaction d'hypersensibilité.....	6
1.1.2.4. Le renforcement de la paroi cellulaire.....	7
1.1.2.5. La synthèse de métabolites secondaires.....	7
1.1.2.6. La synthèse des protéines PR.....	7
1.1.2.7. Les voies de biosynthèse de phytohormones.....	8
1.2. Intérêt de la stimulation de système naturel de défense.....	9
1.2.1. Intérêt technique de SDN.....	9
1.2.2. Intérêt agronomique et environnemental de SDN.....	9
1.3. Place de SDN dans l'agriculture contemporaine.....	10
2. Généralité sur le lombricompostage	11
2.1. L'élevage des lombrics à compostage.....	11
2.2. Définition du compost.....	12
2.3. Le jus de compost.....	12
2.4. Composition du lombricompost.....	13
2.5. Les intérêts de l'utilisation de lombricompost.....	13
2.5.1. Intérêt comme bio fertilisant et inducteur du système de défense chez les plantes.....	13
2.5.2. Capacité à stimuler la croissance des végétaux.....	14
2.5.3. Capacité à repousser et éliminer les ravageurs.....	14
2.5.4. Capacité de résistance aux maladies.....	14
3. La formulation des produits	15
3.1. Définition de la formulation.....	15
3.2. Les composants d'un produit formulé.....	15
3.3. Types de formulations.....	16

4. La modélisation mathématique	17
4.1. La méthode des plans d'expériences.....	17
4.2. les étapes de la réalisation d'un plan d'expériences.....	17
4.2.1. Formalisation du problème.....	17
4.2.2. Choix et construction du plan retenu.....	17
4.3. Types de plan d'expériences.....	18
4.4. Les plans de mélanges.....	18
4.4.1. Représentation géométrique des mélanges.....	18
4.4.2. La formulation du problème.....	19
4.4.2.1. Définition des objectifs et des contraintes de l'étude.	19
4.4.2.2. Choix du domaine expérimental et des nombres des	
niveaux.....	20
4.4.2.3. Détermination du type de modèle.....	20
4.4.2.4. Construction du plan et réalisation des essais.....	20
 Chapitre II : Matériel et méthodes	21
Objectif.....	21
1. Présentation du site d'étude et conditions expérimentales.....	21
2. Matériel d'étude.....	22
2.1. Matériel végétale.....	22
2.2. Le puceron noir <i>Aphis fabae</i>	22
2.3. Le jus de lombricompost brute formulé.....	22
3. Méthode expérimentale.....	23
3.1. Semis dans les pots.....	23
3.2. Préparation des doses du jus de lombricompost brute formulé.....	24
3.3. Application des traitements.....	24
3.4. Méthodes dénombrements.....	25
3.4.1. Estimation de l'abondance d' <i>Aphis fabae</i>	25
3.4.2. Estimation de la densité de puceron.....	25
3.4.3. Estimation de la fécondité de puceron.....	25
3.4.4. Estimation de la surface foliaire.....	26
3.4.5. Estimation du nombre de fleurs.....	26
4. Analyses statistiques des données.....	27
5. Méthodes d'optimisation de la formulation du jus de lombricompost (=Modélisation)	27
 Chapitre III : Résultats	28
1. Evaluation de l'effet du bioproduit sur la croissance et la santé végétale... ..	28
1.1. Effet du bioproduit sur certains paramètres populationnels	28
1.1.1. Effet du bioproduit sur l'abondance globale.....	28
1.1.2. Effet du bioproduit sur la densité.....	30
1.2. Effet du bioproduit sur la fécondité entant que paramètre démographique.....	31
1.3. Effet du bioproduit sur la production de la phytomasse.....	33
1.3.1. Effet du bioproduit sur la croissance de la surface foliaire... ..	33
1.3.2. Effet du bioproduit sur le nombre de fleures.....	34
2. Approche à l'optimisation du bioproduit par modélisation.....	36
2.1. Mise en application de la méthode.....	36

2.1.1. Choix des facteurs et leurs niveaux.....	36
2.1.2. choix des réponses.....	36
2.1.3. Modèle et plan adopté.....	36
2.2. Construction du plan d'expériences.....	37
2.3. Construction du plan d'expériences.....	38
2.4. Représentation géométrique des mélanges.....	39
Chapitre IV : Discussion	40
1. Effet du bioproduit sur certains paramètres populationnels.....	40
2. Effet du bioproduit sur la fécondité entant que paramètre démographique	40
3. Effet du bioproduit sur la production de la phytomasse.....	41
4. Approche à l'optimisation du bioproduit par modélisation.....	42
Conclusion et perspectives	43
Références bibliographiques	

Introduction

Avec les systèmes de productions agricoles intensives, les populations des organismes nuisibles ont tendance à augmenter, ce qui accentue la gravité des dommages infligés aux cultures. Les impératifs de rentabilité qui imposent des rendements élevés et des qualités, dans ces systèmes, font de la protection des plantes une activité vitale. La maîtrise de ces parasites n'est accomplie qu'au prix d'interventions et favorise le développement de souche résistantes. Georghiou a mentionné dans une publication en 1981 (Sauvion, 1995) que 400 arthropodes manifestant une résistance à une ou plusieurs classes d'insecticides, dont 18 espèces de pucerons. Ainsi, les applications de certains produits chimiques impliquent un coût élevé (produit, équipement, main-d'œuvre, énergie), une pollution chimique et donc des conséquences sur les insectes pollinisateurs (Rat-Morris, 1990).

La prise de conscience du coût environnemental de ces pratiques et les craintes des consommateurs du danger que peuvent constituer les résidus de pesticides pour la santé humaine font naître grandissant pour d'autres alternatives de lutte (El Guilli et al., 2009). Aujourd'hui il est possible de mettre en œuvre des techniques alternatives à la diminution des pesticides toxiques, qui assurent la protection de la plante en toute innocuité. La Stimulation des Défenses Naturelles des plantes est à cet égard, une voie des plus intéressantes. Il s'agit dans ce cas, non plus de s'attaquer directement aux parasites, mais de s'appuyer sur la capacité de la plante à se protéger contre ses agresseurs (Joubert, 2013).

Ces dernières années ont vu se développer, au sein du marché des intrants agricoles, divers produits et substances qui visent à améliorer le fonctionnement du sol, de la plante ou les interactions entre sol et plante. Il s'agit d'une catégorie très large de produits et substances qui apportent des solutions souvent innovantes dans le domaine de la fertilisation et de la protection des cultures. Ces solutions ont pour caractéristique commune de reposer sur un mode d'action passant par la stimulation de processus biologiques au niveau du sol ou de la plante (Faessel et al., 2014).

La biofertilisation foliaire offre une certaine éventualité de bio-protection par l'utilisation de nouvelles formulations des stimulateurs de défenses naturelles. Les effets des lombricompost autant que bio stimulateur des défenses naturelles des plantes sont peu documentés. Notre objectif de recherche est d'expérimenter l'effet de différentes doses de bioproduit à base de jus de lombricompost brut formulé sur quelques paramètres morphologiques de la haricot vert *phaseolus vulgaris* L (var. Djadida) et l'intérêt phytosanitaire de ce bioproduit contre les attaques de puceron noir *Aphis fabae*.

Dans l'objectif de formuler un bioproduit à base du jus de lombricompost brut, que nous nous sommes intéressés on consiste en l'élaboration à planifier les essais de formulation de ce bioproduit par la méthodologie, des plans d'expériences.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

Chapitre I : synthèse bibliographique

1. La stimulation de défenses naturelles des plantes (SDN)

La stimulation des défenses des plantes est fondée sur le même principe que la vaccination : activer les défenses naturelles avant la contamination par l'agent infectieux. Le concept est simple, il s'agit de mettre la plante en contact préventivement avec un éliciteur, c'est à dire, une molécule ou agent capable d'activer les défenses naturelles végétales. Ils peuvent être d'origine animale (acides aminés, microorganismes), végétale (acides aminés issus d'algues ou de plantes) minérale (oligo-éléments) ou synthétique. Ces molécules induisent une réaction de défense par la production de métabolites, dans des parties de la plante contre des pathogènes (maladies, voire insectes), mais aussi parfois contre des bactéries ou virus. Dans ces produits figurent donc des vrais éliciteurs de défense induite et des biostimulants (ou stimulateurs de vitalité) qui permettent un meilleur développement de la plante tout en la rendant plus résistante (Maumené et Bousquet, 2009). Ainsi, en 2014 Faessel *et al*, précisent que deux types de produits ont été utilisés pour qualifier les produits de stimulation des défenses:

- Les produits de type « stimulateurs de(s) défense(s) » qui sont communément appelés Stimulateurs de Défense des Plantes (SDP) ou Stimulateurs des Défenses Naturelles (SDN), et qui sont utilisés dans le cadre de la phytoprotection.
- Les produits de type « biostimulants » qui regroupent des appellations telles que « biofertilisant », « activateur de sol », « stimulateur de croissance et/ou de développement », « phytostimulant », et qui sont utilisés dans le domaine de la fertilisation.

Certaines substances peuvent avoir un caractère mixte du fait de leur mode d'action à la fois de résistance à un stress biotique et une stimulation de la croissance de la plante.

1.1. Mécanismes de défenses naturelles des plantes

Le biotope n'offre pas toujours des conditions favorables pour développement de la plante. Dans ce contexte naturel, la plante est obligée de faire face à différents stress abiotiques (notamment la sécheresse, les blessures, les variations de température et de lumière) ou biotiques (attaques par des agents pathogènes tels que les virus, bactéries, champignon et les ravageurs tels que les insectes et les nématodes). Les réponses de défense de la plante sont deux types ; les réponses constitutives (défense passive) et les réponses inductibles (défense active) (Ziadi ,2001).

1.1.1. Défense passive

Les plantes possèdent des défenses constitutives formées de barrières physico-chimiques souvent suffisantes pour les protéger (tableau 1). Chaque plante possède, de façon naturelle, une variété de moyens de défense constitutifs (passive). Ces mécanismes varient d'une plante à l'autre, car ils sont très souvent le résultat d'une adaptation temporelle à des conditions climatiques ou environnementales particulières. Ainsi, les feuilles des plantes poussant dans des zones tropicales auront tendance à être recouvertes d'une cuticule plus épaisse que celles poussant sous des climats pluvieux. De la même façon, les plantes aromatiques qui poussent à l'état sauvage dans les pays méditerranéens ont une concentration plus élevée en métabolites secondaires (huiles essentielles) en raison de leur adaptation à une certaine sécheresse du sol sur une longue période. La résistance passive, responsable de la protection des plantes à la plupart des agents pathogènes et des prédateurs auxquels elles sont confrontées en permanence, existe donc chez toutes les plantes, mais à des degrés divers. Elle se divise en deux grandes catégories : les barrières structurales constitutives et les substances chimiques préformées (Stanislas, 2001).

Tableau1: Exemples de défenses constitutives de la plante, mécaniques et chimiques (Stanislas, 2001).

Substance	Effets
Lignine	<ul style="list-style-type: none"> • Durcit les tissus • Gêne la digestion
Tanins	<ul style="list-style-type: none"> • Bloquent les enzymes digestives
Cires	<ul style="list-style-type: none"> • Peuvent contenir des substances toxiques ou des métabolites secondaires
Inhibiteurs de protéase	<ul style="list-style-type: none"> • Bloquent l'activité des enzymes digestives
Cyanure	<ul style="list-style-type: none"> • Bloque la chaîne des transporteurs dans la respiration cellulaire
Cardénolides	<ul style="list-style-type: none"> • Produisent des troubles intestinaux, un arrêt cardiaque ou la mort
Histamine	<ul style="list-style-type: none"> • Entraîne une réaction allergique

1.1.1.1. Les barrières structurales constitutives

Les barrières structurales constitutives représentent le premier obstacle qu'un agent pathogène rencontre avant son contact avec les parois des cellules épidermiques de la plante où s'effectuera le premier niveau de reconnaissance responsable du devenir de l'interaction. Les virus et les bactéries pénètrent ces barrières de façon purement passive en profitant de micro-blessures causées, par exemple, par les

piqûres d'insectes, la pluie, le gel ou les oiseaux. Parmi toutes les barrières constitutives présentes chez les plantes (Fig.1), la cuticule est probablement la structure de protection la plus efficace car elle est composée de cutine, un polymère insoluble intimement imbriqué dans un réseau de cires hydrophobes. Les autres barrières structurales susceptibles de contrer la progression d'un agent pathogène sont représentées par les poils, les trichomes, les épines et les aiguillons (Jeffree, 1996).

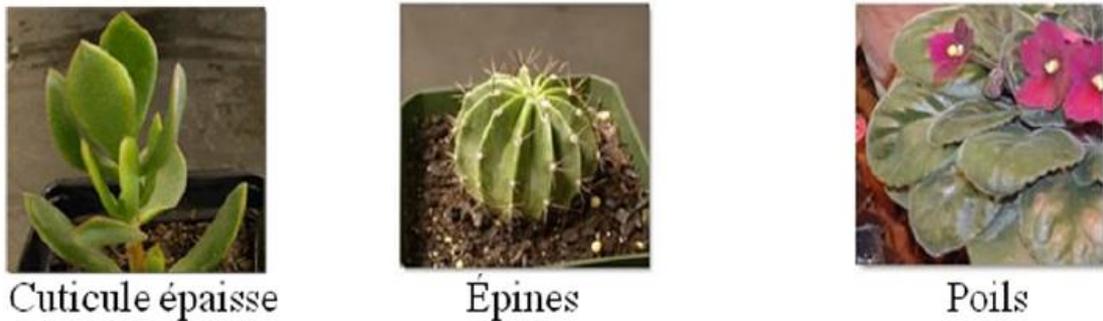


Figure1: Exemples de défense constitutive mécanique de la plante (Stanislas, 2001)

1.1.1.2. Les barrières chimiques constitutives

Les barrières chimiques constitutives sont fabriquées continuellement (Fig.2), même en l'absence d'agents pathogènes. Au sein de ces molécules, appelées phytoanticipines, sont regroupés les composés phénoliques, les alcaloïdes, les lactones, les saponines, les glycosides cyanogéniques et les huiles. Les composés phénoliques regroupent une large gamme de substances possédant un noyau aromatique comportant des résidus hydroxyles (OH-), ainsi que leurs dérivés fonctionnels (Nicholson et Hammerschmidt 1992). Il y a quatre principales familles de composés phénoliques : les acides phénoliques simples, comme le catéchol et l'acide protocatéchuïque, les flavones, l'acide chlorogénique et les quinones. Les composés phénoliques sont bien connus pour leur potentiel antifongique et antibactérien (King et Young 1999).



Figure 2 : Exemples de défenses constitutives chimiques de la plante (Stanislas, 2001)

Lorsque cette résistance dite passive (parce qu'elle est constitutive) est insuffisante pour contrer une attaque par des agents biotiques ou abiotiques particulièrement agressifs, une résistance active se met alors en place ayant pour objectif la destruction de l'agresseur ou, à tout le moins, son confinement au site de pénétration potentielle.

1.1.2. Défense active

Les mécanismes de défense active (Fig. 3) d'après Maumené et Bousquet (2009) se décomposent grossièrement en trois phases : reconnaissance, signalisation puis réactions de défense.

