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 écologie
Option : Ecologie

Thème:

EVALUATION DE L'EFFET DES BIOFERTILISANTS SUR LA PROMOTION DE LA SANTÉ VÉGÉTALE.

Présenté par:

- BENKHAOUA Youcef
- HIRECHE Imane

Devant le jury composé de:

-M^{me} F.Z.TCHAKER	M.C.A	Univ. Médéa	Promotrice
-M^{me} K. CHAOUATI	M.A.A	Univ. Médéa	Co-promotrice
-Mr D.MAHDJOUBI	M.C.B	Univ. Médéa	Examinateur
- M^{me} F. SAFIDDINE	M.C.B	Univ. Médéa	Examinatrice

Année universitaire:2021/2022

RESUME

EVALUATION DE L'EFFET DES BIOFERTILISANTS SUR LA PROMOTION DE LA SANTE VEGETALE.

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 l'objectif d'évaluer l'impact du thé de lormicompost sur la réduction populationnelle du puceron noir *Aphis fabae* Scopoli, 1763 (Hemiptera / Aphididae) et l'expression végétative du haricot vert *Phaseolus vulgaris* L., 1753.

Les résultats montrent que le thé de lormicompost utilisé réduit la sévérité des attaques d'*Aphis fabae* en comparaison avec le témoin. Cependant le lormicompost apporté par application foliaire semble plus efficace sur la dynamique populationnelle du puceron noir.

Les résultats illustrant que le thé de lormicompost appliqué a généré une meilleure croissance des plantes et une augmentation de la capacité de production par rapport au témoin. En outre, les résultats des paramètres de croissance expriment une expression végétative très favorable chez les traités par absorption racinaire que par application foliaire.

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

ABSTRACT

EVALUATION OF THE EFFECT OF BIOFERTILISERS ON THE PROMOTION OF PLANT HEALTH.

The severity caused by aphids, especially makes it necessary to develop alternative solutions based on the role of bio-fertilizers as natural elicitors in the stimulation of the natural defenses of plants to face bioaggressors.

The objective of the study is to evaluate the impact of lormicompost tea on the population reduction of the black aphid *Aphis fabae* Scopoli, 1763 (Hemiptera/ Aphididae) and the vegetative expression of the green bean *Phaseolus vulgaris* L., 1753.

The results show that the lormicompost tea used reduces the severity of Aphis fabae attacks in comparison with the control. However lormicompost brought by foliar application seems more effective on the population dynamics of the black aphid.

The results show that the applied lormicompost tea generated better plant growth and an increase in production capacity compared to the control. In addition, the results of the growth parameters express a very favorable vegetative expression in those treated by root absorption than by foliar application.

Keywords: Biofertilizers , Foliar application, root absorption, Growth, Abundance, Earthworm compost tea.

.

ملخص

تقييم أثر المخصبات الحيوية على تعزيز صحة النبات.

الشدة التي يسببها المن، تجعل من الضروري بشكل خاص تطوير حلول بديلة بناءً على دور الأسمدة الحيوية كمحفزات طبيعية في تحفيز الدفاعات الطبيعية للنباتات للتعامل مع الضغوط الحيوية.

الهدف من الدراسة هو تقييم تأثير شاي دودة الأرض على تقليل عدد أفراد المن الأسود ، Aphis fabae Scopoli 1763 (Hemiptera/Aphididae) والتعبير الخضري للفول الأخضر Phaseolus vulgaris L 1753 .

تظهر النتائج أن شاي دودة الأرض المستخدم يقلل من شدة هجمات المن الأسود Aphis fabae مقارنة بالشاهد. ومع ذلك، يبدو أن شاي دودة الأرض المستعمل في التطبيق الورقي أكثر فاعلية على الديناميكية السكانية للمن الأسود.

تظهر النتائج أن شاي دودة الأرض المطبق أنتج نموًا أفضل للنباتات وزيادة في القدرة الإنتاجية مقارنة بالشاهد. بالإضافة إلى ذلك، تعبر نتائج مؤشرات النمو عن تعبير نباتي إيجابي للغاية في تلك التي يتم معالجتها عن طريق امتصاص الجذر مقارنة بالتطبيق الورقي.

الكلمات المفتاحية :

مخصبات حيوية، تطبيق ورقي، امتصاص الجذر، النمو، الوفرة، شاي دودة الأرض.

Remerciements

On tient à remercier avant tout le dieu qui nous a donné la patience pour réaliser ce travail.

Nos sincères remerciements sont exprimés a notre encadreur Mme TCHAKER Fatma Zohra, pour avoir accepté de nous encadrés et d'avoir été patiente et compréhensive.

On tient à remercier Mme CHAOUATI Karima, pour avoir codirigé ce travail et pour toute son aide et ses conseils.

Et Mme SAFIDDINE Fadhila et Mr MAHDJOUBI Djilali, pour avoir accepter d'examiner notre travail.

Nous somme très reconnaissant envers Mr. HAMAIMI Sahraoui et toute l'équipe de l'association de l'environnement et du milieu vert de Médéa.

Nos meilleurs, sincères et profonds remerciements s'adressent à Mr BELHADJ Hichem, Mr AIT HAMOUDA Tahar , Mme KHOUDIR Samia pour tous les efforts dès l'ouverture de la meilleur spécialité du monde "l'écologie" au niveau de cette université .

