REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA
FACULTE DES SCIENCES

Mémoire de fin d'étude
En vue de l'obtention de diplôme de Master en sciences agronomiques
Option : phytopathologie

Thème:

STIMULATEURS DE DEFENSE NATURELLES DES PLANTES COMME UNE ALTERNATIVE DURABLE AUX PRODUITS PHYTOSANITAIRES CONVENTIONNELS: CAS DU LOMBRICOMPOST

Présenté par :

- ALIKACEM Sara
- BENABDERRAHMANE Mohamed Alaeddine
- GUEDOUI Selma

Devant le jury composé de:

- M^{me} F. SAFIDDINE	M.C.B	Univ. Médéa	Présidente
-M^{me} F.Z.TCHAKER	M.C.B	Univ. Médéa	Promotrice
-M^{me} K. CHAOUATI	M.A.A	Univ. Médéa	Co-promotrice
-M^{me} M. SLIFI	Doctorante	Univ. Bouira	Examinatrice

Année universitaire:2020/2021

ABSTRACT

NATURAL PLANT DEFENSE STIMULATORS AS A SUSTAINABLE ALTERNATIVE TO CONVENTIONAL PHYTOSANITARY PRODUCTS: THE CASE OF LOMBRICOMPOST

The severity caused by aphids makes it especially necessary to develop alternative solutions based on the role of bio-fertilizers as natural elicitors in stimulating the natural defenses of plants to deal with pests and diseases.

The aim of the study is to assess the impact of different vermicompost-based treatments on the growth of *Zea mays* corn plants and the population structure of the corn aphid *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera / Aphididae) at the level from the Medea region.

Vermicompost bio-fertilizers are obtained following the decomposition of organic matter by two species of earthworms *Eisenia fœtida* and *Eudrilus eugeniae* (TLEF: Pure vermicompost tea obtained with *Eisenia fœtida*, TLEE: Pure vermicompost tea obtained with *Eudrilus eugeniae*). The treatments are applied by foliar way and by root absorption. The monitoring of bio-fertilizers took place over a period of 25 days.

Nutrient analyzes show the nitrogen contents to be 3.75% (LEE) and (4.09%). Those of phosphorus are 5.12% (LEE) and 6.23% (LEF). Potassium recorded values of 1.45% (LEE) and 1.36% (LEF). The calcium values in the two LEE and LEF treatments are respectively 0.057% and 0.048%.

The biofertilizers used participated in the reduction in density of *Rhopalosiphum maidis* in a highly significant way compared to the control. However, vermicompost provided by the foliar route seems to be more effective. In addition, the results of plant growth express average vegetative expression in the treated by root absorption than by foliar application. The results show no significant difference in terms of effect between vermicompost obtained with *Eisenia fœtida* and Vermicompost obtained with *Eudrilus eugeniae.*

Key words: Foliar application, root absorption, Growth, density, Vermicompost tea.

RESUME

STIMULATEURS DE DEFENSE NATURELLES DES PLANTES COMME UNE ALTERNATIVE DURABLE AUX PRODUITS PHYTOSANITAIRES CONVENTIONNELS: CAS DU LOMBRICOMPOST

La sévérité causée par les pucerons, rend surtout nécessaire la mise au point de solutions alternatives s'appuyant sur le rôle des bio-fertilisants comme éliciteurs naturels dans la stimulation des défenses naturelles des plantes pour faire face aux bioagresseurs.

L'étude a pour but d'évaluer l'impact de différents traitements à base du lombricompost sur la croissance des plants de maïs *Zea mays* et la structure populationnelle du puceron de maïs *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera / Aphididae) au niveau de la région de Médéa.

Les bio-fertilisants de lombricompost sont obtenu suite à la décomposition des matières organiques par deux espèces de lombrics *Eisenia fœtida* et *Eudrilus eugeniae* (TLEF: Thé du Lombricompost pur obtenu avec *Eisenia fœtida,* TLEE: Thé du Lombricompost pur obtenu avec *Eudrilus eugeniae*). Les traitements sont appliqués par voie foliaire et par absorption racinaire. Le suivi des bio-fertilisants s'est déroulé sur une période de 25 jours.

Les analyses des éléments nutritifs montrent que les teneurs en azote sont de 3.75% (LEE) et (4.09%) (LEF). Celles du phosphore sont de 5.12% (LEE) et 6.23% (LEF). Le potassium a enregistré des valeurs de 1.45% (LEE) et 1.36 % (LEF). Les valeurs de calcium dans les deux traitements LEE et LEF sont respectivement de 0.057% et 0.048 %

Les biofertilisants utilisés ont participé dans la réduction de la densité de *Rhopalosiphum maidis* d'une manière hautement significative en comparaison avec le témoin. Cependant le lombricompost apporté par voie foliaire semble plus efficace. En outre, les résultats de la croissance des plantes expriment une expression végétative moyennent marque chez les traités par absorption racinaire que par l'application foliaire. Les résultats n'enregistrent aucune différence significative en termes d'effet entre le lombricompost obtenu avec *Eisenia fœtida* et le Lombricompost obtenu avec *Eudrilus eugeniae*.

Mots clés: Application foliaire, absorption racinaire, Croissance, densité, Thé de lombricompost.

الملخص

محفزات الدفاع عند النباتات الطبيعية كبديل مستدام للمنتجات النباتية التقليدية: حالة السماد الدودي

إن الشدة التي تسببها حشرات المن تجعل من الضروري بشكل خاص تطوير حلول بديلة تعتمد على دور الأسمدة الحيوية كمحفزات طبيعية في تحفيز الدفاعات الطبيعية للنباتات للتعامل مع الآفات.

الهدف من الدراسة هو تقييم تأثير العلاجات المختلفة القائمة على السماد الدودي على نمو نباتات الذرة Zea mays و التركيب السكاني لحشرة من الذرة Rhopalosiphum maidis (Hemiptera / Aphididae) (Fitch,1856)على مستوى منطقة المدية.

يتم الحصول على الأسمدة الحيوية لسماد الدودة بعد تحلل المواد العضوية بواسطة نوعين من ديدان الأرض Eudrilus eugeniae, Eisenia fœtida (TLEF: شاي سماد دودي نقي تم الحصول عليه مع Eisenia fœtida, TLEE: شاي سماد دودي نقي تم الحصول عليه باستخدام Eudrilus eugeniae)). يتم تطبيق العلاجات بالطريقة الورقية وامتصاص الجذور. تمت مراقبة الأسمدة الحيوية على مدار 25 يومًا.

أظهرت تحليلات المغذيات أن محتويات النيتروجين بلغت 3.75٪ (LEE) و (4.09٪). نسبة الفوسفور هي 5.12٪ (LEE) و 6.23٪ (LEF) سجلت قيم البوتاسيوم 1.45٪ (LEE) و 1.36٪ (LEF). قيم الكالسيوم في علاجي LEE و LEF هي على التوالي 0.057٪ و 0.048٪.

ساهمت الأسمدة الحيوية المستخدمة في تقليل كثافة نبات Rhopalosiphum maidis بدرجة عالية من الأهمية مقارنةً بالمجموعة الضابطة. ومع ذلك ، يبدو أن السماد الدودي الذي يوفره الطريق الورقي أكثر فعالية. بالإضافة إلى ذلك ، فإن نتائج نمو النبات تعبر عن متوسط التعبير الخضري في المعاملة بامتصاص الجذور مقارنة بالتطبيق الورقي . أظهرت النتائج عدم وجود فرق معنوي من حيث التأثير بين السماد الدودي الذي تم الحصول عليه باستخدام سماد دودة Eisenia fœtida و سماد الدودة الذي تم الحصول عليه باستخدام Eudrilus eugeniae.

الكلمات المفتاحية. الاستعمال الورقي ، امتصاص الجذور ، النمو ، الكثافة ، شاي السماد الدودي

Remerciements

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

D'abord nous adressons toute notre reconnaissance à la promotrice et la Co-promotrice de ce mémoire, Mme (TCHAKER Fatma Zohra) et Mme (CHAOUATI Karima), pour leur patience, disponibilité et surtout leurs judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

Merci aux membres du jury, Mme (SAFFIDINE Fadila) et Mme (SLIFI Malika) d'avoir eu l'amabilité d'accepter de juger ce travail, et d'avoir consacré de leurs temps pour l'enrichir par leurs propositions.

Nous désirons aussi remercier les professeurs Mr BABALI Djaafar ; Mr KARMAZLI Rachid et Mr SKENDAR Youssef pour leurs aide, disponibilité et générosité.

Nous remercions en particulier Mr KALACHE Amine, pour nous avoir donné l'occasion extraordinaire de réaliser notre travail de terrain.

En fin, nous tenons à remercier l'ENSA école supérieure de l'agronomie qui a contribué à ce projet pour qu'il évolue jusqu'à sa forme finale.

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail a ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverai jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A la femme, qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui a souffert sans me laisse souffrir, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, qui n'a jamais dit non à mes exigences qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse

Mon adorable MAMAN

A l'homme, mon précieux offre d'ALLAH, qui doit ma vie, ma Réussite et tout mon respect.

Mon cher PAPA.
A mes chers sœurs et mes frères Hadjer, Noufel, Sohaib, Asma et Hania que je leurs souhaite une bonne réussite
A mes chers cousins Yasmine, Asmaa, Aya, Soumia, Walae, Rafik et Younes

A mon cher grand-père
J'ai souhaité que tu es là le jour de ma soutenance
malheureusement tu es Parti
Qu'Allah l'accueille en son Vaste Paradis

A mes chères amies Rifka, Nadera et Nesrine pour leurs aides et support dans les moments difficiles.

Ainsi qu'à toute la famille ALIKACEM et SAFARBATI

A tous les enseignants qui m'ont aidé durant mon parcours universitaire
A tous mes amis avec qui j'ai partagé d'agréables moments tout au long de mon parcours.

Sara

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents Brahim et Halima qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui, qui ont toujours été là pour moi ET pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A mes chères sœurs Ilhem et Nadia

A Mon cher frère Aness

.

A mes chers amis Mouad et Sidahmed, j'espère que vous trouverez le bonheur que vous méritez.
A Mes enseignants de faculté. A ma promotion M2 Phytopathologie

Alaa

Dédicace

Louange à Dieu tout puissant, pour sa miséricorde. C'est lui qui nous a créé, c'est lui qui nous a donné le savoir, c'est grâce à lui que le fruit de notre travail est entre vos mains
et je le dédie à:

La plus merveilleuse de toutes les femmes au monde, celle qui m'a transmis sa générosité, celle qui m'a appris à pardonner, à aimer et à donner le meilleur de moi; Maman

Mon père qui m'a soutenu durant mes années d'études et qui m'a appris à compter sur moi-même, qu'il me soit permis aujourd'hui de t'assurer mon profond amour et ma grande reconnaissance

Papa, laisse-moi te témoigner ma profonde gratitude à travers ce modeste travail

A mon petit frère Mouhamed Rayen, que Dieu te bénisse et comble votre vie de bonheur et de réussite.

A mes oncles, mes tantes et ma ma chére cousine Hadjira que dieu leur donne une longue joyeuse vie.
A toutes la famille KADIK et GUEDOUI
A mes chères amies: Ratiba, Zineb, ichrek et Noussaiba qui n'ont jamais cessée de me soutenir.

A mon trinôme Sara et Alaa pour vos efforts et sacrifices,

A tous mes professeurs qui m'ont transmis le savoir, la curiosité et la persévérance.

Selma

TABLE DES MATIERES

RÉSUMÉ
ABSTRACT
الملخص
REMERCIEMENTS
DÉDICACES
TABLE DES MATIERES
LISTE DES FIGURES
LISTE DES TABLEAUX
INTRODUCTION GENERALE…….. 17
CHAPITRE I. DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES SUR *RHOPALOSIPHUM MAIDIS* (FITCH, 1856)
I.1. Origine et distribution géographique de *Rhopalosiphum maidis*..... 21
I.2. Position systématique..... 21
I.3 Description morphologique 21
I.3.1. Adulte..... 21
I.3.2. Nymphe……... 21
I.3.3. Larve..... 22
I.4. Biologie..... 22
I.5. Plantes hôtes 23
I.6. Dégâts ……..……..... 23
I.7. Moyenne de lutte 25
CHAPITRE II. NUTRITION MINERALE DES PLANTES
II.1. Définition de la nutrition minérale de la plante…….. 28
II.2. Généralités sur les nutriments minéraux……. 29
II.2.1. Macro-éléments..... 29
II.2.1.1. L'azote (N) ……...……... 30
II.2.1.2. Le phosphore (P)……..……... 31
II.2.1.3. Le potassium (K)…….…… 31
II.2.1.4. Le calcium (Ca)……..…… 32
II.2.1.5. Le magnésium (Mg)…… 32
II.2.1.6. Le soufre (S)…… 33
II.2.2. Micro-éléments ou oligo-éléments..... 34
II.2.2.1. Le fer (Fe) ……..…… 34
II.2.2.2. Le sodium (Na)…….…….... 34
II.2.2.3. Le chlore (Cl)……..... 35
II.2.2.4. Le bore (B)……..... 35
II.2.2.5. Le manganèse Mn)…….....….... 35
II.2.2.6. Le Zinc (Zn)……..……..…….. 36
II.2.2.7. Cuivre (Cu)…….....……. 36

II.2.2.8. Le molybdène (Mo)…….. 36
II.3. Absorption des nutriments..... 36
II.4. Effet de la nutrition sur la santé végétale…..... 37
CHAPITRE III. BIOFERTILISANT
III.1. Biofertilisants…….. 40
III.1.1. Définition …….. 40
III.1.2 Type de biofertilisants…… 40
III.1.2.1 Bio-fertilisants fixateurs d'azote (NFB) ……..….. 40
III.1.2.2. Bio-fertilisants solubilisant les phosphates (PSB)…….. 41
III.1.2.3. Bio-fertilisants mobilisateurs de phosphates (PMB)…… 41
III.1.2.4 Bio-fertilisants favorisant la croissance des plantes (PGPB)……..... 41
III.1.2.5 Bio-fertilisants solubilisant de potassium (KSB) ……... 42
III.2. Lombricompost……..…… 42
III.2.1. Définition..... 42
III.2.2. Lombricompostage..... 42
III.2.3 Systèmes de lombricompostage……..…… 44
III.2.3.1. Lombricomposteur vertical……..…..…… 44
III.2.3.2. Lombricomposteur horizontal…..…… 44
III.2.4. Type de lombrics en lombricompostage…….…… 45
III.2.4.1. *Eisenia fœtida (*Savigny, 1826)……. 45
III.2.4.1.1. Position systématique…….. 46
III.2.4.1.2. Description morphologique…… 46
III.2.4.1.3. Cycle de développement…….……. 46
III.2.4.2. *Eudrilus eugeniae* (Kinberg, 1867)……..……. 48
III.2.4.2.1. Position systématique…….. 48
III.2.4.2.2. Description morphologique…… 48
III.2.4.2.3. Cycle de développement……. 49
III.3. Stimulation des défenses naturelles des plantes……..……... 50
III.3.1. Mécanismes généraux ……. 50
III.3.2. Mécanismes moléculaire 51
1.3.2.1. Reconnaissance de l'agent pathogène…….…….. 51
1.3.2.2. Réponse précoce…….…….. 51
1.3.2.3. Voies de signalisation et réactions de défense…….……. 52
III.3.3. Intérêt en protection des plantes……. 53
III.3.3.1 Intérêt technique…….……... 53
III.3.3.2. Intérêt environnemental……..…….. 54
III.3.3.3. Place dans l'agriculture contemporaine…… 54
CHAPITRE IV. MATERIEL ET METHODES
IV.1. Objectif 57
IV.2. Présentation de la région..... 57
IV.2.1. Situation géographique..... 57

IV.2.2. Bioclimat des régions d'étude..... 57
IV.2.3. Synthèse climatique..... 58
IV.2.3.1. Diagramme Ombrothermique Bagnouls et Gaussen..... 58
IV.2.3.2. Etage bioclimatique..... 59
IV.3. Présentation de la zone d'étude 60
IV.4. Matériel d'étude..... 61
IV.4.1. Matériel biologique..... …. 61
IV.4.1.1. Matériel biologique végétal 61
IV.4.1.2. Matériel biologique animal 62
IV.4.2. Obtention de lombricompost……. 62
IV.5. Méthodes d'étude 67
IV.5.1. Dispositif expérimental et conduites de l'essai 67
IV.5.2. Détermination des paramètres physico-chimique du lombricompost… 67
IV.5.3. Estimation de la densité et de la répartition temporelle de *Rhopalosiphum maidis*…… 67
IV.5.4. Effet bio fertilisant de lombricompost sur les plants de maïs…… 68
IV.6. Analyse statistique 68
CHAPITRE V. RESULTATS 70
V.1. Composition physico-chimiques des Lombricomposts……. 71
V.2. Evaluation de l'effet des traitements sur la croissance du Maïs *Zea mays*…..... 71
V.2.1. Evolution temporelle de la croissance cumulative des plantes du Maïs 71
V.2.2. Etude comparée des traitements sur la croissance cumulative du Maïs 73
V.3. Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur la densité de *Rhopalosiphum maidis*…….. 75
V.3. 1. Evolution temporelle des densités de *Rhopalosiphum maidis* sous l'effet du thé de lombricompost……. 75
V.3. 2 Evaluation de l'effet comparé des applications du lombricompost sur la densité *de Rhopalosiphum maidis*…….. 77
V.3.3. Etude de la répartition temporelle des populations de *Rhopalosiphum maidis* sous l'effet du lombricompost appliqué……. 80
CHAPITRE VI .DISCUSSION 81
VI. 1. Composition physico-chimiques des vermicomposts……. 82
VI.2. Evaluation de l'effet des traitements sur la croissance du Maïs *Zea mays*…… 82
VI.3. Evaluation de l'effet comparé des applications du lombricompost sur la densité *de Rhopalosiphum maidis*……..…… 84
CONCLUSION 85
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 87

LISTE DES FIGURES

Figure I.1.	Adulte du Puceron de maïs *Rhopalosiphum maidis* ……..	22
Figure I.2.	Cycle de vie de *Rhopalosiphum maidis* ……	24
Figure II.1.	Transport radial des éléments minéraux dans la racine par les voies apoplasmique et symplasmique ……	37
Figure III.1.	Schéma d'un lombricomposteur verticale……..	44
Figure III.2.	Schéma d'un lombricomposteur horizontal……	45
Figure III.3.	*Eisenia fœtida*.....	46
Figure III.4.	Cycle de vie d'*Eisenia fœtida* ……..……...	47
Figure III.5.	Espèce de ver de terre épigée «*Eudrilus eugeniae* » …….	49
Figure III.6.	Cycle de vie de ver de terre *Eudrilus eugeniae* ……	50
Figure IV.1.	Limites géographiques de Médéa ……..……	58
Figure IV.2.	Diagramme Ombrothermiques de la région de Médéa ……	59
Figure IV.3.	Localisation de la région de Médéa dans le Climagramme d'Emberger ……	60
Figure IV.4.	Station d'étude ……..	61
Figure IV.5.	Matériel végétal……..	61
Figure IV.6.	Espèces de Lombrics utilisés ……..….	62
Figure IV.7	Processus d'obtention du lombricompost……	64
Figure IV.8.	Préparation du thé de lombricompost……..	66
Figure V.1.	Effet des modes des traitements sur la croissance des plants de Maïs	72
Figure V.2.	Etude comparée des traitements sur la croissance cumulative du Maïs…….	74
Figure V.3.	Etude comparée des traitements sur la croissance journalière du Maïs ……	75
Figure V.4.	Evolution temporelle des densités de *Rhopalosiphum maidis* sous l'effet du Thé de lombricompost ……	76
Figure V .5.	Incidence du Lombricomposte sur les densités globales *Rhopalophum maidis*……	78
Figure V.6	Etude comparée des traitements sur la densité de *Rhopalophum maidis*……..	79
Figure V.7	Type de répartition temporelle de puceron du Maïs *Rhopalosiphum maidis*……	80

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1. . Eléments essentiels aux plantes supérieures et concentrations internes considérées comme optimales pour une croissance normale …….…….. 29

Tableau IV.1. Variations mensuelles des températures et de la pluviométrie à Médéa ……..... 58

Tableau IV.2. L'apport nutritionnel distribué aux vers du compost ……. 65

Tableau V.1 Résultats des analyses des paramètres physico-chimiques des Lombricomposts ……..... 71

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La lutte contre les ravageurs des cultures est aussi ancienne que l'agriculture elle-même. Chaque époque a donc mis son savoir au service de la recherche de nouvelles techniques. Ainsi, dès l'antiquité les premiers recours à des produits chimiques ont été documentés. Mais c'est au cours des deux siècles écoulés que les méthodes de lutte ont connu leur apogée, permettant d'augmenter considérablement les rendements et de conserver les précieuses récoltes. Mais il y a aussi un revers à la médaille est apparu rapidement avec des effets négatifs sur les écosystèmes et sur la santé humaine en cas d'exposition prolongée à de telles substances chimiques. En ce début du XXIe siècle, l'opinion publique retient surtout les aspects négatifs des pesticides. Mais pour répondre aux besoins alimentaires d'une population mondiale sans cesse croissante, une protection des cultures efficace est indispensable. C'est le défi que tente de relever le bio-contrôle: protéger sans nuire à la santé et à l'environnement (Fillon, 2011).

Face à ces profils toxicologiques et écotoxicologiques, la lutte biologique peut offrir de nombreuses méthodes de lutte alternatives aux insecticides de synthèse. Parmi les méthodes de lutte biologique, les molécules bioactives (biopesticides et biofertilisants) occupent une place de choix car ils se prêtent souvent à la production de masse requise pour l'industrie. Ils s'appliquent avec un pulvérisateur conventionnel ce qui en facilite l'adoption par les producteurs agricoles. Ils sont généralement compatibles avec des méthodes de lutte biologiques classiques (ex. lâchers de prédateurs ou de parasites), même s'ils peuvent avoir des effets néfastes sur les organismes utiles (Charles et Bernard, 2011).

La biofertilisation offre une certaine éventualité de bioprotection par, l'utilisation de nouvelles formulations des bio-stimulants (Girousse *et al.,* 2005). Selon plusieurs auteurs, les bio-stimulants constituent une des voies qui pourrait réviser complètement les paradigmes régissant la lutte contre les ennemis des cultures. Cette approche, consiste à donner aux plantes les moyens de se défendre elles-mêmes, ou renforcer leurs propres moyens de défense, plutôt que de combattre directement l'agresseur. Dans cette catégorie se trouvent les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN), une solution intéressante sur les plans scientifique et agronomique, et qui pourrait bien être une solution d'avenir (Fravel *et al.,* 1999 in Tchaker *et al.,* 2015). Selon Benhamou et Rey (2012), un SDN est une molécule biologique capable de déclencher les événements moléculaires, biochimiques et cytologiques menant à l'expression de la résistance chez une plante. Il s'agit donc d'une sorte de « vaccin » susceptible d'activer le « système immunitaire » de la plante de telle sorte qu'une plante initialement sensible à un agent pathogène devienne résistante.

Le présent travail se situe dans ce contexte général et vise à favoriser une réduction des traitements aphicides des cultures par une biofertilisation foliaire et racinaire donnant ainsi, à la plante les moyens de se défendre d'elle-même.

L'objectif de notre recherche est d'évaluer l'effet stimulateur des défenses naturelles du lombricompost obtenu suite à la décomposition des matières organiques par deux espèces de lombrics *Eisenia foetida* et *Eudrilus eugeniae*. Il s'agit d'évaluer et de comparer l'effet de l'application foliaire et racinaire du lombricompost sur le paramètres morphologique de Maïs *Zea mays* (Croissance, nombre de feuilles) et ses retombées sur la structuration populationnelle du puceron du Maïs, *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856).

Chapitre I

CHAPITRE I.
DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES SUR *RHOPALOSIPHUM MAIDIS* (FITCH, 1856)

I.1. Origine et distribution géographique de *Rhopalosiphum maidis*

Le puceron du maïs, *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Homiptera: Aphididae), est un ravageur très redoutable de maïs d'origine asiatique. Actuellement cet insecte est distribué dans toutes les régions tropicales et tempérées du monde à cause des échanges internationaux (Hill, 1987; Blackman et Eastop, 2000; Al-Eryan et El-Tabbakh, 2004 ; Kuo *et al.*, 2006).

I.2. Position systématique

La position systématique du puceron du maïs est la suivante (Myers et al, 2021):

Règne	: Animalia
Embranchement	: Arthropoda
Classe	**:** Insecta
Ordre	: Hemiptera
Famille	: Aphididae
Genre	: *Rhopalosiphum*
Espèce	: *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856).