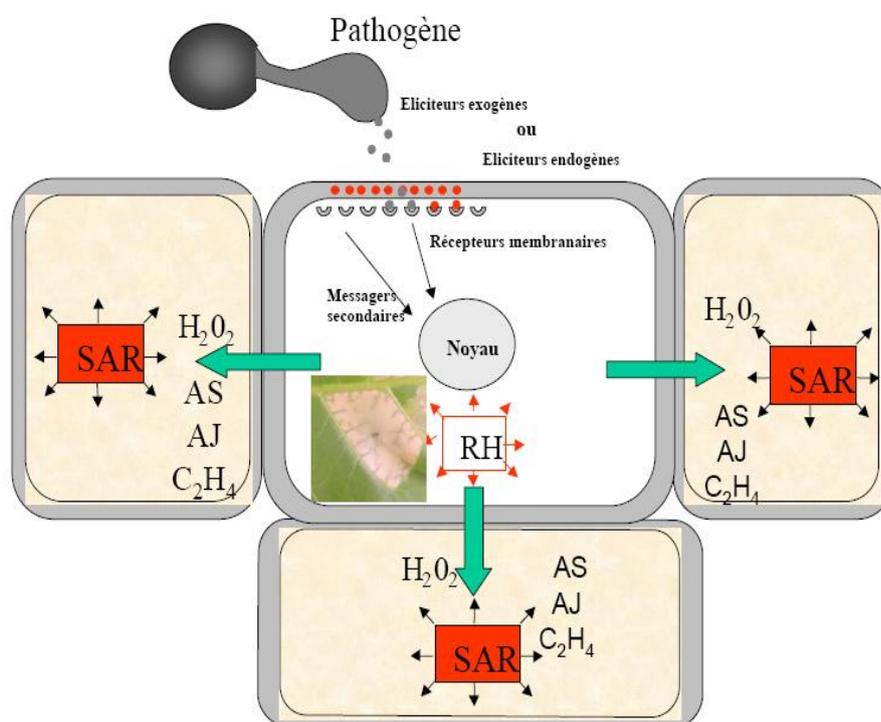


Figure 3 : Résistance active (induite) à effets comportementaux de la plante suite à la reconnaissance d'un éliciteur (Maumené et Bousquet, 2009)

AS : Acide salicylique, **AJ** : Acide jasmonique, **C₂H₄** : Éthylène, **SAR** : Résistance systémique acquise, **RH** : Réaction d'hypersensibilité

1.1.2.1. Reconnaissance de l'agent pathogène

La perception d'un agent pathogène implique la reconnaissance d'un éliciteur spécifique ou non spécifique. Le cas le plus connu d'éliciteur spécifique est une protéine exogène synthétisée à partir du gène d'avirulence dans la relation gène pour gène et qui est reconnue par une protéine végétale codée par le gène de résistance, jouant le rôle de récepteur. La réaction d'hypersensibilité peut être

provoquée par d'autres types d'éliciteurs que les éliciteurs généraux. Les éliciteurs généraux, exogènes ou endogènes, sont de nature chimique variée (Kauffman et *al.*, 2001).

Les éliciteurs exogènes sont des molécules provenant directement de l'agent pathogène, par exemple des β -glucanes ou la chitine issus de la paroi des champignons agresseurs (Kauffman et *al.*, 2001).

Les éliciteurs endogènes sont des molécules issues de la plante elle-même. Ils peuvent être libérés une fois que la cellule a été attaquée, notamment lors de la dégradation de la paroi cellulaire. Ce sont par exemples des fragments polysaccharidiques ou des oligogalacturonides provenant de la dégradation de la pectine variée (Kauffman et *al.*, 2001 ; Pautot et *al.*, 1999).

1.1.2.2. Réponse précoce

L'interaction récepteur/éliciteur active des processus cellulaires menant à la résistance induite. On peut en particulier citer une dépolarisation membranaire (faessel L. et *al.*, 2014). Elle a lieu quelques minutes après la reconnaissance des éliciteurs. Cette réponse se manifeste séquentiellement par :

- des flux ioniques à travers la membrane plasmique (influx d'ions calcium et de protons, efflux d'ions potassium et chlorure).
- l'activation de protéines kinases, permettant des phosphorylations et déphosphorylations de protéines.
- l'activation des protéines G généralement associées à des récepteurs membranaires.
- la production de formes très réactives de l'oxygène (Ebel et Mithofer, 1998 ; Klarzynski et Fritig, 2001).

Concernant les formes réactives de l'oxygène, l'anion superoxyde O_2^- et le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 , qui est la forme la plus stable, sont essentiellement produits par la NADPH oxydase, localisée sur la membrane des cellules végétales. Leur action dans le cadre d'une réponse précoce est directe : le H_2O_2 inhibe la germination de spores de plusieurs champignons pathogènes. Les radicaux oxydants renforcent aussi la paroi végétale en polymérisant des protéines de la paroi végétale et provoquent la mort des cellules végétales en peroxydant les lipides de leur membrane (Kauffman et *al.*, 2001). La réponse précoce est ensuite amplifiée par des réactions de défense proprement dites qui sont le plus souvent induites via une cascade de signalisation.

1.1.2.3. La réaction d'hypersensibilité

Les mécanismes de défense active peuvent débiter par la réaction d'hypersensibilité (HR). La réaction d'hypersensibilité (*Hypersensitive response*, HR) est une mort programmée de la cellule (*Programmed Cell Death*, PCD). Il s'agit de l'autodestruction de la cellule attaquée, ainsi que des cellules voisines. Cette

réponse très rapide peut se mettre en place pour confiner le micro-organisme pathogène sur son site d'infection et ainsi limiter sa propagation (analogie avec la technique de la terre brûlée). Ce type de réponse est essentiellement efficace contre les agents pathogènes biotrophes. Plusieurs événements cellulaires encore mal identifiés permettent la mise en place de la réponse HR, notamment la production de Formes Actives de l'Oxygène (FAO), telles que H₂O₂ et l'oxyde nitrique : Ces molécules ont des actions antimicrobiennes directes et sont aussi impliquées dans le renforcement des parois cellulaires et dans la réaction d'hypersensibilité (Van Breusegem, et *al.*, 2001; Van Breusegem et Dat, 2006).

1.1.2.4. Le renforcement de la paroi cellulaire

Le renforcement de la paroi cellulaire constitue une barrière physique face à l'entrée des micro-organismes pathogènes. Il s'agit notamment de l'épaississement de la paroi par apposition de certaines substances (callose, silice, composés phénoliques, subérine) de manière rapide et localisée ou de la lignification par dépôt de lignine le long de la paroi, un composé très résistant aux enzymes de dégradation (Garcia-Brugger et *al.*, 2006; Senthil-Kumar et Mysore, 2013).

1.1.2.5. La synthèse de métabolites secondaires

La synthèse de métabolites secondaires est induite par l'activation de certains facteurs de transcription. Les phytoalexines sont des composés antimicrobiens de faible poids moléculaire synthétisés de novo en réponse à une attaque par un bioagresseur, plus de 300 phytoalexines ont été identifiées par exemple les isoflavonoïdes. Ces molécules ont un fort potentiel antimicrobien à faibles doses et s'accumulent au niveau des sites d'infection après induction des réponses de défense (Ahuja et *al.*, 2012).

1.1.2.6. La synthèse des protéines PR

La synthèse des protéines PR (*Pathogenesis-Related*) est fortement induite après la perception d'un éliciteur. Les protéines PR sont largement présentes dans le règne végétal et ont en commun d'être résistantes aux protéases endogènes et exogènes. Elles s'accumulent fortement au niveau des tissus infectés, mais également de façon systémique. Elles peuvent représenter 5 à 10% des protéines totales de la feuille (Van Loon, 1999; Edreva, 2005). On dénombre 17 familles de protéines PR classées selon leurs séquences, leurs propriétés physico-chimiques et leurs activités biologiques. On peut citer notamment des β -1,3-glucanases (PR-2) et des chitinases (PR-3, PR-4, PR-8, PR-11) dégradant les parois des champignons pathogènes (Amborabé et *al.*, 2004).

1.1.2.7. Les voies de biosynthèse de phytohormones

L'ensemble des signaux intracellulaires conduit à l'expression des enzymes intervenant dans les voies de biosynthèse de phytohormones. La prépondérance d'une hormone par rapport à une autre dépend du type d'éliciteur considéré.

- **Voie de l'acide salicylique**

La voie de signalisation principale conduisant à la synthèse des protéines PR est celle de l'acide salicylique ; Cette molécule dérivée de la phénylalanine (et précurseur de l'aspirine) joue un rôle clé de messenger secondaire dans la mise en place des défenses de la plante. Des études tendent à montrer que l'acide salicylique est le signal responsable de l'établissement de la résistance systémique acquise RSA, mais cela reste à prouver. Des chercheurs ont cependant observé son accumulation dans les plantes suite à une infection locale (Malamy et *al.*, 1990 ; Métraux et *al.*, 1990). Mais, il ne semble pas agir de façon systémique dans la plante (Gaffney et *al.*, 1993). Il participerait également à la réaction hypersensibilité HR et au confinement de l'agresseur sur le site primaire (Kauffman et *al.*, 2001).

- **Voie de l'acide jasmonique**

L'acide jasmonique et son ester méthylique sont responsables de la synthèse des enzymes qui produisent les phytoalexines. Notons au passage que l'acide jasmonique, synthétisé à partir de l'acide linoléique, est un analogue structural des prostaglandines (Bounnemain et Chollet, 2003).

- **L'éthylène**

L'éthylène est également un médiateur chimique intéressant. Cette hormone végétale volatile est fortement produite en cas de réaction hypersensible. L'éthylène peut induire et stimuler les enzymes de la biosynthèse de phytoalexines, de lignification mais aussi de la biosynthèse de protéines PR (Knoester et *al.*, 1998).

- **Autres molécules signal**

Les radicaux oxydants présents dans la réponse précoce peuvent activer la synthèse de gènes de défense et provoquer ainsi la synthèse de protéines de défense (Kauffman et *al.*, 2001). On peut citer le monoxyde d'azote, reconnu comme relais assurant et amplifiant des signaux d'origine végétale (Klarzynski et Fritig, 2001). Les formes oxydantes agissent aussi comme des molécules signal dans le déclenchement de la mort cellulaire programmée (Kauffman et *al.*, 2001).

1.2. Intérêt de la stimulation de système naturel de défense

1.2.1. Intérêt technique de SDN

Les SDN induisent les réactions de défense de la plante, qui mobilise alors ses moyens propres. Or, le plus souvent il s'agit d'une résistance systémique acquise, qui est efficace contre un large spectre d'agresseurs. C'est un confort pour l'agriculteur, en même temps qu'une économie du nombre de passages au champ par rapport à l'application de plusieurs spécialités ciblées. De plus, ce large spectre de résistance permet d'envisager une lutte contre les viroses et les phytoplasmoses contre lesquelles on ne possède actuellement aucun traitement. Les SDN sont aussi souvent efficaces sur un grand nombre de cultures, ce qui peut sauver des cultures mineures pour lesquelles le nombre de produits phytosanitaires disponibles est quasi-nul. Parce qu'ils ont un mode d'action indirect, il semble impossible que les SDN entraînent des résistances (qui seraient en fait des résistances aux propres systèmes de défense de la plante) (Gullino et *al.*, 2000 ; Lyon et Newton, 1997).

L'utilisation de SDN en alternance avec des produits phytosanitaires «classiques» permettrait d'éviter ou de retarder l'apparition de résistances à ces produits et donc augmenterait leur durabilité. C'est là un enjeu majeur de la protection des plantes pour les années à venir. Ainsi, si les SDN ne supplantent pas les produits « classiques », ils devraient néanmoins trouver leur place dans les programmes de lutte. Surtout que certaines expérimentations s'accordent pour montrer que l'association d'un fongicide et d'un SDN est significativement plus efficace que la simple juxtaposition des deux produits. Il y aurait un effet de synergie intéressant à exploiter, permettant de réduire encore plus le nombre de traitements fongicides grâce au gain d'efficacité (Gullino et *al.*, 2000, Jeandet et *al.*, 1996).

1.2.2. Intérêt agronomique et environnemental de SDN

Les SDN sont le plus souvent des analogues ou des dérivés de molécules naturelles, efficaces à très faible dose et avec un profil éco-toxicologique généralement bon. Ce sont donc des molécules très respectueuses de l'environnement, ce qui est crucial quand on sait qu'il s'agit d'une préoccupation majeure du public comme des pouvoirs publics et des agriculteurs. Par conséquent, elles n'ont généralement pas de contraintes de limite maximale de résidus (LMR) et de délai avant récolte (DAR) d'où une meilleure flexibilité pour l'utilisateur. Les SDN sont une méthode de lutte qui complète bien les autres méthodes utilisées, comme la lutte chimique mais aussi la sélection variétale, les pratiques et la lutte biologique, car ils n'ont aucun effet sur les auxiliaires. Elles ont donc leur place dans les programmes de gestion intégrée des ravageurs (Integrated Pest Management ou IPM) qui se développent de plus en plus, notamment dans une optique de respect de l'environnement (Jeandet et *al.*, 1996).

1.3. Place de SDN dans l'agriculture contemporaine

Il reste la question importante de la place que les SDN peuvent prendre dans l'agriculture contemporaine notamment face à la lutte chimique « classique ». Nous pensons qu'il serait illusoire de vouloir remplacer l'un par l'autre, d'autant qu'une cohabitation semble bénéfique, que ce soit au sein d'un programme de lutte ou d'une formulation. Or il y a des cultures pour lesquelles le programme de lutte est très chargé (comme la vigne et ses 20 traitements fongicides par an) et où le remplacement de 2 ou 3 traitements par des SDN pourrait être envisagé. Ce serait déjà d'un intérêt évident pour les raisons environnementales et techniques évoquées précédemment et « éthiquement satisfaisant » (Delorme, 2005). Sur des cultures à cycle court comme le chou-fleur d'automne ou le chou-fleur Romanesco, un traitement SDN conférant une protection durable (30 jours) serait suffisant pour lutter contre le mildiou et remplacerait plusieurs traitements fongicides, avec en plus un gain économique (Ziadi et *al.*, 2001).

Enfin, les SDN ont un rôle important à jouer dans les programmes de lutte intégrée, ceux-là même qui tendent à réduire l'utilisation des produits phytosanitaires « classiques », notamment en leur apportant une nouvelle approche, un complément d'efficacité et une plus grande flexibilité (Lyon et Newton, 1997).

Dans tous les cas, l'utilisation des SDN ne peut se faire que par des agriculteurs suffisamment au point techniquement, pour les raisons suivantes :

- il faut compter un certain délai avant que la réaction de la plante soit efficace.
- il s'agit de traitements préventifs qui doivent si nécessaire être renforcés par des traitements curatifs « classiques ».
- l'efficacité des SDN est variable.
- l'effet des SDN n'est encore pas tout à fait connu, il reste des zones d'ombre. Cela correspond à une vision d'une agriculture technicienne, plutôt intégrée et non intensive.

2. Généralité sur le lombricompostage

Le terme vermicompostage ou lombricompostage se réfère à l'utilisation de vers de terre pour composter les résidus organiques. Les vers de terre peuvent consommer pratiquement tous les types de matière organique et peuvent absorber l'équivalent de leur propre poids par jour. Les excréments (turricules) des vers de terre sont riches en nitrates, et en formes disponibles de phosphore, Potassium, Calcium et Magnésium. Le passage des vers de terre à travers le sol favorise la croissance des bactéries et des actinomycètes. Les actinomycètes se développent en présence de vers de terre et leur teneur dans les déjections de vers de terre est six fois supérieure à celle du sol d'origine (Misra. et al., 2005).

2.1. L'élevage des lombrics à compostage

Les espèces de vers sont toutes semblables du point de vue anatomique et physiologique. Mais, elles diffèrent considérablement au niveau de l'écologie, ce qui emmène les producteurs à faire un choix d'espèce selon le produit recherché.

On estime à 1800 le nombre d'espèces de vers de terre (Edwards et Lofty , 1972). Il existe dans la nature de nombreuses d'espèces de vers, mais seules quelques-unes peuvent être mises dans les compostières. Les gros vers de terre de jardin ne sont pas utilisables pour le compostage (Cassellato ,1987). La densité (nombre de vers par unité de volume de sol) à laquelle les diverses espèces de vers peuvent survivre ou se multiplier varie énormément (Tomlin, 1981).