On tiens aussi à remercier Mr Zemmouri Farouk , Mr BENABDERRAHMANE Mohamed Alaeddine , Mr MEDJEBER Fodil , Mr Maameri Abd El Ghani , Mlle BENROUISSI Khadidja , Mlle BOUNOUA Khadija , Mlle ALIKACEM Sara, Mlle SKANDRI Mounia , Mlle BELHADJ Sara et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

MERCI.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à toute ma famille, à mon père. Ma très chère mère qui m'a beaucoup donné l'amour, de l'aide et du courage. Que Dieu les gardes et les protège.

A mes frères Abdellah, Belkacem, A mes sœur Meriem et Djamila, A tous mes amis.

A mon 2eme père et frère et ami et tuteur Mr HAMAIMI Sahraoui.

Ainsi que la 1ere promotion de l'école nationale des ingénieurs de la vile a Tlemcen et ma promotion au niveau de université de Yahia fares pour leur compagnie et les bons moments passés ensemble, ainsi qu'à tous ceux qui sont proches de mon cœur.

A Mme KHOUDIR, honoré d'être parmi ses étudiants.

Je tien a remercier Ma binôme Mlle HIRECHE Imane pour le grand travail et sa patience, Mr BELKACEM FISSA Nasreddine, Mlle BELABBACI Hadjer, Mlle BOUNOUA Khadija, Mlle BENROUISSI Khadija pour tous ses encouragement et soutien durant cette période.

Youcef.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail : A la source de courage et d'affection mon père, qui a tout sacrifié pour que j'atteigne ce niveau.

A la source de tendresse et d'amour ma mère, que j'ai toujours trouvé à mes côtés. A ma sœur : Manel. A toute ma famille.

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

A mon binôme BENKHAOUA Youcef et à toute sa famille.

A mes chères amies BERBER Afaf, BENROUISSI Khadija et BOUNOUA Khadija.

IMANE.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ
ABSTRACT
الملخص
REMERCIEMENTS
DÉDICACES
TABLE DES MATÈRES
LISTE DES FIGURES
LISTE DES TABLEAUX
INTRODUCTION GENERALE……. 12
CHAPITRE I. ETAT PHYTOSANITAIRE DU HARICOT……..
I.1. Généralité su le Haricot…….. 14
I.1.1. Origine et répartition géographique…… 14
I.1.2. Position systématique …..... 14
I.1.3. Caractères morphologique……. 14
I.1.3.1. Racines…….. 15
I.1.3.2. Tiges…….. 15
I.1.3.3. Feuilles…… 15
I.1.3.4. Inflorescence et fleurs……..... 15
I.1.3.5. Les fruits……..... 15
I.1.3.6. Les graines……... 16
I.1.3.7. Gousses……..... 16
I.1.4. Cycle de développement du haricot……... 17
I.1.4.1. Phase de germination……..... 17
I.1.4.2. Phase de croissance……... 17
I.1.4.3. Phase floraison……..... 17
I.1.4.4. Phase maturation……..…… 17
I.1.5. Intérêt agronomique……... 18
I.1.6. Aspect économique…….. 18
I.1.7. Ennemis ravageurs et maladies de *Phaseolus vulgaris*…… 18
I.2. Généralités sur le puceron noir de la fève « Aphis fabae »…….. 19
I.2.1. Position systématique…….. 19
I.2.2. description morphologique……..... 19
I.2.3. cycle biologique…….. 20
I.2.4. Plantes hôte…….. 21
I.2.5. Dégâts……..... 21
I.2.5.1. Les dégâts directs…….…… 21
I.2.5.2. Les dégâts indirects……..... 22
I.2.5.2.1. Miellat et fumagine……..... 22
I.2.5.2.2. Transmission de virus…… 22
I.2.6. Méthode de Lutte…… 22
I.2.6.1. La lutte préventive……... 22
I.2.6.2. La lutte chimique……. 23
I.2.6.3. La lutte biologique……... 23
CHAPITRE II. NUTRITION MINERALE DES PLANTES……
II.1. Définition de la nutrition minérale de la plante……..…… 24
II.2. Eléments minéraux et leur classification……... 24
II.2.1. Macro-éléments……... 26

II.2.1.1. L'azote (N)…… 26
II.2.1.2. Le phosphore (P)……... 26
II.2.1.3. Le potassium (K)……..…….. 27
II.2.1.4. Le calcium (Ca)……..…… 27
II.2.1.5. Le magnésium (Mg)……..……. 28
II.2.1.6. Le soufre (S)…….. 28
II.2.2. Micro-éléments…… 29
II.2.2.1. Le sodium (Na)……. 29
II.2.2.2. Le chlore (Cl)…… 29
II.2.2.3. Le fer (Fe)……. 30
II.2.2.4. Le bore (B)…… 30
II.2.2.5. Le molybdène (Mo)…….. 30
II.2.2.6. Cuivre (Cu)……... 30
II.2.2.7. Le zinc (Zn)……... 31
II.2.2.8. Le manganèse (Mn)…….. 31
II.3. Absorption minérale…… 32
II.4. Facteurs influençant l'absorption minérale…….. 33
II.5. Effet de la nutrition sur la santé végétale…….. 33
CHAPITRE III.BIOFERTILISANTS……..
III.1 Généralité sur les biofertilisants……. 35
III.1.1. Définition……. 35
III.1.2. Différents types de biofertilisants…… 35
III.1.2.1. Biofertilisants à base des bactéries fixatrices d'azote (NFB)…… 36
III.1.2.2. Biofertilisants à base des bactéries solubilisatrices des phosphates (PSB)……. 36
III.1.2.3. Bio-fertilisants à base de bactéries mobilisatrices de phosphates (PMB)…… 37
III.1.2.4. Bio-fertilisants a base de bactéries solubilisatrices de potassium (KSB)……. 37
III.2. Lombricompost……. 37
III.2.1. Définition……. 37
III.2.2. Lombricompostage……. 37
III.2.3. Systèmes de lombricompostage……. 38
III.2.3.1. Lombricomposteur horizontal…… 38
III.2.3.2. Lombricomposteur verticale……... 39
III.2.4. Type de lombrics en lombricompostage……... 39
III.3. Eisenia fœtida (Savigny, 1826)…… 40
III.3.1. Position systématique …… 40
III.3.2. Description morphologique…….. 40
III.3.3. Cycle de développement…… 41
III.4. Importance de la lombriculture en point de vue écologique……... 42
III.5. Stimulation des défenses naturelles des plantes…… 43
III.5.1. Intérêt en protection des plantes…….. 44
III.5.2. Intérêt environnemental…….. 44
CHAPITRE IV.MATÉRIEL ET MÉTHODES……..
IV.1. Objectif……..…… 45
IV.2. Matériel d'étude biologique…….. 45
IV.2.1. Obtention du matériel végétale…….. 45
IV.2.1.1. Présentation de la chambre de culture…….. 45