I.3. Description morphologique

I.3.1. Adulte

Les adultes du puceron du maïs peuvent être trouvées sous forme de femelle ailée, de femelle aptère et extrêmement rarement de mâle. L'adulte du puceron du maïs mesure de 1,8 à 2,1 mm et sa forme est ovale. Le corps est bleu-vert, tandis que les antennes, les pattes et les cornicules (petits appendices latéro-dorsaux, semblables à des cornes) sont noires. Ses antennes sont courtes. La tête est marquée de deux bandes sombres longitudinales et l'abdomen d'une rangée de taches noires de chaque côté (Figure I.1.) (Leblanc *et al.*, 2013).

I.3.2.Nymphes

Les nymphes sont semblables à l'adulte aptère mais plus petites (Cartier, 1957). Ils ont de couleur vert pois, avec des yeux rouges et des antennes et des pattes incolores, et mesurent environ 0,5 mm de long. La longueur du corps augmente jusqu'à environ 0,9, 1,1 et 1,3 mm, la couleur verte du corps devient plus foncée et les appendices acquièrent une

pigmentation foncée au fur et à mesure que la nymphe progresse dans les stades 2-4 (Capinera, 2008).



Figure I.1. Adulte du Puceron de maïs *Rhopalosiphum maidis* (Cesar Australia, 2015)

I.3.3. Larve

Larve La larve ressemble à l'adulte et elle mue quatre fois avant de devenir mature. Les mues ou exuvies ressemblent à de petits pucerons blancs desséchés. La larve du puceron du maïs mesure de 0,5 à 1,3 mm. Elle est verte, mais devient plus foncée en approchant la maturité. La larve, comme l'adulte, se déplace très lentement (Leblanc *et al.,* 2013).

I.4. Biologie

Le puceron du maïs produit plusieurs générations par année. Le puceron du maïs est vivipares, les populations sont donc constituées uniquement de lignées parthénogénétiques qui continuent à se développer en hiver sur des plantes herbacées (Roulle, 2015). Elles n'ont pas besoin de s'accoupler pour se reproduire et ne pondent pas d'œufs. Les femelles aptères (sans ailes) peuvent donner naissance à plusieurs jeunes pucerons, sous forme de larves femelles (Carena et Glogoza, 2004; Leblanc *et al.,* 2013). Des mâles sont produits occasionnellement dans d'autres colonies, mais ils ne s'accouplent pas (Figure I.2.) (Van Emden et Harrington, 2007).

La progéniture se développe à travers 4 stades larvaires, chaque stade dure environ deux jours, et les pucerons deviennent alors adultes. Le temps entre la naissance et la maturation peut être aussi court que 7 à 8 jours. Le développement est plus rapide à des températures plus chaudes (Kuo *et al.,* 2006; Park et Obrycki, 2004; Razmjou et Golizadeh, 2010; Sharma et Bhatnagar, 2002). Une seule femelle peut produire de 5 à 75 petits au cours de sa vie. Les pucerons adultes des feuilles du maïs vivent généralement de quelques semaines à un peu plus d'un mois. Leur durée de vie a tendance à être plus longue à des températures plus chaudes (Kuo *et al.,* 2006; Sharma et Bhatnagar, 2002).

Lorsque les colonies de pucerons sont trop grandes pour les ressources disponibles, les femelles aptères donnent naissance à des individus ailés. Ceux-ci peuvent ainsi se disperser sur d'autres plants ou dans d'autres champs. Ils sont moins féconds que les femelles aptères. La forme ailée d'une espèce de puceron est souvent de couleur plus foncée que la forme aptère. Les pucerons du maïs meurent avec les premiers froids à l'automne (Leblanc *et al.,* 2013).

I.5. Plantes hôtes

Le puceron du maïs est un ravageur polyphage, se retrouve principalement dans les champs de maïs, mais il peut aussi être présent dans d'autres hôtes secondaires tel que: le sorgho, le millet, l'orge, le blé d'automne et de printemps, le riz, l'haricots verts, la pomme de terre, la canne à sucre et le tabac (Leblanc *et al.,* 2013).

I.6. Dégâts

i. Dégâts directs

Les pièces buccales du puceron sont adaptées à la prise de nourriture liquide non disponible en surface. Elles forment des stylets percés d'un canal alimentaire et d'un canal salivaire qui permettent aux aphides d'effectuer des piqûres dans la plante pour atteindre les tubes criblés (La perforation des feuilles et l'injection d'une salive liquide dans les tissus végétaux lors de l'insertion des stylets qui peut avoir des effets toxiques qui occasionnent des désordres physiologiques se traduisant par des crispations, des dépigmentations des feuilles ou des fruits. Lors de la pénétration des stylets dans le végétal, la sécrétion d'une salive gélifiante permet la formation d'une gaine qui facilite la pénétration des stylets de l'insecte entre le diverses couches cellulaires. Lors de la prise alimentaire, les pucerons créent des puits de carbohydrates et prélèvent de grandes quantités de sève élaborée, afin de satisfaire leurs besoins nutritifs. Lorsqu'une plante est très fortement infestée, sa croissance peut être perturbée (Saguez, 2007).

Selon Umina et Hangartner (2015), les pucerons du maïs peuvent envahir les cultures à tout moment entre le stade de semis et le remplissage du grain. Les infestations précoces peuvent entraîner une réduction du tallage, un rabougrissement et une sénescence précoce des feuilles. Des infestations plus tardives sur les gaines foliaires et les feuilles de drapeau entre le démarrage et les stades de pâte laiteuse peuvent également entraîner des pertes de rendement.

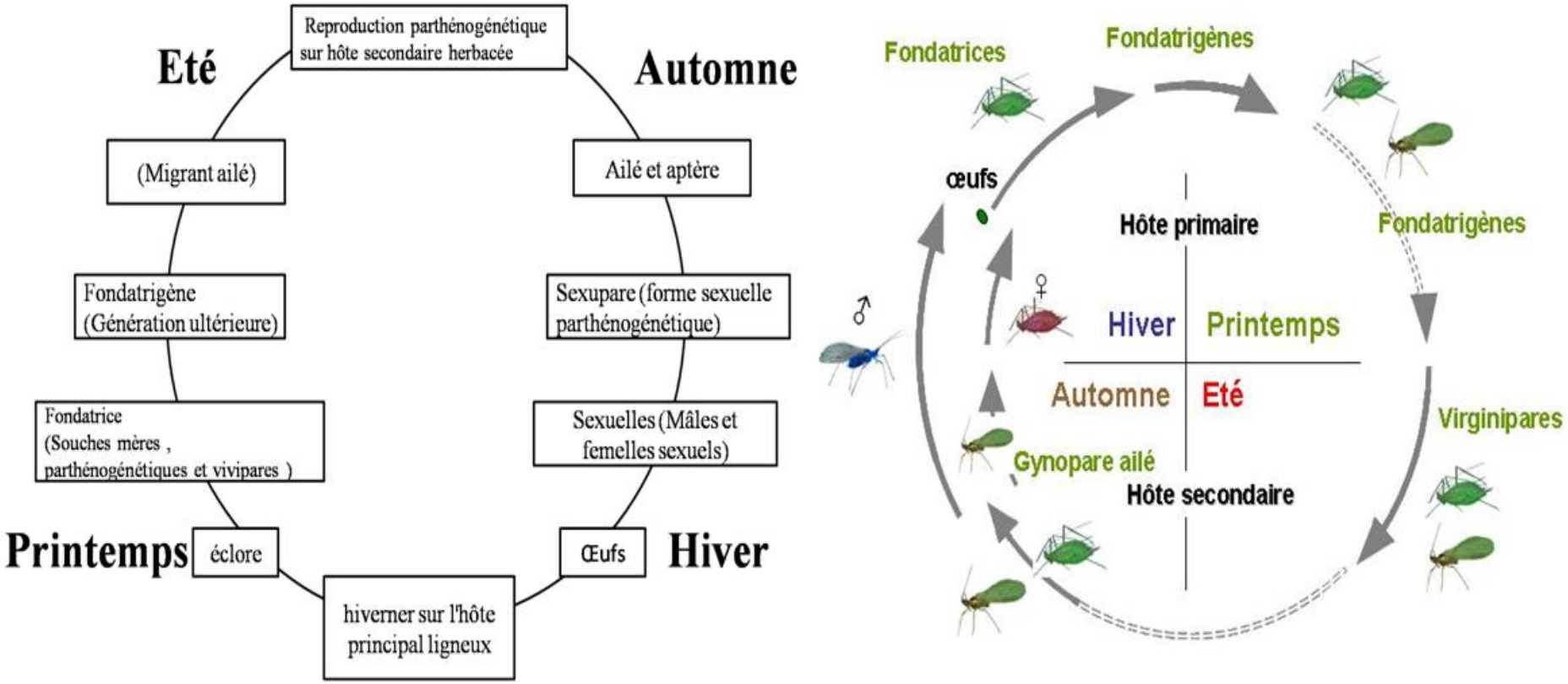


Figure I.2. Cycle de vie de *Rhopalosiphum maidis* (Singh et Ghosh, 2002; Inrae, 2010).

ii. Dégâts indirects

La sécrétion de miellat peut provoquer une croissance fongique secondaire, qui inhibe la photosynthèse et peut ralentir la croissance des plantes (Umina et Hangartner, 2015). Le dépôt de miellat en grandes quantités peut également induire des phénomènes de dessiccation en obstruant les stomates ou par effet osmotique sur la surface des feuilles, les pucerons sont vecteurs de nombreux virus et la pénétration des stylets dans les tissus épidermiques est suffisante pour transmettre des particules virales (Saguez, 2007).

Les pucerons du maïs peuvent transmettre des virus qui contribuent aux pertes de rendement dans les cultures, notamment le virus de la naine jaune de l'orge (BYDV), le virus de la mosaïque du chou-fleur (CaMV) et le virus de la mosaïque du navet (TuMV). Ces virus ne sont pas transmis par les semences. Une fois qu'un puceron acquiert le virus après s'être nourri du phloème d'une plante infectée, il continuera à transmettre le virus à toute plante dont il se nourrit pendant toute sa vie.

L'infection par le BYDV diminue le rendement en grains et provoque également le dessèchement des grains. Si les cultures sont infectées tôt, le BYDV peut entraîner des pertes importantes. Dans les variétés de céréales sensibles, où toute la culture est infectée par le BYDV peu après le semis, les rendements peuvent chuter jusqu'à 80 %. Si la culture est infectée tardivement, le rendement peut être réduit de seulement 10 à 20 % (Umina et Hangartner, 2015).

Selon Bahyan (2009), la présence du miellat sur les épis de maïs peut rendre les oreilles invendables. Il a été rapporté que le miellat sur les épis augmente le nombre de teignes du ver de l'épi du maïs attirées par les plantes. Au stade de la floraison du maïs, les pucerons ont tendance à se rassembler sur les panicules, où de grandes quantités de miellat peuvent empêcher la libération de pollen des anthères, réduisant ainsi la formation de graines jusqu'à 90 % (Carena et Gogoza, 2004; Foott et Timmins, 1973).

I.7. Moyens de lutte

- **Lutte préventive**

L’utilisation des pièges à succions, pièges collantes, pièges jaunes (Le puceron aime le jaune), cette attirance est mise à profit par les aphidologues qui disposent sur le terrain des pièges de cette couleur pour détecter les attaques de pucerons (Alain, 2006), c'est une méthode habituelle de surveillance des populations (Hullé et *al*, 1998).

Il est recommandé de ne pas trop fertiliser les plantes et d'éviter les fertilisants chimiques à action rapide, spécialement ceux qui sont riches en azote et qui favorisent la croissance rapide des pousses, qui attirant les pucerons (Anonyme, 2009).

- **Lutte biologique**

Les pucerons constituent une ressource alimentaire abondante et régulière utilisée par de nombreux organismes. La lutte biologique repose sur l'utilisation de ces organismes, appelés ennemis naturels ou auxiliaires des cultures, pour réduire les populations de pucerons (Hullé et *al*, 1998). Les pucerons sont communément attaqués par de nombreux ennemis naturels comme des prédateurs, des insectes parasitoïdes et des champignons pathogènes d'insectes. Les prédateurs des pucerons tuent leurs proies pour s'en nourrir. Chacun d'entre eux a besoin de plusieurs proies pour effectuer son développement. On y compte quelques oiseaux, comme les mésanges, des araignées et surtout des insectes, notamment les coccinelles dont les larves et les adultes se nourrissent de pucerons (Iperti 1999), mais aussi des chrysopes (Duelli 2001) ou des diptères (Volkl *et al.*, 2007) , dont seules les larves sont prédatrices de pucerons.

Les parasitoïdes de pucerons appartiennent à l'ordre des hyménoptères (Traugott *et al.*, 2008; Vollhardt *et al.*, 2008) tout comme les guêpes ou les fourmis. Ces minuscules guêpes, principalement de la famille des *Braconidae* (sous-famille des *Aphidiinae*) mais aussi des *Aphelinidae*.

Certaines espèces de champignons microscopiques, essentiellement des entomophthorales, peuvent infecter les pucerons. Une fois les pucerons tués par ces champignons, leurs cadavres sporulent sous l'action combinée de l'humidité et de la température (Evelyne et *al.*, 2011).

- **Lutte chimique**

L'utilisation de traitements de semences insecticides peut retarder la colonisation des pucerons et réduire l'infestation précoce, l'alimentation des pucerons et la propagation des virus des céréales. Il existe plusieurs insecticides homologués contre les pucerons du maïs dans diverses cultures, y compris les céréales (Umina et Hangartner, 2015), notamment l'alléthrine, le malathion, la pyréthrine, la perméthrine, l'huile minérale, le polysulfure de calcium, les savons insecticides et les gommes résines naturelles (Anonyme, 2009). Une pulvérisation en bordure en automne/début d'hiver, lorsque les pucerons commencent à envahir les cultures, peut fournir un contrôle suffisant sans qu'il soit nécessaire de pulvériser tout l'enclos. La pulvérisation d'insecticides organophosphorés et des pyréthroïdes sur les parcelles pose à long terme des problèmes dus au développement de pucerons résistants et à la dégradation de la biocénose (Charbonnier et al. 2016). Il faut tenir compte des populations d'insectes utiles avant de prendre la décision de pulvériser, en particulier au printemps, lorsque ces ennemis naturels peuvent jouer un rôle très important dans la suppression des populations de pucerons s'ils ne sont pas touchés (Umina et Hangartner, 2015).

Chapitre II

CHAPITRE II.
NUTRITION MINERALE DES PLANTES

II.1. Définition de la nutrition minérale de la plante

La nutrition végétale peut se définir comme l'ensemble des processus qui permettent aux végétaux d'absorber dans le milieu ambiant et d'assimiler les éléments nutritifs nécessaires à leurs différentes fonctions physiologiques croissance, développement, reproduction etc (Figure II.1.). Elle peut être définie comme étant le transfert des éléments minéraux depuis le milieu édaphique vers le cytoplasme cellulaire *via* l'apoplasme (Delaire, 2005). Autrement, la nutrition végétale est l'ensemble des relations entre la plante et les corps chimiques, en son sein et à ses interfaces avec le milieu extérieur (Chaichi, 2011). Selon Morot-Gaudry (2016), la nutrition minérale de la plante intègre l'ensemble des mécanismes impliqués dans le prélèvement, le transport, le stockage et l'utilisation des ions minéraux et des gaz nécessaires au métabolisme et aux différentes fonctions physiologiques chez la plante. La nutrition végétale fait appel à des processus d'absorption de gaz et de solutions minérales soit directement dans l'eau pour les végétaux inférieurs et les plantes aquatiques, soit dans le cas des végétaux vasculaires dans la solution nutritive du sol par les racines ou dans l'air par les feuilles. Sur le plan fondamental, la fonction de nutrition minérale représente une originalité majeure du monde végétal.

Dans les écosystèmes terrestres, les plantes représentent la principale voie d'entrée des ions minéraux nutritifs dans la biosphère et les chaînes alimentaires qui conduisent à l'homme. Autrement dit, ces ions quittent le monde minéral du sol pour entrer dans le monde vivant au moment précis où ils sont prélevés par les systèmes d'absorption de la membrane plasmique d'une cellule racinaire. On parle d'autotrophie à l'azote, au soufre, au fer, etc. Sur le plan appliqué, les connaissances acquises dans ce domaine sont utilisés pour gérer au mieux la fertilisation des cultures, de façon rationnelle sur le plan socio-économique et durable sur le plan écologique (Morot-Gaudry, 2016).La nutrition minérale peut affecter le développement du système racinaire directement à travers le changement dans la concentration externe de l'élément, ou indirectement à travers le changement dans le statut minéral interne de la plante selon Cheaib (2006). Morot-Gaudry (2016), exhibe que les performances hydrominérales du système racinaire des plantes cultivées peuvent être améliorées, soit en jouant sur les capacités d'absorption, de stockage et de synthèse des racines, soit en modifiant la structure et la morphologie du chevelu racinaire, soit enfin en modifiant leur environnement proche (sécrétion de composés organiques). Il est admis actuellement que les racines sont les clés de la deuxième révolution verte, celle qui s'affranchira partiellement des intrants rares et coûteux qui sont connus pour polluer l'environnement lorsqu'ils sont apportés en excès.

II.2. Généralités sur les nutriments minéraux

Les éléments ou les nutriments requis pour assurer la croissance et le développement de la plante sont considérés comme essentiels. Le caractère essentiel est principalement fondé sur deux critères formulés par Epstein (1972 *in* Jana, 2009):

i. L'élément fait parti d'un constituant ou d'un métabolite essentiel;
ii. En l'absence de l'élément, la plante est incapable de boucler son cycle de développement.

En général, 17 éléments sont considérés comme essentiels pour la plante. Ils sont séparés en deux catégories: Les macro-éléments et les micro-éléments (ou oligo-éléments). Cette distinction a été établie en fonction des concentrations dans les tissus végétaux. En effet, les macro-éléments sont présents à des concentrations supérieures à 10 Mili moles par kilogramme de matière sèche (Tableau II.1). Ils sont le plus souvent impliqués dans la composition des macromolécules (ADN, ARN, protéines etc.…), ce qui explique les besoins élevés des plantes (Jana, 2009).

Tableau II.1. Eléments essentiels aux plantes supérieures et concentrations internes considérées comme optimales pour une croissance normale (Marschner, 1988 *in* Jana, 2009).

	Elément	**Symbole chimique**	**Forme disponible**	**Concentration (mmol/kg MS)**
Les macro-éléments	Hydrogène	H	H_2O	60 000
	Carbone	C	CO_2	40 000
	Oxgène	O	O_2 CO_2	30 000
	Azote	N	NO_3^- NH_4^+	1 000
	Potassium	K	K^+	250
	Calcium	Ca	Ca^{2+}	125
	Magnésium	Mg	Mg^{2+}	80
	Phosphore	P	$H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}	60
	Soufre	S	SO_4^{2-}	30
Les micro-éléments	Chlore	Cl	Cl^-	3.0
	Bore	B	BO_3^{3-}	2.0
	Fer	Fe	Fe^{2+} Fe^{3+}	2.0
	Manganèse	Mn	Mn^{2+}	1.0
	Zinc	Zn	Zn^{2+}	0.3
	Cuivre	Cu	Cu^{2+}	0.1
	Nickel	Ni	Ni^{2+}	0.05
	Molybdène	Mo	Mo_4^{2-}	0.001

II.2.1. Macro-éléments

Tous les éléments minéraux indispensables à la plante jouent un rôle important dans son développement; une carence de l'un d'entre eux est en mesure de freiner ou stopper sa croissance (Serrano 2001 *in* Harkat, 2014). Les six principaux macronutriments requis

pratiquement par toutes les plantes sont l'azote (N), le potassium (K), le phosphore (P), le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le soufre (S). D'un point de vue chimique, certains éléments sont directement absorbés sous leurs formes minérales (K^+, Mg^{2+} et Ca^{2+}), d'autres, tel que l'azote, sont absorbés le plus souvent sous une forme moléculaire ionisée (nitrate: NO_3^- et ammonium: NH_4^+) (Tableau II.1) (Delaire, 2005; Jana, 2009). Ces éléments essentiels, leurs apport en grande quantité est nécessaire. Parmi ces macroéléments, dont la plante a besoin en grandes quantités pour sa croissance, sont l'azote, le phosphore et le potassium.

II.2.1.1. L'azote (N)

L'azote fait partie des éléments essentiels que la plante puise dans la solution du sol pour assurer sa croissance et son développement. En effet l'azote entre dans la composition de molécules indispensables telles que les acides aminés (protéines et enzymes), les acides nucléiques (support de l'information génétique), des certaines hormones (l'acide-3-indole acétique, les cytokinines) et aussi dans celle de certains métabolites secondaires indispensables à la vie de la plante (chlorophylle, régulateurs de croissance…etc) (Camille, 2009; Harkat, 2014). Selon Lamrani (2010), l'azote est le plus indispensable des éléments minéraux, car sa présence est essentielle dans les deux fractions fondamentales de la matière vivante:

- Il entre dans la synthèse des protéines;
- Il est nécessaire à la multiplication cellulaire et au développement des organes végétatifs.

L'ammonium (NH_4^+) et le nitrate (NO_3^-) sont les principales sources d'azote disponibles pour la plante. Certaines plantes, comme les Fabacées, peuvent également assimiler l'azote présent dans l'atmosphère, sous forme de N_2, par l'intermédiaire de symbiose avec des bactéries (Camille, 2009).

L'azote représente de 1,2 à 7,5 g pour 100 g de la matière sèche chez les plantes (Meyer *et al.*, 2008 *in* Camille, 2009). L'excès de cet élément provoque un développement végétatif intense, les feuilles sont vert foncée, les plantes sont succulentes et très digestibles et il y a réduction des parties ligneuses. La maturité et par conséquent la récolte sont retardées car l'azote stimule la croissance végétative au déterminent des organes de reproduction (Elalaoui, 2007). Lorsque l'alimentation azotée est perturbée, les différents organes des plantes sont plus petits, et les rendements diminués. La carence azotée conduit à une plus faible densité des peuplements (tallage), à une fructification précoce et à une teneur réduite en protéines. Un approvisionnement médiocre ou excessif en N diminue la qualité (Kali et Potasse, 2004 ; Tahraoui, 2016). Autrement, la disponibilité de l'azote a un effet direct sur la vitesse et la durée de la croissance végétative des pousses, le nombre et la vigueur des ramifications tandis que le manque d'azote se manifeste par un mauvais état

général de la plante, un développement réduit et un jaunissement assez général du feuillage et une réduction de la vigueur des souches (Harkat, 2014).

II.2.1.2. Le phosphore (P)

Le phosphore (P) est un élément nutritif essentiel au fonctionnement métabolique normal des végétaux et à leur croissance. Il entre dans la constitution des molécules nécessaires à la vie cellulaire (phospholipides, acides nucléiques), joue un rôle central dans tous les processus métaboliques incluant la photosynthèse et la respiration, et assure le transfert d'énergie, une des fonctions primordiales dans le végétal (Cheaib, 2006).

Les teneurs les plus fréquentes se situent entre 0,1 et 0,5% de la matière sèche (Lamrani, 2010). Le Phosphore P du sol est prélevé par les racines des plantes à l'état ionique dissous, sous forme d'ions orthophosphates $H_2PO_4^-$ ou pyrophosphates HPO_4^{2-} .

Le phosphore est fondamental pour les processus de floraison et de fructification des plantes (Soing, 2004 *in* Harkat, 2014). Un excès de phosphore a des effets inverses de ceux de l'azote, en ce sens qu'il stimule préférentiellement la croissance des racines comparée à celle des tiges feuillées, diminuant ainsi le rapport tiges feuillées / racines (Hopkins, 2003). Les plantes carencées en P ont une croissance ralentie; le développement des racines et la densité des populations sont réduits; la floraison et la maturation sont retardées. Une carence en phosphore provoque une diminution de la production de protéines et de vitamines (Kali et Potasse, 2004).

II.2.1.3. Le potassium (K)

Le potassium (K) est le cation le plus abondant que l'on trouve sur la planète et a une fonction importante dans l'état énergétique de la plante, dans la translocation et le stockage des assimilant (produits de la photosynthèse) (Borin *et al.*, 2013). De ce fait, le potassium est impliqué dans le contrôle de l'élongation et de la croissance cellulaire, et la régulation de l'ouverture stomatique qui détermine les échanges gazeux (CO2 et vapeur d'eau) de la plante; il intervient également dans la régulation de l'activité de certaines enzymes, et dans le transport et l'accumulation des composés organiques photosynthétiques (sucres, acides aminés) dans les organes de réserve des plantes (graines, fruits, tubercules). Solon Kali et Potasse (2004), le potassium régularise le régime hydrique de la plante et accroît sa tolérance à la sécheresse, au gel et à la salinité. D'après les mêmes auteurs, les plantes bien alimentées en K ont des parois cellulaires plus épaisses, ce qui augmente leur résistance à la verse ainsi qu'aux attaques de champignons et d'insectes.

Les plantes carencées en potassium ont une production de matière sèche restreinte. Les feuilles sont d'abord vert brunâtre, puis peuvent prendre une coloration rouge brunâtre. Une chlorose apparaît et se développe à partir du bord des feuilles âgées, qui rapidement finissent par dépérir. Les plantes manquent de turgescence et se flétrissent. Les feuilles se

recourbent ou s'enroule (Kali et Potasse, 2004; Tahraoui, 2016). L'excès de potassium provoque une absorption insuffisante de calcium et magnésium (Elalaoui, 2007).