Eisenia foetida (Savigny) (Fig.4) également connu sous les noms de «ver du fumier», «ver du compost», «ver du terreau», «ver composteur», «ver zébré», «ver rouge» et «eisénie» est un ver ubiquiste extrêmement résistant, indigène à la plupart des régions du monde, est l'exemple typique pour le vermicompostage (Tomlin, 1981).

L'élevage du ver de terre à une petite échelle est relativement facile, mais à grande échelle dans les élevages intensifs les mortalités massives dues à des épidémies sont susceptibles d'apparaître et de mettre en péril la survie de l'entreprise d'élevage ou de distribution. Il faut faire au départ une distinction entre l'élevage, le semi-élevage et la conservation et le conditionnement. L'élevage consiste à réaliser le cycle complet de la production du ver depuis l'éclosion des juvéniles à partir de vers adultes amenés à maturité dans les conditions d'élevage.



Figure 4 : ver de compost, *Eisenia foetida* (originale, 2015)

2.2. Définition du compost

Mustin (1987), définit le compost (Fig.5) comme un bioproduit organique issu d'un processus biologique assurant la décomposition des constituants organiques des sous-produits et déchets en un produit organique, stable, riche en composés humiques.



Figure 5 : le compost issu de lombriculture (originale, 2015)

2.3. Le jus de compost

Il s'agit d'un lixiviat, à l'aspect de mélasse très liquide, obtenu à partir de la matière organique composée de plus de 80% d'eau, dans la compostière (Fig.6), mise à l'action des macro-organismes et micro-organismes (Donea et al., 2002).



Figure 6 : le jus compost issu de lombriculture (originale, 2015)

2.4. Composition du lombricompost

Visvanathan et *al.* (2005) signalent que seulement 5 à 10% du matériel digéré est absorbé par le corps du lombric. Le reste est excrété sous la forme d'un fin mucus lié des agrégats granulaires, riches en NPK (nitrates, phosphates et potassium), micronutriments et de microorganismes bénéfiques pour le sol. Le corps des lombrics contient 65% de protéines, 14% de lipides, 14% carbohydrates et 3% d'extrait sec. Atiyeh et *al.* (2000) ont découvert que le compost a une teneur plus élevée en ammonium, alors que le lombricompost est plus riche en nitrates, forme d'azote la plus assimilable par les végétaux. Edwards (1999), affirme que le lombricompost est 1000 fois plus actif que le compost classique sur le plan de l'activité microbienne, même si ce taux n'est pas toujours atteint. Il s'agit de microorganismes beaucoup plus aptes à transformer les éléments nutritifs et à les rendre plus facilement assimilables par les végétaux que ceux que l'on trouve dans le compost. Dans le compost, la gamme des micro-organismes est assez différente et thermophile.

2.5. Les intérêts de l'utilisation de lombricompost

Le compost issu du vermicompostage à un intérêt en tant que substance biofertilisante, biocide et stimulateur des systèmes de défense des plantes.

2.5.1. Intérêt comme bio fertilisant et inducteur du système de défense chez les plantes

L'utilisation des différentes doses de bio fertilisant entre autre de lombricompost, permet de mieux comprendre le rôle de cette substance naturelle sur la performance de la production de la phytomasse et dans l'induction de la résistance contre les ennemis naturels en particulier. Des études ont également montré que le traitement foliaire des plants avec du lombricompost était associé au développement de certaines réponses défensives dans les tissus des plantes hôtes (Pajot, 2010).

2.5.2. Capacité à stimuler la croissance des végétaux

C'est le domaine où les résultats sont les plus intéressants et les plus convaincants. De nombreux travaux dont ceux d'Atiyeh et *al.* (2000), ont pu démontrer que le lombricompost stimule la croissance des plantes, qu'ils soient utilisés comme amendements ou qu'ils entrent dans les milieux d'horticulture hors-sol. Les lombricomposts ont à maintes reprises améliorées la germination, la croissance et le développement des semis, et accru la productivité des plantes. De plus, (Arancon, 2004) précise qu'un apport bénéfique de lombricompost est obtenu à des proportions de 10 à 40 % du substrat de culture. Il semblerait qu'au-dessus de 40 %, l'apport de lombricompost n'est plus bénéfique et qu'il peut même se traduire par une baisse de la croissance ou du rendement.

De même, les travaux d'Abdessamed (2014) ont montré que l'association Na Cl biofertilisant engage des accélérations très importantes en termes de croissance. Si le sel stimule la croissance d'une manière précoce, le jus de lombricompost par son effet tardif fournit d'une manière exogène une amplification des taux d'accroissement des paramètres morphologiques de la croissance.

2.5.3. Capacité à repousser et éliminer les ravageurs

La recherche dans ce domaine est assez récente, et les résultats manquent de consistance. Néanmoins, les preuves semblent s'accumuler quant à l'effet parfois répulsif des turricules sur les ravageurs à corps rigide (Anonyme, 2001; Edwards et Arancon, 2004). Il reste encore à déterminer pourquoi ces effets ne sont pas constants. George Hahn, un producteur californien de lombricompost, propose une explication, tout en affirmant que son produit repousse de nombreux insectes nuisibles différents : ce serait dû à la production de chitinase par les vers, une enzyme qui détruit la chitine de l'exosquelette des insectes. Des tests indépendants de son produit n'ont, toutefois, pas donné de résultats uniformes.

Arancon (2004) croit que ce potentiel existe mais que les facteurs sont complexes et qu'ils sont liés à l'ensemble du réseau trophique du sol plutôt qu'à une unique substance comme la chitinase.

Kezzim (2013) a montré qu'une meilleure efficacité sur les densités des populations des larves du *Tuta absoluta* est signalée avec le jus de lombricompost qu'avec le Fertiactyl et l'Algasmar. Hamdadou (2013) ; a signalée le jus de lombricompost formulé affiche un meilleur effet en développant un effet SDN sur les infestations du puceron noir de la fève, *Aphis fabae* par rapport aux jus de lombricompost brut, les jus de lombricompost fermenté brut et formulé.

2.5.4. Capacité de résistance aux maladies

Edwards et Arancon (2004) rapportent qu'ils ont étudié les effets d'assez faibles applications de lombricomposts commerciaux sur des infections de *Pythium* (concombres), de rhizoctone (radis de serre), de verticilliose (fraises), d'excoriose et d'oïdium (vignes). Dans toutes les expériences, les applications de lombricompost ont réduit notablement l'incidence des maladies.

L'utilisation des différentes doses de biofertilisant entre autre de lombricompost, permet de mieux comprendre le rôle de cette substance naturelle sur la performance de la production de la phytomasse et dans l'induction de la résistance contre les ennemis naturels en particulier (Pajot, 2010).

3. La formulation des produits

3.1. Définition de la formulation

Une formulation est un mélange de matières actives et de produits de formulation permettant de créer un produit efficace.

La formulation nécessite la mise en œuvre de l'ensemble des connaissances lors du mélange de l'association ou de la mise en forme d'ingrédients souvent incompatibles entre eux de façon à réaliser un produit caractérisé par une fonction d'usage » (Aubry et Schorsch, 1999).

3.2. Les composants d'un produit formulé

D'après Smith, 2006 ; un produit formulé ou un composé formulé est constitué d'une molécule active (matière active) et d'un adjuvant.

- **Matière active**

Une matière active est une matière première permettant de remplir la fonction d'usage d'un produit.

- **Adjuvant**

Un adjuvant permet d'augmenter l'efficacité, la sécurité, la manipulation et l'application d'une matière active en modifiant ces caractéristiques physique ou chimique.

Les formulations des substances actives et l'ajout éventuel d'adjuvants lors de préparation qui intéressent à améliorer l'efficacité du produit (Guichard, 2005).

Il existe différents types d'adjuvants, classés selon leur nature, composition et rôle, Smith (2006) classé dix types d'adjuvants selon leurs activités (Tableau2).

Tableau 2 : les types d'adjuvants et leurs activités

Type	Activité
Pénétrants	Permettent aux produits de traverser la couche extérieure d'une surface traitée.
Dispersants	Permettent aux produits de former une couche uniforme sur la surface traitée.
Adhésifs	Permettent aux produits d'adhérer à la surface traitée.
Agents tensioactifs	Améliorent la dispersion, l'étalement ou les propriétés mouillantes d'un produit.
Agents mouillants	Facilitent le mélange des poudres mouillables et des pâtes granulées avec l'eau, et leur adhésion aux surfaces cibles.
Anti moussants	Réduisent la formation de mousse dans les mélanges à pulvériser exigeant une forte agitation.
Tampons	Augmentent la solubilité des produits dans l'eau ou ralentissent la décomposition chimique de certains produits en abaissant le pH de l'eau alcaline.
Agents antidérive ou épaississants	Augmentent le diamètre des gouttelettes pulvérisées et réduisent la dérive des particules.
Émulsifiants	Permettent de mélanger un produit à base d'huile avec de l'eau.
Émulsions inverses	Permettent de mélanger des produits à base d'eau avec des supports à base d'huile.

3.3. Types de formulations

Les produits formulés se présentent sous forme la liquide, solide ou gazeuse.

- **Les formulations liquides incluent** : les concentrés émulsifiables, les suspensions concentrées, les suspensions en microcapsules, les solutions.
- **Les formulations solides comprennent** : Les poudres solubles, les appâts, les granulés, les comprimés, les pastilles, les pâtes granulées, les granulés solubles, les poudres mouillables.
- **Les formulations gazeuses** sont des fumigants. Elles sont disponibles sous forme solide, liquide ou gazeuse.

4. La modélisation mathématique

La modélisation d'un problème réel utilise les lois de la physique (mécanique, thermodynamique, électromagnétisme, acoustique, etc.). Ces lois sont, généralement, écrites sous la forme de bilans qui se traduisent mathématiquement par des Equations Différentielles Ordinaires ou par des Equations aux Dérivées Partielles.

4.1. 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 (Schimmerling et *al.*, 1998). Le plan d'organisation des essais expérimentaux a pour but de connaître le comportement du résultat (réponse) à partir de la variation des facteurs choisis. Un bon plan permet une diminution notable du nombre d'essais tout en donnant une bonne précision dans la détermination des résultats. 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 (Benoist, 1970).

4.2. les étapes de la réalisation d'un plan d'expériences

La réalisation d'un bon plan d'expériences doit respecter d'après Sabre, (2011) les étapes suivantes:

4.2.1. Formalisation du problème

Il est nécessaire de recueillir un maximum d'informations sur le phénomène étudié, permettant ainsi de définir les facteurs à faire varier ainsi que leur niveau de variation. En effet, le succès du plan d'expériences dépend d'une bonne connaissance des limites acceptables de variation des facteurs. Pour cela, une série d'essais préliminaires peut être programmée.

4.2.2. Choix et construction du plan retenu

Elle se réalise en 3 étapes :

1^{er} étape : Réalisation des essais: elle doit se faire en respectant les conditions expérimentales. Les facteurs doivent être bien aux niveaux préconisés. La réponse (le résultat) doit être donnée avec la plus grande précision. En cas de répétitions, les mesures doivent être réalisées de préférence par le même expérimentateur.

2^{ème} étape : Traitement statistique : le calcul des effets de facteurs étudiés et de leurs interactions, modélisation. Le choix du logiciel ainsi que sa maîtrise est très déterminant pour la précision et l'interprétation des résultats statistiques. Le conseil d'un statisticien semble nécessaire.

3^{ème} étape : Interprétation des résultats : L'effet propre de chaque facteur est relativement simple à interpréter. Mais, l'effet interaction est parfois délicat à expliquer car les causes ne sont pas toujours explicites.

4.3. Types de plan d'expériences

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 :

(i) Plans factoriels complets, (ii) Plans centrés composites, (iii) Plans fractionnaires, (iv) Plans de mélanges. Chaque plan possède des particularités qui lui sont propres (Sabre, 2011). Nous nous intéresseront dans le cadre de l'objet de notre étude qu'à la présentation de la méthode des plans de mélanges, préconisée par (Sabre, 2011).

4.4. Les plans de mélanges

Les plans de mélanges sont des plans particuliers adaptés aux facteurs dépendants. Ils sont surtout utilisés pour étudier l'influence des proportions des constituants d'un produit sur une réponse donnée. La somme des proportions d'un mélange est toujours égale à 100% (Cornell, 1981).

4.4.1. Représentation géométrique des mélanges

On utilise un triangle équilatéral pour représenter les mélanges à trois composants (Fig.7). Les produits purs sont aux sommets du triangle équilatéral. Les mélanges binaires sont représentés par les cotés du triangle. Par exemple, le côté gauche du triangle représente les mélanges composés uniquement des produits A et B.

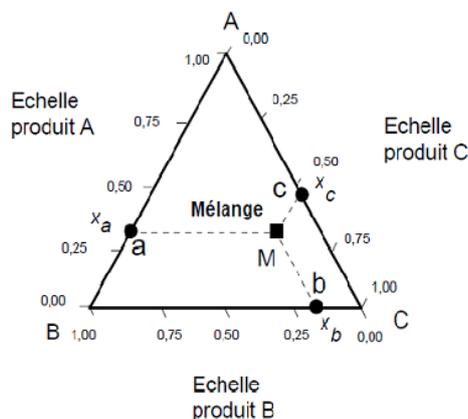


Figure 7 : Représentation géométrique d'un mélange à trois constituants à l'aide d'un triangle équilatéral (Goupy, 1999)

Un point de la surface intérieure du triangle équilatéral représente un mélange tertiaire. Les compositions de chaque produit se lisent sur les côtés du triangle. Les propriétés géométriques du triangle équilatéral assurent que la contrainte fondamentale des mélanges est bien respectée. La représentation des mélanges à quatre constituants est un tétraèdre régulier (Fig.7). S'il y a plus de quatre constituants, il faut faire appel à des hyper polyèdres réguliers (Goupy, 1999).

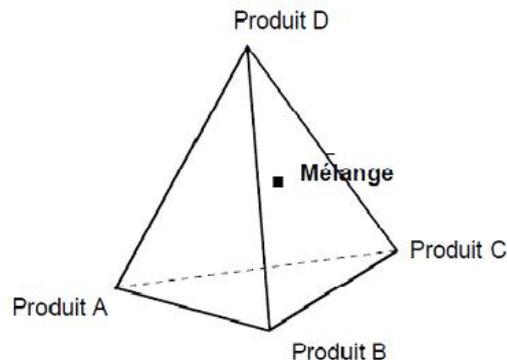


Figure 8 : Représentation géométrique d'un mélange à quatre constituants par un tétraèdre régulier (Goupy, 1999)

4.4.2. La formulation du problème

Selon Schimmerling et *al.*, 1998 ; La formulation du problème consiste à exploiter toutes les informations recueillies sur le problème pendant l'investigation préalable. Elle appelle successivement :

- ✓ La définition des objectifs et des contraintes de l'étude,
- ✓ La définition des réponses,
- ✓ Le choix de la stratégie d'expérimentation,
- ✓ Le recensement et l'hiérarchisation des facteurs,
- ✓ Le choix du domaine expérimental et des niveaux,
- ✓ Le recensement d'éventuelles interactions
- ✓ La détermination du type de modèle et de plan.

4.4.2.1. Définition des objectifs et des contraintes de l'étude

A partir de l'observation des faits et des attentes exprimées, on doit préciser

- ✓ le thème de l'étude (résumé en une phrase courte).
- ✓ les objectifs à atteindre en termes non ambigus, sans référence à d'éventuelles solutions, et de préférence quantifiées.
- ✓ Les raisons de l'étude afin de s'assurer de leur caractère prioritaire.
- ✓ Les limites de l'étude pour les remises en question et la recherche de solutions.
- ✓ Les contraintes associées à la réalisation des objectifs telles que délai, planning de mise à disposition des moyens d'essais, coûts.