IV.2.1.2. Obtention des plantules du haricot…… 46
IV.2.2. Obtention des populations infestantes du puceron noir de la fève *Aphis fabae*…… 47
IV.2.3. Obtention du lombricompost……. 48
IV.3. Méthodes d'études…… 50
IV.3.1. Préparation de thé de lombricompost……... 50
IV.3.2. Dispositif expérimental et application des traitements…… 52
IV.3.3. Estimation des paramètres morphologique des plantes du Haricot *Phaseolus vulgaris*…… 52
IV.3.4. Evaluation de la dynamique populationnelle de l'*Aphis fabae*……. 53
IV.3.4.1. Evaluation des abondances……. 53
IV.3.4.2. Evaluation de la population résiduelle……..... 53
IV.3.5. Estimation de la fécondité d'*Aphis fabae*…….... 53
IV.3.6. Estimation des paramètres démographique d'*Aphis fabae*…….. 54
IV.4. Analyse statistique……..…….. 54
CHAPITRE V.RESULTATS……..
V.1. Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur les paramètres de croissance du haricot vert *Phaseolus vulgaris* L…… 55
V.1.1. Evolution de l'effet du thé de lombricompost sur la croissance cumulative des plantes du *Phaseolus vulgaris* L……. 55
V.1.2. Evolution de l'effet du thé de lombricompost sur la croissance racinaire du *Phaseolus vulgaris* L…… 57
V.1.3. Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur nombre des tiges secondaires……. 58
V.1.4. Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur le nombre de fleurs 59
V.1.5. Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur le poids des plantes du haricot *Phaseolus vulgaris* L……... 61
V.2. Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur l'abondance du puceron noir de la fève *Aphis fabae*…… 61
CHAPITRE VI.DISCUSSION GENERALE…….
VI.1. Effet du thé de lombricompost sur l'expression végétative des plantes du haricot vert *Phaseolus vulgaris* L., 1753……..... 64
VI.2. Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur l'abondance du puceron noir de la fève *Aphis fabae*……..…….. 66
CONCLUSION GENERALE……... 68
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES……..… ... 69

LISTE DES FIGURES

Figure I.1.	Différents organes du haricot ……...	16
Figure I.2.	Différentes formes d'A*phis fabae*……	20
Figure I.3.	Cycle biologique d'*Aphis fabae* (Aphidinae, Aphidini)……	21
Figure II.3	Trajets possibles pour les nutriments dans une racine …….	32
Figure III.1	Schéma explicatif de la fertilisation par les microorganismes……..	36
Figure III.2.3.1.	Schéma d'un lombricomposteur horizontal ……	38
Figure III.2.3.2.	Schéma d'un lombricomposteur verticale…….	39
Figure III.3.2.	*Eisenia fœtida* ……..	41
Figure III.3.3.	Cycle de vie d'*Eisenia Fetida* (St-Pierre, 1998)……...	42
Figure IV.1.	Présentation de la Serre de culture (Originale, 2022)……...	45
Figure IV.2.	Stérilisation du substrat (Originale, 2022)……	46
Figure IV.3.	Présentation de la Serre de culture (Originale, 2022)……...	47
Figure IV.4.	Plante de haricot infesté par *Aphis fabae* (Originale, 2022)…….	48
Figure IV.5.	Espèce de Lombric utilisé (Original, 2022)……..	48
Figure IV.6.	Processus d'obtention du lombricompost (Original, 2022)……..	50
Figure IV.7.	Préparation du thé de lombricompost……	51
Figure V.1.	Effet des modes de lombricompost sur la croissance des plants du haricot *Phaseolus vulgaris* L…….	56
Figure V.2.	Etude comparée de lombricompost sur la croissance cumulative du haricot……	57
Figure V.3.	Effet des modes des traitements sur la croissance racinaire des plants de haricot……	58
Figure V.4.	Effet des modes de lombricompost sur le nombre des tiges secondaires du haricot……..	58
Figure V.5.	Etude comparée des traitements sur le nombre des tiges secondaires du haricot……..	59

Figure V.6. Effet des modes de lombricompost sur le nombre de fleurs du haricot…… 60

Figure V.7. Etude comparée des traitements sur le nombre de fleurs du haricot 60

Figure V.8. Effet des modes des traitements sur le poids de la partie aérienne et souterraine des plants de haricot…… 61

Figure V. 9. Evolution temporelle des abondances d'*Aphis fabae* sous l'effet du Thé de lombricompost……... 62

Figure V.10. Etude comparée de l'effet de lombricompost sur l'abondance d'*Aphis fabae*…… 63

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.2. Eléments essentiels aux plantes supérieures et concentrations internes considérées comme optimales pour une croissance normale …… 25

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENEREAL

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 la capacité du thé de vermicompost à performer l'expression végétative , le vermicompost obtenu suite à la décomposition des matières organiques par une espèces de lombrics *Eisenia fœtida* (TLEF: Thé de Lombricompost pur obtenu avec *Eisenia fœtida*). Il s'agit d'évaluer et de comparer l'effet de l'application foliaire et racinaire de bio-fertilisants de lombricompost sur la croissance du haricot vert *Phaseolus vulgaris L*., 1753 et ses retombées sur la structuration populationnelle du puceron du puceron noir *Aphis fabae* Scopoli, 1763 (Hemiptera / Aphididae).