II.2.1.4. Le calcium (Ca)

Le calcium est absorbé sous la forme du cation Ca^{2+}. Il est abondant dans la plupart des sols et rarement insuffisant dans les conditions naturelles. Le calcium a beaucoup d'effets sur la croissance et le développement de la plante. Il peut avoir plusieurs effets dans la plante: des effets sur les membranes, sur les enzymes, sur les parois cellulaires, et des interactions avec les phytohormones, bien que les effets sur les enzymes et les interactions avec les phytohormones puissent avoir la même activité. En tant qu'ion divalent, le calcium est non seulement capable de former des complexes intramoléculaires, mais il est également capable de lier des molécules dans des complexes intermoléculaires, ce qui semble être crucial pour sa fonction (Barker et Pilbeam, 2007). Le calcium joue un rôle important dans les cellules en division pour deux raisons. Il joue un rôle dans le fuseau mitotique lors de la division cellulaire et il forme des pectates de calcium dans la lamelle moyenne qui est formée au niveau de la plaque cellulaire qui apparait entre les deux cellules filles. Il est également nécessaire au maintien de l'intégrité physique et au fonctionnement normal des membranes; plus récemment, il a été considéré comme messager secondaire dans certaines réponses hormonales ainsi que dans certaines réponses aux facteurs de l'environnement. En tant que messager secondaire impliqué dans la phosphorylation des protéines, le Ca2+ pourrait être un facteur important dans la régulation des activités de nombreuses enzymes. La présence du calcium dans la solution du sol est fondamentale pour le développement des racines (Borin et *al.*, 2013). Par son rôle structural, le calcium contribue à maintenir la qualité des fleurs, des fruits et des légumes à la suite de la récolte (Lacroix, 1999). Les symptômes de carence calcique se manifestent dans les régions méristématiques, là où les cellules sont en division et où de nouvelles parois cellulaires sont en formation. Les jeunes feuilles sont déformées et nécrosées et la mort des méristèmes peut survenir lors de carences prononcées (Hopkins, 2003).

Le calcium n'est pas un élément toxique pour la plante, même à des concentrations élevées, dont les effets du calcium restent indirects. Dans le sol, des teneurs élevées en calcium engendrent une augmentation du pH, ce qui diminue l'absorption de certains éléments, comme le bore, le fer, le manganèse et Le zinc. La faible absorption de ces éléments peut induire l'apparition de symptômes sur la plante. Tel qu'indiqué précédemment, le calcium entre en compétition avec l'absorption d'autres cations, comme le magnésium et le potassium, ce qui peut provoquer une carence en ces éléments (Lacroix, 1999).

II.2.1.5. Le magnésium (Mg)

Comme le calcium, les magnésiums est également absorbé sous la forme d'un cation divalent Mg^{2+}. D'une façon générale, le sol contient moins de magnésium que de

calcium, cependant les besoins des plantes sont relativement importants. Dans la plante le magnésium exerce plusieurs fonctions importantes. C'est dans la partie porphyrine de la molécule de chlorophylle qu'il est de loin le plus abondant, mais il est également nécessaire à la stabilisation de la structure du ribosome; de plus il constitue un activateur de nombreuses enzymes importantes. Il est important dans les réactions enzymatiques qui mettent en jeu l'ATP en intervenant dans la liaison de la molécule d'ATP avec le site actif de l'enzyme. Mg^{2+}est aussi un activateur et de la ribulosebisphosphate carboxylase et de la phosphoénol-pyruvate carboxylase, deux enzymes importantes dans la fixation photosynthétique du carbone (Hopkins, 2003).

Le symptôme le plus prononcé et qui apparait en premier, lors d'une carence en magnésium est une chlorose due à la destruction de la chlorophylle dans les régions de la feuille situées entre les nervures. Pour une raison qui demeure inconnue, les chloroplastes dans les régions proches des nervures sont moins sensibles à la carence en magnésium et maintiennent leur teneur en chlorophylle plus longtemps. Le magnésium est également très mobile et rapidement exporté des cellules les plus âgées. Par conséquent les symptômes de carence en magnésium sont plus prononcés dans les feuilles les plus âgées (Hopkins, 2003). D'après Snoussi (2001), l'excès de magnésium provoque un déséquilibre, avec absorption insuffisante du potassium. La croissance des tiges et des racines est souvent exagérée. La floraison et la fructification sont diminuées.

II.2.1.6. Le soufre (S)

Dans la plupart des sols, le soufre existe sous différentes formes, comprenant des sulfures de fer et du soufre élémentaire. Cependant, les plantes l'absorbent sous la forme de sulfate, un anion divalent SO_4^{2-}. La carence en soufre n'est pas fréquente, puisque de nombreux micro-organismes sont capables d'oxyder les sulfures ou de décomposer les composés organiques soufrés. De plus la très forte consommation des fuels fossiles par l'industrie ainsi que des phénomènes naturels tels les geysers, les sources soufrées chaudes et les volcans contribuent tous au rejet de grandes quantités d'oxydes de soufre (SO_2 et SO_3) dans l'atmosphère. En effet il est souvent difficile de montrer l'existence d'une carence en soufre dans les serres des régions industrielles par suite des fortes concentrations en soufre présentes dans l'air (Hopkins, 2003).

Le soufre est nécessaire à la croissance des plantes. Il fait partie de la chlorophylle et de toutes les protéines de la plante. Les fonctions qu'occupe le S sur la plante, peuvent être classées en deux grands groupes: structurel et métabolique. Il est particulièrement important dans la structure des protéines et joue ainsi un rôle essentiel dans le métabolise des vitamines. Dans les protéines contenant des complexes fer-soufre, il joue un rôle important dans le transfert d'électrons dans des réactions photosynthétiques et de fixation d'azote (Borin *et al.*, 2013). Les carences en soufre, comme les carences azotées, provoquent une chlorose générale de la feuille englobent les tissus périvasculaires. Ceci résulte d'une réduction de la synthèse protéique plutôt que d'une réduction directe de la

synthèse de chlorophylle. Pourtant la chlorophylle est stabilisée par des liaisons avec les protéines des membranes chloroplastiques. Par suite de la réduction de la synthèse protéique, la capacité de former des complexes chlorophylle-protéine stables est également diminuée. Cependant, à la différence de l'azote, le soufre n'est pas facilement mobilisé dans la plupart des espèces et les symptômes ont tendance à apparaître d'abord dans les feuilles les plus jeunes (Hopkins, 2003). L'excès en soufre se traduit par une sénescence prématurée des feuilles et un durcissement des tiges (Yash, 1998).

II.2.2. Micro-éléments ou oligo-éléments

Les éléments mineurs ou micro-éléments, sont des éléments essentiels à la croissance des plantes et sont nécessaires en quantité moindre selon Wiedenhoeft (2006). Ces éléments sont le fer (Fe), le sodium (Na), le chlore (Cl), le bore (B), le manganèse (Mn), le zinc (Zn), le cuivre (Cu) et le molybdène (Mo) (Tableau II.1.). En outre, le nickel (Ni) est un micro-nutriment qui, bien qu'essentiel, n'est pratiquement jamais limitant ou déficient dans le monde naturel (Wiedenhoeft, 2006; Jana, 2009). Les micro-éléments jouent un rôle structural dans les protéines. Ils sont impliqués dans l'activité de cofacteurs enzymatiques, et/ou participent à des réactions d'oxydo-réduction qui assurent les transferts d'électrons dans la cellule. La carence ou l'excès d'approvisionnement en micro-éléments induit des désordres physiologiques (Borin *et al.*, 2013).

II.2.2.1. Le fer (Fe)

Le fer est un élément essentiel pour la croissance et le développement des plantes. Il se situe à la limite supérieure des micro-nutriments puisque sa concentration dans les végétaux est en moyenne de 2 µmol/g. Ainsi, le fer que ce soit en tant que cofacteur ou élément structurel des molécules organiques, intervient dans un grand nombre de voies métaboliques essentielles à la vie cellulaire et, à fortiori, à celle du végétal, telles que la photosynthèse, la respiration, le métabolisme de l'azote ou encore les processus de détoxification (Guerinot et Yi, 1994 *in* Jana, 2009). Une carence en cet élément affecte donc l'ensemble des processus physiologiques d'un végétal. Les premiers symptômes visuels d'une carence en fer incluent l'apparition de chloroses intercostales, principalement chez les feuilles jeunes (Spiller et Terry, 1980 *in* Jana, 2009). L'effet du fer agit sur le nombre et la longueur des poils absorbants d'une plante et les cellules de transfert se différencient sur le rhizoderme (Schmidt, 1999 *in* Jana, 2009).

II.2.2.2. Le sodium (Na)

Le sodium n'est pas un élément essentiel pour les plantes, mais il peut être utilisé en petites quantités, comme les micro-nutriments, afin d'aider au métabolisme et à la synthèse de la chlorophylle. Chez certaines plantes, il peut être utilisé comme substitut partiel du potassium; il aide à l'ouverture et à la fermeture des stomates, ce qui contribue à réguler l'équilibre hydrique interne (Lamrani, 2010; Tahraoui, 2016). Il n'y a pas de symptômes de carence en sodium, puisqu'il ne s'agit pas d'un élément essentiel. Le sodium diminuée la

croissance des plantes, provoque une chlorose (jaunissement) et une nécrose des feuilles (Hopkins, 2003).

II.2.2.3. Le chlore (Cl)

La plante absorbe le chlore sous sa forme ionique Cl^- (Elalaoui, 2007). Le chlore est indispensable dans les réactions photosynthétiques productrices d'oxygène. Il est un anion très mobile qui remplit deux fonction principales : il est à la fois un contre ion qui maintient la neutralité électrique à travers les membranes et il est l'un des principaux solutés osmotiquement actifs dans la vacuole. L'ion de chlorure semble également nécessaire à la division cellulaire dans les feuilles et les pousses feuillées (Hopkins, 2003). Les plantes carencées en chlore présentes une croissance réduite (Tahraoui, 2016). L'excès en chlorure provoque un Jaunissement prématuré des feuilles inférieures avec une brûlure des marges suivi par une chute des feuilles. Selon Yash (1998), les Plantes se flétrissent facilement.

II.2.2.4. Le bore (B)

Les fonctions du bore (B) dans la plante sont associées à celles du calcium au niveau de la régulation du fonctionnement de la membrane et de la paroi cellulaire, à la division et à l'augmentation des cellules, à la lignification de la paroi cellulaire, essentiel à la formation des tissus méristématiques. Il influence le développement des racines, l'absorption des nutriments et la germination du grain de pollen, participe au métabolisme et au transport des hydrates de carbone à travers la formation de complexes borate-sucres, important dans la synthèse des protéines; il agit sur le métabolisme des acides nucléiques et également sur le métabolisme et le transport des auxines (Carvalho *et al.,* 2011 *in* Borin *et al.,* 2013).

La carence en bore se caractérise par une croissance ralentie; les organes les plus jeunes et particulièrement les bourgeons terminaux sont endommagés. Des fentes liégeuses apparaissent sur les tiges et les racines (Kali et Potasse, 2004). L'excès en bore provoque un enroulement des feuilles et nécroses des limbes (Cahurel, 2008 *in* Tahraoui, 2016).

II.2.2.5. Le manganèse (Mn) :

Le manganèse (Mn) est essentiel à la synthèse de la chlorophylle et sa fonction principale est liée à l'activation d'enzymes. Parmi ces autres fonctions, le manganèse est nécessaire afin de rompre la molécule d'eau, à l'évolution de l'O2 et afin de permettre le débit du flux d'électrons dans la photosynthèse (Marschner, 1995 *in* Borin et *al.,* 2013). La carence en manganèse se manifeste par une croissance diminuée et un ralentissement de la synthèse des hydrates de carbone et des protéines (Kali et Potasse, 2004).

II.2.2.6. Le Zinc (Zn)

Le zinc est un élément essentiel de l'expression génétique, car il participe au maintien de la structure de nombreux facteurs de transcription impliqués dans la régulation cellulaire de l'expression des gènes. Il joue un rôle important dans des processus biochimiques dans la plante, entre autres pour la production de chlorophylle et des hormones de croissance (l'auxine). En comparaison, des déficiences en cuivre ou manganèse provoquent une diminution de croissance avant que le contenu en auxine soit affecté. La carence en zinc se traduit par un nanisme ainsi que par des chloroses assez sévère et une mauvaise nouaison (Hopkins, 2003).

II.2.2.7. Cuivre (Cu)

Le cuivre entre dans la composition de différents enzymes responsables de certains processus métaboliques dans la plante. Il favorise la synthèse des hydrates de carbone et des protéines. Le Cu évite également une dégradation précoce de la chlorophylle: les plantes gardent plus longtemps un aspect vert et juvénile (Kali et Potasse, 2004). Le manque en cuivre provoque une diminution de la synthèse des hydrates de carbone et des protéines.

II.2.2.8. Le molybdène (Mo)

Le molybdène (Mo) est un composant de différentes enzymes, comprenant du nitrate réductase, favorisant donc le métabolisme de l'azote dans la plante. Il joue un rôle important dans la fixation biologique de l'azote gazeux par les bactéries des nodosités des légumineuses *Rhizobium radicicola* et intervient dans le métabolisme du phosphore (Borin *et al.*, 2013). La croissance ainsi que la photosynthèse sont diminuées en cas de carence en molybdène; on peut constater une accumulation d'azote nitrique dans la plante (Kali et Potasse, 2004).

II.3. Absorption des nutriments

Les nutriments du sol doivent être acheminés en solution, du sol jusqu'au xylème pour ensuite être distribués à l'ensemble des tissus végétaux. Pour parvenir jusqu'aux vaisseaux conducteurs localisés dans la stèle, ils progressent transversalement et de façon centripète dans la racine. Ce trajet peut être schématisé en trois étapes (Figure II.1.) (Hopkins, 2003; Jana, 2009):

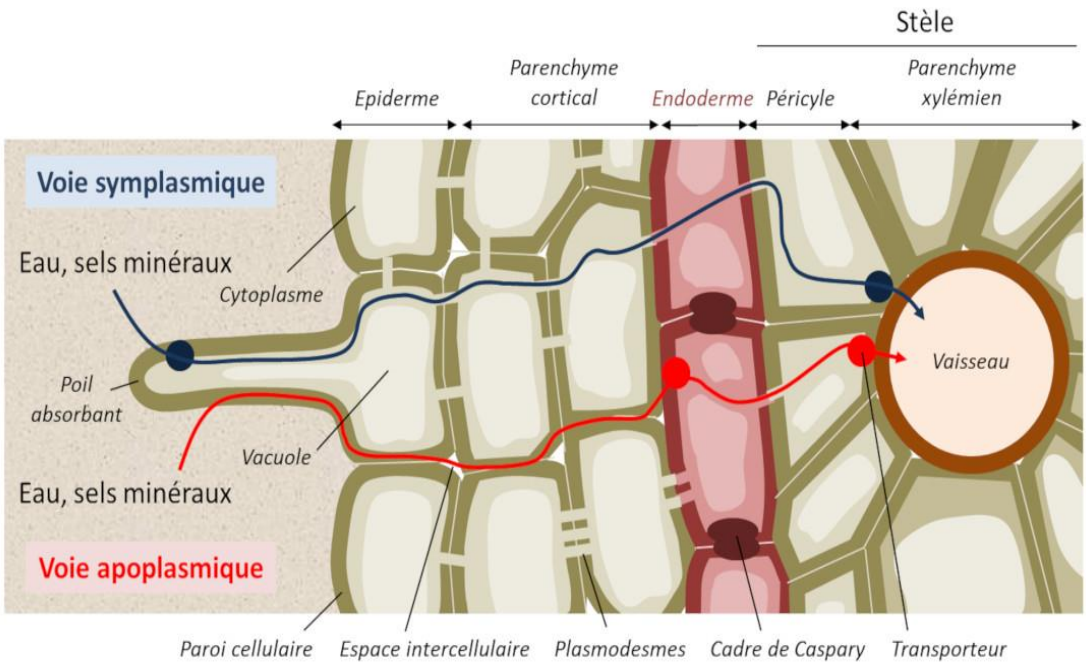


Figure II.1. Transport radial des éléments minéraux dans la racine par les voies apoplasmique et symplasmique (Hopkins, 2003).

i. L'absorption des nutriments se déroule principalement au niveau de la zone pilifère. Les sels minéraux présents dans l'eau peuvent circuler dans les espaces existants entre les cellules épidermiques tout d'abord puis entre les cellules du cortex racinaire. Cette diffusion se fait de manière passive : c'est la **voie apoplastique**.

ii. Pour pénétrer dans les cellules, que ce soit les cellules épidermiques, corticales ou encore de l'endoderme (le cadre de Caspari, composé de cellules subérifiées et donc imperméables, forme une barrière à la diffusion apoplastique), les nutriments sont contraints d'utiliser des transporteurs localisés sur les membranes. C'est la **voie symplastique**.

iii. Une fois dans les cellules, les plasmodesmes (c'est-à-dire les connections symplastiques entre les cellules) vont permettre aux nutriments de diffuser selon leur gradient de concentration jusqu'au parenchyme xylèmien de la stèle. Là, les nutriments sont « chargés » dans le xylème. Ce processus met en jeu des transporteurs qui vont permettre d'accumuler les nutriments dans les vaisseaux conducteurs à l'encontre de leur gradient de concentration.

II.4. Effet de la nutrition sur la santé végétale

Tous les facteurs qui affectent l'équilibre interne et le fonctionnement d'une plante peuvent diminuer ou accroître sa sensibilité aux attaques des ravageurs et des maladies. Ceci pourrait être des facteurs liés à la plante, à l'environnement ou aux pratiques de gestion telle que la fertilisation (Guazzelli *et al.*, 2008).

L'on sait depuis longtemps que les plantes fertilisées présentent peu de problèmes liés aux ravageurs et aux maladies. Les études du Chaboussou (1981), constituent un point de départ pour la théorie de la trophobiose, permettant ainsi d'établir un lien important entre ces deux faits observables et vérifiés dans la pratique par les agriculteurs. D'après Chaboussou (1981), la sensibilité d'une plante cultivée par rapport aux ravageurs et aux maladies dépend de son état nutritionnel. Les ravageurs et les maladies n'attaqueront pas une plante saine. La santé d'une plante est directement liée à son équilibre interne qui est en perpétuelle mutation. Selon le même auteur, les ravageurs et les maladies n'attaquent pas toutes les plantes, mais uniquement celles qui pourraient servir d'aliments à l'insecte ou au pathogène. Si une plante dispose d'une quantité de substances suffisante pour alimenter les ravageurs et les maladies, c'est parce qu'elle n'a pas été traitée selon les méthodes optimales de culture. Selon la théorie, une plante saine, bien nourrie sera rarement attaquée par la maladie et par les ravageurs.

Selon Lutzenberger (1987), les parasites ne peuvent survivre que sur les plantes dont la sève ou les tissus ont un niveau d'acides aminés excessif. Cet excès serait dû à l'inhibition de la protéosynthèse, à la prédominance de la protéolyse sur la protéosynthèse, ou à la production excessive d'acides aminés. L'inhibition peut être causée par les pesticides ou par une nutrition déséquilibrée. La production excessive d'aminoacides vient d'une suralimentation en azote par les fertilisants solubles.

Selon plusieurs auteurs, la nutrition minérale peut avoir tellement d'effets aussi bien sur la croissance que sur le développement des plantes, qu'il est logique de s'attendre également à des répercutions sur la composition des tissus. En outre, les apports en minéraux modifieront d'autant les teneurs de certaines substances si ce sont des constituants directs de ce composé ou s'ils jouent un rôle central dans la synthèse ou le stockage de ce composé (Grusak et DellaPenna, 1999 *in* Bernard, 2009; Crosby, 2008 *in* Camille, 2009). D'après Camille (2009), la nutrition induisant des variations aussi bien au niveau du métabolisme primaire qu'au niveau du métabolisme secondaire.

Chapitre III

CHAPITRE III.
BIOFERTILISANT

III.1. Biofertilisants

III.1.1. Définition

Les biofertilisants peuvent également être appelés « biostimulants », « stimulateurs de croissance et/ou développement », « activateurs de sol » ou encore « phytostimulants » (Fruchart, 2016). Les biofertilisants sont définis comme des préparations contenant des cellules vivantes ou des cellules latentes de souches de micro-organismes efficaces qui aident à l'absorption des éléments minéraux par les plantes cultivées suite à leurs interactions dans la rhizosphère lorsqu'ils sont appliqués sur les semences ou dans le sol. Ils accélèrent certains processus microbiens dans le sol impliqués dans l'augmentation de la disponibilité des nutriments dans une forme facilement assimilable par les plantes (Vessey, 2003; Riaz *et al.*, 2020).

D'après la définition retenue par l'EBIC (European Biostimulants Industry Council) un biofertilisant est : « *un matériel qui contient une (des) substance(s) et/ou microorganisme(s) dont la fonction, quand ils sont appliqués aux plantes ou à la rhizosphère, est de stimuler les processus naturels pour améliorer/avantager l'absorption des nutriments, l'efficience des nutriments, la tolérance aux stress abiotiques, et la qualité des cultures, indépendamment du contenu en nutriments du biostimulant* » (Fruchart, 2016). Cette approche inclus une large gamme de micro-organismes comme par exemple les rhizobactéries, les cyanobactéries, et les champignons mycorhiziens. Ceux-ci sont utiles pour la croissance, le rendement, l'assimilation de nutriments et la défense des plantes face à différents stress en déclenchant différents gènes liés à la croissance et la défense, au travers des réseaux de signaux cellulaires.

III.1.2.Type de biofertilisants

III.1.2.1. Bio-fertilisants fixateurs d'azote (NFB)

Les bactéries fixatrices d'azote sont des bactéries qui peuvent exister soit sous forme libre (*Azotobacter, Bejerinkia, Clostridium, Klebsiella,)* soit en symbiose (*Rhizobium, Frankia, Anabaena,*..) avec des plantes tout en assurant la fixation de l'azote atmosphérique (N2) (Ritika et Uptal, 2014). En fonction de leur régime respiratoire, ces micro-organismes peuvent être soit aérobies, soit anaérobies. Il s'agit des bactéries symbiotiques (notamment les rhizobiums, les bactéries du genre Azospirillum …) et des bactéries non symbiotiques (Algues bleues, l'espece Azotobacter) (Alamri *et al.,* 2014 *in* Assemien, 2018).

III.1.2.2.Bio-fertilisants solubilisant les phosphates (PSB)

Le phosphore dans le sol se présente principalement sous forme de phosphate insoluble qui ne peut pas être absorbé par les plantes (Gupta, 2004). *Bacillus* Spp., *Pseudomoona Spp.* et *Aspergillus Spp* se sont des micro-organismes capables de solubiliser les formes insolubles de phosphate dans le sol et de convertir en forme solubles, afin que les plantes puissent les utiliser. Selon le même auteur, ces organismes y parviennent en sécrétant des acides organiques qui abaissent le pH du sol et provoquent la dissolution des formes liées de phosphate les rendant disponibles pour les plantes. Chang et Yang (2009), ont déclaré que les bio-fertilisants solubilisant du phosphore (PSB) agissent parfois comme des mobilisateurs de phosphate.

III.1.2.3. Bio-fertilisants mobilisateurs de phosphates (PMB)

D'autres types de micro-organismes (Exp: *Rhizoctonia solani; Glomus Spp.; Laccaria Spp. Bacillus; pseudomonas*……) peuvent agir sur la mise à disposition du phosphore organique majoritairement immobilisé sous forme de phytates. Ces molécules contiennent des ions phosphates mais elles sont liés à d'autres atomes complexes, et sont donc piégés. Ces organisme sont capables de produire des enzymes appelées phytases. Ces enzymes vont permettre de libérer les ions phosphates à partir des phytates, et seront ainsi disponibles pour les racines des plantes (Chang et Yang, 2009; Agro-nutrition, 2016).

III.1.2.4. Bio-fertilisants favorisant la croissance des plantes (PGPB)

Les rhizobactéries (Exp: Pseudomonas Spp …..) sont des bactéries qui colonisent les racines ou la rhizosphère du sol et qui sont bénéfiques aux cultures (PGPR). Ces bactéries favorisent la croissance et le développement des cultures par plusieurs mécanismes tels que: diminution des maladies des plantes (par des bio-protecteurs), la décomposition de la matière organique, l'amélioration de l'acquisition des éléments nutritifs (bio-fertilisants), ou la production de phytohormones (appelées bio-stimulants) (Khosro et Yousef, 2012; Bhattacharyya, 2012). Les PGPB sont des bio-fertilisants spécifiques aux cultures.

Les PGPB sont divisées en deux groupes pouvant stimuler la croissance des plantes de façon directe et indirecte.