Les réponses définies doivent donc satisfaire aux conditions suivantes : être caractéristiques de l'objectif de l'étude, être quantitatives, être économiques, faciles et à mesurer.

4.4.2.2. Choix du domaine expérimental et des nombres des niveaux

Il faut définir le domaine de variation ainsi que les niveaux correspondants des facteurs quantitatifs retenus.

4.4.2.3. Détermination du type de modèle

Dans la majorité des plans d'expériences, le modèle est à la base de la construction de la matrice d'expériences. La démarche des plans d'expériences impose le choix, avant les essais, de ce modèle mathématique nommé aussi modèle a priori ou modèle postulé. Les deux modèles mathématiques très utilisés sont ceux du premier et second degré.

• Modèle du premier degré:

On suppose dans ce cas que les variations de la réponse sont proportionnelles aux teneurs des constituants du mélange. Les interactions entre facteurs sont négligées. Pour un mélange de trois constituants, le modèle peut s'écrire de la manière suivante :

$$Y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3$$

Où : Y est la réponse au point de composition choisi;

x_1, x_2, x_3 sont les teneurs respectives des produits A, B et C;

a_0, a_1, a_2 et a_3 sont les coefficients inconnus que l'on cherche à déterminer.

• Le modèle du second degré:

Le modèle mathématique du second degré est utilisé dans le cas où on tient compte des interactions entre les facteurs. D'une façon générale, ce modèle comprend les termes du premier degré, les termes rectangles et les termes carrés. Pour un mélange de 3 facteurs, le modèle peut s'écrire de la façon suivante:

$$Y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_{12} x_1 x_2 + a_{13} x_1 x_3 + a_{23} x_2 x_3 + a_{11} x_1^2 + a_{22} x_2^2 + a_{33} x_3^2$$

L'écriture de la forme générale du modèle permet de définir le nombre de coefficients à estimer (Goupy, 1999, 2005).

4.2.4.4. Construction du plan et réalisation des essais

L'expérimentateur mène les expériences en respectant le plan d'expérimentation engendré par le logiciel. Cette étape est très importante, puisque c'est de la bonne réalisation des expériences que l'on pourra tirer les informations capitales qui seront exploitées par la suite. Il est recommandé d'avancer progressivement et de réorienter voire d'affiner les études en fonction des premiers essais réalisés.

Chapitre II

Matériel et méthodes

Chapitre II : Matériel et méthodes

Objectif

L'objet de notre travail est l'optimisation d'une formulation à base de lombricompost brute par modélisation mathématique. Les réponses du plan expérimentale entre autres les paramètres morpho-physiologiques de l'haricot vert *Phaseolus vulgaris L* (var. Djadida) sont évalués dans le but d'obtenir la mixture la plus adéquate des différents intrants de la formulation.

1. Présentation du site d'étude et conditions expérimentales

L'étude a été menée dans l'oasis du nord du Sahara Algérie et la plus grande ville de la région d'Oued Right ; Touggourt(Fig.9). La localité bénéficie d'un climat désertique, caractérisé par des précipitations faibles et irrégulières, et par des températures accusant des amplitudes journalières et annuelles importantes et par une faible humidité de l'aire et par des vents de sable parfois très violents. Le mois le plus froid est janvier (température moyenne minimale 4,79 C°, température moyenne maximale 17,41C°). Le mois les plus chauds sont juillet avec de température moyennes minimales de 28,19C° et moyenne maximale de 42,49C°.La synthèse climatique de la période (2003-2012) est caractérisée par un volume des précipitations très rare et irrégulières à travers les saisons et les années, elle reçoit un cumule annuelle de l'ordre de 66.44mm (O.N.M. Station Touggourt, 2013).



Figure 9 : site du travail expérimental la région de Touggourt (Google, 2015)

2. Matériel d'étude

2.1. Matériel végétale

L'expérimentation a été menée sur des plantules d'une variété Djedida d'haricot vert *Phaseolus vulgaris L* ; est une plante très cultivée en Algérie cette une variété naine à croissance déterminée, appartenant au groupe des haricots mange-tout et destiné pour la consommation en frais. Les feuilles longues de couleur verte claire à Fleurs blanches leurs gousses de longueurs moyennes (16 cm), et de diamètre de (10 mm) à couleur verte foncée sans fil. La forme de la graine est sub-céniforme de couleur marron noirâtre et résistante au BCMV, mildiou poudreux. Les semences proviennent de l'Institut Technique de Cultures Maraichères et Industrielles (I.T.C.M.I.) de Staouali.

2.2. Le puceron noir *Aphis fabae*

En Algérie, le puceron noir *Aphis fabae* (scopoli, 1763) est une espèce anholocyclique, très polyphage, dont la gamme de plante-hôte est très large. Il peut s'attaquer aux tiges, rameaux, feuilles, fleurs, bourgeons et fruits de toutes les cultures et plantes spontanées, en plein champs et sous abri (Aroun, 1985). La présente étude a coïncidé avec la disponibilité printanière des formes parthénogénétiques dont le pouvoir de multiplication et d'infestation peut occasionner une nuisibilité et des dégâts qui peuvent se manifester sur toute la plante et durant tous les stades phénologiques, en particulier sur les Fabacées cultivées.

2.3. Le jus de lombricompost brute formulé

L'élevage de ver de terre anécique « *Eisina feotida* » sur des déchets ménagés produit deux types d'engrais ; le lombricompost et le jus. Pour obtenir un lombricompost, il faut utiliser un système de casier qu'on superpose l'un sur l'autre et en mettant dedans les lombrics et les déchets ménagés et de la terre a fin qu'il puisse dégrader ses déchets en un engrais biologique et en récoltant aussi un liquide qu'on appel le thé du lombric (jus de lombricompost). Le jus de lombricompost récupéré dans le fond du lombricomposteur, provient essentiellement de l'eau contenue dans les déchets de cuisine (environ 80 % de leur masse) chargée des nutriments minéraux et oligo-éléments assimilés lors de l'écoulement dans le lombricompost (Fig. 10a).

Le bioproduit est préparé sur la base du jus de lombricompost est issu d'un élevage de ver de terre anécique sur des déchets ménagés. Le jus de lombricompost brute est utilisé comme matière active à la quelle un mélange de mouillant, de pénétrant set tension actif (Glycérol, poly glucoside et Plastifiant) sont ajoutés, après une agitation active à l'ultraturax. La formulation testée est enregistré sous le numéro du brevet (DZ/P/2015/000256) (Fig. 10b).

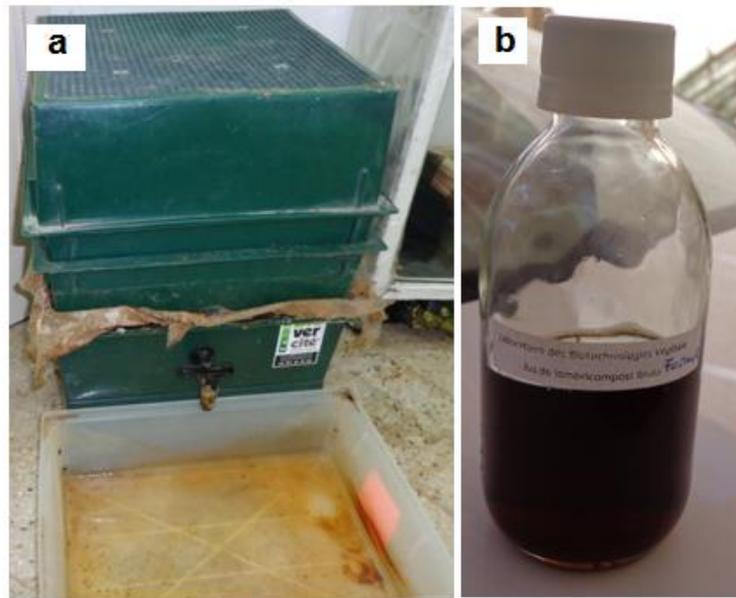


Figure 10 : dispositif de production du jus de lombricompost
(a)lombricomposteur vertical (b) bioproduit formulé

3. Méthode expérimentale

3.1. Semis dans les pots

Les graines du haricot sont imbibées dans l'eau pendant 48h. Le semis est effectué dans des pots en plastiques de 15.5 cm de hauteur ,14.5 cm de diamètre supérieure et de diamètre 9cm inférieure. Ils montrant des orifices de drainage à leur base permettant l'évacuation de l'eau excédentaire. Les pots sont remplis en terre à raison d'une graine déposée à 2 cm de profondeur et recouvertes par une autre couche de terre.



Figure11 : Vue de dispositif expérimental

3.2. Préparation des doses du jus de lombricompost brute formulé

A l'aide d'une pipette, nous avons prendre les deux doses de traitement au jus de lombricompost brute formulé ; la faible doses 2 ml par litre et la forte dose 6 ml par litre.

3.3. Application des traitements

L'estimation de l'activité recherchée par la formulation du bioproduit est réalisée selon le schéma d'hypothèse ci après (Fig.12).

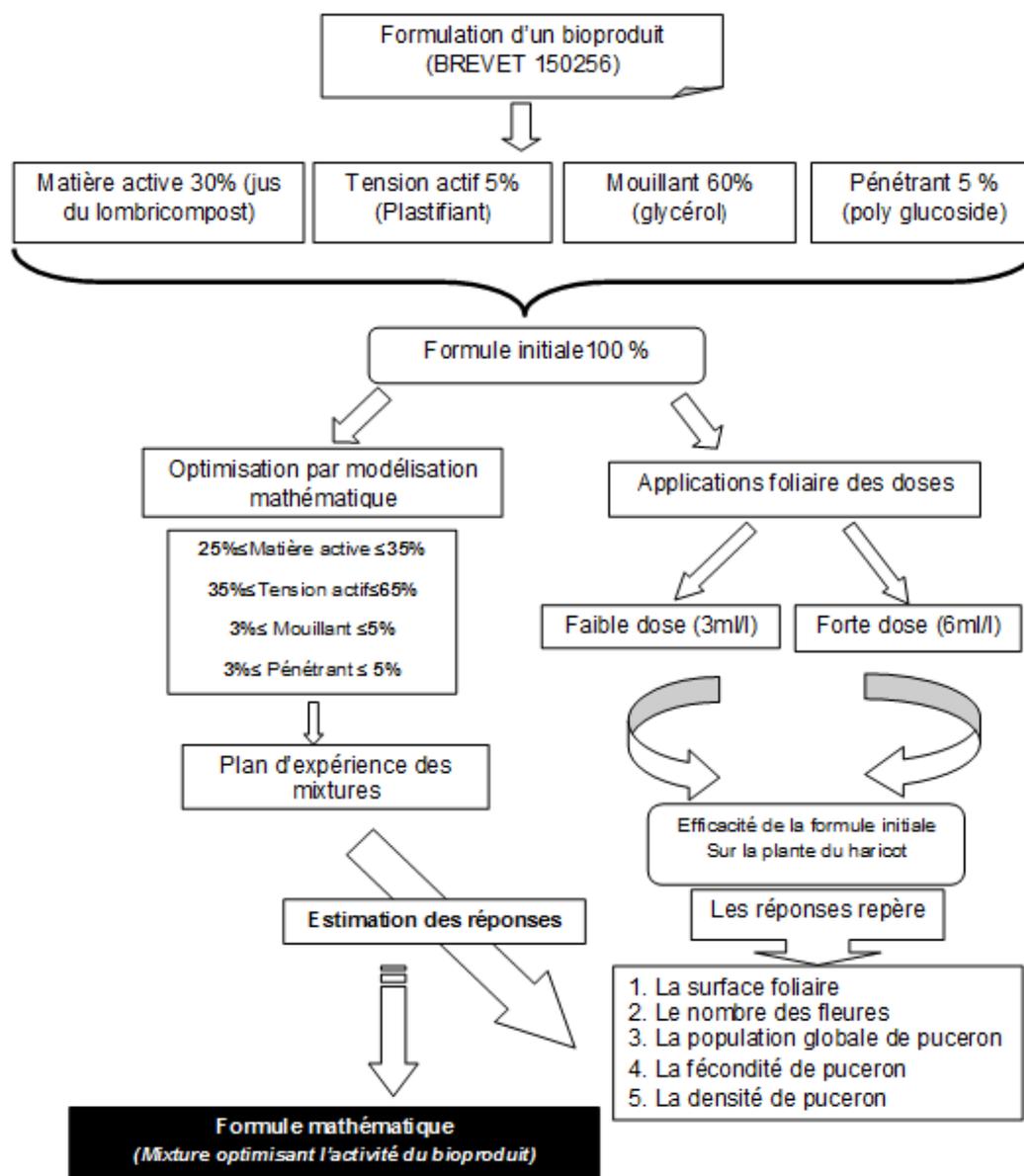


Figure12 : schéma représentatif d'hypothèse

Les différentes doses de jus de lombricompost ont été entièrement appliquées par pulvérisations foliaires sur les plants du haricot (Fig.13), à l'aide d'un vaporisateur manuel; on a fait les traitements chaque dix jours et le contrôle des paramètres morphologiques et sanitaire en chaque semaine.



Figure 13: Aspect général des plants pulvérisés par les traitements

3.4. Méthodes dénombrements

3.4.1. Estimation de l'abondance d'*Aphis fabae*

En cours de notre expérimentation, on comptabilisait chaque semaine l'abondance des formes biologiques des pucerons *Aphis fabae* (larves, nymphes et les adultes ailés et aptères) sur quatre feuilles prises au hasard au niveau de chaque bloc expérimentale.

3.4.2. Estimation de la densité de puceron

La densité de puceron est obtenue par le rapport du nombre d'individus sur la surface des feuilles échantillonnées.

$$D = N_I / S_F$$

Avec :

- D : la densité
- N_I : le nombre des individus du puceron
- S_F : la surface foliaire

3.4.3. Estimation de la fécondité de puceron

On calcule chaque semaine le nombre des femelles parthénogénétiques ailées et les aptères et les larves des pucerons pour estimer la fécondité ; c'est le rapport de nombre des larves par rapport au nombre des femelles.

La formule est donnée comme suit :

$$\text{FEC} = N_L / N_F$$

Avec :

N_L : nombre des larves

N_F : nombre des femelles

3.4.4. Estimation de la surface foliaire

Après chaque apport de traitement, la production de la phytomasse (croissance foliaire) du haricot sous l'effet des différentes doses de jus de lombricompost brute formulé a été estimée jusqu'à la nouaison. Au niveau des blocs expérimentaux, 4 feuilles sont prises du mêmes niveaux sur des pots choisis aléatoirement et sont étalées sur un papier millimétré on faisant apparaître clairement les rebords (Fig.14).

Les feuilles étalées sur un papier millimétré sont pris en photos par un appareil photos numérique en gardant le même taux de pixel. Les photos numérisées sont traités par le logiciel Image Tool ver. 3.0 Afin d'évaluer la surface foliaire.

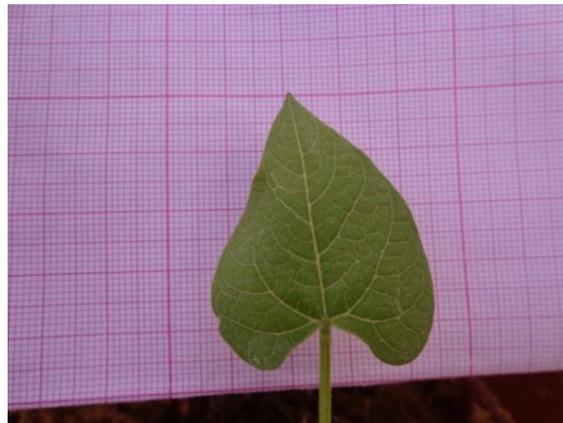


Figure14 : Méthode d'estimation de la croissance foliaire

3.4.2. Estimation du nombre de fleurs

A partir de stade floraison de haricot et après chaque traitement des différentes doses de jus de lombricompost brute formulé on a été estimée le nombre des fleurs dans chaque pot.