CHAPITRE I.

ETAT PHYTOSANITAIRE DU HARICOTS

CHAPITRE I.
ETAT PHYTOSANITAIRE DU HARICOTS

I.1. Généralité sur le haricot

I.1.1. Origine et répartition géographique

Le mot « haricot » désigne à la foi le fruit, la graine et la plante qui les produit. Il est dérivé de « ayacolt », nom de ce légume en nahuatl, langue parlée par les aztèques (Fortin., 1996 *in* Berrichi et *al*., 2019). Le Haricot commun est une plante de la famille des Fabacées, il été reconnu pour la première fois sous le nom *Smilax hortensis*, en 1542, par le botaniste allemand Leonhard Fuchs (1501-1566). En 1753, Linné (1707- 1778), a proposé le nom binominale *Phaseolus vulgaris* pour désigner cette espèce et il a classé d'autre Haricots moins bien connus à l'époque dans le genre *Phaseolus (*Hamza, 2016, Ghetai et *al*., 2021).

Le haricot commun et les haricots du genre *Phaseolus*, sont originaires d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud. Cette plante a été domestiqué séparément en Amérique centrale (Mexique et Guatemala) et dans les Andes d'Amérique du Sud (principalement le Pérou) pendant plus de 5000 ans, ensuite elle est transporté vers d'autres continents depuis le 16ème siècle (Bernal et Graham, 2001 *in* Chekkal et *al*., 2015). Le haricot commun est produit de nos jours dans le monde et principalement en Amérique latine et en Afrique.

I.1.2. Position systématique

Selon Cronquist (1981), le haricot commun présente la classification suivante:

- Règne : Plantae
- Sous-règne : Viridiplanta.
- Division : Magnotiophyta
- Classe : Magnoliopsida
- Sous-classe : Rosidae
- Ordre : Fabales
- Famille : Fabaceae
- Genre : Phaseolus
- Espèce *: Phaseolus vulgaris L*., 1753.

I.1.3. Caractères morphologiques

C'est une plante constituée par l'assemblage de trois organes fondamentaux : la tige, les feuilles et les racines, formant ensemble l'appareil végétatif tandis que les deux organes qui sont le fruit et la fleur forment ensemble l'appareil reproducteur (Hamdani, 2012).

I.1.3.1. Racines

La racine de haricot se forme progressivement après le stade de germination, le système racinaire initial du haricot se forme à partir de la radicule de l'embryon qui devient la racine primaire (Chaux et Foury, 1994). La racine principale peut être facilement arrêtée par les obstacles du sol. Les racines latérales ont un développement qui peut dépasser celui de la racine principale (Guignar, 1998). Le système racinaire pivotant qui peut descendre jusqu'à 1.2m on trouve le plus grand nombre de racine entre 0.20 à 0.25 m de profondeur (Barreto, 1983 *in* Rebri et *al*., 2018).

I.1.3.2. Tiges

Les tiges sont plus ou moins longues suivant les variétés. Les grandes tiges peuvent attendre 2 à 3 m de long; c'est le haricot à rames courte ne dépassent guère 30 à 40 cm de longueur et le haricot ayant de telles tiges est appelé « haricot naine ». Toutes ces tiges sont plus ou moins couvertes de poils, sont cannelées et rugueuses (Dupont et Guignard, 1989 *in* Rebri et *al*., 2018).

I.1.3.3. Feuilles

La feuille d'haricot vert est entièrement occupée par trois veines à partir de la base. Cette plante contient deux types de feuilles. Elle forme sur le deuxième nœud deux premières feuilles appelées feuilles primaires. Les feuilles d'haricot typique débutent à partir du troisième nœud. Les deux premières feuilles sont simples et s'attachent face à face sur la tige tandis que le reste des feuilles sont trifoliolées mesurant entre 7.5 et 14 cm de long et entre 5.5 Et à 10 cm de large (Figure I.1.) (Gallais et Bennfort, 1992 *in* Berrichi et *al*., 2019).

I.1.3.4. Inflorescences et fleurs

Les fleurs sont groupées en grappe de 5 à 15 cm, on compte 10 à 15 grappes par plants pour les variétés naines. Les fleurs comprennent 5 pétales: l'étendard, 2 ailes, la carène formée de 2 pétales soudés, recourbées en spirale ce qui interdit la carène et entourant le pistil et les étamines ne sont pas toujours complètement soudés, ce qui facilite la fécondation croisée qui peut varier de 2 à exceptionnellement 80%. La fécondation s'effectue surtout la nuit. L'autogamie étant assez stricte, la variété s'identifie à la lignée pure, il y a donc une stabilité variétale naturelle. Les fleurs sont de couleurs variées, blanche, crème, rose, violette et même bicolore. L'ovaire renferme 4 à 8 ovules et il préfigure déjà la gousse (Razanadrakoto, 2005).