- Le premier groupe influence directement le métabolisme de la plante en fournissant les substances qui sont habituellement en quantité limitée dans le sol. On y regroupe les bactéries capables de solubiliser les phosphates insolubles, d'augmenter la production des phytohormones et de fixer l'azote atmosphérique (Amarger, 2002; Bashan *et al.*, 2008). Elles peuvent aussi augmenter la tolérance des plantes à divers stress tels les pesticides et le stress hydrique y compris la sécheresse (Cohen *et al.*, 2009) ; Le deuxième groupe bactérien, nommé bio-contrôle-PGPB, ne stimule pas directement le métabolisme de la plante. Par contre, il influence indirectement la croissance de celle-ci par la

prévention des effets causés par des phyto-pathogènes tels des bactéries, des mycètes, des nématodes et des virus (Bashan *et al.*, 2008).

III.1.2.5. Bio-fertilisants solubilisant de potassium (KSB)

Le potassium est un élément nutritif prélevé en très grande quantité par la plante. Le potassium dans le sol se présente principalement sous forme de minéraux silicatés inaccessibles aux plantes. Ces minéraux ne sont disponibles que lorsqu'ils sont altérés ou solubilisés. Les micro-organismes solubilisant de potassium (*Bacillus Spp*. et *Aspergillus niger*) solubilisent les silicates en produisant des acides organiques qui provoquent la décomposition des silicates et aident à éliminer les ions métalliques et les rendant disponibles pour les plantes (Etesami *et al.*, 2017). Les bio-fertilisants solubilisant de potassium produisent des effets bénéfiques sur la croissance de différentes plantes.

III.2. Lombricompost

III.2.1. Définition

Le lombricompost est une substance brun foncé qui ressemble à du terreau. C'est en fait le résultat du recyclage de matières végétales effectué par des lombrics en utilisant les enzymes de leurs systèmes digestifs pour en faire de l'humus riche en vitamines et minéraux. Le lombricompost est sans odeur car les vers suppriment l'odeur de décomposition des déchets en les digérant, grâce aux enzymes de leur intestin (Safiddine, 2012).

Le lombricompost est un fertilisant biologique issu de la dégradation accélérée des déchets organiques par les vers de terre et les microorganismes. Il est bien connu que l'application du lombricompost sur le sol de culture améliore la structure du sol par la formation d'agrégats et l'aération ainsi que la fertilité du sol. En effet, il s'agit d'un produit riche en nutriments tels que l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, en différentes enzymes et vitamines ainsi qu'en matières organiques. (Andrianarimanana, 2014). Le lombricompost, qui est le produit final est un matériau stabilisé, finement divisé, ressemblant à de la tourbe, présentant un faible rapport C:N, une porosité élevée et une capacité de rétention en eau qui contient la plupart des nutriments sous forme facilement assimilables par les plantes (Dominguez, 2004).

Le lombricompost contient également une grande diversité de population microbienne bénéfique au sol (fixateur d'azote, solubilisant de phosphate**,** solubilisant de potassium ….) (Sinha et al, 2011; Chauhan et Singh 2015).

III.2.2. Lombricompostage

Le lombricompostage encore appelé le vermicompostage est une méthode très efficace de conversion des déchets organiques solides en une ressource précieuse, utile et

respectueuse de l'environnement. C'est un procédé de bio-oxydation et de stabilisation de la matière organique, mais sous l'action combinée des microorganismes mésophiles (c'est-à-dire qui se développent le mieux à des températures modérées variant entre 25 et 40°C) et des lombrics (Figure III.1**.)** (St-Pierre, 1998). Les vers ont besoin d'un environnement favorable pour assurer une meilleure activité microbienne (Whiston et Seal, 1988). En outre, les vers de terre améliorent les activités microbiennes en améliorant l'environnement pour les microbes (Syers *et al.,* 1979; Mulongoy et Bedoret, 1989). Les vers peuvent consommer pratiquement tous les types de matière organique et peuvent absorber l'équivalent de leur propre poids par jour. Les turricules (excréments) des vers sont riches en nitrates, et en formes disponibles de P, K, Ca et Mg. Le passage à travers les vers de terre favorise la croissance des bactéries et notamment des actinomycètes dont la teneur dans les déjections de vers de terre est six fois supérieure à celle du sol d'origine (Albrecht, 2007).

Le lombricompostage se déroule en deux phases importantes en fonction de l'activité du ver de terre. Lores *et al.* (2006) définissent la première phase comme une modification physique du substrat et une modification de la composition microbienne du substrat due à l'action des vers de terre. Il s'en suit une phase de maturation marquée par le déplacement des vers de terre entre les zones de dépôt de turricules et les zones de substrat non ingéré (Dominguèz, 2004 *in* Faverial, 2016). Au cours de cette phase, les micro-organismes poursuivent la décomposition des matières digérées par les vers de terre (Aira *et al.,* 2007; Gomez-Brandon *et al.*, 2011; Faverial, 2016). Le vermicompost mature se constitue des turricules des vers de terre ayant la consistance d'un terreau.

Les vers de terre sont responsables d'une grande consommation de carbone pour leur besoin métabolique de respiration (Faverial, 2016; Kumar *et al.,* 2009). Pendant leur déplacement et ingestion du substrat, ces animaux fouisseurs provoquent le mélange du substrat ainsi que la création de tunnels, témoin de leur passage au travers du substrat. Ces aménagements dans le substrat permettent d'augmenter l'accessibilité de la MO aux organismes décomposeurs (Jouquet *et al.,* 2010) et d'améliorer la circulation de l'air et de l'eau au sein du substrat. Le mucus sécrété par les vers de terre induit un effet 'priming' au sein du substrat conduisant à une rapide minéralisation de la MO (Lavelle et Spain, 2001; Gomez-Brandon *et al.,* 2011). L'action combinée des vers de terre et des populations microbiennes permet dans le cas du lombricompostage une réduction importante de la masse traitée (Sierra *et al.,* 2013) et par conséquent une réduction du carbone total (Aira *et al.,* 2007). Les tunnels laissés par le passage des vers de terre sont des conduits préférentiels des flux gravitationnels des liquides au sein du substrat composté (Domínguez *et al.,* 2004). En conséquence les pertes par lessivage de nutriments ne sont pas négligeables. La surminéralisation de la MO produit un excès d'eau qui est également évacué par les tunnels des vers de terre et semble amplifier les pertes par lessivage (Kumar et al, 2009; Faverial, 2016).

III.2.3. Systèmes de lombricompostage

Différents systèmes de lombriculture ont été conçus afin de traiter biologiquement des déchets organiques et de produire de grandes quantités de vers comme nourriture potentielle de diverses espèces animales (Chaichi, 2011). Nous pouvons les diviser en deux catégories:

III.2.3.1. Lombricomposteur verticale

Un seul bac est le lombricomposteur la plus simple. Un conteneur basique avec un robinet dans le fond suffit. Les déchets sont alors simplement déposés par le haut comme on le ferait avec une poubelle classique. Simple, peu onéreux et ne nécessitant pas de grands espaces, ce simple bac complique la récolte. À ce moment il faudra sortir tout le contenant, séparer les déchets non encore transformés pour les remettre au fond et surtout trier le lombricompost des vers (Figure III.1.) (Hassan, 2010 *in* Safiddine, 2012). Inspiré de la technique du silo, ce dispositif permettra de traiter de plus grandes quantités de matière. On veillera cependant à ce que la température ne s'élève pas trop en raison du volume plus important de déchets accumulés. Une température supérieure à 40°C est mortelle pour les vers qui fuiront la compostière.

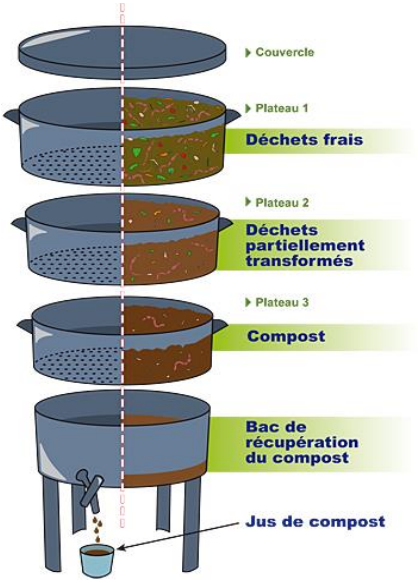


Figure III.1. Schéma d'un lombricomposteur verticale (Hassan, 2010 *in* Safiddine, 2012).

III.2.3.2. Lombricomposteur horizontal

Ce lombricomposteur inclut deux bacs contigus (voire plus), ce qui permet une 'rotation'. Lorsqu'un bac est plein, le dépôt des déchets se fait dans le second, la séparation entre les deux étant prévus pour, les vers vont alors simplement migrer pour effectuer la transformation de ces nouveaux déchets. Ainsi quand arrive la fin du second bac, le premier est entièrement composté et peut être directement récolté (à quelques exceptions de vers fureteurs près) (Figure III.2.) (Hassan, 2010 *in* Safiddine, 2012). Un bac de

récupération du thé de vers (les liquides) est tout de même nécessaire sous le lombricomposteur.



Figure III.2. Schéma d'un lombricomposteur horizontal (Hassan, 2010 *in* Safiddine, 2012).

III.2.4. Type de lombrics en lombricompostage

Il existe dans la nature beaucoup d'espèces de vers mais seules quelques-unes peuvent être mises dans la compostières. Les gros vers de terre du jardin ne sont pas utilisables pour le compostage (Caseellato, 1987 *in* Chaichi, 2011). Ce sont des laboureurs du sol.

Les lombrics de compost sont des vers de surface qui se trouvent à maximum 10 cm. Ils se reproduisent très vite et se nourrissent de matière décomposée (Edwards et Lofty, 1972). La décomposition de la matière organique est assurée par plusieurs espèces parmi ces espèces les suivantes:

- *Eisenia foetida* : il préfère les matières en décomposition. On l'appelle ver tigré ou ver du fumier.
- *Eudrilus eugeniae*: il préfère les matières en décomposition.

III.2.4.1. *Eisenia fœtida (*Savigny, 1826)

Les *Eisenia fœtida* lombricien du groupe des épigés, est l'espèce la plus utilisée pour la transformation de la matière organique par le lombricompostage et ce, pour plusieurs raisons. Tout d'abord, elle est ubiquiste et elle colonise naturellement les déchets organiques. Elle se reproduit et se développe rapidement et elle est très résistante; elle peut Survivre à des variations importantes de température et d'humidité. Elle peut tolérer des températures entre 0°C et 3S°C (Edwards, 1998 *in* St-Pierre, 1998). Ce ver de terre est connue sous diverses appellation tels que ver rouge, ver branding, ver tigre et ver rouge wiggler, ver de terre rouge californien (Chauhan, 2012).

Eisenia fœtida est originaire d'Europe, mais a été introduit sur tous les autres continents, à l'exception de l'Antarctique (Chauhan, 2012). *Eisenia fœtida* provenant des régions tempérées mais peut être utilisé en régions tropicales.

III.2.4.1.1. Position systématique

La position systématique d'*Eisenia fœtida* est la suivante (Bachelier, 1978):

- Royaume : Animalia
- Embranchement : Annelida
- Classe : Clitellata
- Ordre : Haplotaxida
- Famille : Lumbricidae
- Genre : *Eisenia*
- Espèce : *Eisenia fœtida* (Savigny, 1826)

III.2.4.1.2. Description morphologique

Eisenia foetida mesure entre 50 et 120 mm de longueur environ 80-110 segments et entre 2 et 4 mm de diamètre. Son poids est compris entre 200 et 600 mg. Sa couleur rouge ou brun (Figure III.3.) (St-Pierre, 1998; Fadaee, 2012).



Figure III.3. *Eisenia fœtida* (Gordon, 2015)

III.2.4.1.3. Cycle de développement

Eisenia foetida est hermaphrodite, ce qui signifie que chaque ver possède à la fois des organes reproducteurs mâle et femelle (Dynes 2003). L'espèce possède deux paires de testicules, l'une sur le 10 ème segment et l'autre sur le 11 ème et une paire d'ovaires qui se retrouve sur le 13 ème segment. Les lombrics s'accouplent tête-bêche. Des soies génitales accrochent les partenaires l'un contre l'autre et l'accouplement dure trois heures. Il y a alors union très étroite entre le clitellum de l'un et la région génitale de l'autre. Les lombrics échangent leur sperme de la région génitale mile vers les spermatèques du conjoint. Une semaine s'écoule avant que le nive du clitelium sécrète une mince membrane qui se durcit au contact de l'air. Puis, c'est en reculant que le ver fait glisser cette membrane vers les segments de la tête. La membrane recueille les œufs et les spermatozoïdes du conjoint lorsqu'elle passe au niveau des pores génitaux femelles et des spermatèques. C'est alors que deux ou trois ovules, parfois davantage, seront fécondés. La fécondation est donc

externe (Dumas, 1996). Le lombric peut produire, pendant quelques mois, plusieurs cocons fécondés sans l'intervention de d'autres partenaires. Cela est possible grâce aux spermatozoïdes déposés dans sa spermathèque lors d'un accouplement. La grandes majorité des cocons (93%) sont déposés dans les dix premiers centimètres du substrat (Reinecke et ViIjoen, 199 1). Les lombrics se développent à l'intérieur du cocon d'où ils en sortent au bout de 3 semaines, lorsque les conditions extrêmes sont bonnes. Certains cocons peuvent être stériles, c'est-à-dire qu'ils ne contiennent aucun vermisseau. La proportion de ces cocons stériles augmente avec la température. Le poids du vermisseau à la naissance est de 2 à 3 mg. Généralement, on peut compter entre 1 et 4 vermisseaux par cocon. Le vermisseau prend environ 6 semaines avant de développer un clitellum. Il devient alors mature et prêt à se reproduire environ 50 à 55 jours après leur sortie du cocon. Après la naissance, la croissance d'*Eisenia foetida* est d'abord lente, puis s'accélère au fur et à mesure que le lombric prend de l'âge pour ensuite ralentir de nouveau lorsque celui-ci est près de la maturité (Neuhauser et al, 1980). La croissance d'*Eisenia fetida* dépend de la densité de population et du rationnement alimentaire (Singh et al. 2013). Leur poids augmente plus rapidement avec une diminution de la densité de population (Garg *et al.,* 2005). D'autre part, Ton *et al.,* (2009) ont observé que le taux de croissance des vers de terre dépend fortement du type et de la qualité du substrat. Lorsqu'il est mature, le lombric peut s'accoupler toutes les semaines durant 40 à 50 semaines. Dans des conditions optimales, *Eisenia foetida* donne quatre générations de lombrics par an, 3 mois par génération. La longévité d'*Eisenia foetida* est de 4 à 5 ans (St-Pierre, 1998). La figure III.4., illustre schématiquement le cycle vital d'*Eisenia foetida.*

La croissance et la reproduction d'*Eisenia foetida* peuvent être favorisées par certaines conditions environnementales. Pour un développement optimal, la température, la teneur en eau et Le pH du milieu de croissance d'*Eisenia foetida* doivent se situer respectivement entre 15 et 25°C, 75 et 85% et entre 6,5 et 8. Edwards (1988 *in* St-Pierre, 1998), mentionne une température de 25°C et une humidité de 85% pour une croissance optimale d'*Eisenia fœtida*.

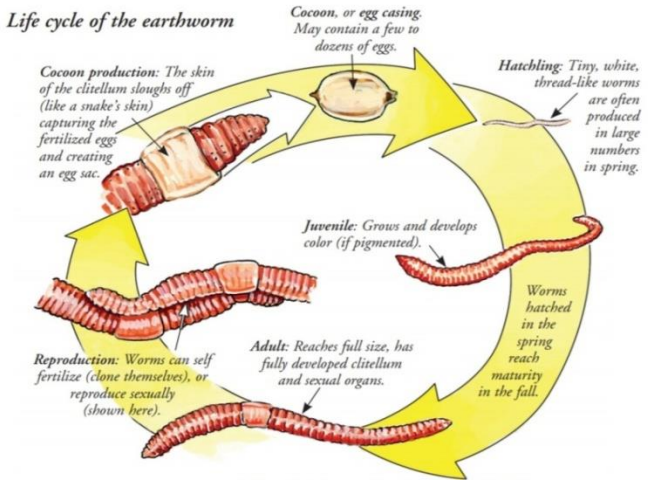


Figure III.4. Cycle de vie d'*Eisenia fœtida* (Venter et Reineck, 1988).

III.2.4.2. *Eudrilus eugeniae* (Kinberg, 1867)

Eudrilus eugeniae est un ver épigé, exotique, détritivore et tropical, originaire de l'ouest tropical de l'Afrique. L'espèce est communément appelé le ver nocturne africain (African nightcrawler) (Srimathi, 2019). *Eudrilus eugeniae* a été répertorié dans plusieurs pays africains. À la différence d'autres espèces de ver de terre que l'on peut trouver dans différentes parties du globe, le ver nocturne africain est principalement présent dans les sols tropicaux. Il est absent dans les déserts, les zones continuellement enneigées ou glaciales et les montagnes (Byambas *et al.*, 2017).

Il est souvent utilisé dans le processus de vermicompostage dans les pays tropicaux et sub-tropicaux. Il présente un intérêt pour la valorisation des déchets organiques dans ces zones (Vijaya *et al.*, 2012).). Selon Dominguez et Edwards(2010), ce ver est idéal pour la production de protéines pour l'alimentation animale.

III.2.4.2.1. Position systématique

La position systématique d'*Eudrilus eugeniae* est la suivante (Dadong, 2006):

- Royaume : Animalia
- Embranchement : Annelida
- Classe : Clitellata
- Ordre : Haplotaxida
- Famille : Lumbricidae
- Genre : *Eudrilus*
- Espèce : *Eudrilus* eugeniae (Kinberg, 1867)

III.2.4.2.2. Description morphologique

Eudrilus eugeniae est caractérisée par un corps allongé de couleur rouge foncé en avant et bleu violet en arrière, recouvert d'environ 145 à 207 anneaux ou segments (Figure 5). Il peut atteindre un poids maximal de 4 g à l'âge adulte (Reinecke et al., 1992 ; Ansari et Saywack, 2010). Le péristomium est le premier segment qui entoure la cavité buccale ; sur celui-ci se trouve une bosse ou un lobe appelé prostomium dont la forme est un des éléments qui permettent de déterminer l'espèce de ver de terre (Craw, 2012). Les deux premiers segments ne possèdent pas de soies. Ces derniers sont des poils très fins dont le nombre sur les segments varie selon le segment du corps. *E. eugeniae* en possède 8, disposés en 4 paires en position ventro-latérale. Les soies permettent au ver de terre de se déplacer et d'accrocher le partenaire lors de la copulation (Craw, 2012).

Le clitellum est un renflement qui indique la maturité sexuelle et apparait sur la partie antérieure du ver de terre. Il permet la production des cocons. Sur le dernier segment du corps du ver de terre appelé pygidium ou anus, il n'y a pas de soies (Sivasankari *et al.,* 2013).



Figure III.5. Espèce de ver de terre épigée «*Eudrilus eugeniae* » (Craw, 2012).

III.2.4.2.3. Cycle de développement

Le ver de terre *E. eugeniae* a un cycle de vie variant entre 50 et 70 jours (Reinecke et al, 1992 *in* Byambas *et al.,* 2017) (Figure III.7.). Le développement du clitellum commence entre 35 et 45 jours et la maturité sexuelle est atteinte entre 40 et 49 jours (Sivasankari *et al.,* 2013). À la maturité sexuelle, les vers de terre s'accouplent et la formation du cocon intervient après 24 h (Sivasankari *et al.,* 2013). *Eudrilus eugeniae* est un organisme hermaphrodite qui a besoin d'un partenaire pour se reproduire. Ils juxtaposent leurs organes de reproduction en se positionnant tête-bêche (Morin, 2004). Le ver de terre peut aussi s'auto-coupler lorsqu'il est isolé ou pratiquer la parthénogénèse (Fernandez *et al.,* 2011). Le clitellum permet aux partenaires de rester collés l'un à l'autre. Ils échangent leurs semences males et sécrètent de petits cocons *via* le clitellum (Morin, 2004; Byambas *et al.,* 2017).

Une semaine après l'accouplement, la production des cocons commence. La production peut atteindre 1,3 cocon par jour (Sivasankari et al, 2013). Le cocon produit a une couleur gris clair. Il durcit rapidement, puis devient gris orangé (Figure III.**6**) et gris foncé juste avant l'éclosion. La longueur d'un cocon varie de 4,3 à 7,8 mm, le diamètre varie entre 2,1 et 4 mm et le poids moyen est d'environ 17 mg (Sivasankari et al, 2013). La période d'incubation des cocons varie de 12 à 16 jours avec un taux d'éclosion de 75 à 80 % (Morin, 2004). Chaque cocon donne naissance à des juvéniles dont le nombre varie entre 1 et 4 par cocon (Dominguez et Edwards, 2010). Après un jour, le juvénile prend la forme du ver de terre adulte (Byambas *et al.,* 2017).

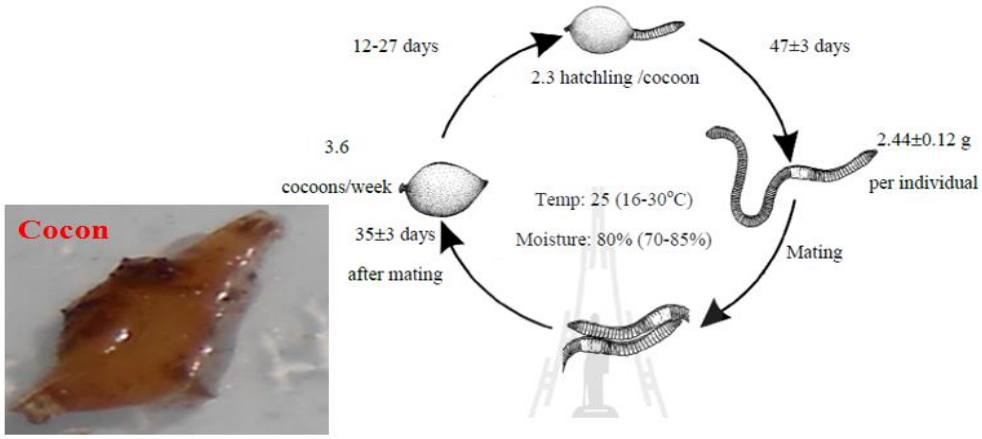


Figure III.6. Cycle de vie de ver de terre *Eudrilus eugeniae* (Dominguez *et al.*, 2001; Edwards et Arancon, 2004; Byambas *et al.*, 2017).

III.3. Stimulation des défenses naturelles des plantes

La stimulation des défenses des plantes est fondée sur le même principe que la vaccination : activer les défenses naturelles avant 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 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 aux pathogènes.

III.3.1. Mécanismes généraux

i. Défense passive

Les plantes, au cours de leur évolution, ont mis en place des barrières protectrices contre les bioagresseurs : cuticule, paroi pecto-cellulosique...etc. Ces barrières mécaniques leur confèrent une résistance constitutive, notamment face aux agents pathogènes. Mais si ceux-ci réussissent à les franchir, ils ont affaire aux mécanismes de défense active (Blanchard et Limache, 2005).

ii. Défense active

Les mécanismes de défense active peuvent débuter par la réaction d'hypersensibilité (HR). La réaction HR est une réaction spécifique basée sur le concept gène pour gène de Flor, dans laquelle le produit du gène d'avirulence du pathogène est reconnu par le produit du gène de résistance de la plante. Cette réaction intense et violente se manifeste par la mort de la cellule hôte qui, avant de s'autodétruitre, aura émis des

signaux d'alerte vers les cellules voisines pour créer une zone de résistance locale acquise (LAR). Il s'ensuit la synthèse de molécules de défense antimicrobienne à action directe ou indirecte. Ces premières lignes de défense sont très efficaces pour confiner le pathogène et retarder son invasion dans l'organisme. La propagation des signaux et la synthèse des molécules de défense peuvent se généraliser à la plante entière : il s'agit de la résistance systémique acquise (SAR). Ce type de résistance est certes moins intense mais plus durable : la plante est préparée à une nouvelle attaque du pathogène ou d'un autre agresseur et pourra y répondre plus rapidement (Blanchard et Limache, 2005). Ces mécanismes de défense se décomposent grossièrement en trois phases : reconnaissance, signalisation puis réactions de défense.

III.3.2. Mécanismes moléculaires

III.3.2.1. Reconnaissance de l'agent pathogène

La perception d'un agent pathogène implique la reconnaissance d'un éliciteur spécifique ou non spécifique (Kaufmann *et al.,* 2001). 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 présentée précédemment 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 l'on nomme les **éliciteurs généraux (non spécifique).** Les éliciteurs généraux, exogènes ou endogènes, sont de nature chimique variée. Les **éliciteurs exogènes** sont des molécules provenant directement de l'agent pathogène (Kaufmann 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 (Kaufmann *et al.,* 2001; Pautot *et al.,* 1999).

III.3.2.2. Réponse précoce

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 (L'anion superoxyde O^{-}_{2} et le peroxyde d'hydrogène H_2O_2) (Ebel et Mithöfer, 1998; Klarzynski et Fritig, 2001).