4. Analyses statistiques des données

Lorsque le problème est de savoir si la moyenne d'une variable quantitative varie significativement selon les conditions (doses du bioproduit, variation des quantités des intrants de la formulation, abondance, densité, fécondité, surface foliaire et nombre de fleurs), il est préconisé de réaliser une analyse de variance.

Dans les conditions paramétriques (ANOVA pour ANalysis Of VAriance), la distribution de la variable quantitative doit être normale. Dans les cas la distribution n'obéit pas à la loi normal on aura recoure au test kruskal-Wallis. Dans la mesure où plusieurs facteurs sont en jeu, il peut arriver que toutes les interactions entre facteurs ne soient pas pertinentes à tester. Nous avons alors utilisé le modèle linéaire global (G.L.M.). Par exemple, si on désire connaître l'effet des facteurs A, B et C et seulement l'interaction entre A et C, il suffit de sélectionner explicitement ces 4 catégories. Les tests statistiques ont été déroulé par le logiciel PAST version 3.1 (Hammer *et al.*, 2001). Le seuil de 5% a été retenu pour tous les tests.

5. Méthodes d'optimisation de la formulation du jus de lombricompost (=Modélisation)

La modélisation est une étape cruciale dans le processus de la formulation. Elle vise l'optimisation de l'activité biologique convoitée par la proposition de mixtures types obéissant aux marges limites des différentes composantes de bioproduit. Les réponses obtenues sous l'effet des différents régimes de mélange constituantes la base de calcul de la formule mathématique qui désignera le mélange ayant la capacité d'optimiser l'activité biologique recherché.

Chapitre III

Résultats

Chapitre III : Résultats

Les résultats relatifs aux effets des différentes doses du jus de lombricompost brut formulé utilisés (la faible dose et la forte dose) en comparaison par rapport au témoin (eau) sur la promotion de la croissance et l'état phytosanitaire du haricot vert *Phaseolus vulgaris*. Les résultats de la promotion de l'haricot expliquent la manière d'optimisation de la formulation.

1. Evaluation de l'effet du bioproduit sur la croissance et la santé végétale

Cette partie des résultats est dédiée à l'exposition des résultats obtenus à travers l'application des différentes dose de la formulation initiale sur certains paramètres populationnels et démographiques du puceron noir ainsi que sur certains paramètres de croissance de l'haricot.

1.1. Effet du bioproduit sur certains paramètres populationnels

L'effet recherché à travers l'application du bioproduit formulé est d'extérioriser sa capacité protectrice. Pour cette finalité, nous avons choisi d'estimer l'abondance et la densité du puceron noir sous l'effet de la forte et de la faible dose.

1.1.1. Effet du bioproduit sur l'abondance globale

D'après les résultats qui présentent dans le graphe (Fig. 15), on constate que l'application de la forte dose du jus de lombricompost brut formulé a donné une diminution remarquable des abondances du puceron avec une constance dans le maintien à un niveau le plus bas de la disponibilité du puceron pendant toute la période d'exposition au traitement par rapport au témoin qui montre une élévation de nombre des population de *Aphis fabae* au début de la deuxième semaine, on noté une première pic au 3^{ème} semaine et la deuxième pic au 7^{ème} semaine qui distinguent l'élévation de l'abondance globale du puceron, cependant l'application de la faible dose montre une efficacité temporelle assez importante durant les quatre premières semaines par rapport au témoin, au delà de cette période nous remarquons à la cinquième semaine une pic qui représenter la reprise des populations de puceron mais elle est moins par rapport au témoin suivi par une deuxième diminution des population du puceron à partir du sixième semaine de l'application de traitement.

La tendance générale de l'évolution temporelle de l'abondance globale de puceron sous l'effet des différentes doses de jus de lombricompost brut formulé montre une efficacité démarquée du la forte dose (FO) à partir de la première semaine après l'application par rapport au faible dose (FB).

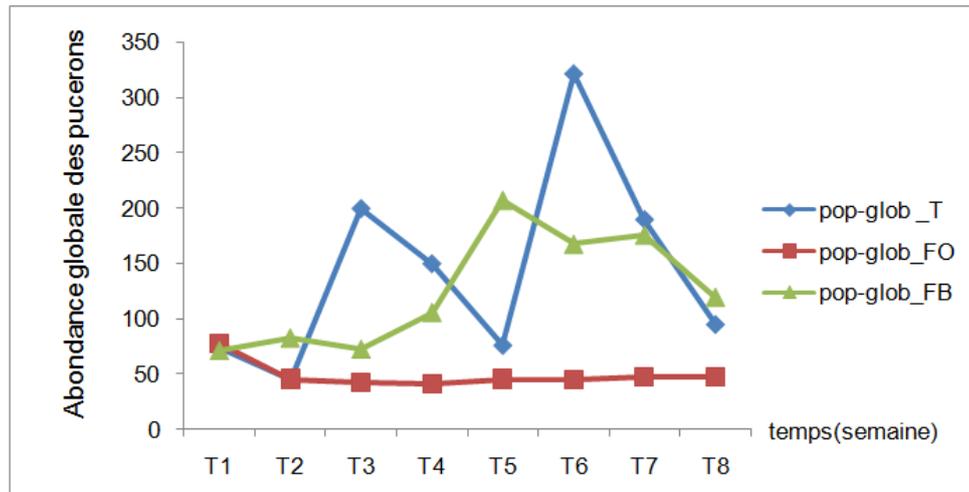


Figure 15 : Variation temporelle de l'abondance globale du puceron sous l'effet du bioproduit

pop_glob : Population globale, T : témoin, FO : Forte dose de jus de lombricompost 6ml /l.
 FB : Faible dose de jus de lombricompost 3ml /l.

Les résultats de l'analyse de la variance One Way ANOVA montrent que l'abondance globale des individus d'*Aphis fabae* présentent une différence significative entre les populations témoin et celles traités (Fig. 16). Néanmoins, les taux de réductions des populations sont très marqués chez les traités. Le même test confirme que la forte dose a la capacité de réduire significativement les abondances du puceron noir par comparaison à la faible dose ($p= 0,014$, $p<0.05$).

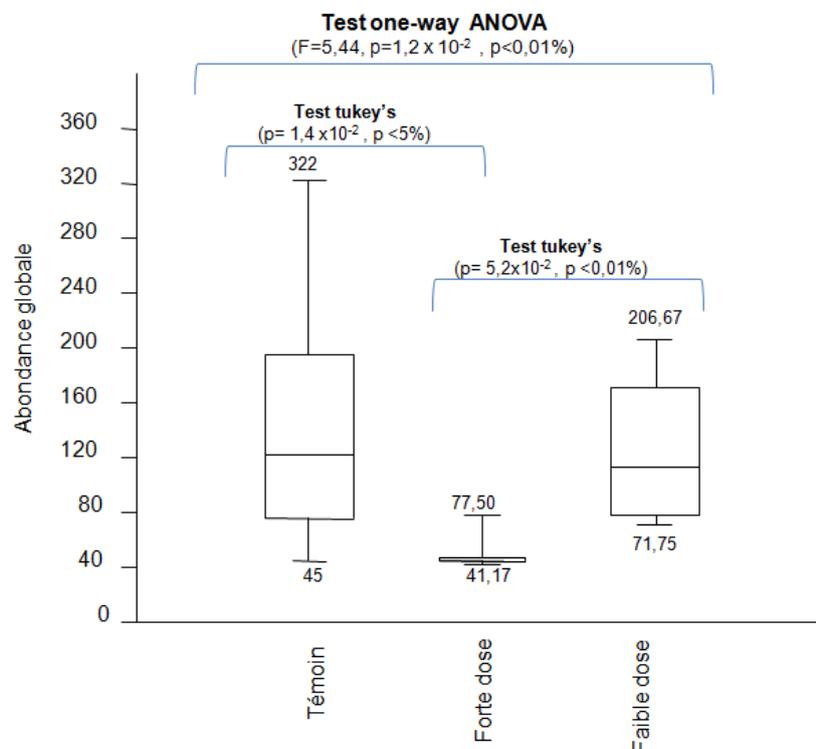


Figure 16 : Etude comparé des différentes doses du bioproduit sur l'abondance

1.1.2. Effet du bioproduit sur la densité

Le graphe (Fig.17) présente l'évolution temporelle de la densité des populations du puceron selon l'application foliaire des différentes doses du jus de lombricompost brut formulé. On remarque que les différents traitements apportés par voie foliaire ont montré une diminution remarquable des densités des populations et cela à partir de la deuxième semaine après l'application des traitements de bioproduit par rapport au témoin qui présente une élévation de la densité d' *Aphis fabae* surtout à la 3^{ème} et 5^{ème} semaine. L'application de la forte dose du jus de lombricompost brut formulé semble présentée un meilleur résultat par rapport à la faible dose qui affiche une réduction moindre des densités du puceron.

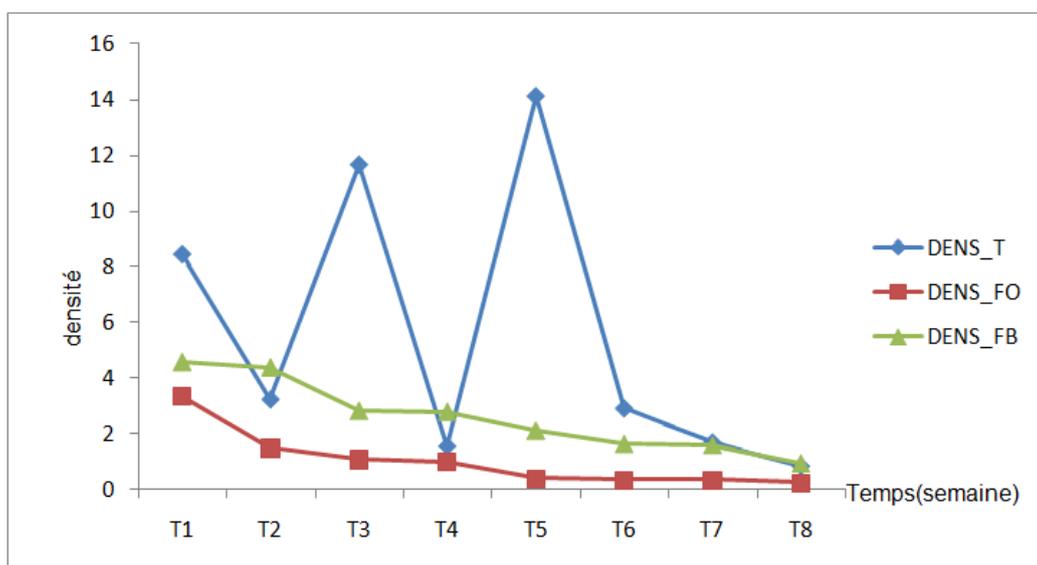


Figure17 : Variation temporelle de la densité du puceron sous l'effet du bioproduit

T : témoin, FO : Forte dose de jus de lombricompost 6ml/l, FB : Faible dose de jus de lombricompost 3ml/l, DENS : Densité.

Les résultats de l'analyse de la variance One Way ANOVA montrent que la densité du puceron présente une différence significative sous l'effet des différents traitements par rapport au témoin ($F=4,30$, $p=0,027$, $p < 0,05$).

La forte dose du jus de lombricompost brute formulé est le traitement qui diminué le plus la densité, par rapport à la faible dose (Fig.18). Le test Tukey's confirme que la forte dose et la faible dose n'influent pas significativement les densités du puceron noir ($p= 0,58$, $p > 0,05$).

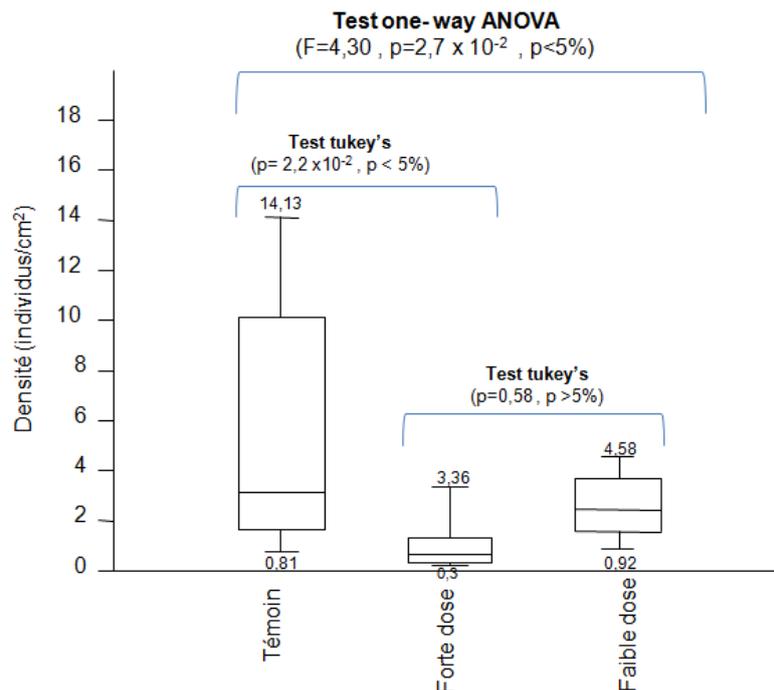


Figure 18 : Etude comparé des différentes doses du bioproduit sur la densité

T : témoin, FO : Forte dose de jus de lombricompost 6ml /l, FB : Faible dose de jus de lombricompost 3ml /l, DENS : Densité.

1.2. Effet du bioproduit sur la fécondité entant que paramètre démographique

L'effet recherché à travers l'application du bioproduit formulé est de révéler sa capacité perturbatrice du potentiel biotique du puceron noir. Dans cette optique, nous avons choisi d'apprécier la progéniture des adultes sous l'effet de la forte et de la faible dose.

Le graphe (Fig.19) montre l'évolution temporelle de la fécondité d'*Aphis fabae* sous l'effet des différentes doses du jus de lombricompost brut formulé. Les résultats, font remarquer que l'application de la forte dose du jus de lombricompost brut formulé a conduit à une diminution importante de la fécondité du puceron à partir de la troisième semaine de l'application du bioproduit et qui reste aux niveaux les plus bas par comparaison au témoin. En revanche, l'application de la faible dose montre une efficacité temporelle assez importante à partir de la deuxième semaine de l'application du traitement, au delà de cette période nous remarquons une reprise timide de l'activité biotique du puceron par rapport au témoin.

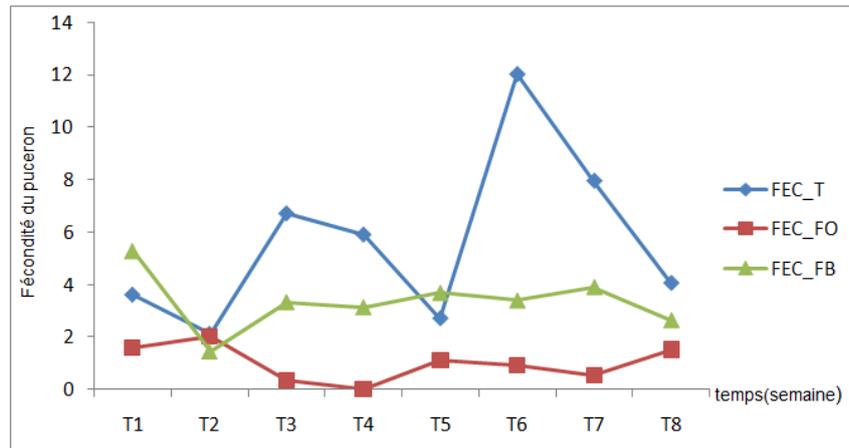


Figure 19 : Variation temporelle de la fécondité du puceron selon l'application foliaire des traitements

FEC : Fécondité du puceron, FO : Forte dose de jus de lombricompost 6ml /l, FB : Faible dose de jus de lombricompost 3ml /l, T : témoin.

Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la fécondité de *Aphis fabae* présente une différence très hautement significative sous l'effet des différents traitements par rapport au témoin ($F=10,4$, $p=0,00072$, $p < 0,001$) (Fig.20). La forte dose du jus de lombricompost brute formulé touche sévèrement l'activité biotique du puceron par rapport à la faible dose. Le test Tukey's confirme l'hégémonie de la forte dose du jus de lombricompost formulé sur la fécondité d'*Aphis fabae* ($p= 0,00059$, $p < 0,05$).

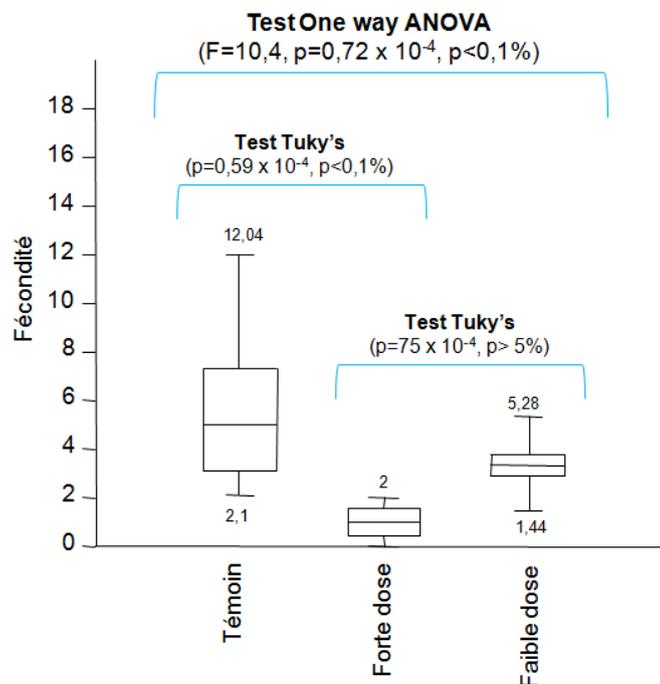


Figure 20 : Etude comparé des différentes doses du bioproduit sur la fécondité

FEC : Fécondité du puceron, FO : Forte dose de jus de lombricompost 6ml /l, FB : Faible dose de jus de lombricompost 3ml /l, T : témoin.

1.3. Effet du bioproduit sur la production de la phytomasse

Le deuxième effet recherché à travers l'application du bioproduit formulé est d'extérioriser sa capacité d'alimenter la plante. Pour cette finalité, nous avons choisi d'estimer la croissance en surface des feuilles et la production florale de l'haricot sous l'effet de la forte et de la faible dose.

1.3.1. Effet du bioproduit sur la croissance de la surface foliaire

L'évolution temporelle de la surface foliaire du haricot sous l'effet des différents traitements présente une certaine similarité durant les trois premières semaines par comparaison entre la forte dose (FO) et la faible dose (FB) de traitement de jus de lombricompost brut formulé par rapport au témoin. Dès la quatrième semaine nous assistons à une évolution très marquée de la surface foliaire des plantes du haricot vert chez le témoin (eau) par rapport aux plantes traité par les différentes doses de bioproduit. Il est à signaler qu'à partir de la cinquième semaine, on remarque une évolution très marquée de la surface foliaire sous l'effet de la forte dose et ce pendant toute la période d'essai par rapport au témoin. Par ailleurs, une évolution moins rapide de la surface foliaire des plantes traitées est signalée par application de la faible dose (Fig. 21).

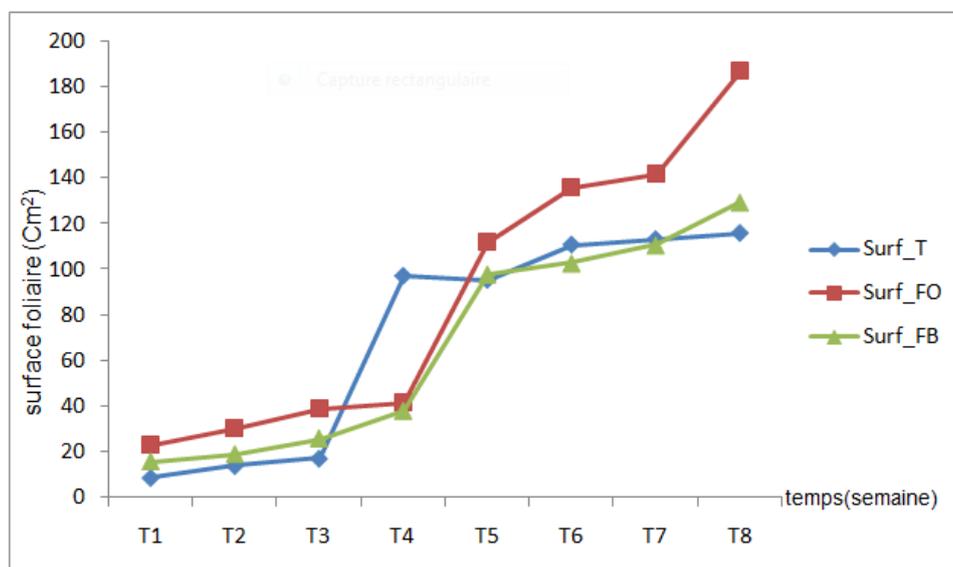


Figure 21 : Variation temporelle de la croissance de la surface foliaire sous l'effet du bioproduit

Surf : surface foliaire, FO : Forte dose de jus de lombricompost 6ml /l, FB : Faible dose de jus de lombricompost 3ml /l, T : témoin.

Les résultats exprimé en boite a moustache signalent que les grandes surfaces du feuillage sont signalées chez les plants traités par la forte dose du bioproduit, tandis que la faible dose enregistre des valeurs de surface foliaire appariées entre petite surface et grande surface. Par opposition chez les plants témoins, la majorité des surfaces estimées sont caractérisées par de faibles croissances. Le test One Way ANOVA confirme cette dissemblance en surface entre traités et témoin (Fig. 22).

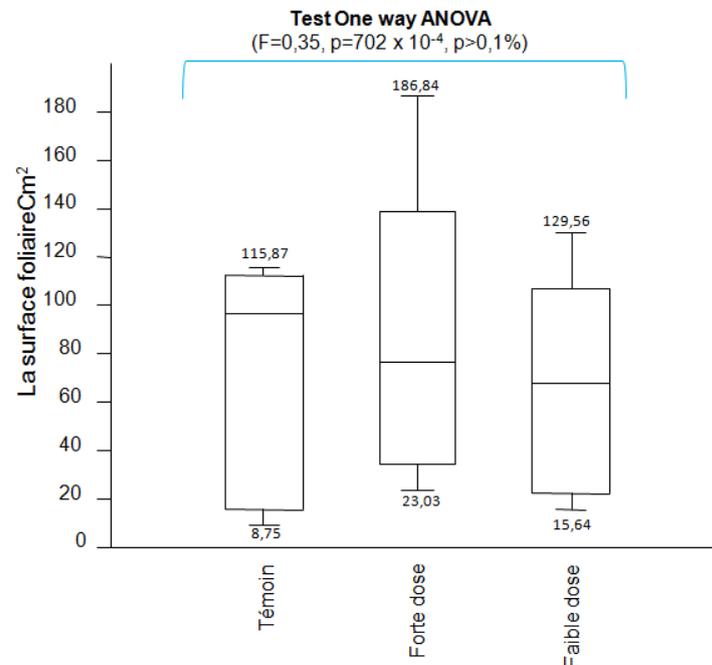


Figure 22 : Etude comparé des différentes doses du bioproduit sur la croissance foliaire

1.3.2. Effet du bioproduit sur le nombre de fleures

Le graphe (Fig.23) présente la variation temporelle du nombre de fleurs du haricot sous l'effet de l'application foliaire de différentes doses de jus de lombricompost brut formulé.

L'évolution temporelle du nombre de fleurs du haricot sous l'effet des différents traitements est non contrastée par comparaison entre la forte dose (FO) et la faible dose (FB) du bioproduit à base de jus de lombricompost brut formulé. On évoque une évolution très marquée du nombre des fleurs du haricot sous l'effet des deux doses de traitement durant toute la période d'essai par rapport au témoin.

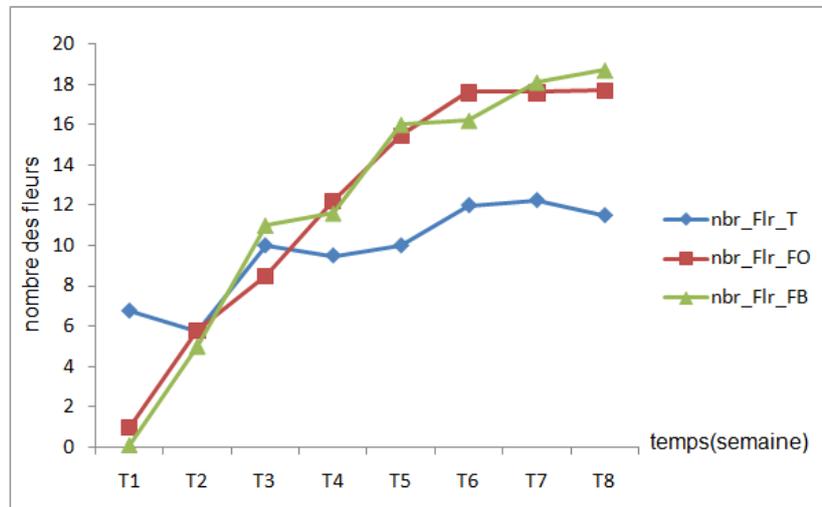


Figure 23 : Variation temporelle du nombre de fleurs sous l’effet du bioproduit

FO : Forte dose de jus de lombricompost 6ml /l, FB : Faible dose de jus de lombricompost 3ml /l, T : témoin, nbr_flr : nombre des fleurs.

Les résultats de l’analyse de la variance montrent que le nombre de fleurs présente une différence non significative dans le temps et sous l’effet des différents traitements par rapport au témoin ($F=0,48$, $p= 0.624$, $p >0,001$) (Fig.24). Les différentes doses du bioproduit semblent conduire à la production de plus de fleurs ; forte dose du jus de lombricompost brute formulé (17,7) et la faible dose (18,7) par rapport au témoin (12,25). (Fig. 24).

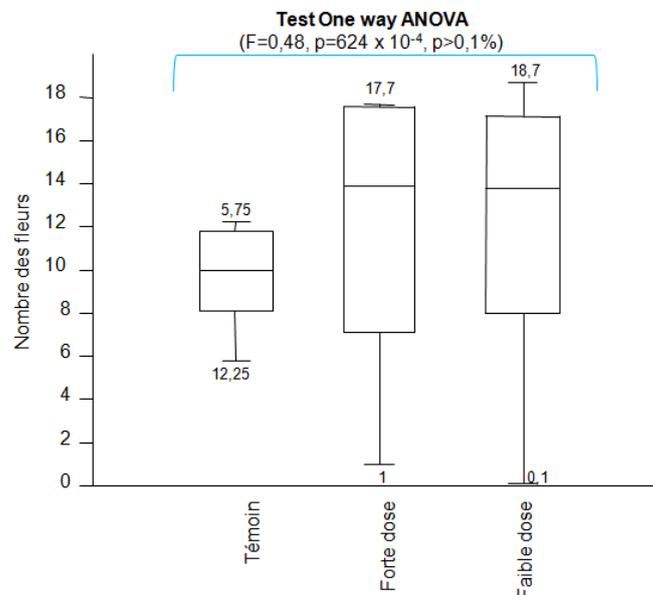


Figure 24 : Etude comparée des différentes doses du bioproduit sur la production florale

FO : Forte dose de jus de lombricompost 6ml /l, FB : Faible dose de jus de lombricompost 3ml /l, T : témoin, nbr_flr : nombre des fleurs.

2. Approche à l'optimisation du bioproduit par modélisation

2.1. Mise en application de la méthode

Afin d'établir une formulation d'un bioproduit à base de jus de lombricompost, on a du suivre les méthodes de plans d'expériences, qui permet d'optimiser la formule la plus efficaces sur les paramètres de production de la phytomasse et la promotion de l'état phytosanitaire de la plante modèle du haricot vert *Phaseolus vulgaris*.

2.1.1. Choix des facteurs et leurs niveaux

La préparation du jus de lombricompost brute formulé exige la désignation des facteurs (les composants) de ce bioproduit qui sont : (i) Jus de lombricompost, (ii) Glycérol, (iii) Plastifiant, (iv) Poly glucoside

Les niveaux des facteurs retenus désignent des valeurs minimales et maximales.

Tableau 3: Représentation des facteurs retenus et leurs niveaux pour 100ml de bioproduit.

Facteurs retenus	Minimale	Maximale
Jus de lombricompost (ml)	25	35
Glycérol (ml)	55	65
Plastifiant (ml)	3	5
Poly glucoside (ml)	3	5

2.1.2. choix des réponses

Notre choix a porté sur les réponses des expériences à partir des résultats de l'application du bioproduit formulé à base du jus de lombricompost par la formulation initial pour visualiser l'effet réel de ces réponses au niveau expérimental et déterminé la dose la plus efficace sur les paramètres de la phytomasse du haricot vert *phaseolus vulgaris* (la surface foliaire, nombre de fleurs) et les paramètres populationnels et démographiques d'*Aphis fabae* (population globale, fécondité, densité). Les réponses retenus sont : (i) la croissance de la surface foliaire, (ii) nombre de fleurs, (iii) Abondance, (iv) densité, (v) fécondité.

2.1.3. Modèle et plan adopté

L'existence de contraintes (limites supérieures et inférieures) qui interdisent l'accès à certaines régions du domaine d'étude nous a mené à utiliser le plan D-optimal.

Le recours au logiciel de Design-Expret 7.0.0. Nous a permis d'optimiser notre formulation initiale (bioproduit). Ce logiciel assure la conception hautement efficace d'expériences pour : Mixture design techniques : Découvrez la formulation optimale.

La première étape dans la création d'une conception de mélange est de sélectionner Nouveau design du menu Fichier.

- (i) Sélection design Mélange on a choisi un modèle de mélange (*Mixture*) car notre expérience répond à ce critère: Les composants ajoutés font un total fixe (100).
- (ii) On Sélectionne le modèle que nous voulons l'intégré D-optimal (Fig.25).
- (iii) Sélectionnez le nombre de facteurs et les niveaux (Fig.25). Dans la case de Mixture Component on écrire le nombre des constituant de bioproduit (les facteurs). À la case Total on écrire la valeure total de tous les composants de bioproduit et leur unité de mésure (Units).
- (iv) Dans le tableau on écrit les niveaux des facteurs désignent des valeurs minimales (Law) et maximales (High) et les noms(Name) de ces facteurs : A (jus de lombricompost) est de 25% du mélange, B (Glycérol) est de 65%, C (Plastifiant) est de 5% et d (Poly glucoside) représente les 5% restants. Si le pourcentage d'un composant est augmentée, alors le pourcentage d'une ou de plusieurs des autres composants doit être réduite. Si le montant de vos composants ne dépend pas de l'autre. Puis cliquer sur Continue ».