I.1.3.5. Fruits

Solen Hubert (1978), ce sont des gousses allongées généralement droite, plus ou moine longue et terminée par un point. Leur largeur varie de 8 à 25mm. Elles renferment

en moyenne 4 à 8 graines. Dans les parois de la gousse, appelée cosse, les faisceaux libéré ligneux sont plus ou moins développés (Gout et Segnobos, 1998 *in* Rebri et *al*., 2018).

I.1.3.6. Graines

Les graines chez le haricot sont de taille, de forme et de couleur variable selon les variétés. Respectivement, la taille des graines pour les petites sont inférieur à 25 g/100 graines, les moyennes oscillent entre 25 à 40 g/100 graines et les grandes sont supérieures à 40 g/100 graines, dont la forme la plus commune est dite « réniforme », typique des haricots. On peut rencontrer des grains plus sphériques (d'où l'appellation locales de données à certaines variétés de pois). Les graines de haricot sont brillantes et opaques dont la couleur est : blanche, crème, beige, jaune, brune, marron, rose, rouge, pourpre ou violet et noir (Figure I.1.). La germination des haricots est dite épigée (les cotylédons émergents au-dessus du sol) et les graines peuvent garder leur faculté germinative de 3 à 5 ans (Nyabyenda, 2005 *in* Mansouri, 2021).



Figure I.1. Différents organes du haricot (Chaux et Foury, 1994)

I.1.3.7. Gousses

Les gousses sont d'une longueur de 4 à 25 cm à deux valves contenant en général 4 à 10 graines (Nyabyenda, 2005). Selon Guignard (1998), les gousses sont allongées, leur couleur varie selon les cultivars, du vert pâle ou du jaune au vert foncé (Figure I.1.). Elles sont parfois tachées de couleurs diverses à maturité et peuvent être renforcés par des fibres

ligneuses formant un parchemin sur les côtés. La longueur des gousses varie en fonction de la variété et en fonction du nombre et de l'espacement entre les graines. Chaque gousse renferme deux à douze graines (Chaux et Foury, 1994 *in* Aggoun *et al*., 2018).

I.1.4. Cycle de développement du haricot

La plante entame son cycle dans environ 3 à 4 mois selon les variétés et les conditions environnementales (Lecomte, 1997 *in* Boukhellout, 2009).

I.1.4.1. Phase de germination

Les graines lèvent en 4 à 8 jours suivant la température. Elles doivent toutes être sorties de terre au bout de 8 jours. Un à deux jours après l'apparition des crosses, les cotylédons sortis du sol, se sont ouverts et la première paire de feuilles apparait (Hubert, 1978 *in* Benchamma et *al*., 2020).

I.1.4.2. Phase de croissance

Avant l'émergence de 3 à 4 jours, les cotylédons commencent à s'estomper (Pitrat et Foury, 2003), et ce 5 à 6 jours après l'apparition de la première feuille trifoliolée apparait. De 5 à 6 jours après le début de la première feuille, la deuxième feuille trifoliolée commence à apparaître. Au bout d'un mois, le pied d'haricot possède une dizaine de feuilles trifoliolées et atteint sa hauteur définitive de 30 à 40 cm, au dessus du sol, pour les variétés naines (Dupont et Guinard, 1989 *in* Berrichi *et al*., 2019).

1.1.4.3. Phase floraison

Selon Lecomte (1997 *in* Rebri et *al*., 2018), le processus de floraison commence trois semaines à un mois après le semi environ et qui dure un mois et demi en fonction des conditions climatiques. La jeune gousse atteint sa taille définitive en une douzaine de jours environ (Rebri et *al*., 2018).

1.1.4.4. Phase maturation

Une fois la taille définitive atteinte, les graines se forment en 15-20 jours. Il faut attendre encore 20 à 30 jours pour que les gousses s'ouvrent d'elles-mêmes, les graines étant mûres. Le cycle végétatif complet du haricot varie entre 75 et 130 jours (Lecomte, 1997 *in* Bassou, 2019).

I.1.5. Intérêt agronomique

Le haricot fait partie du groupe des cultures (Légumineuses) capables de fixer et d'utiliser l'azote atmosphérique grâce aux bactéries du genre Rhizobium situé dans les nodosités (Doucet, 1992 ; Roland, 2002 *in* Taib, 2015).

Les éléments nutritifs sont rendus disponibles pour les plantes par la minéralisation des matières organiques dans le sol, ce qui explique l'importance accordée par les cultures de Légumineuses à la vie biologique dans les sols (micro- organismes, vers de terre, racines). Dans les sols très pauvres en azote, telles que les zones tropicale, les Légumineuses peuvent être efficaces comme alternative à la fertilisation notamment dans les pays en voie de développement (Roland, 2002 *in* Hamdani, 2012).

I.1.6. Aspect économique

Sur le plan économique la culture d'haricot est destinée à la consommation humaine (les gousses sont consommées à l'état frais ou les graines à l'état sec) et à l'alimentation des animaux (les résidus de cultures : tiges et gousses). En effet, le haricot constitue un aliment de base pour près de 500 millions d'êtres humains d'une part, grâce à sa richesse en protéines (25% environ) et d'autre part en oligo-éléments (potassium, magnésium, de fer, cuivre, du phosphore, du zinc, de la thiamine, de la niacine et de la vitamine B6 (Pujola *et al.,* 2007 *in* Chekkal et *al*., 2015). Le haricot représente une source de revenus importante pour des millions de personnes notamment dans les pays en voie de développement. Il constitue la principale légumineuse alimentaire de plus de 300 millions de personnes en Amérique latine, en Afrique centrale et en Afrique de l'Est (Silue *et al.,* 2010 *in* Fetnassi, 2015).