Selon Kaufmann *et al.*, (2001), ces formes réactives de l'oxygène peuvent inhiber la germination de spores de plusieurs pathogènes et renforcer aussi la paroi végétale en polymérisant des protéines de la paroi végétale et provoquer la mort des cellules végétales en peroxydant les lipides de leur membrane. La réponse précoce est ensuite amplifiée par

des réactions de défense proprement dites qui sont le plus souvent induites via une cascade de signalisations.

III.3.2.3. Voies de signalisation et réactions de défense

Les défenses de la plante comprennent un ensemble de mécanismes conduisant à modifier et à renforcer la paroi contre les dégradations enzymatiques générées par les pathogènes.

i. Epaississement de la paroi

La paroi des cellules végétales constitue une barrière physique à la pénétration des agresseurs. Cependant, de nombreux champignons pathogènes développent une structure leur permettant d'adhérer aux surfaces cellulaires de l'hôte, l'appresorium, puis de les traverser par pression mécanique ou hydrolyse enzymatique. Pour contrer cette agression les plantes ont mis en place des mécanismes visant à modifier et à renforcer la paroi. Ils se traduisent par la synthèse de nouvelles molécules incluant les glycoprotéines riches en hydroxyprolines ou HRGP, la callose (polymère de β-1,3 glucane) et des composés phénoliques tels que la lignine. Le dépôt rapide de certaines de ces molécules sous le point de pénétration du parasite va former une papille bloquant ainsi sa progression (Djebali, 2008). Les papilles sont souvent associées à la résistance par exemple chez le haricot vis à vis de *Colletotrichum lendemuthianum*, et d'une souche de *Xanthomonas*. Selon Kaufmann *et al.*, (2001), la dégradation fongique de ces parois accélère encore plus la mise en place d'une résistance puisque les oligosaccharides obtenus servent d'éliciteurs endogènes.

ii. Voie de l'acide jasmonique et production de phytoalexines

Les phytoalexines sont des antibiotiques végétaux synthétisés au cours de la réaction d'hypersensibilité ou lors de la SAR. Leur synthèse peut-être provoquée par des métabolites secondaires issus de la réponse précoce comme H_2O_2 ou le monoxyde d'azote NO qui joue le rôle de signaux. Cependant, la voie royale de synthèse des phytoalexines est celle 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 (Blanchard et Limache, 2005).

iii. Voie de l'acide salicylique et production de protéines PR

Les protéines de défense les plus connues sont les protéines PR (*pathogenesis related*). Ces protéines ont été identifiées chez de nombreuses espèces végétales. Elles s'accumulent lors des stress biotiques et abiotiques (Djebali, 2008). Elles ont la propriété de résister à l'activité de protéases issues de la plante ou du pathogène. Elles peuvent attaquer l'agresseur, comme les chitinases capables de dégrader la paroi des pathogènes (Amborabé *et al*, 2004). La voie de signalisation principale conduisant à leur synthèse est

celle de l'acide salicylique. Cette molécule dérivée de la phénylalanine (et précurseur de l'aspirine) joue un rôle clé de messager 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 SAR, mais cela reste à prouver. Des chercheurs ont cependant observé son accumulation dans les plantes suite à une infection locale (Metraux *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 HR et au confinement de l'agresseur sur le site primaire (Kaufmann *et al*, 2001; Blanchard et Limache, 2005; Safiddine, 2012; Fakih, 2015).

III.3.3. Intérêt en protection des plantes

Les SDN sont donc une nouvelle voie que la science a ouverte dans le domaine de la protection des plantes. Il reste cependant à bien préciser leur intérêt pour l'agriculture, aussi bien sur les plans technique qu'environnemental. Enfin, nous verrons quelle place peut prendre ces nouveaux moyens de lutte dans l'agriculture contemporaine (Blanchard et Limache, 2005).

III.3.3.1. Intérêt technique

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 qui réalise, en même temps, une économie du nombre de passages au champ par rapport à l'application de plusieurs autres interventions 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 conventionnel. 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) ((Blanchard et Limache, 2005).

L'utilisation des 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. Or c'est là un enjeu majeur de la protection des plantes pour les années à venir. 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 (Blanchard et Limache, 2005).

III.3.3.2. Intérêt environnemental

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 (certains sont même exempts de classement toxicologique et éco-toxicologique, comme Iodus 40 R) (Blanchard et Limache, 2005).

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 (Blanchard et Limache, 2005). 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.

Enfin, les SDN sont une méthode de lutte qui complète bien les autres méthodes utilisées, comme la lutte chimique mais aussi la lutte biologique (les SDN n'ont aucun effet sur les auxiliaires), la sélection variétale, les pratiques culturales… 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 (Blanchard et Limache, 2005).

III.3.3.2. Place 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 (Blanchard et Limache, 2005). Ce serait déjà d'un intérêt évident pour les raisons environnementales et techniques évoquées précédemment et « éthiquement satisfaisant ».

Autre exemple, 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 (Blanchard et Limache, 2005).

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 (Blanchard et Limache, 2005).

L'utilisation des SDN ne peut se faire que par des agriculteurs suffisamment au point techniquement, pour les raisons suivantes (Blanchard et Limache, 2005): 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 qu'il faudra explorer.

Cela correspond à une vision d'une agriculture technicienne, plutôt intégrée et non intensive.

Chapitre IV

CHAPITRE IV.
MATÉRIEL ET MÉTHODES

IV.1. Objectif

Dans le cadre de la recherche sur de nouveaux procédés en de la lutte biologique, la bio-fertilisation offre une certaine éventualité de bio-protection par, l'utilisation des stimulateurs de défenses naturelles.

Les objectifs visés dans ce travail sont de mettre en évidence l'effet de l'utilisation du thé de lombricompost obtenu en convertissant des matières organiques avec les vers *Eisenia fœtida* et *Eudrilus eugeniae* en tant qu'application foliaires et racinaire sur la croissance des plantes de Maïs *Zea mays* et démontrer son effet sur la fluctuation temporelle des populations de puceron du Maïs *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856).

IV.2. Présentation de la région d'étude

IV.2.1. Situation géographique

La wilaya de Médéa est située au cœur de l'Atlas Tellien. Elle s'étend sur une superficie cadastrale de 8775,65 Km^2. Géographiquement elle se situe a une Latitude 36° 16′ 3″ Nord, une longitude de 2° 45′ 0″ Est et une altitude élevée de 600 à 1200 m. La wilaya est limitée: au Nord par Blida, à l'Ouest par les wilayas de Ain Defla et Tissemsilt, à l'Est par la wilaya de M'sila et Bouira et au Sud par la wilaya de Djelfa.: une altitude (Figure IV.1) (Skender, 1978).

IV.2. 2. Bioclimat des régions d'étude

La température est un facteur écologique capital agissant sur le contrôle de l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition géographique de tous les êtres vivants dans la biosphère (Dreux, 1980 *in* Ababsa, 2012).

Les valeurs thermique sont représentées par les températures moyennes minimales (m), maximales (M) et moyennes mensuelles [(M+m)/2] (Emberger, 1955).

Les différentes valeurs thermiques enregistrées à Médéa au cours de la période 1990-2019, montrent que le mois le plus chaud est juillet avec une température moyenne minimale de 20,27°C et une température moyenne maximale de 33,11°C tandis que le mois le plus froid est Janvier avec une température moyenne minimale de 3,05°C et une température moyenne maximale de 11,54°C.

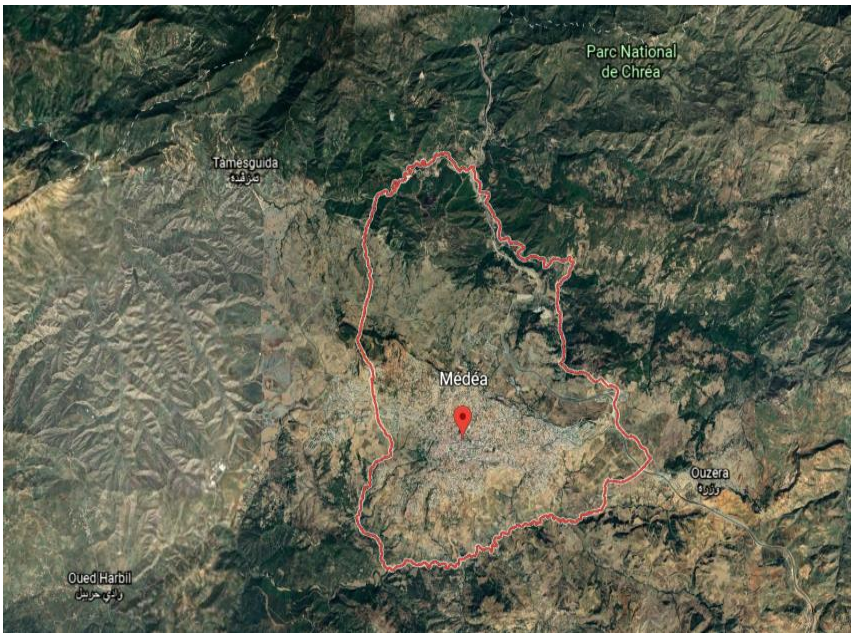


Figure IV.1. Limites géographiques de Médéa (Google earth, 2021).

A Médéa, les précipitations sont caractérisées par une grande variabilité en fonction des années, et aussi en fonction des mois de la même année. Les relevées pluviométriques durant la période 1990-2019, montrent que le mois de Février est le plus pluvieux avec 102,89mm alors que le mois le plus secs est juillet avec 3,67 mm (Tableau IV.1.).

Tableau IV. 1. Variations mensuelles des températures et de la pluviométrie à Médéa (Période 1990-2019)

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
T° Min	3,055	3,15	5,41	7,76	11,69	16,7	20,27	19,6	15,54	12,66	7,35	4,83
T° Max	11,54	11,55	16,33	19,8	25,21	30,34	33,11	32,9	28,08	24,68	14,37	11,31
T° Moy	7,29	7,35	10,87	13,78	18,45	23,52	26,69	26,25	22,27	18,67	10,86	8,07
P (mm)	99,7	102,89	74,63	73,57	52,25	9,44	3,67	9,48	34,3	74,5	92,3	73,78

Office National de la Météorologie (ONM)

IV.2.3. Synthèse climatique

Les données climatiques de la région d'étude nous ont été fournies par l'Office National de la Météorologie de Dar el Beida, Alger.

IV.2.3.1. Diagramme Ombrothermique Bagnouls et Gaussen

Bagnouls et Gaussen (1953)**,** Dajoz (1985), définissent le mois sec lorsque la somme des précipitations moyennes exprimées en (mm) est inférieure au double de la température de ce mois (P/ 2 T). Ils ont proposé un diagramme où on juxtapose les

précipitations et les températures. Lorsque la courbe des précipitations rencontre celle des températures et passe en dessous de cette dernière, nous avons une période sèche.

Le diagramme Ombrothermique de (1990 à 2019) (Figure IV.2), montre deux périodes fondamentales: l'une humide de sept mois s'étalant de janvier à Avril puis de octobre à décembre, l'autre sèche d'un interval de cinq mois de mai à septembre.

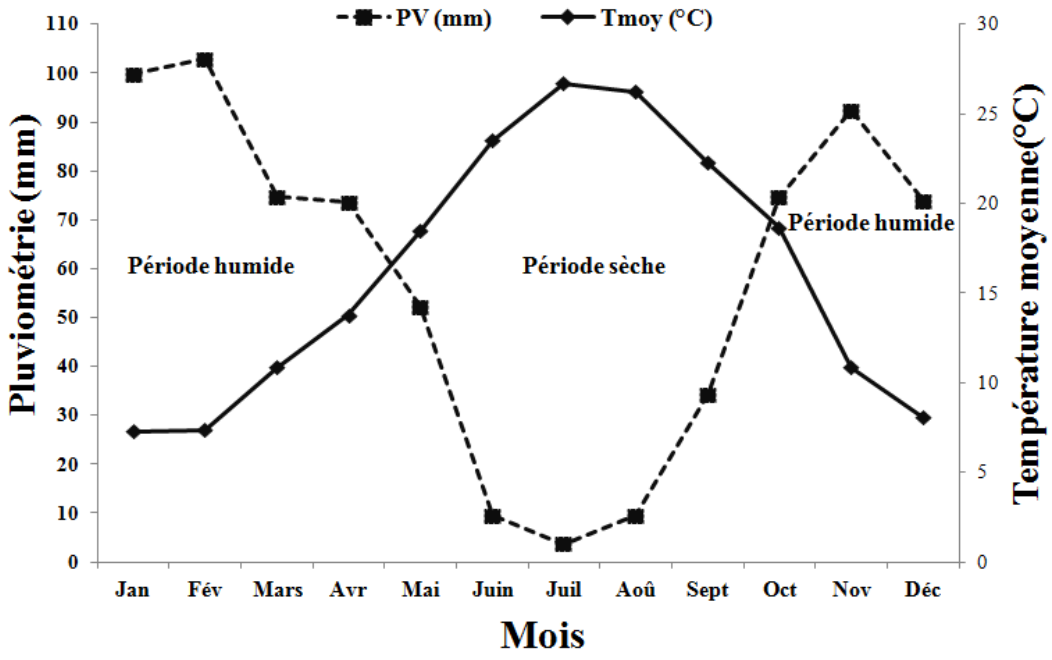


Figure IV.2. Diagramme Ombrothermiques de la région de Médéa (période 1990- 2019)

IV.2.3.2. Étage bioclimatique (Climagramme d'EMBERGER)

Les indices bioclimatiques utilisés de façon traditionnelle en Afrique du Nord et en Méditerranée (Gaussen, 1954; Quezel, 1979**)** on distingue l'indice bioclimatique d'Emberger. L'indice permet la caractérisation des climats et leur classification dans les différents étages bioclimatiques. Ce dernier prend en compte les précipitations annuelles, la moyenne des températures Maximales du mois le plus chaud (M) et la moyenne des minima de température du mois le plus froid (m) (Emberger, 1955). Cet indice est donné par la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{2000 \times P}{M^2 - m^2}$$

Avec :

- **P**: pluviométrie annuelle (mm) ;
- **M** : Moyennes des températures maximales du mois le plus chaud (K°);
- **m** : Moyennes des températures minimales du mois le plus froid (K°).

1K=T°C+273.

En utilisant la formule donnée précédemment, nous remarquons que le quotient pluviométrique de la zone d'étude est égal à 80,07 (Q_2). En reportant la valeur $\mathbf{Q_2}$ dans le Climagramme d'Emberger il en ressort que la région de Médéa présente un climat méditerranéen avec variante semi-humide à hiver doux pour les dix ans de1990 à 2019 (Figure IV.3).

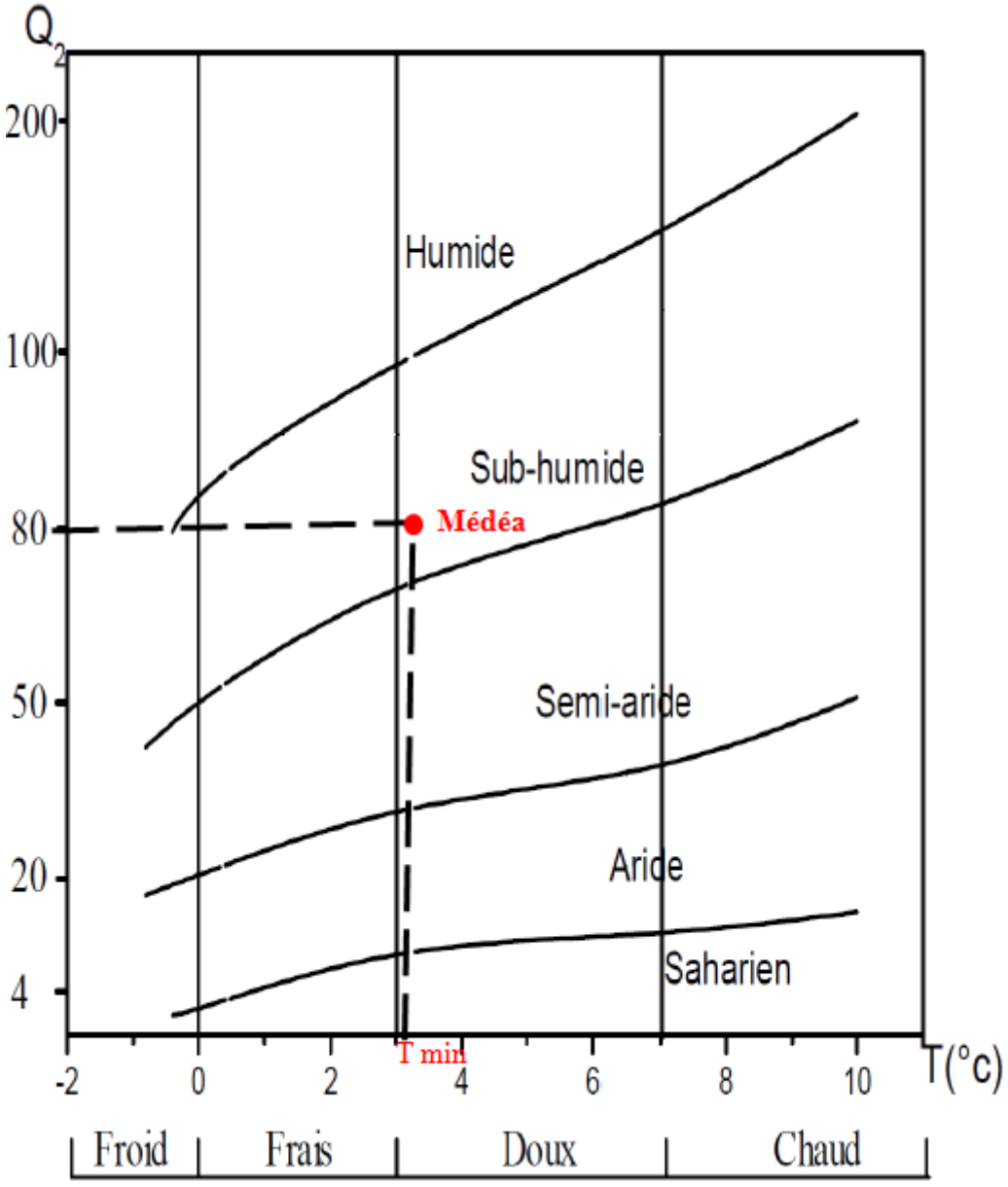


Figure IV 3. Localisation de la région de Médéa dans le Climagramme d'Emberger

IV.3. Présentation de la zone d'étude

Notre expérimentation a été effectuée au niveau d'un champ du Maïs qui se trouve à Talaïche, la commune de Médéa.



Figure IV.4. Station d'étude (Google earth, 2021).

IV.4. Matériel d'étude

IV.4.1. Matériel biologique

IV.4.1.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé au cours de notre expérimentation appartient à une plante herbacée, annuelle, largement cultivée comme céréale pour ses grains riches en amidon, mais aussi comme plante fourragère le Maïs *Zea mays* (Poacées / Cyperales). Cette espèce a été choisie comme modèle biologique dont nous nous sommes intéressés a la partie aérienne. La croissance en longueur de la partie aérienne a été prise comme paramètre d'étude. Les mesures ont été réalisées durant la période étalant de 17Août à10 Septembre.



Figure IV.5. Matériel végétal (Original, 2021)

IV.4.1.2. Matériel animal

Le puceron étudié est *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera / Aphididae) évoluant principalement sur les feuilles de *Zea mays*. Le matériel biologique animal choisi est destiné à l'évaluation de l'efficacité des produits appliqués sur la stimulation des défenses naturelles (SDN).

Chaque cinq jour, trois morceaux de feuilles de 10 cm de long sont prélevées de chaque bloc dont le nombre des différentes formes biologiques sera estimé.

IV.4.2. Obtention du lombricompost

Le lombricompostage, est réalisé au laboratoire du département des sciences de la vie et de la nature de l'Université Dr. Yahia Farès de MÉDÉA pendant une période s'étalant sur trois mois (12 Avril au 15 Juillet 2021).

Le lombricompost utilisé a été obtenu en transformant des matières organiques solides et liquide avec deux espèces de lombrics *Eisenia fœtida* (Savigny, 1826) (redwigglers) et *Eudrilus eugeniae* (Kinberg, 1867) (african nightcrawler) (Figure V.6). Les vers utilisés dans cette étude ont été obtenu auprès d'un éleveur de la région de Bou Saada, Wilaya de M'Sila.

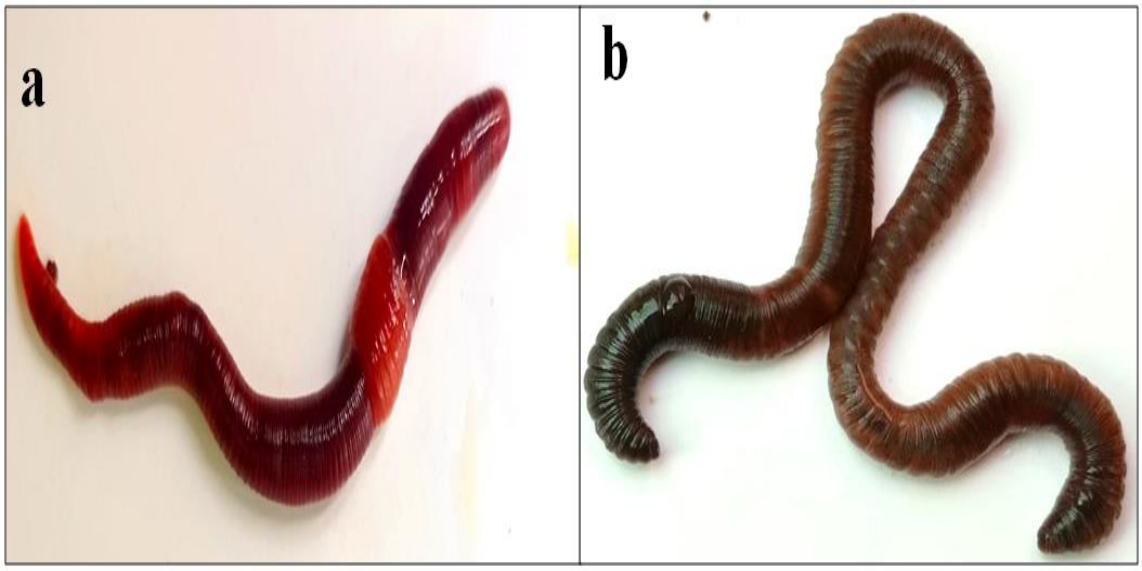


Figure IV.6. Espèces de Lombrics utilisés (Original,2021)
A:Eisenia fœtida; B: *Eudrilus eugeniae*

Deux lombricompostières verticale de même dimension ont été fabriqués à base de planches. Chaque lombricompostière est étagée sur quatre bacs mesurant 50 cm de longueur × 35 cm de largeur × 15 cm de hauteur et étaient dotées de trous dans le fond (Figure V.7).

Les lombricompostières ont été placées dans un endroit calme, sombre et bien aéré tout en maintenant la température, l'humidité et le pH optimaux pour la vie des lombrics.

La mesure du pH, d'humidité et de température a été effectuée à l'aide d'un appareil multifonctions

- La température pour les vers de terre pendant le processus de lombricompostage est maintenu à 15 °C. D'après Ismail (1997), la plage de température optimale pour les vers de terre pendant le processus de lombricompostage est de 12 à 28 C.

- L'humidité relative pour les lombrics pendant le processus de lombricompostage est préservé à 70% et selon Neuhauser *et al.,* (1988); Edwards (1998) c'est l'humidité idéale en lombricompostage.

- Les valeurs de pH du substrat d'alimentation au cours de transformation la matière organique est de **7**. La plage de pH acceptable, adaptée à l'activité des vers de terre et des micro-organismes, est de 5,5 à 8,5 (Kaushik et Garg 2004).

En premier lieu, un vermis-lit à trois couches a été préparé et disposé dans le bac vide. La première couche est une couche basale constituée de carton déchiqueté et bien hydraté; la deuxième couche était constituée de fibre de coco qui a été humidifiée, à une hauteur de 6 à 7,5 cm à partir de la première couche. La troisième couche était le sol recouvert des morceaux des feuilles sèches. L'eau a été pulvérisée à des intervalles définis (Deux fois / semaine) afin de maintenir 70 % d'humidité. Après 2 à 3 jours les vers ont été introduits (Figure V.7) (90g de vers par bac).

Au fur et à mesure que les vers consomment la matière organique, une couche supplémentaire est ajoutée, environ tous les dix jours jusqu'à ce que le compost soit à environ 5 cm du haut du bac (environ deux mois). Les vers sont alors séparés du compost et transférés dans un autre bac.



Figure IV.7. Processus d'obtention du lombricompost (Original, 2021)

En ce que concerne le régime alimentaire de lombrics, au début de processus de lombricompostage, les vers de terre qui ont été mis dans le lombricomposteur sans alimentation pendant une semaine afin qu'ils puissent s'adapter à leur nouvel environnement (le vermi-lit). Dès la deuxième semaine un régime alimentaire diversifié a été suivi (Tableau IV.2.). La quantité des aliments distribués est égale au poids initial des vers.