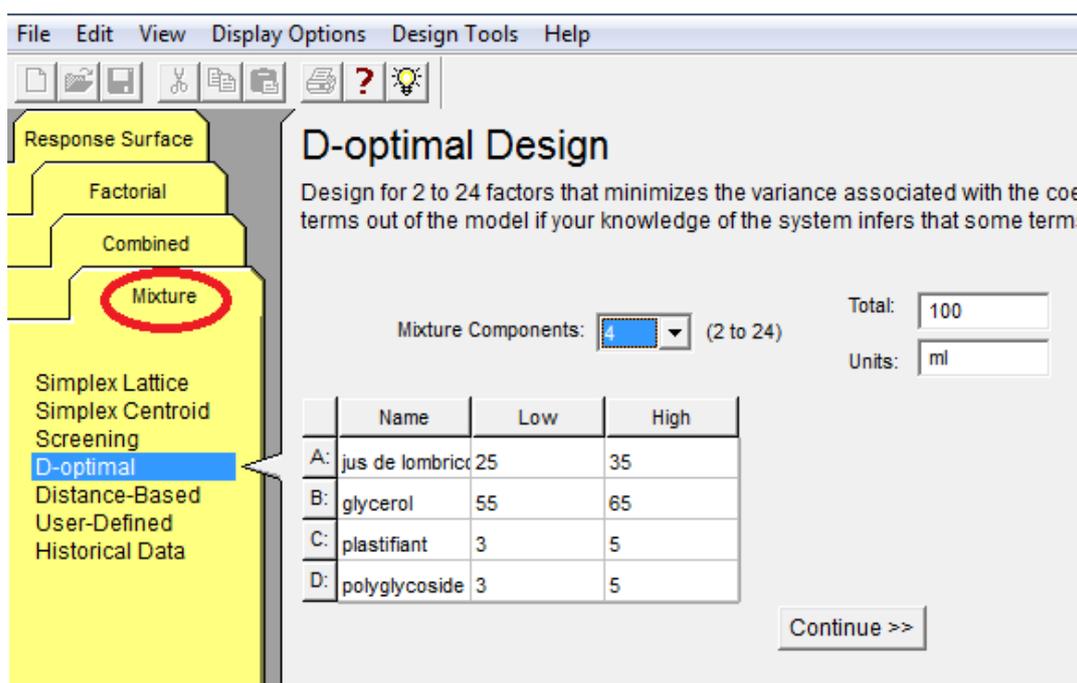


Figure 25 : Insertion des facteurs dans logiciel

- (v) On entre le nombre de réponses (Responses) et les noms des réponses et leurs unités dans le tableau (Fig.26). Cliquez sur le bouton Continuer.

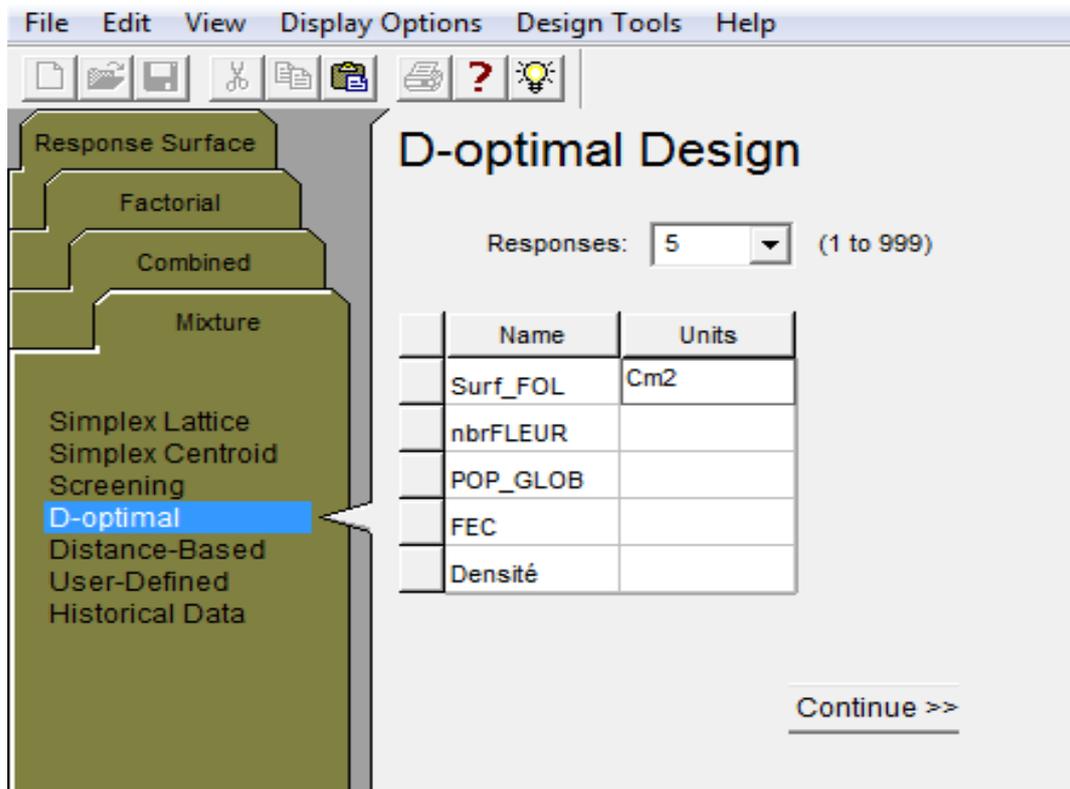


Figure 26 : Insertion des réponses dans logiciel

2.2. Construction du plan d'expériences

Les facteurs et les niveaux sélectionnés sont introduits dans le logiciel. L'introduction des différents facteurs avec leurs niveaux a donné les recettes ou les formules illustrées dans la (Fig.27). Le nombre total des essais à formuler avec un plan classique a été estimé plus que le nombre par le plan D-optimal, ce dernier a permis de réduire le nombre à 20 seulement incluant 5 répétitions.

Std	Run	Block	Component 1 A: jus de lombricompost ml	Component 2 B: glycerol ml	Component 3 C: plastifiant ml	Component 4 D: polyglycoside ml	Response 1 Surf_FOL	Response 2 nbrFLEUR	Response 3 POP_GLOB	Response 4 FEC	Response 5 Densité
5	1	Block 1	26.533	63.470	5.000	4.998					
11	2	Block 1	33.446	60.553	3.001	3.000					
14	3	Block 1	31.313	62.687	3.000	3.000					
19	4	Block 1	30.026	60.749	5.000	4.225					
3	5	Block 1	29.165	64.834	3.001	3.000					
2	6	Block 1	35.000	56.862	4.999	3.139					
18	7	Block 1	26.810	65.000	4.981	3.209					
12	8	Block 1	32.197	57.805	4.998	5.000					
4	9	Block 1	35.000	57.360	3.801	3.839					
8	10	Block 1	30.026	60.749	5.000	4.225					
15	11	Block 1	33.408	58.793	4.799	3.000					
6	12	Block 1	35.000	55.003	4.998	4.999					
7	13	Block 1	26.943	65.000	3.058	4.998					
10	14	Block 1	30.453	60.466	4.081	5.000					
17	15	Block 1	26.533	63.470	5.000	4.998					
20	16	Block 1	26.943	65.000	3.058	4.998					
9	17	Block 1	35.000	56.830	3.170	4.999					
1	18	Block 1	26.810	65.000	4.981	3.209					
13	19	Block 1	28.845	62.785	3.631	4.740					
16	20	Block 1	35.000	56.830	3.170	4.999					

Figure 27 : Les différentes formules du plan d'expériences pour 100ml de bioproduit

2.3. Représentation géométrique des mélanges

On utilise un triangle équilatéral pour la présentation de nos mélanges, ce dernier est représenté dans (Fig.28), les propriétés géométriques du triangle équilatéral assurent que les contraintes fondamentales des mélanges sont bien respectées

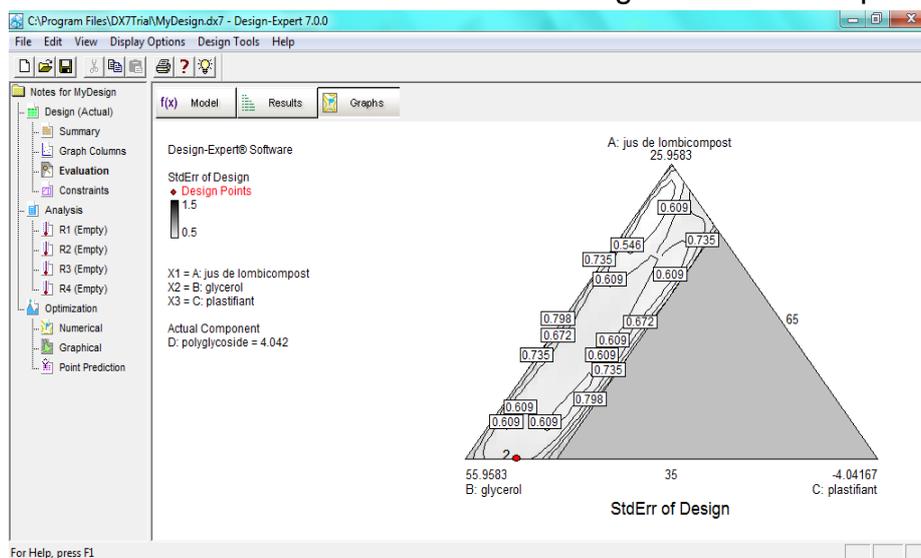


Figure28 : Position des mélanges dans le domaine expérimental

Chapitre VI

Discussion

Chapitre IV : Discussion

L'étude que nous avons menée pour vérifier l'hypothèse posée que la formulation initiale de bioproduit à base du jus de lombricompost brut possède à un effet stimulateur des systèmes de défense de la plante *Phaseolus vulgaris* L par estimations des paramètres populationnels et démographiques du puceron noir *Aphis fabae* et un effet bio fertilisant en stimulant le développement de la croissance foliaire et le nombre de fleurs.

1. Effet du bioproduit sur certains paramètres populationnels

Les résultats qui vont être présentés nous ont permis de comparer l'efficacité de l'application foliaire de deux doses de ce bioproduit par rapport au témoin. Les résultats relatifs au premier effet recherché du bioproduit sur les paramètres populationnels d'*Aphis fabae* présentent un effet positif de ce bioproduit formulé sur l'état phytosanitaire de *Phaseolus vulgaris* L. On estime que les différentes doses du bioproduit formulé ont entraîné une diminution statistiquement significative des abondances des populations du puceron et ainsi que la densité par rapport au témoin avec une meilleure efficacité de la forte dose du jus de lombricompost brute formulé.

D'après Nicot (2009), la composition de la fertilisation peut influencer la présence dans la plante de certains composés toxiques pour les bioagresseurs, ainsi que le renforcement des parois cellulaires. La réduction d'abondance suite à l'application du lombricompost est argumentée par les travaux de Pajot (2010), qui montrent que le traitement foliaire des plants avec du lombricompost est associé au développement de certaines réponses défensives dans les tissus des plantes hôtes.

Ainsi autre recherche de Edwards et Arancon (2004), rapportent des diminutions statistiquement significatives des populations d'arthropodes (pucerons, cochenilles, tétranyques) et des réductions corollaires des dégâts infligés aux plantes dans des essais portant sur la tomate, le poivron et le chou grâce à des ajouts de 20% et 40% de lombricompost. Ils signalent également une suppression significative des nématodes endoparasites au cours d'essais en champs sur des poivrons, des tomates, des fraises et du raisin. Il faudra cependant davantage de recherches avant qu'on puisse considérer le lombricompost comme méthodes non toxiques de protection phytosanitaire contre les ravageurs.

2. Effet du bioproduit sur la fécondité en tant que paramètre démographique

L'effet recherché à travers l'application du bioproduit formulé est de révéler sa capacité perturbatrice du potentiel biotique du puceron noir montre que les différentes doses de bioproduit formulé ont affiché une diminution statistiquement

significatives de la fécondité par rapport au témoin avec une meilleure efficacité de la forte dose du jus de lombricompost brute formulé.

Leather (1983) et Dixon (1996) estiment que la qualité de la plante hôte peut affecter la fécondité et le conditionnement des différentes formes biologiques (les différents stades larvaires et adultes). Ils avancent qu'une plante pauvre en ressources nutritives affecte le potentiel biotique des femelles qui réagissent par une résorption des œufs dans le but de maintenir son intégrité.

3. Effet du bioproduit sur la production de la phytomasse

Les résultats du deuxième effet recherché à travers l'application du bioproduit formulé pour extérioriser sa capacité d'alimenter la plante signalent que les grandes surfaces du feuillage sont signalées chez les plants traités par la forte dose du bioproduit, tandis que la faible dose enregistre des valeurs de surface foliaire appariées entre petite surface et grande surface. Par opposition chez les plants témoins, la majorité des surfaces estimées sont caractérisées par de faibles croissances.

La digestion mutualiste initiée dans le tube digestif du vers de terre va se poursuivre à l'intérieur des turricules (lomricompost) (Lavelle et *al.*, 2004). Les vers de terre avec leurs turricules vont fortement modifier les processus biochimiques qui leurs sont associés. L'implication d'une modification de l'environnement biochimique par les vers de terre est un facteur déterminant dans la compréhension de situations où des changements dans la structure du sol ou dans la disponibilité en nutriments ne permettent pas à eux seuls d'expliquer l'effet des excréments (lomricompost) des vers de terre sur la physiologie et la croissance des plantes (Tomati et *al.*, 1988; Blouin et *al.*, 2005; Blouin et *al.*, 2006; Laossi et *al.*, 2010).

Canellas et *al.* (2002) rapportent que le lombricompost contient des régulateurs de croissance bénéfiques à la croissance et au rendement qui font l'objet d'études plus poussées de la part de plusieurs chercheurs ; Atiyeh et *al.* (2002), envisagent la possibilité que les réactions observées sur le plan de la croissance soient attribuables à une activité de type hormonal associée aux taux élevés d'acides humiques et d'humâtes dans lombricompost. Il est fort possible que les régulateurs de croissance, relativement éphémères, soient adsorbés aux humâtes et agissent de concert avec eux pour influencer sur la croissance des végétaux.

L'évolution temporelle du nombre des fleurs du haricot sous l'effet des différents traitements mentionné une évolution très marquée du nombre des fleurs du haricot sous l'effet des deux doses de traitement par rapport au témoin. Sinha et *al.* (2009) mentionnent les travaux de Neilson (1951, 1965) et Tomati (1988) qui précisent que les lombrics sécrètent de nombreuses hormones de croissance telles que les auxines, cytokinines et les gibbérélines, hormones qui induisent la floraison.

4. Approche à l'optimisation du bioproduit par modélisation

Le suivi des méthodes de plans d'expériences, qui permet de optimisé la formule la plus efficace sur les paramètres de la phytomasse et la phytosanitaire de la plante modèle du haricot vert *phaseolus vulgaris L* par logiciel Design-Expert7.0.0 qui a engendré le plan d'expérimentation selon l'introduction des les informations capitales qui seront exploitées par la suite pour recommander et avancer progressivement et de réorienter voire affiner les études en fonction des premiers essais réalisés.

La modélisation vise l'optimisation de l'activité biologique convoitée par la proposition de mixtures types obéissant aux marges limites des différentes composantes de bioproduit.

L'introduction des différents facteurs avec leurs niveaux des composants de bioproduit à base de jus de lombricompost brut a donné les recettes ou les formules. Le plan D-optimal permet une diminution notable du nombre d'essais tout en donnant une bonne précision dans la détermination des résultats. Elle offre ainsi la possibilité de quantifier et de hiérarchiser les effets de nombre facteurs du système étudié, et cela avec un nombre d'essais relativement faible. Le nombre total des essais à formuler par le plan D-optimal 20 formules seulement incluant 5 répétitions c'est à dire 15 formules pour la conduite des essais.

Les plans de mélanges sont des plans particuliers adaptés aux facteurs dépendants. Ils sont surtout utilisés pour étudier l'influence des proportions des constituants d'un produit sur une réponse donnée (Cornell, 1981).