Durant la période allant de 1994 à 2004 la production mondiale de haricot sec a connu des fluctuations mais la tendance est légèrement à la hausse. Pendant cette période, la production a varié d'un plancher de 15,5 millions de tonnes à un sommet de 18,9 millions de tonnes (FAO, 2004 *in* Kassemi, 2006 *in* Hamdani, 2012).

D'après le ministère de l'agriculture et du développement rural (MADR *in* Hamdani., 2012), l'Algérie a mis en œuvre, un plan d'action visant l'augmentation de la production agricole et ceci par l'intensification de la culture des céréales et des Légumineuses. La production moyenne pour l'Algérie a était estimé à 0,72 t/ha avec une surface totale d'environ 1616 hectares en 2009 avec une production de 11588 Quintaux.

I.1.7. Ennemis ravageurs et maladies de *Phaseolus vulgaris*

Les cultures de haricots sont sujettes à de nombreuses attaques de ravageurs et maladies qui peuvent entraîner d'importants dégâts en l'absence de moyens de lutte appropriés. Selon les recherches, en Afrique tropicale plus de 50 % de la production est perdue chaque année suite aux attaques des bio-agresseurs (Belaadi, 2014, Chekkal, 2015).

Ces maladies et ravageurs sont extrêmement variés dont les plus importants sont: Flétrissement bactérien, Rouille; maladies à Sclérose; Acarien jaune; Pyrale du mais *Ostrinia nubilalis;* Puceron des racines *Trifidaphis phaseoli;* Puceron noir de la fève *Aphis fabae* ;……) (Hamdani., 2012; Tahri, 2018).

I.2. Généralités sur le puceron noir de la fève *Aphis fabae*

Les pucerons sont probablement les insectes phytophages causant les plus grandes pertes économiques au vu de leurs caractères morphologiques et biologiques qui en font des ravageurs majeurs des cultures (Blackman et Eastop, 1984 *in* Guesmi-Jouini, 2011). Ces ravageurs sont parmi les organismes provoquant des pertes importantes au niveau de la production agricole, surtout au sein des zones tempérées de la planète (Evelyne *et al.,* 1999 *in* Pacha, 2016).

I.2.1. Position systématique

Selon Remaundiere et Remaundiere (1997 *in* Arab et *al*., 2018*), A. fabae* se classe comme suit:

- Règne : Animal
- Embranchement : Arthropodes
- Classe : Insectes
- Super-ordre : Hémiptéroïdes
- Ordre : Homoptères
- Famille : Aphididae
- Genre : *Aphis*
- Espèce : *Aphis fabae* Scopoli, 1763

I.2.2. description morphologique

Les aphides sont des insectes aux téguments mous, petits (2 à 4 mm en général) avec le corps ovale et peu aplati. Les **adulte aptère** ont un corps trapu environ 2 mm, noir mat à verdâtre foncé avec des bandes noires sur l'abdomen (Hulle *et al.,* 1999). Pattes jaunes et noires. Antenne très allongé (Figure I.2.) (Wolfgang et Werner, 2009 *in* Benzait, 2013). Alors que les **formes ailées** sont plus allongées que l'aptère (Hullé *et al.,* 1999). Elle est de couleur sombre, la tête et le thorax sont noir brillant. Les antennes courtes et représentent environ les deux tiers de la longueur du corps (Figure I.2.) (Hullé *et al.,* 1999 *in* Abdelkader, 2016).