Tableau IV.2.. L'apport nutritionnel distribué aux vers du compost

Période	**Aliments**	**Vitesse de consommation**		**Caractéristiques**
		E. fœtida	***E. eugeniae***	
2ème S.	Algues	Faible		Bonnes sur le plan nutritif, à haute teneur en micronutriments et en microbes utiles. Mais Il ne faut pas négliger la teneur en sel qui est très élevée.
3ème S.	Salade	Rapide		Un aliment simplifié pour les vers car il contient une quantité importante d'eau et les fibres.
4ème S.	Fumier de lapin	Rapide	Moyenne	Les fumiers, composés de matière organique partiellement décomposée, peuvent être consommés plus rapidement que les aliments frais, et des études concluent que les vers sont capables d'ingérer quotidiennement une quantité de fumier supérieure à leur poids.
5ème S.	Fumier de bovins	Rapide		
6ème S.	Déchets de nourriture pré-compostés	Moyenne		Bon sur le plan nutritif; la décomposition partielle facilite et accélère la digestion par les vers; peut inclure des déchets de viandes et autres graisses; tendance à la surchauffe peu élevée. Moins nutritive que les déchets de nourriture fraîche.
7ème S.	Banane	Rapide		Aliments humides, riche en fibres alimentaires contiennent un pourcentage élevé d'eau.
8ème S.	Melon			
9ème S.	Avoine	Moyenne		Aliment riche en fibres alimentaires.

- **Préparation du thé du lombricompost**

Le vermicompostage produit deux types d'engrais biologique, le vermicompost et le jus de vermicompost.

Le lombricompost a la consistance d'un terreau et sans odeur, est un complément nutritionnel qui régénère et aère le sol tout en favorisant la rétention d'eau. Stable et directement assimilable par les végétaux, il favorise l'enracinement et la croissance des végétaux en ajoutant des éléments nutritifs.

Dans notre travail nous somme intéressé par la partie solide de vermicompost issu de deux espèces de lombrics *Eisenia fœtida* et *Eudrilus eugeniae*.

Le thé de vermicompost, est la solution obtenue après une macération aqueuse où 500 gramme de vermicompost solide a été placé dans un sac de gaze (un fin filet de trous), pour éviter qu'il ne s'écoule, puis 5 cuillères à soupe de mélasse de dattes ont été ajoutées comme liquide nutritif pour les micro-organismes bénéfiques, le sac est ensuite placé la suite dans 5 litre d'eau. Une petite pompe à oxygène ensuite a été utilisée pour injecter de l'air dans l'eau afin de tuer les micro-organismes anaérobies nocifs et de provoquer également des micro-organismes aérobies bénéfiques. Ce processus a pris environ 30 heures avant que la couleur de la solution se rapproche de la couleur du thé noir (Figure IV.8.) (Safiddine, 2021; Alkobaisy *et al.*, 2021). Il est préférable d'utiliser ce thé immédiatement après sa production ou au maximum dans quelques jours, car il favorise le développement des bactéries anaérobies nocives au détriment des bactéries bénéfiques.



Figure IV.8. Préparation du thé de lombricompost

Une dose de thé de vermicompost a été préconisées «thé pur», et deux modes de traitement ont été utilisées « application foliaire et absorption racinaire» sur des plants de Maïs *Zea mays* infestés par le puceron du Maïs *Rhopalosiphum maidis* afin d'évaluer leur

efficacité sur les paramètres de croissance des plantes et de taster son effet de choc sur la structure populationnelle de puceron.

IV.5. Méthodes d'études

IV.5.1. Dispositif expérimental et conduite de l'essai

Au niveau de la station choisie pour réaliser cette étude, nous avons installé des transects végétaux qui seront considérés comme des blocs expérimentaux (unité traité et unité non traité). Le dispositif expérimental est composé de 30 unités expérimentales relatives aux six traitements (**application foliaire** avec TLEF: Thé de Lombricompost pur obtenu avec *Eisenia fœtida,* TLEE: Thé de Lombricompost pur obtenu avec *Eudrilus eugeniae* et TF: témoin foliaire / **absorption racinaire** avec TLEF : Thé de Lombricompost pur obtenu avec *Eisenia fœtida,* TLEE: Thé de Lombricompost pur obtenu avec *Eudrilus eugeniae* et TF: témoin racinaire). Deux apports foliaires et racinaires ont été apportés durant la période de suivi. L'application foliaire à été réalisée par un pulvérisateur manuel alors que l'application racinaire a été réalisée par récipient de 500ml afin d'administrer le même volume à toutes les plantes du Maïs *Zea mays* infestés par le puceron du Maïs *Rhopalosiphum maidis.* Trois répétitions sont effectuées pour chaque traitement. Le suivi des paramètres de croissance des plantes et la structure populationnelle de *Rhopalosiphum maidis* a été conduit sur une période de 25 Jour, soit 1 jours avant traitement et 25 jours après traitement.

IV.5.2. Détermination des paramètres physico-chimique du lombricompost

Les analyses physico-chimiques (PH, l'azote, le phosphore, le potassium et le calcium) du lombricompost de chaque espèce ont été réalisés au niveau de laboratoire des analyses pédologiques de l'école nationale supérieure d'agronomie-Elherrach (ENSA), Alger.

IV.5.3. Estimation de la densité et de la répartition temporelle de *Rhopalosiphum maidis*

Au cours de notre expérimentation, chaque cinq jour, trois morceaux de feuilles de 10 cm de long sont prélevés de chaque bloc élémentaire dont le nombre des individus du puceron *Rhopalosiphum maidis* sera évalué. La densité de *R. maidis* est obtenue par le rapport du nombre d'individus sur la surface des feuilles échantillonnées. Les paramètres populationnelles ont été estimés chaque cinq jour.

Alors que la répartition temporelle des populations de R. maidis a été évaluée par le calcul de la variance selon la formule suivante (Dajoz, 1985):

$$S^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{i=n}(Xi - m)^2$$

- X_i : Est le nombre des individus dans chaque prélèvement.
- *m* : moyenne de l'ensemble des comptages effectués sur la parcelle pour un échantillonnage.
- *n* : Nombre total d'individus dans chaque prélèvement.

IV.5.3. Effet bio fertilisant de lombricompost sur les plants de maïs

Pour apprécier l'effet de lombricompost sur le développement des plants de maïs, nous avons examiné dans ce travail la croissance des plants de maïs en hauteur.

Estimation de la croissance des plants de maïs, la hauteur initiale des plants été mesurée avant l'application de l'amendement. Pendant les 25 jours du suivi expérimental nous avons pris les mensurations de tous les plants à l'aide d'une règle graduée du collet jusqu'au bourgeon terminal de la bifurcation principale tous les cinq jours.

Pour estimer la croissance moyenne journalière nous avons utilisé la formule suivante:

$$Cj = (Hf-Hi)/Hi*100/T.$$

Où:

- Cj: croissance moyenne journalière
- Hf : Hauteur Final ;
- Hi : Hauteur Initial ;
- T : temps (durée d'expérimentation : 25jours).

IV.6. Analyse statistique

L'analyse statistique a concerné l'évaluation de l'effet de biofertilisant à base de lombricompost sur la croissance des plantes de Maïs *Zea mays* et ses retombées sur la fluctuation temporelle des populations de puceron du Maïs *Rhopalosiphum maidis*.

Les analyses de la variance sont faites sur des moyennes homogènes adoptées sur la base d'un coefficient de variance (C.V. <15%). L'ensemble des tentatives ont été répétés au minimum trois fois. Les résultats, présentés sous forme de courbes ont été réalisés par le logiciel Microsoft Excel.

Lorsque le problème est de savoir si la moyenne d'une variable quantitative varie significativement selon les conditions (Types de bio-fertilisants, mode d'administration, etc...), il est préconisé de réaliser une analyse de variance. Les comparaisons des moyennes été réalisées par analyses de la variance (one-way ANOVA) et à l'aide du test F pour les variables suivant la loi normale.

Parmi les variables participant le plus souvent à la variance totale, celles dont la contribution est significative au seuil de 0,05 ont été retenues. Nous avons alors utilisé le modèle linéaire global (G.L.M.) par logiciel SYSTAT vers. 12, SPSS 2009 dans les cas où plusieurs facteurs sont en jeu.

La description statistique des tendances de la variation temporelle de taux de mortalité et sous l'effet des différents bioproduits ont été établies par une présentation en BoxPlot réalises par logiciel XLSTAT.

Chapitre V

CHAPITRE V.
RESULTATS

Les résultats relatifs à l'effet du Lombricompost sur l'état phytosanitaire et sur la croissance du Maïs *Zea mays* sont présentés dans ce chapitre

V.1. Composition physico-chimiques des Lombricomposts

Les résultats des analyses du laboratoire sont représentés par le Tableau V. 1. L'analyse des teneurs en éléments nutritifs dans les lombricomposts obtenu avec les deux espèces de lombrics a montré une variation négligeable dans tous les paramètres étudiés.

Tableau V.1. Résultats des analyses des paramètres physico-chimiques des Lombricomposts

Lombricompost / Paramètres	**Lombricompost obtenu avec *Eudrilus eugeniae***	**Lombricompost obtenu avec *Eisenia fœtida***
PH	6.58	6.47
Azote N %	3.75	4.09
phosphore P%	5.12	6.23
potassium K%	1.45	1.36
Calcium Ca++%	0.057	0.048

V.2. Evaluation de l'effet des traitements sur la croissance du Maïs *Zea mays*

V.2.1. Evolution temporelle de la croissance cumulative des plantes du Maïs

La figure V.1. démontre la fluctuation temporelle de la croissance cumulative des plantes de Maïs *Zea mays* sous l'effet des diffirents traitement appliqués.

La variation temporelle de la croissance de *Zea mays* tend à une élevation timide pendant la période d'invastigation sous l'action des molécules apportées. Il est à signaler qu'a partir de la 1ière sortie d'application on note une évolution de la croissance sous l'effet du lombricompost. Suite aux résultats, nous remarquons que la croissance étale une tendance marque à l'accroissement sous l'effet de lombricompost appliqué par absorption racinaire par rapport à l'application foliaire (Figure V. 1. a et b).

En revanche, le témoin exerce un effet sur croissance cumulative des plantes mais avec un degré moins important, si l'on prend en considération la croissance initiale (J0) (Figure V.1. a et b).

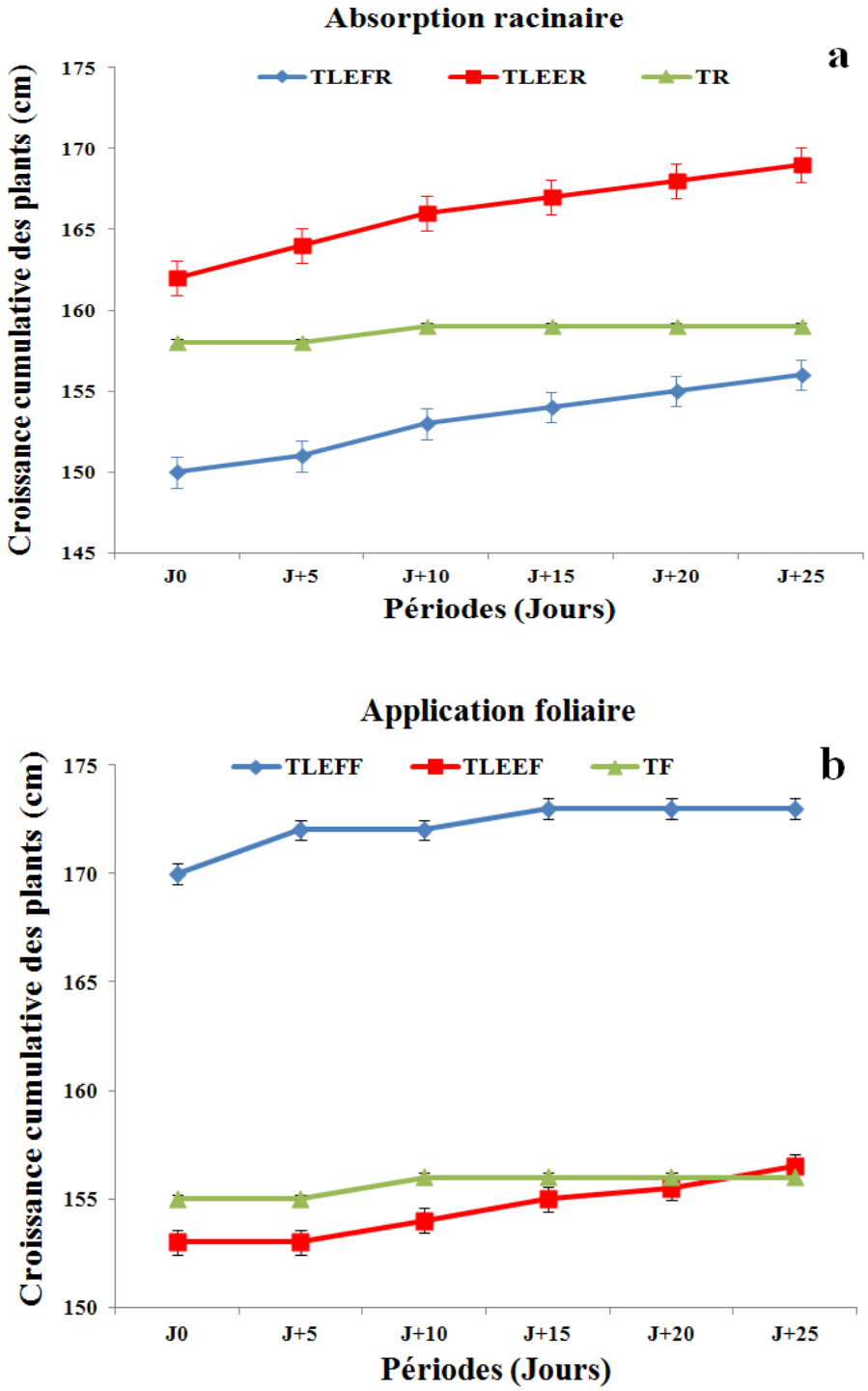


Figure V.1. Effet des modes des traitements sur la croissance des plants de Maïs.

T.L.E.F.F.: Thé lombricompost obtenu avec *Eisenia fœtida* par l'application foliaire; T.L.E.E.F: Thé de Lombricompost obtenu avec *Eudrilus. eugeniae* l'application foliaire; T.L.E.E.R.: Thé de Lombricompost obtenu avec *Eudrilus eugeniae* par l'absorption racinaire; T.L.E.F.R: Thé lombricompost obtenu avec *E. fœtida* par l'absorption racinaire ; T.R.:Témoin par absorption racinaire ; T.F.:Témoin par application foliaire; J.: Jour.

V.2.2. Etude comparée des traitements sur la croissance cumulative du Maïs

Le modèle G.L.M. a été appliqué dans le but d'évaluer l'effet strict des différentes molécules sur la croissance cumulative du Maïs.

L'évolution temporelle de la croissance cumulative du Maïs sous l'effet des différents traitements varie significativement durant la période de notre étude (Test G.L.M.: p=0,000***; p<0,001). Il est a signaler que dés les premiers jours d'application (J+5) on note une évolution légère de la croissance sous l'effet du lombricompost. Cette augmentation continue jusqu'à la fin de suivi (Figure V.2.a.).

Les résultats obtenus suite à l'application du model G.L.M. indiquent l'existence d'une dissemblance négligeable (Test G.L.M.: p=0,939 ^{Ns}; p>0,05) entre le bloc témoin et le bloc traité. De même l'analyse montre la présence d'un effet stimulateur au profit du bloc traité par le lombricompost (Figure V.2.b.).

La figure V.2.c. montre que le pouvoir fertilisant se trouve influencé par le mode d'administration (racinaire ou foliaire) du lombricompost. La croissance de *Zea mays* étale que lombricompost appliqué par absorbation racinaire, exerce une action fertilisante remarquable sur la croissance des plantes s'il est comparé au lombricompost appliqué par voie foliaire, qui exerce un effet fertilisant moins important.

La nature de l'espèce utilisée pour la transformation de la matière organique et donc la production du lombricompost montre la présence d'une dissemblance non significative (Test G.L.M: p=0,111; p>0,05) sur la croissance des plantes traitée. Nous remarquons que l'effet fertilisant est moyennement important suite à l'application du lombricompost obtenu avec *Eisenia fœtida* par rapport au Lombricompost obtenu avec *Eudrilus eugeniae* (FigureV.2. c).

Les dénivellations de la croissance enregistrés entre les différentes molécules sont en faveur en premier degrés au lombricompost obtenu avec *Eisenia fœtida* par l'application foliaire (T.L.E.F.F.), en second lieu s'affiche par ordre d'importance le thé de Lombricompost obtenu avec *Eudrilus eugeniae* par l'absorption racinaire (T.L.E.E.R.), et enfin le lombricompost obtenu avec *E. fœtida* par l'absorption racinaire (T.L.E.F.R.) et le thé de Lombricompost obtenu avec *E. eugeniae* l'application foliaire (T.L.E.E.F.) qui reste comparable aux témoins(Figure V.2.e.).

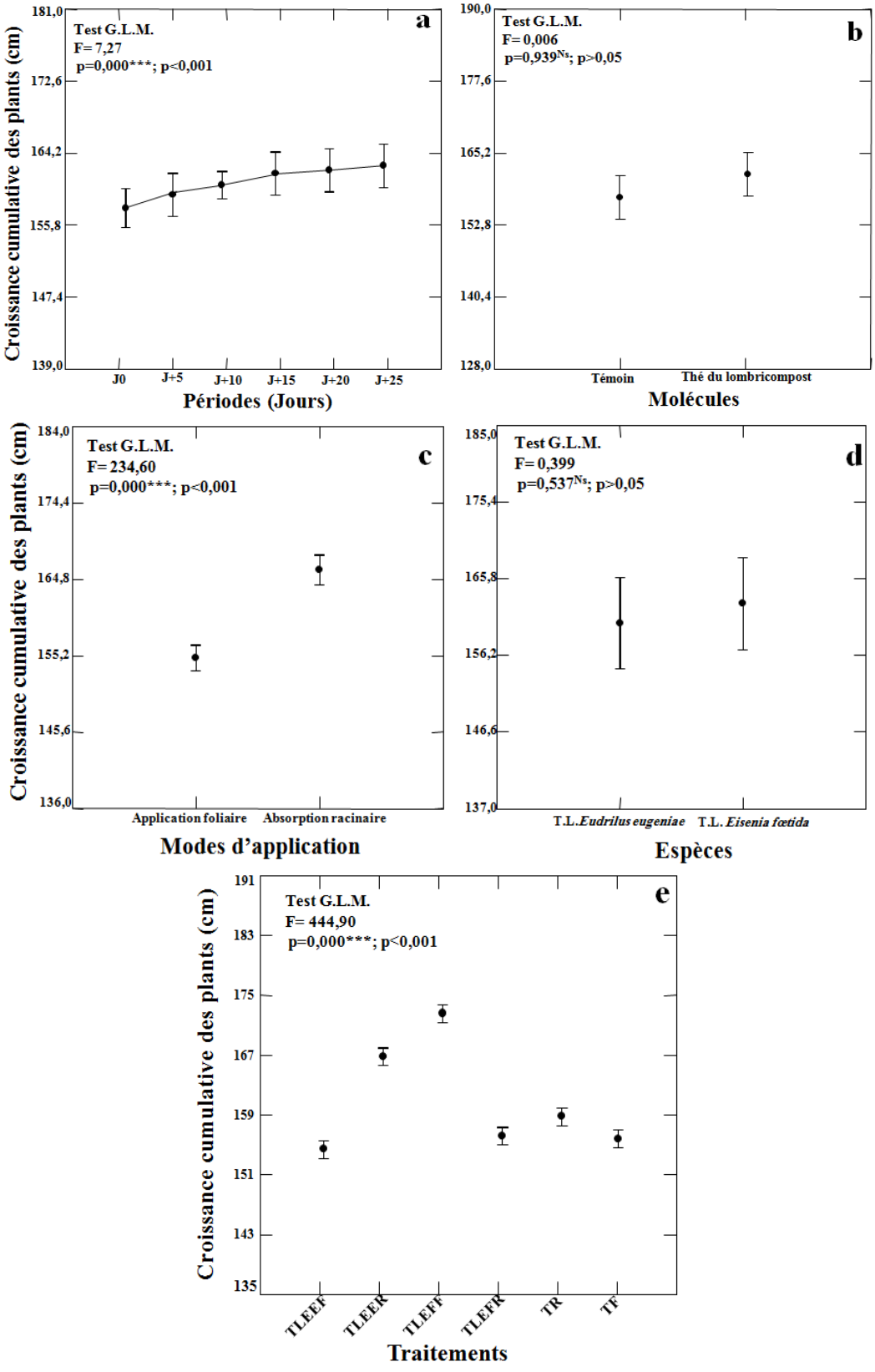


Figure V.2. Etude comparée des traitements sur la croissance cumulative du Maïs

T.L.E.F.F.: Thé lombricompost obtenu avec *Eisenia fœtida* par l'application foliaire; T.L.E.E.F: Thé de Lombricompost obtenu avec *Eudrilus. eugeniae* l'application foliaire; T.L.E.E.R.: Thé de Lombricompost obtenu avec *Eudrilus eugeniae* par l'absorption racinaire; T.L.E.F.R: Thé lombricompost obtenu avec *E. fœtida* par l'absorption racinaire ; T.R.:Témoin par absorption racinaire ; T.F.:Témoin par application foliaire; J.: Jour.

L'évolution de la croissance journalière du maïs sous l'effet des différents traitements est très contrastée par comparaison au témoin. Les résultats révèlent que le taux de la croissance journalier est très faible sous l'effet de différents apports. Cependant les résultats, démontrent que la croissance des plants traités par la voie racinaire est plus importante que celles des plants traitées par application foliaire (Figure V.3.).

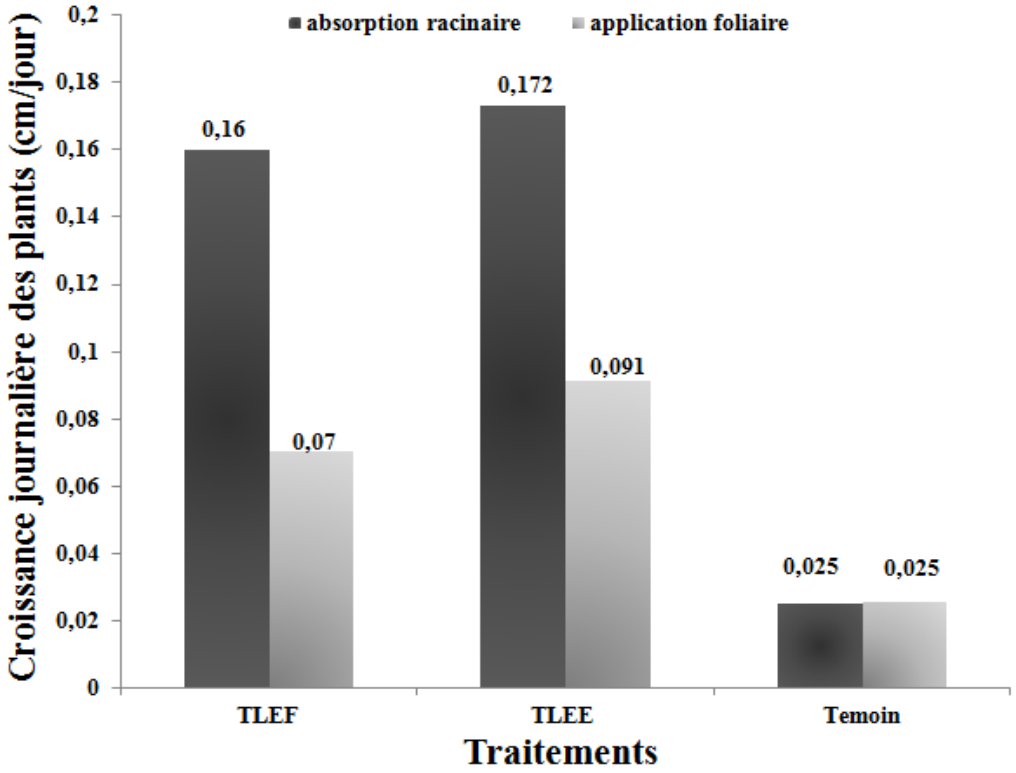


Figure V.3. Etude comparée des traitements sur la croissance journalière du Maïs

T.L.E.F.F.: Thé lombricompost obtenu avec *Eisenia fœtida* par l'application foliaire; T.L.E.E.F: Thé de Lombricompost obtenu avec *Eudrilus. eugeniae* l'application foliaire; T.L.E.E.R.: Thé de Lombricompost obtenu avec *Eudrilus eugeniae* par l'absorption racinaire; T.L.E.F.R: Thé lombricompost obtenu avec *E. fœtida* par l'absorption racinaire ; T.R.:Témoin par absorption racinaire ; T.F.:Témoin par application foliaire; J.: Jour.