Les réponses obtenues sous l'effet des différents essais à formuler par le plan de mélange constituantes la base de calcul de la formule mathématique qui désignera le mélange (la formule de bioproduit) ayant la capacité d'optimiser leur activité biologique comme biostimulant de la défense naturel de l'haricot vert par les estimation de certains paramètres populationnels et démographiques du puceron noir ainsi que son effet biofertilisant sur certains paramètres de croissance de l'haricot.

Le triangle équilatéral présente nos mélanges. Les propriétés géométriques du triangle équilatéral assurent que les contraintes fondamentales des mélanges sont bien respectées louablement que le jus de lombricompost est de 25,9583% du mélange, Glycérol est de 55.9583%, Plastifiant est de 4,04167% et Poly glucoside représente les 4,042% restants. Si le pourcentage d'un composant est augmentée, alors le pourcentage d'une ou de plusieurs des autres composants doit être réduite parce que les composants ajoutés à un total fixe 100%.

Conclusion générale et perspectives

A l'issue de la présente étude consacrée essentiellement à l'étude des paramètres populationnels et démographiques d'*Aphis fabae* et certains paramètres de croissance du *Phaseolus vulgaris*, sous l'effet de l'application foliaire des différentes doses de la formulation initiale de bioproduit à base de jus de lombricompost brut. Il nous a paru intéressant de d'exposer les principaux résultats auxquels nous avons aboutis.

Les résultats relatifs aux paramètres populationnels d'*Aphis fabae* montrent que la forte dose du jus de lombricompost brut formulé exprime les meilleurs résultats par rapport à la faible dose. Elle a donné une diminution remarquable des abondances du puceron pendant toute la période d'exposition et présenter réduction notable des densités des populations et cela à partir de la deuxième semaine après l'application des traitements de bioproduit.

L'effet de bioproduit sur la fécondité entant que paramètre démographique du puceron présenté que l'application foliaire de la forte dose du jus de lombricompost brute formulé touche sévèrement l'activité biotique du puceron par rapport à la faible dose.

L'évolution de la surface foliaire est maintenir du temps d'exposition autant que les grandes surfaces du feuillage sont signalées chez les plants traités par la forte dose du bioproduit.

Les résultats mentionnés une évolution très marquée du nombre de fleurs du haricot sous l'effet des deux doses de bioproduit par rapport au témoin.

La modélisation mathématique par plans de mélanges offre la possibilité de quantifier et de hiérarchiser les effets de nombre composants du bioproduit à base de jus de lombricompost brut et étudier l'influence des proportions des constituants de ce bioproduit sur les réponses donnée.

En perspective, et dans un travail ultérieur, Il serait envisageable d'étudier l'influence des proportions des constituants de bioproduit à base de jus de lombricompost brut sur les mécanises de défense naturel de la plante.

Il serait aussi intéressant de se focaliser sur l'utilisation des bioproduit issu de lombriculture dans le but d'augmenter leur efficacité dans le terrai afin de permettre aux les plantes de répondre efficacement aux différents stress biotique et abiotique.

Références bibliographiques

Référence bibliographique

Abdessemed N., 2014 : Implication des phytofortifiants dans la régulation du stress salin sur une culture du haricot: *Phaseolus vulgaris* L.var Djedida. Cas d'un biofertilisant issu de lombriculture. Thèse Master SNV. Univ. Saad Dahleb – BLIDA.65p.

Ahuja I., Kissen, R., et Bones A. M., 2012: Phytoalexins in defense against pathogens. *Trends in plant science*, 17(2).

Amborabé E., Aziz A., Trotel-Aziz P., Quantinet D., Dhuicq L. et Guy V., 2004 : Stimulation des défenses naturelles de la vigne. Essais d'emploi du chitosan contre *Botrytis cinerea*. *Phytoma*, 571:26–29.

Anonyme, 2001: Vermicompost as insect repellent; *biocycle* , Jan01,19.

Arancon N.Q., 2004: An Interview with Dr. Norman Arancon, *Casting Call*, Vol.9.N°2.

Aroun.M.E.F., 1985 .Les aphides et leurs ennemis naturels en verger d'agrumes de la Mitidja .Thèse Magistère. Inst .Nat .Agro., El Harrach, Alger ,125p.

Atiyeh R.M, Subler S., Edwards C.A., Bachman G., Metzger J.D.et Shuster W., 2002: Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil», *Pedo biologia*, n° 44, p. 579-590.*Biocycle*. 2001 - Vermicompost as Insect Repellent, p. 19.

Aubry J.M., Schorsch G., 1999 : Formulation - Présentation générale. Formulation. Paris, Techniques de l'ingénieur, J210.

Benoist D., 1970 : Relations entre plans d'expériences, I.S.U.P. Thèse.

Blouin M., Barot S., et Lavelle, P. 2006: Earthworms (*Millsonia anomala*, Megascolecidae) do not increase rice growth through enhanced nitrogen mineralization. *Soil Biol. Biochem.*, **38**, 2063-2068.

Blouin M., Zuily-Fodil Y., Pham-Thi A.T., Laffray D., Reversat G., Pando A., Tondoh J. et Lavelle P., 2005: Belowground organism activities affect plant aboveground phenotype, inducing plant tolerance to parasites. *Ecol. Lett.*, **8**, Pp: 202-208.

Bounnemain J.L et Chollet J.F., 2003 : L'arsenal phytosanitaire face aux ennemis des plantes.Considérations générales. *C. R. Biologies*, 326:1–7.

Caseellato S., 1987: On polyploidy in oligochaetes with particular reference to lumbricids. In *On earthworms. Selected symposia and monographs U.Z.I.* (eds A. M. Bonvicini Pagliai & P. Omodeo), pp: 75–87. Modena, Italy: Mucchi.

Cornell J.A., 1981: «Experiment with Mixtures», John Wiley and Sons, New-York.

Delorme R., 2005 : Communication personnelle. (Directeur de recherche INRA Versailles).

Donea M., Simus P., et Pain J., 2002: guide pratique de lombricompostage individuel .Service éco-conseil. Namur , 22p.

Ebel J et Mithofer A., 1998: Early events in the elicitation of plant defence. *Planta*, 206:335–348.

Edreva A., 2005 : Pathogenesis-related proteins : research progress in the last 15 years. *General Applied Plant Physiology*, 31(1-2).

Edwards C.A. et Arancon N., 2004: Vermicomposts Suppress Plant Pest and Disease Attacks», REDNOVA NEWS, <http://www.rednova.com/display/?id=55938>.

Edwards C.A. et Lofty J.R., 1972: Biology of earthworms, Chapman and Hall Ltd. (Londres), 283 p.

El Guilli M., Achbani E., Fahad k., Jijakli H., 2009 : Biopesticide : alternatives à la lutte chimique ?. Symposium international « Agriculture durable en région Méditerranéenne (AGDUMED) », Rebat, Maroc. Parti4.Pp :266-277.

Faessel L., Gomy C., Nassr N., Tostivint C., Hipper C., Dechanteloup A., 2014 : Produits de stimulation en agriculture visant à améliorer les fonctionnalités biologiques des sols et des plantes –Étude des connaissances disponibles et recommandations stratégiques.156p.

Gaffney T., Friedrich L., Vernooij B., Negrotto D., Nye G., Uknes S., Ward E., Kessmann H., et Ryals J., 1993 : Requirement of salicylic acid for the induction of systemic acquired resistance. *Science*, 261:754–756.

Garcia-Brugger, A. et al., 2006: Early signaling events induced by elicitors of plant defenses. *Molecular plant-microbe interactions*, 19(7).

Goupy J., 1999 : Plans d'expériences : les mélanges, DUNOD.

Goupy J., 1999 : Plans d'expériences pour surface de réponse, DUNOD.

Gullion M. L., Leroux P. et Smith C. M., 2000: Uses and challenges of novel compounds for plant disease control. *Crop Protection*, 19:1–11.

Hamdadou R., 2013 : Etude de l'efficacité comparée de deux formulations de jus de lombricompost sur la disponibilité des pucerons sur différentes spéculations. Thèse Master SNV. Univ. Saad Dahleb – BLIDA. 64p.

Jeandet P., Adrian M., JOUBERT J.M., Hubert F. et Bessis R., 1996: Stimuler les défenses naturelles de la vigne. Un complément à la lutte phytosanitaire contre le Botrytis. *Phytoma*, 488:21–25.

Jeffree C.E., 1996: Structure and ontogeny of plant cuticles; dans G. Kerstiens (éd.), *Plant cuticles: an integrated functional approach*. Bios Scientific Publishers, Oxford, G.-B. Pp: 33-82.

Joubert Marie, 2013 : Résumé d'interventions de Laboratoires Goëmar S.A.S, Colloque Intrants Naturels 9&10 avril ITAB/GRAB ; Journées Substances Naturelles en Protection des Cultures Réglementation, expérimentation, usages, Paris. Pp : 17.

Kauffmann S., Dorey S., et Fritig B., 2001 : Les stratégies de défense, Pour la Science, Pp : 116 – 121.

Kauffmann, S., Dorey, S. et Fritig, B. 1999 : Les stratégies de défense des plantes. Pour la Science 262 : 30-37.

Kezzim Y., 2013 : Etude comparée de l'effet de différents stimulateurs des défenses naturelles (SDN) sur la santé végétale cas de la tomate (Marmande). Thèse Master SNV. Univ. Saad Dahleb – BLIDA.70p.

King A. et Young G., 1999: Characteristics and occurrence of phenolic phytochemicals. J. Am. Diet. Assoc. 99: 213-218.

Klarzynski O., Fritig B., 2001: Stimulation des défenses naturelles des plantes. Comptes rendus de l'Académie des sciences – Séries III – Sciences de la Vie 324, Pp: 953-963.

Klarzynski O., Fritig B., 2001: Stimulation des défenses naturelles des plantes. Comptes rendus de l'Académie des sciences. Paris – Séries III – Sciences de la Vie 324, Pp: 953-963.

Knoester M., Leendert C., Van Loon L.C., Van der Heuvel J., HENNIG J., Bol F.J. et Huub J.M., 1998: Ethylene-insensitive tobacco lacks non host resistance against soil borne fungi. Plant Biology, 95:1933–1937.

Laossi K.-R., Ginot A., Noguera D., Blouin M., et Barot S., 2010: Earthworm effects on plant growth do not necessarily decrease with soil fertility. *Plant and Soil*, **328**, 109-118.

Lavelle P., Rouland C., Binet F., Diouf, M. et Kersanté A., (2004) Regulation of
Lyon G. D. et Newton A. C., 1997: Do resistance elicitors offer new opportunities in integrated disease control strategies? *Plant Pathology*, 46:636–641.

Lyon G. D. et Newton A. C., 1997: Do resistance elicitors offer new opportunities in integrated disease control strategies? *Plant Pathology*, 46:636–641.

Malamy J., Carr J.P., Klessig D. et Raskin I., 1990: Salicylic acid: a likely endogenous signal in the resistance response of tobacco to viral infection. *Science*, 250:1002–1004.

Maumené et Bousquet, 2009 : La stimulation des défenses naturelles des plantes, Un vaccin végétal, perspectives agricoles • n° 355, Pp36-37.

Métraux J.P., Signer H., Ryals J., Ward E., Wyss-Benz M., Gaudin J., Raschdorf K., Schmid E., Blum W. et Inverardi B., 1990: Increase in salicylic acid at the onset of systemic acquired resistance in cucumber. *Science*, 250:1004–1006.

microbial activities by roots and soil invertebrates. In Buscot, F., Varma, A. (eds) *Regulation of Microbial Activities*. Springer Verlag, Berlin.

Misra R.V., Roy R.N., Hiraoka H. et Bangkok, 2005: Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole; Documents de travail sur les terres les eaux. Volum2. Organisation des nations unies pour l'alimentation et agriculture. Rome.

Mustin M., 1987 : « Le compost, gestion de la matière organique », 954p.

Nicholson R.L. et Hammerschmidt R., 1992: Phenolic compounds and their role in disease resistance. *Annu. Rev. Phytopathol.*30: Pp369-389.

Nicholson R.L. et Hammerschmidt R., 1992: Phenolic compounds and their role in disease resistance. *Annu. Rev. Phytopathol.* 30: 369-389.

Pajot E., 2010 : «Les Stimulateurs des Défenses Naturelles en Production Végétale : Mythe ou Réalité ? », XVI Rencontres Professionnelles. EP Valinov-VEGEPOLYS. Rittmo. Colmar.

Pautot V, Rabaglia C et Pernollet J.C., 1999 : La résistance des plantes aux agents pathogènes. *Phytoma*, 521:10–15.

Place des Mécanismes de Défense chez le Tabac. Thèse doctorat de l'Université de Bourgogne.251p.

Rat-Morris E., 1990. Résistance du pommier au puceron cendre, comportement de la variété Florina. Deuxième conférence internationale sur les ravageurs en agriculture, 4-5 et 6 /12/1990, Versailles: 607-614.

Sabre R., 2011 : Planification expérimentale en agro-alimentaire. Technicien d'ingénieur, F1 005.

Sauvion N., 1995. Effets et modes d'action de deux lectines à mannose sur le puceron du pois, *Acyrtosiphon pisum* (Harris). Thèse de doctorat en analyses et modélisation des systèmes biologiques, institut national des sciences appliquées de Lyon: 255 p.

Schimmerling P., Sisson J.C., Zaidi A., ,1998 : Pratique des plans d'expériences, (Technique et documentation).

Senthil-Kumar M., Mysore K. S., 2013: Nonhost resistance against bacterial pathogens: retrospectives and prospects. *Annual review of phytopathology*, Volume 51, Pp: 407-427.

Smith S., 2006 : Série de manuels de Formation sur l'utilisation des pesticides au canada. Chapitre 1 renseignements généraux, volume1; Pp: 1-19.

Stanislas Thomas, 2011 : Rôle de la Dynamique Membranaire dans la Mise en Place des Mécanismes de Défense chez le Tabac. Thèse doctorat Université de Bourgogne,251p.

Tomati U., Grappelli A. et Galli E., 1988: The hormone-like effect of earthworm casts on plant growth. *Biol. Fertil. Soils*, 5, Pp: 288-294.

Tomlin A.D., 1981 : Élevage des vers de terre. Agriculture Canada. Canadex N° 489. 4p.

Van Breusegem F. et Dat J. F., 2006: Reactive Oxygen Species in Plant Cell Death. *Plant Physiology*, 141(Juin), pp. 384-390.

Van Breusegem F., Vranová E., Dat J. et D I., 2001: The role of active oxygen species in plant signal transduction. *Plant Science*, Volume 161.

Van Loon, L., 1999: Occurrence and properties of plant pathogenesis-related proteins. Dans: S. Datta & S. Muthukrishnan, éd. *Pathogenesis-related proteins in plants*.

Visvanathan et al., 2005: Vermicomposting as an Eco-tool in Sustainable Solid Waste Management, Asian Institute of Technology, Anna University, India.

Ziadi S., Godard J., Barbedette S., Pajot E., Le Corre D., Monot C. et Silué D., 2001: Deux nouvelles molécules, le benzothiadiazole (BTH) et le phytogard (K₂HPO₃) permettent de protéger le chou-fleur contre le mildiou provoqué par *Peronospora parasitica*. In 30^{ème} Congrès Du Groupe Français Des Pesticides, éd. : Produits phytosanitaires : analyse, résidus, métabolites, éco toxicologie, modes d'action, transfert..., Pp : 239–255, Reims. Presses universitaires de Reims.

Ziadi smail, 2001 : Les gènes PR-10 du pommier (*Malus domestica*) : identification, caractérisation et analyse de l'expression spatio-temporelle en réponse à une induction par l'acibenzolar-S-methyl (ASM), un analogue fonctionnel de l'acide salicylique. École doctorat de Rennes 1, France. 182p.