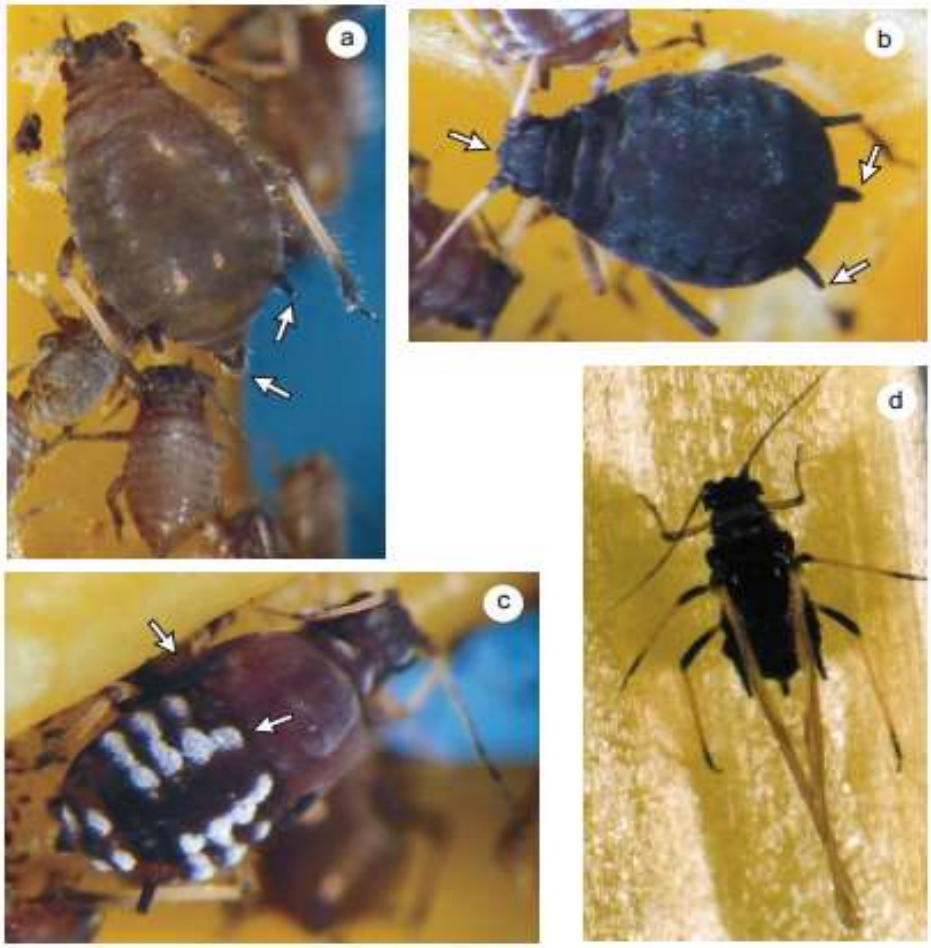


Figure I.2. Différentes formes d'A*phis fabae* (Claude Godin et Guy Boivin, 2022)**.**
a) Larve âgée et jeunes larves b) Adulte aptère c) Larve avec fourreaux alaires sur l'abdomen et marques d) Ailé.

I.2.3. Cycle biologique

Aphis fabae est une espèce holocyclique (hétérogonique) dont le cycle évolutif caractérisé par l'alternance d'une génération sexuée et d'une ou plusieurs générations parthénogénétiques (Christelle, 2007 *in* Abedjalil, 2015). Cette espèce est hétéroécique dont l'hôte primaire est *Euonymus europaeus* et les hôtes secondaires de très nombreuses espèces de plantes herbacées. Au printemps, sur l'hôte primaire, une fondatrice éclos d'un œuf et donne naissance par parthénogénèse à de nombreuses femelles aptères. Celles-ci vont elles-mêmes donner naissance à des femelles parthénogénétiques ailées qui vont migrer vers les hôtes secondaires. Les générations d'aptères vont se succéder tout au long de la belle saison sur les hôtes secondaires. Lorsque les colonies atteignent une taille très importante ou que la plante ne convient plus pour l'alimentation, des femelles ailées parthénogénétiques sont produites. Celles-ci permettent la dispersion et la formation de nouvelles colonies. En automne, des mâles ailés et des femelles parthénogénétiques ailées particulières, appelées Gynopares, sont produits dans les colonies. Ils vont migrer des hôtes secondaires vers l'hôte primaire sur lequel les femelles Gynopares vont donner naissance à des femelles sexuées. Celles-ci s'accouplent avec les mâles et déposent leurs œufs sur l'écorce (Figure I.3.) (Fun-mooc, 2011).

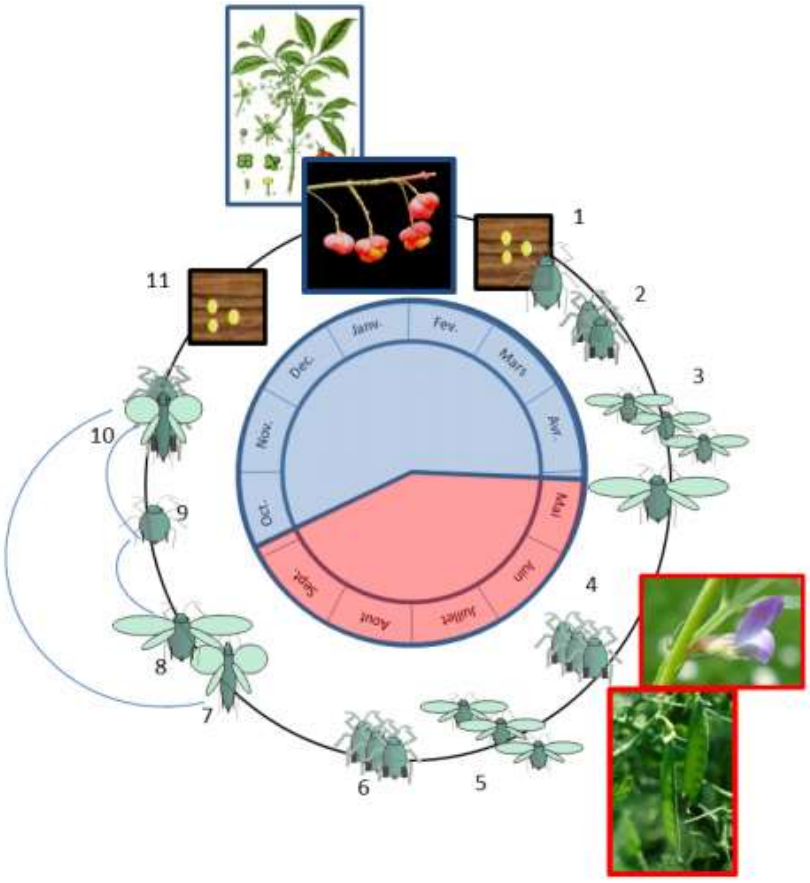


Figure I.3. Cycle biologique d'*Aphis fabae* (Aphidinae, Aphidini) (Fun-mooc, 2011).

I.2.4. Plantes hôtes

Aphis fabae est une espèce très polyphage, plus de 200 plantes hôtes partagé entre hôtes **primaires** et hôtes secondaires (Turpeau *et al.,* 2010):

- **Hôtes primaires:** *Euonymus europaeus* (fusain), *Viburnum opulus* (viorne obier);
- **Hôtes secondaires:** Fabaceae, Chenopodiaceae, Asteraceae, Brassicaceae, Solanaceae, diverses cultures florales et ornementales...