V.3. Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur la densité de *Rhopalosiphum maidis*

V.3. 1. Evolution temporelle des densités de *Rhopalosiphum maidis* sous l'effet du thé de lombricompost

La figure V. 4. présente l'évolution temporelle de la densité des populations de *Rhopalosiphum maidis* sous l'effet des diffirentes molécules apportés.

La fluctuation temporelle de la densté de *Rhopalosiphum maidis* tend à une diminution numérique assez marqué durant la période d'étude sous l'effet des traitements. Il est a signaler que dés les premiers jours d'application (J+5) on note une diminution importante de la densité des populations traitées. Cette chutte de densité continue jusqu'à

la fin de suivi. Notons que la densité présente une tendance très marque à la baisse sous l'effet de lombricompost obtenu avec *Eudrilus eugeniae* (Figure V. 4. a et b).

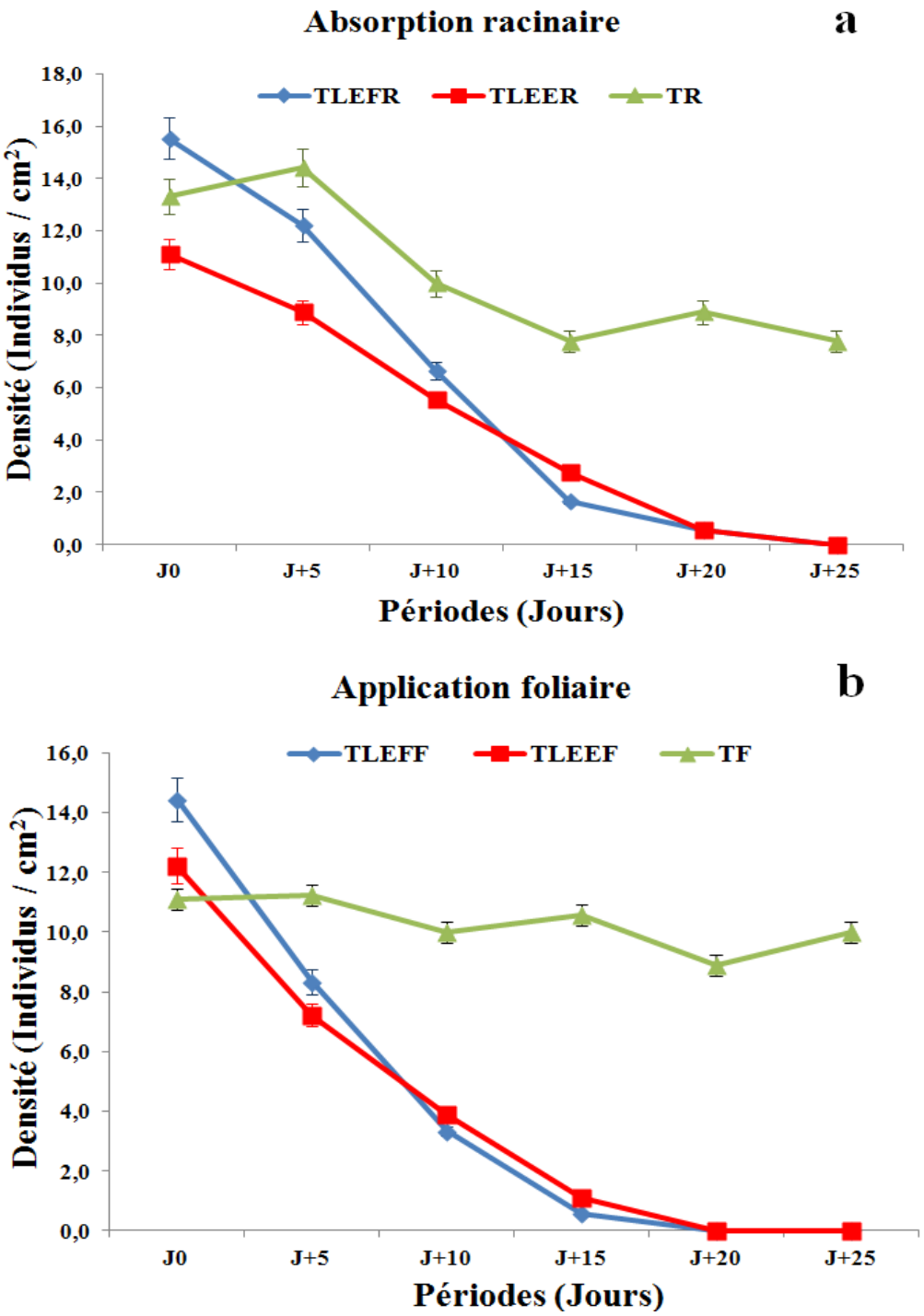


Figure V. Evolution temporelle des densités de *Rhopalosiphum maidis* sous l'effet du Thé de lombricompost

T.L.E.F.F.: Thé lombricompost obtenu avec *Eisenia fœtida* par l'application foliaire; T.L.E.E.F: Thé de Lombricompost obtenu avec *Eudrilus. eugeniae* l'application foliaire; T.L.E.E.R.: Thé de Lombricompost obtenu avec *Eudrilus eugeniae* par l'absorption racinaire; T.L.E.F.R: Thé lombricompost obtenu avec *E. fœtida* par l'absorption racinaire ; T.R.:Témoin par absorption racinaire ; T.F.:Témoin par application foliaire; J.: Jour.

L'activité stimulatrice se trouve influencer par le mode d'apport des traitements, et par conséquent elle parait obéir à un gradient positif Application foliaire<Absorption racinaire (Figure V.4. a et b).

Par comparaison au témoin, le thé de lombricompost semblent avoir un effet répréssif sur la densité de la cible (Figure V.4. a et b).

V.3. 2. Evaluation de l'effet comparé des applications du lombricompost sur la densité *de Rhopalosiphum maidis*

La figure V.5.a., montre l'effet comparé des différents modes d'apport du lombricompost sur la densité moyenne de *Rhopalophum maidis*.

Les différents apports appliqués dévoilent un effet très marqué sur le degré d'infestation des plants de maïs par cible en comparaison au témoin. En outre, les résultats indiquent que la moyenne de densité la plus faible est signalée sous l'effet du Thé de Lombricompost obtenu avec *Eudrilus eugeniae* par l'application foliaire (T.L.E.E.F.: moy± E.S.: 4,07±1,98) (Figure V.5. b).

À partir des résultats du test ANOVA, nous remarquons que le facteur traitement enregistre un effet significatif sur la réduction des densités globales de *R. maidis* (Test ANOVA: p=0,000***; p<0,001).

La présentation graphique en BoxPlot «Boites à moustaches» des données expérimentales est avancée dans le but d'apprécier la variation des densités de *Rhopalophum maidis* observées sous l'effet des différents apports du lombricompost (Figure V.5.b).

Il est intéressant a noter que le Thé du Lombricompost obtenu avec *Eudrilus eugeniae* par l'application foliaire exerce la plus forte toxocité (T.L.E.E.F.) (Q_1=0,27, Q_2=2,5, Q_3=6,38) tandis que le thé de Lombricompost pur obtenu avec *Eisenia fœtida* par l'absorption racinaire (T.L.E.F.R.) provoque la plus faible toxicité a l'égard de la population traitée *Rhopalophum maidis* (Q_1=0,83, Q_2=4,16 Q_3=10,83) (Figure V. 5.b). Pour le bloc témoin la densité de la cible reste à un niveau assez élevé. D'une manière générale les densités sont beaucoup plus amoindries comparées au témoin.

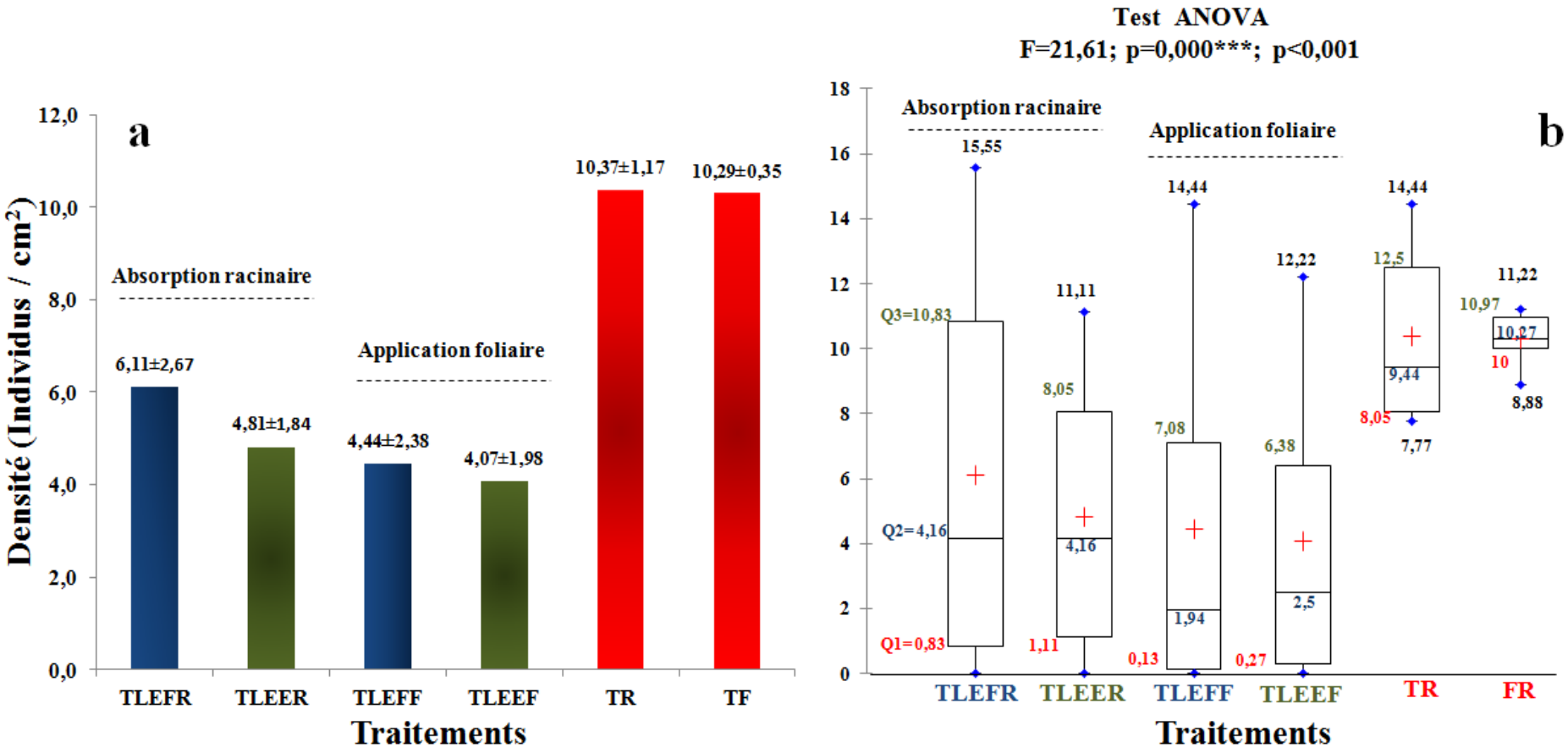


Figure V.5. Incidence du Lombricomposte sur les densités globales *Rhopalophum maidis*

T.L.E.F.F.: Thé lombricompost obtenu avec *Eisenia fœtida* par l'application foliaire; T.L.E.E.F: Thé de Lombricompost obtenu avec *Eudrilus. eugeniae* l'application foliaire; T.L.E.E.R.: Thé de Lombricompost obtenu avec *Eudrilus eugeniae* par l'absorption racinaire; T.L.E.F.R: Thé lombricompost obtenu avec *E. fœtida* par l'absorption racinaire ; T.R.:Témoin par absorption racinaire ; T.F.:Témoin par application foliaire; J.: Jour

Nous avons appliqué le modèle général linéaire (G.L.M.), de manière à étudier l'influence de différents apports du lombricompost sur la densité des populations aphidiennes *Rhopalophum maidis* (Figure V.6.).

Les dénivellations des densités entre témoin et traité sont nettement significatives (Test G.L.M.; p=0,000***; p<0,001) (Figure V.6. a.). Les résultats montrent que la densité la plus marquée est enregistrée chez le bloc non traité.

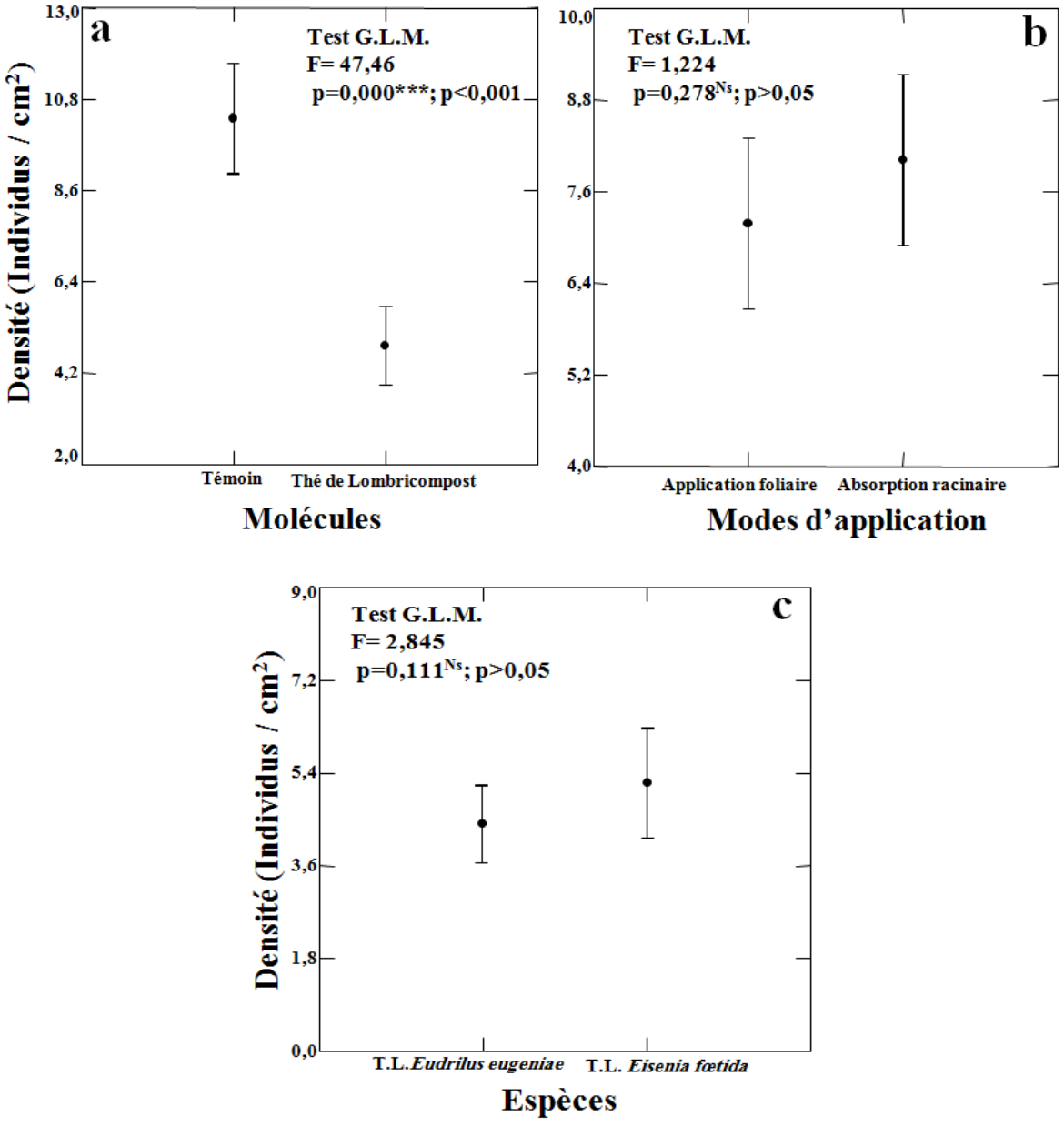


Figure V.6. Etude comparée des traitements sur la densité de *Rhopalophum maidis*

Les dissemblances des densités de *Rhopalophum maidis* enregistrées sous l'effet du mode d'application du traitement (Figure V.6.b.) ne présentent pas de différences très accusées (Test G.L.M.; p=0,278; p>0,05). Nous ajoutons aussi que l'application foliaire du lombricompost présente un effet contraignant au développement des densités par rapport à

l'absorption racinaire. Les résultats n'enregistrent aucune différence significative (Test G.L.M: p=0,111; p>0,05) en termes de toxicité entre le lombricompost obtenu avec *Eisenia fœtida* et le Lombricompost obtenu avec *Eisenia eugeniae* sur la densité de la population traitée de *Rhopalophum maidis*. Mais il est intéressant à signaler que l'effet stimulateur est légèrement important suite à l'application du lombricompost obtenu avec *Eudrilus eugeniae* par rapport au Lombricompost obtenu avec *Eisenia fœtida* (FigureV.6. c).

V.3.3.Etude de la répartition temporelle des populations de *Rhopalosiphum maidis* sous l'effet du lombricompost appliqué

Selon Dajoz (1985) La répartition spatiotemporelle des populations de *Rhopalosiphum maidis* a été évaluée par la variance S^2

La répartition temporelle des populations de puceron de maïs *Rhopalosiphum maidis* a été évaluée sous les différents traitements du lombricompost. Il on ressort que globalement la répartition des populations de *R. maidis* est régulière à l'exception de la réaction des populations soumises au Lombricompost pur obtenu avec *Eisenia fœtida* pour l'absorption racinaire (T.L.E.F.R.) qui ont manifestés des répartitions respectivement agrégatives (Figure V.7).

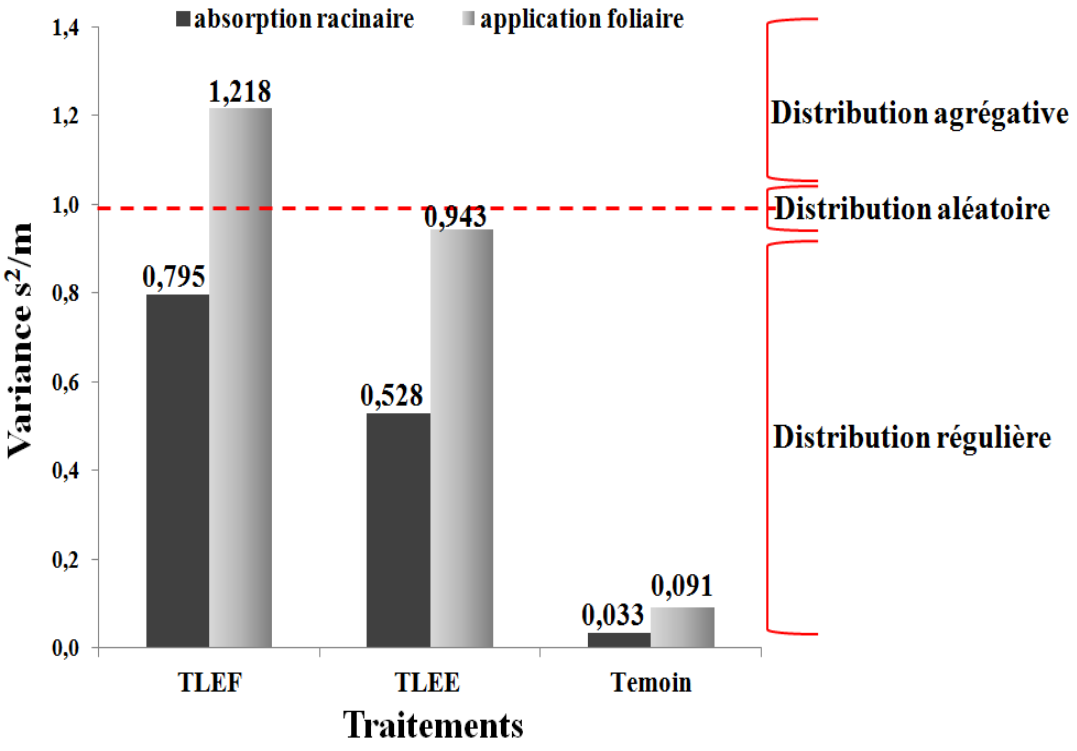


Figure V.7. Type de répartition temporelle de puceron du Maïs *Rhopalosiphum maidis*

T.L.E.F.: Thé lombricompost obtenu avec *Eisenia fœtida*; T.L.E.E.: Thé de Lombricompost obtenu avec *Eudrilus. eugeniae*

Chapitre VI

CHAPITRE VI.
DISCUSSION GENERALE

Depuis que l'homme a découvert l'agriculture, il a pensé à protéger ses cultures et ses denrées stockées. Empirique au départ, cette protection a connu d'énormes progrès au cours du siècle dernier, et s'est améliorée considérablement avec la découverte et l'utilisation des pesticides organiques de synthèse. Ces derniers ont rendu d'énormes services à l'humanité dans la lutte contre les ravageurs mais leur utilisation anarchique a engendré depuis quelques années des effets néfastes considérables incitant les scientifiques à rechercher des alternatives de lutte pour remplacer les pesticides organiques de synthèse par des bioproduits biodégradable et respectueux de l'environnement (Boeke et *al.,* 2004).

Le recours aux biofertilisants naturels constitue une voie qui pourrait réviser les patrons régissant la lutte contre les ennemis des cultures. Dans cette stratégie se trouvent les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN), une solution qui pourrait être intéressante dans l'avenir sur les plans scientifique et agronomique (Kaufmann *et al*, 2001).

Cette étude nous a permis de mettre en exergue l'effet régulateur de bio-fertilisants à base du lombricompost sur le puceron du maïs *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) et d'estimer son incidence sur la croissance des plantes de maïs.

VI. 1. Composition physico-chimiques des vermicomposts

Les analyses des éléments nutritifs montrent les teneurs en azote sont de 3.75% (LEE: Lombricompost pur obtenu avec *Eudrilus eugeniae*) et (4.09%) (LEF: Lombricompost pur obtenu avec *Eisenia fœtida*). Celles du phosphore sont de 5.12% (LEE) et 6.23% (LEF). Le potassium a enregistré des valeurs de 1.45% (LEE) et 1.36 % (LEF). Les valeurs de calcium dans les deux traitements LEE et LEF sont respectivement de 0.057% et 0.048 %. Les analyses étalent que le potentiel hydrogène pH est neutre pour les deux échantillons. Nos résultats sont très proches à ceux trouvés par Alkobaisy (2021), qui a donné les quantités nutritives suivantes: 1,5% d'Azote, 1,4% de phosphore, 0,9% de potassium et 1,8% de Calcium dans le vermicompost analysé. L'analyse des teneurs en éléments nutritifs dans le vermicompost obtenu par Amic et Dalmasso, (2013) sont d'ordre 4, 90 % d'azote, 1,10 % de Phosphore, 0,80 % de Potassium et 12,70 % de Calcium.

VI.2. Evaluation de l'effet des traitements sur la croissance du Maïs *Zea mays*

Nos résultats relatifs à l'effet des différents traitements à base de lombricompost sur la croissance des plants de maïs traités, ont révélé des variations moyennement importante et qui se rapproche dans certains cas du témoin. Le Thé du lombricompost apporté par absorption racinaire provoque une stimulatrice importante à la croissance des plants par

rapport au lombricompost apporté par voie foliaire. Ces résultats, nous permettent de formuler une hypothèse exprimant la richesse du lombricompost en divers éléments nutritifs tel que l'azote, le potassium, le phosphore et le calcium. Nos résultats sont conformes aux résultats d'autres études qui prouvent, l'effet du vermicompost dans la stimulation de croissance des plants (Chaichi *et al.,* 2018; Safiddine, 2019). Les vermicomposts auraient favorisé la libération rapide des éléments nutritifs dans le sol pour les cultures ceux qui contribué à l'amélioration de la croissance (Hien *et al.,* 2018)

Frederickson et Howell (2004), ont montré que la teneur en éléments nutritifs du fumier des lombrics varie selon le genre d'aliments qu'ingurgitent les vers. L'alimentation des vers en déchets cause la minéralisation de l'azote, suivie de la minéralisation du phosphore et du soufre après l'excrétion. Ordinairement le contenu en éléments nutritifs des excréments de vers est le suivant : ratio C/N 12 – 15/1; 1,5 % – 2,5 % N, 1,25 % – 2,25 % P_2O_5 et 1 % – 2 % K_2O à un taux d'humidité de 75 % à 80 %. La structure granuleuse des excréments de vers de terre permet une libération relativement lente des éléments nutritifs, qui répond aux besoins des végétaux. Selon Visvanathan et *al., (2005),* 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 à des agrégats granulaires, riches en NPK (nitrates, phosphates et potassium), micronutriments et de microorganismes bénéfiques pour le sol.

D'après Canellas *et al.* (2002), l'augmentation de la croissance des plants de tomate sous l'effet du vermicompost serait en relation avec la présence d'acides humiques dont l'acide humique du lombricompost stimule la croissance des plantes même en petite quantité. En outre la stimulation de la croissance des plantes, peut résulter de molécules bioactives hydrosolubles comme les phytohormones, les acides humiques et fulviques, minéraux, acides aminés, ou métabolites microbiens présents dans le vermicompost (Safiddine, 2019). Les hormones végétales sont des molécules organiques qui agissent à doses infimes sur le fonctionnement des cellules (Jeandet *et al.,* 1996). Les gibbérellines peuvent faire allonger les tiges et les racines. Elles lèvent la dormance des bourgeons, augmentent l'activité du cambium et provoquent la floraison.

D'après Saeed Reza et Raheleh (2018), ils signalent que l'application du compost a participé à l'augmentation de la quantité d'eau disponible pour la plante, son contenu en eau des feuilles, et la biomasse des plantes en conditions de stress hydrique.

Les résultats montrent que l'absorption racinaire des biofertilisants a un effet satisfaisant sur la croissance du maïs en comparaison à l'application foliaire. Selon Reuveni *et al*, (1994), l'application de fertilisants sur le feuillage des plantes est une pratique répandue mais controversée. Le processus par lequel la pénétration des fertilisants dans les parties foliaires peut avoir lieu est une série complexe d'événements interdépendants. Un nombre élevé de facteurs peut limiter son efficacité : formes chimiques des fertilisants, température, humidité, etc.

VI.3. Evaluation de l'effet comparé des applications du lombricompost sur la densité *de Rhopalosiphum maidis*

Les résultats montrent que les densités des populations *de Rhopalosiphum maidis* sont réduites sous l'effet des différentes formes d'apport du lombricompost. De ce fait on suppose que le biofertilisant apporté a stimulé les défenses naturelles de la plante et cette dernière a réagit par un effet répressif sur les populations de puceron du maïs. L'hypothèse apportée rejoint les nombreux travaux qui se sont intéressés à l'application des éliciteurs sur les plantes, en activant préventivement ses réactions de défense, conduisait à l'augmentation de sa résistance aux bioagresseurs (Chaichi *et al.*, 2018; Safiddine, 2019). Les plantes traitées avec des éliciteurs développent généralement une résistance d'accueillir, parce que l'application des éliciteurs sur la surface de la plante active plusieurs voies de signalisation de défense intracellulaire (Holopainen et *al*., 2009).

Les informations bibliographiques disponible estiment que le biofertilisant à agi par effet insecticide sur les populations du puceron à cause de sa richesse en chitinases. Cette hypothèse rejoints les copieux travaux ayant traités la diversité de la disponibilité fongique dans le lombricompost. Les chitinases fongiques possèdent de multiples fonctions. Elles participent largement au métabolisme trophique et sont également impliquées dans le développement, la morphogenèse et lors d'interactions symbiotiques et d'infestations parasitaires. Les champignons utilisent leurs chitinases pour faciliter leur pénétration ou pour en exploiter les sucres et acides aminés issus de la dégradation de leurs supports nourriciers (Saguez, 2007). Les teneurs élevées en microorganismes de vermicompost protègent les plantes en concurrençant les organismes pathogènes sur le plan des ressources tout en bloquant également leur accès aux racines par une occupation des sites disponibles (Ducasse, 2015).

Les résultats montrent que l'application foliaire des biofertilisants a un effet satisfaisant sur la densité du puceron de maïs par rapport à l'absorption racinaire. Des études antérieurs ont 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). L'utilisation du lombricompost par pulvérisation foliaire sur des plants de fèves a conduit une forte diminution des densités des formes biologiques du puceron noir de la fève, ceci peut être expliqué par certains travaux qui rejoignent nos résultats par la susceptibilité de ces produits d'enrichir la plante dans le, ou les éléments contenus dans leur formule, et il semble bien que les répercussions à en atteindre le métabolisme des ravageurs (Saguez, 2007).

Les résultats montrent que le lombricompost obtenu avec *Eudrilus eugeniae* à un effet satisfaisant sur la densité du puceron de maïs par rapport au Lombricompost obtenu avec *Eisenia fœtida* l'application foliaire des biofertilisants. Selon Memoko et Nenonene (2019), la qualité du vermicompostage dépend non seulement des substrats transformés mais aussi de l'espèce de vers utilisée.

CONCLUSION GENERAE

CONCLUSION GENERALE

Ce travail a pour l'objectif d'évaluer les effets des biofertilisants à base de vermicompost sur la disponibilité de *Rhopalosiphum maidis* et son incidence sur la croissance du maïs. A partir de cette investigation nous pouvons dégager les résultats suivants :

Les analyses de la composition chimique montrent que les biofertilisants utilisés contient des quantités moyennent importante en éléments nutritifs (azote s, phosphore, potassium et calcium).

Les résultats démontrent que les biofertilisants appliqués présentent un effet remarquable sur la disponibilité de *R maidis*. Cependant, le Thé du Lombricompost obtenu avec *Eudrilus eugeniae* par l'application foliaire exerce la plus forte toxicité tandis que le thé de Lombricompost obtenu avec *Eisenia fœtida* par l'absorption racinaire provoque la plus faible toxicité a l'égard de la population traitée *Rhopalophum maidis*. La toxicité des traitements diffère selon le mode d'application du biofertilisant où on enregistre que les biofertilisants apportés par voie foliaire engendrent une sévérité d'action remarquable sur la densité par rapport biofertilisants apportés par absorption racinaire

Les aboutissements relatifs aux effets des biofertilisants à base de vermicompost sur la croissance de *Zea mays* sont satisfaisants pour les biofertilisants apportés par absorption racinaire où on enregistre une augmentation assez distincte des hauteurs des plantes du maïs par rapport aux biofertilisants apportés par voie foliaire.

En perspective, il serait intéressant d'instaurer un programme d'apport de fertilisants sur la base des connaissances accumulées. Le recours à une évaluation de certains paramètres morphologique et physiologiques (exp. Osmorégulateurs) nous permet de bien connaitre le mode et les conditions d'applications des différentes biofertilisants.

REFERENCES BIBILIOGRAPHIQUES

1. **Ababsa L., 2012.** Régime alimentaire et reproduction de quelques espèces aviennes dans la région d'Ouargla. Thèse de Doctorat, ÉNSA, El Harrach, Alger, Algérie, 60 p.

2. **Abdelkader S. H., 2011.** Effet d'un lombricompost sur la variation phytochimique de la fève et sur les paramètres populationnels d'*Aphis fabae* (HEMIPTERA APHIDIDAE) dans les conditions contrôlées. Mémoire de Magister, Université de Saad Dahlab Blida, Algérie, 85p.

3. **Agro-nutrition, 2016**. Biofertilisants.FR. Infos & usages sur les bio-fertilisants en agriculture.http://www.biofertilisants.fr/comprendre-les biofertilisants/biofertilisant-quest-ce-cest-ca-sert/.

4. **Albrecht R., 2007.** Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts : Nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique. Sciences de la Terre. Université de droit, d'économie et des sciences - Aix-Marseille III, 2007. Français. fftel-00174775f.

5. **Alkobaisy J. S., Abdel Ghani E. T., Mutlag N. A & Lafi A. Sh. A., 2021.** Effect of vermicompost and vermicompost tea on the growth and yield of broccoli and some soil properties. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.,* 761:.6p.

6. **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.

7. **Amic A. et Dalmasso C., 2013.** Unité de valorisation complète de déchets oléicoles par lombricompostage : Production de produits à haute valeur ajoutée : lombricompost, savon, collagène et lombrics. Université Aix-Marseille (AMU).

8. **Andrianarimanana H. T., 2014.** Caractérisation et amélioration de la qualité microbiologique et chimique du lombricompost pour favoriser le développement du haricot *Phaseolus vulgaris*. Mémoire de master. Université d'Antananarivo, Madagascar, 51p.

10. **Bachelier G., 1978.** La faune des sols, son écologie et son action. IDT n° 38, ORSTOM, Paris, 391p.

11. **Bagnouls F. et Gaussen H ., 1953.** Saison sèche et indice xérothermique. Bull. *Soc. Hist. Nat*. Toulouse, 88 : 193-239

12. **Barker A.V. et Pilbeam D. J., 2007.** Handbook of plant nutrition. Ed. CRC Taylor & Francis Group, London, 631p.

13. **Bayhan E., 2009.** Impact of certain corn cultivars on some ological parameters of Rhopalosiphum maidis (Fitch) tera:Aphididae). African Journal of Biotechnology, 8 (5): 785-788p.

14. **Benhamou N. et Rey P., 2012.** Stimulateurs des défenses naturelles des plantes : une nouvelle stratégie phytosanitaire dans un contexte d'écoproduction durable. II. Intérêt des SDN en protection des cultures. *Phytoprotection,* 92(1), 24–35. https://doi.org/10.7202/1013299ar

15. **Blanchard A. et Limache F., 2005.** Les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN). [Travaux universitaires] Institut national agronomique paris-grignon - INA P-G; ENSA de Rennes; Montpellier SupAgro. 2005, pp.18. ffhal-01857661f

16. **Blanchard M., 2010.** Gestion de la fertilité des sols et rôle du troupeau dans les systèmes coton-céréales-élevage au mali-sud savoirs techniques locaux et pratiques d'intégration agriculture élevage. Thèse de Doctorat, Université Paris, France, 298 p.

17. **Boeke S, J., Auger R., van Loon J. J. A., van Huis A., Dicke M. et Kossou D.K., 2004**.Toxicity and repellence of African pl ants traditionally used for the protection of stored cowpea against *Callosobruchus maculatus.* Journal of Stored Products Research Vol. 40. N° 4, pp. 423-438.

19. **Borin A. L. D. C., Ferreira G. B., Ferreira A., Carvalho M., Bogiani J., Sissoko F., Dagbenonbakin G., Koulibaly B., Naïtormbaïde M., Fayalo G., Traore K., Amonmide I., Djinodji A. & Di Stéfano J., 2013.** Diagnostique visuel des carences nutritionnelles du cotonnier. Ed., Embrapa Information technologique, Brésil, 44p.

20. **Byambas P., Lemtiri A., Hornick J-L., Bengone Ndong T. Et Francis F., 2017.** Rôles et caractéristiques morphologiques du ver de terre *Eudrilus eugeniae. Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 21(2), 160-170

21. **Byambas P., 2020.** Perspective for the development of Eudrilus eugeniae farming in poultry feeding, Gabon. Thèse de doctorat, Université de Liege, Belgique, 142p.

22. **Camille B., 2009.** Étude de l'impact de la nutrition azotée et des conditions de culture sur le contenu en polyphénols chez la tomate. Sciences agricoles. Institut National Polytechnique de Lorraine, Français, 260 p. FfNNT : 2009 INPL050Nff,

fftel-01748724f.

23. **Capinera J. L., 2008.** Corn Leaf Aphid, Rhopalosiphum maidis (Fitch) (Hemiptera: Aphididae). In: Capinera J.L. (eds) Encyclopedia of Entomology. Springer, Dordrecht.

24. **Carena M. J & Glogoza P., 2004.** Resistance of the maize to the corn leaf aphid: A review. *In* Maydica, 49: 241-254.

26. **Chaichi W., 2011.** Effet d'un lombricompost sur la qualité phytochimique et la fitness du puceron noir de la fève dans les conditions contrôlées. Mémoire de Magister , Blida ,179p.

27. **Chaichi W., Djazouli Z., Zebib B., and Merah O., 2018.** Effect of Vermicompost Tea on Faba Bean Growth and Yield. *Compost Science & Utilization*. UCSU#1528908. VOL 0.ISS 0

28. **Charles V. et Bernard P., 2011.** Les méthodes de lutte physique comme alternatives aux pesticides. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 2 Numéro 2. https://doi.org/10.4000/vertigo.4093

29. **Chauhan A., 2012.** Vermitechnology, Vermiculture, Vermicompost and Earthworm. Vermiculture , Vermicomposting, Vermicompost and Mirobes, Lap Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG:116p.

30. **Cheaib A., 2006.** Effets de la limitation croisée en phosphore et en lumière sur la croissance et la morphogenèse aérienne et racinaire de jeunes plants de pin maritime. Thèse de doctorat, Universite de Bordeaux, France, 177p.

32. **Dajoz R ., 1985.** *Précis d'écologie*. Ed. Bordas, Paris, 505 p.

33. **Deffan K. P., Akanvou L., Akanvou R.,, Nemlin G. J. et Kouamé P. L.,2015**. Évaluation morphologique et nutritionnelle de variétés locales et améliorées de maïs (zea mays l.) produites en Côte d'Ivoire. Afrique SCIENCE 11(3) (2015) 181 - 196 181 ISSN 1813-548X, http://www.afriquescience.info

34. **Delaire M., 2005.** Variations de la capacité d'absorption minérale par les racines du jeune *Acer pseudoplatanus*, L. (Acéracées) consécutives à l'histoire nutritionnelle récente et ancienne de la plante. Application à la culture hors sol des végétaux ligneux. Biologie végétale. Université d'Angers, Français, tel-01217088, 177p.

35. **Djebali N., 2008.** Etude des mécanismes de résistance de la plante modèle *Medicago truncatula* vis-à-vis de deux agents pathogènes majeurs des légumineuses cultivées : *Phoma medicaginis* et *Aphanomyces euteiches.* Thèse de doctorat,

l'Université Toulouse, France, 191p.

36. **Ducasse V., 2015.** La valorisation des déchets organiques de la métropole de Lyon par la technique du lombricompostage. Mém. License. Univ. Lion. France. 58 p.

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

39. **Emberger .L., 1955.** Une classification biogéographique des climats. Trav. Lab. Bot. Zool. *Fac. Sci. Serv. Montpellier* 7, 3-43 pp

40. **Escalante-Ten Hoopen M et Maïga A., 2012.** Production et transformation du maïs. Collection PRO-AGRO, 31p.

41. **ESF et Seecon., 2006.** Training Material on Composting and Vermicomposting. Maharashtra (India) and Wolhusen (Switzerland).Ecosan Services Foundation (ESF) and seecon, 40p.

42. **Etesami H.; Emami S. et Ali Alikhani H., 2017.** Potassium solubilizing bacteria (KSB): Mechanisms, promotion of plant growth, and future prospects. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17 (4), 897-911.

43. **Fadaee R., 2013.** A review on earthworm *Eisenia fetida* and its application. Annals of Biological Research, 3 (5): 2500-2506p.

44. **Fakih Z., 2015** Analyse protéomique nucléaire comparative chez Arabidopsis lors de la réponse au Chitosane. Université du Québec à Trois-Rivières, 71p.

45. **Faverial J., 2016.** Compostage et vermicompostage des effluents d'élevage. Une alternative durable pour le recyclage des dechets d'origine animale. Thèse de doctorat, Université des Antilles, Guadeloupe, 163p.

46. **Fillon F., 2011.** Le bio-contrôle pour la protection des cultures 15 recommandations pour soutenir les technologies vertes. Synthèse du rapport, Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture, de la Pêche, de la ruralité et de l'Aménagement du territoire, 154p.

47. **Frederickson, J. et G. Howell. 2004.** « Large-scale vermicomposting: Emission of nitrous oxide and effects », Pedobiologia, vol. 47, no 5-6, p. 724–730.

48. **Fruchart S., 2016.** Essais de l'efficacité de différents biofertilisants sur orge de printemps (Hordeum vulgare) et prairie naturelle. p55 http://creativecommons.org/licences/by-nc-nd/2.0/fr/

49. **Gaussen, H., 1954.** Théorie et classification des climats et microclimats. Actes VII Congr. Int. Bot. Paris, pp. 125-130.

50. **Girousse C., Moulia B., Silk W. et Bonnemain J.L., 2005.** Aphis infestation causes different changes in carbon and nitrogen allocation in alfalfa stems as well a s diff e r ent inhibition of longitudinal an radial expansion. Plant physiology, 137:1474- 1484.

51. **Gordon J., 2015.** Eisenia fetida anatomy. Jean's vermiculture blog. http://jeansvermiculture.blogspot.com/2015/09/eisenia-fetida-anatomy.html

52. **Guazzelli M. J., Meirelles L., Barreto R., Gonçalves A., Motter C. & Rupp L. C. 2008.** La trophobiose pour lutter contre les ravageurs et les maladies. *Agriculture durable à faibles apports externes*; 23(4):16-18.

53. **Gunya B & Masika P. J., 2021.** Eisenia fetida worm as an alternative source of protein for poultry: a review. *In* International Journal of Tropical Insect Science: 9p.

54. **Harkat H., 2014.** Appréciation de la nutrition minérale de quelques vignobles de la région de Skikda par la démarche de l'enquête. Mémoire de Magister, Université de Constantine, Algérie, 64p.

56. **Hien V., Ehouman M. N., Touré M., TIHO S., 2018.** Effets du vermicompost à base de coques de cacao et de graminées sur quelques paramètres agronomiques de la tomate du concombre et chou à Yamoussoukro. *Journal of Applied Biosciences*, 126: 12707-12716

57. **Holopainen J.K, Heijari J, Nerg AM, Vuorinen M, Kainulainen P., 2009**. Potential for the use of exogenous chemical elicitors in disease and insect pest management of conifer seedling production. Open. For. Sci. J. 2: 17-24.

58. **Hopkins W.G., 2003.** Physiologie végétale. 1re éd., De Boeck & larcier, Université de Bruxelles, France, ISBN 2-7445-0089-5, 514 p.

59. **Itelima J. U., Bang W. J., Onyimba I. A., Sila M. D & Egbere O. J., 2018.** Bio-fertilizers as key player in enhancing soil fertility and crop productivity: A Review. Direct Res. J. Agric. Food Sci, 6 (3): 73-83p.

60. **Jana U., 2009.** Etude des interactions entre la plante *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh et le ver de terre *Aporrectodea caliginosa* (Savigny) : Application à la phytoremédiation de l'arsenic et de l'antimoine. Thèse de doctorat, Universite de Paris Est, France, 251 p.

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

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

64. **Klarzynski O. et B. Fritig., 2001.** Stimulation des défenses naturelles des plantes. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie,* 324:953–963.

66. **Leblanc C., Duval B., Auger Y., et Légaré J.P., 2013.** Les pucerons dans le maïs sucré. Réseau d'avertissement phytosanitaire, Bulletin d'information N° 6, Québec.

67. **Liegui G. S., 2019.** Vermicompostage : Une alternative durable de valorisation des déchets organiques ménagers en maraîchage périurbain à Yaoundé (Cameroun). Mémoire de Master, Université liège, 61p.

68. **Lutzenberger José A., 1987. Introduction :** Récoltes et parasites, le poison est-il la réponse ?. In: Revue Juridique de l'Environnement, n°2. Les pesticides en droit comparé. pp. 133-142.

69. **Memoko D.D. et Nenonene Y.A., 2019.** Effet de differents substrats sur la croissance du ver du fumier Eisenia foetida et sur la qualite du vermicompost. Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé 21 (1), 27-35, 2019.

70. **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 ofsystemic acquired resistance in cucumber. Science, 250: 1004-1006.

71. **Miner A., 2014.** "Rhopalosiphum maidis" (En ligne), Animal Diversity Web. https://animaldiversity.org/accounts/Rhopalosiphum_maidis/

72. **Mitter E. K., Tosi M., Obregón D., Dunfield K. E & Germida J. J., 2021.** Rethinking Crop Nutrition in Times of Modern Microbiology: Innovative Biofertilizer Technologies. *Front. Sustain. Food Syst*, 5:606815.

73. **Myers P., Espinosa R., Parr C. S, Jones T., Hammond G.S & Dewey T. A., 2021.** "Rhopalosiphum maidis" (En ligne), Animal Diversity Web. https://animaldiversity.org/accounts/Rhopalosiphum_maidis/classification/#Rhopalosiphum_maidis

74. **Nadir N & Lagsier O., 2020.** Evaluation du potentiel aphicide de "Rosmarinus

officinalis" sur le puceron des céréales Rhopalosiphum Maidis. Mémoire de master. Université de Echahid Hamma Lakhdar El –OUED, Algérie, 90p

76. Ohyama T., 2006. Introduction. p. 1-2. In: Biofertilizer Manual. Japan Atomic Industrial Forum (JAIF), Japan.

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

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

80. Quezel P., 1979. La Région Méditerranéenne française et ses essences forestières. Signification écologique dans le contexte circum- méditerranéen. *Font Medit. 1 (1): 7-18.*

89. Rasoloharisoa J. P., 2009. Essai d'élevage du ver de terre Eisenia foetida (Savigny, 1826) et perspectives de son utilisation dans l'alimentation des poissons d'élevage. Mémoire de master, Université d'Antananarivo, Madagascar, 43p.

90. Razmjou J & Golizadeh A., 2010. Performance of corn leaf aphid, *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) (Homoptera: Aphididae) on selected maize hybrids under laboratory conditions. Appl. Entomol. Zool, 45 (2): 267–274p.

91. Reuveni R., Reuveni M. et Agapov V., 1994. Induction of growth increase and systemic resistance to Exserohilum turcicum in maize by foliar spray of phosphates. Journal of Phytopathology 141(4): 337-346.

92. Roulle N., 2015. Structure du paysage et contrôle des pucerons du maïs. Thèse du doctorat 2015, université du québec. 181p.

94. Saeed Reza H. et Raheleh A. ,2018. Evaluation of vermicompost fertilizer application on growth, nutrient uptake and photosynthetic pigments of lentil (*Lens culinaris* Medik.) under moisture deficiency conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 41(10): 1276-1284.

95. Safiddine F., Nebih D., Merah O. et Djazouli Z-E., 2019. Impact de différents types de vermicompost sur la réduction du nombre de galles de meloidogyne et l'expression végétative des plants de tomate. *Revue Agrobiologia* (2019) **9**(1): 1415-1427.

96. Saguez J., 2007. Dérégulation des activités chitinases : vers de nouvelles

perspectives de lutte contre les aphides. Sciences du Vivant [q-bio]. Université de Picardie Jules Verne, 2007. Français. fftel-00521546f

97. Singh R & Ghosh S., 2002. Biosystematics of corn leaf aphid (Insecta: Homoptera: Aphididae). J.Aphidol, 16: 109-124p.

98. Sinha R., Herat S., Valani D & Chauhan K., 2009. Earthworms Vermicompost: A Powerful Crop Nutrient over the Conventional Compost & Protective Soil Conditioner against the Destructive Chemical Fertilizers for Food Safety and Security. *Am-Euras. J. Agric. & Environ. Sci,* 5(S): 01-55p.

99. Srimathi R., Moorthi M., Kavitha P & Senthilkumar A., 2019. Vermicomposting of Vegetable Wastes Using Earthworm Eudrilus eugeniae (Kinberg, 1867). *In Pollution Research,* 38 (4): 1072-1077p.

100. St-Pierre M.A., 1998. Lombricompostage de fientes de poulet et de résidus de scierie. Thèse de M.sc, Université Laval, Canada, 98p.

101. Tahraoui S., 2016. Effet des sels solubles sur la production de la biomasse et l'absorption des éléments minéraux chez l'orge (*Hordium vulgare*) et le blé dur (*Triticum durum*). Mémoire de Magister, Université de Biskra, Algérie, 114p.

102. Tchaker F. z., Abdelkader S. H., Ait Saada Karima et Djazouli Z-E., 2015. Étude de l'efficacité de différents éliciteurs inducteurs de resistance aux bioagresseurs. Cas des biofertilisants et des huiles essentielles sur le puceron vert du peuplier. *Agrobiologia,* N°7, 43-50.

104. Thongkheaw M., 2010. The determination of protein and certain essential elements in earthworm Eudrilus eugeniae fed with different kinds of organic litters. Mémoire de master, Université de technologie de Suranaree, Thaïlande, 90p.

105. Turpeau E., Hullé M & Chaubet B., 2010. Cycle holocyclique dioecique (2). INRAE, https://www6.inrae.fr/encyclopedie-pucerons/Qu-est-ce-qu-un-puceron/Cycles-biologiques/Holocycle-dioecique-2

108. Umina P & Hangartner S., 2015. Corn aphid. Cesar Australia. https://cesaraustralia.com/pestnotes/aphids/corn-aphid/

109. Venter J. M & Reinecke A. J., 1988. The life-cycle of the compost worm *Eisenia fetida* (Oligochaeta). S. Afr. J. Zoo, 23(3): 161-165p.

110. Visvanathan C., Trankler J., Jospeh K. et Nagendran R. (2005). Vermicomposting as an Eco-Tool in Sustainable Solid Waste Management," Asian

Institute of Technology, Annamalai University, Chidambaram Anna University, India.

111. Wiedenhoeft A.C., 2006. Plant nutrition. Ed. Chelsea House Publishers, New York, 144p.

112. Yadav A & Garg V. K., 2011. Industrial wastes and sludges management by vermicomposting. Rev Environ Sci Biotechnol, 10:243–276p.