I.2.5. Dégâts

Les dégâts peuvent être directs ou indirects :

I.2.5.1. Dégâts directs

Les pucerons causent d'importants dommages culturaux en s'alimentant directement dans les éléments criblés du phloème, dans lesquels ils prélèvent la sève phloemienne riche en sucres, composés azotés et autres nutriments essentiels à leur

développement et reproduction (Harmel *et al.,* 2008; Dinant et *al.,* 2010 *in* Kheloul, 2014). D'après Harmel et al. (2008), c'est le prélèvement et l'absorption de la sève des plantes. Les piqûres de prélèvement et d'absorption de la sève sont également irritatives et toxiques pour la plante, induisant l'apparition de galles qui se traduisent par la déformation des feuilles ou des fruits et donc une perte de rendement (Christelle, 2007 *in* Bayou, 2019).

I.2.5.2. Dégâts indirects

Les dégâts indirects des pucerons sont essentiellement de deux ordres qui sont :

I.2.5.2.1. Miellat et fumagine

Les produits non assimilés de la digestion de la sève, riches en sucre, sont éjectés sur la plante sous forme de miellat. Cette substance peut contrarier l'activité photosynthétique de la plante soit directement en bouchant les stomates, soit indirectement en favorisant le développement de champignons saprophytes (Cladosporium, Aureobasidium, Fumago, Antennariella, Limacinula, Scorias et Capnodium). Ceux-ci provoquent des fumagines qui entravent la respiration et l'assimilation chlorophyllienne ou souillent les parties consommables (fruits par exemple) et les rendent ainsi impropres à la commercialisation (Tanya, 2002 *in* Ayache, 2020).

I.2.5.2.2.Transmission de virus

Les pucerons sont responsables de dégâts indirects assez importants en véhiculant des virus phytopathogènes (Harmel *et al*., 2010 *in* Arab et Feddi, 2018). Parmi les nombreux virus que transmettent ces pucerons, il y a le virus de la mosaïque de la luzerne (AMVI), le virus de la mosaïque du haricot (BYMV), le virus de la mosaïque du pois (PSBMV), le virus de la jaunisse apicale du pois (BELRV) et le virus de la jaunisse nécrosante de la fève (FBNYV) (Leclant, 1982). D'après Radwan et *al.* (2008), les virus affectent les processus physiologiques de la plante, en diminuant le taux de photosynthèse, en réduisant la teneur en chlorophylle (jaunisse) et en augmentant les taux de respiration.

I.2.6. Méthodes de lutte

La lutte contre les pucerons a été et reste le souci majeur des agriculteurs. Pour cela différentes méthodes de lutte ont été préconisées dont :

I.2.6.1. Lutte préventive

La lutte préventive se base sur les différentes pratiques culturales pouvant réduire les dégâts tels que la détermination d'une date de semis et de récolte adéquate, la rotation des cultures avec une plante qui serait attrayante pour les pucerons, les associations culturales et la suppression des mauvaises herbes ou résidus de cultures qui pourraient héberger des pucerons (Sullivan, 2007 *in* Kheloul, 2014). Jaloux (2010 *in* Kheloul, 2014)

rapporte que l'association d'une plante hôte avec une plante compagne émettant des composés volatils différents va permettre de masquer ou d'altérer l'odeur de la plante hôte, ce qui va perturber sa localisation par les pucerons. Hensen *et al.* (2010 *in* Kheloul, 2014) ont trouvé que l'association des fèves avec les céréales réduit la contamination des plantes par *A. fabae.*

I.2.6.2. Lutte chimique

Pour réduire les dégâts causés par la puceron, l'utilisation des pesticides reste le moyen le plus largement utilisé et le plus efficace actuellement (Ferrero, 2009 *in* Abdelkader et Ouadah, 2016). Parmi les insecticides utilisés les organophosphorés, les carbamates et les pyréthrinoïdes de synthèse (Dedryver, 2007 *in* Kheloul, 2014). Cependant, ces insecticides présentent des inconvénients : ils coûtent chers, nuisent à l'écosystème et à l'environnement et tuent les insectes auxiliaires, de plus, les pucerons peuvent développer des résistances aux différentes molécules chimiques utilisées (Dogimont *et al.,* 2010 *in* Kheloul, 2014).

I.2.6.3. Lutte biologique

La lutte biologique est l'utilisation des organismes vivants (insectes, bactéries, nématodes,…) ou de leurs dérivés pour contrôler les populations de nuisibles et empêcher ou réduire les pertes ou dommages causés aux cultures (Maisonhaute, 2009 *in* Abedjalil et Abboudi, 2015).

CHAPITRE II.

NUTRITION MINERALE DES PLANTES

CHAPITRE II.
NUTRITION MINERALE DES PLANTES

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

La nutrition minérale de la plante peut se définir comme l'ensemble des mécanismes impliqués dans le prélèvement, le transport, le stockage et l'utilisation des ions minéraux nécessaires au métabolisme et à la croissance de la plante (Jean-François Morot-Gaudry, 2013). Autrement, elle est 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 (Tableau I.1). La nutrition 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 (Hamdani, 2020). Par la place qu'elle occupe dans le métabolisme végétal, la nutrition minérale, est fréquemment un facteur limitant dans le niveau de production d'une culture (Bonvalet, 1981).

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 (Cheaib, 2006). Selon Morot-Gaudry (2016), 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. Eléments minéraux et leur classification

Les besoins de la plante évoluent au cours de son développement. Aux stades où ils sont nécessaires, les éléments minéraux doivent pouvoir être prélevés par la plante dans le sol. Ils doivent être disponibles en quantités suffisantes, adéquates et équilibrées, correspondant à la demande immédiate de la culture; et sous une forme qui soit accessible au système racinaire. Si les éléments ne sont pas disponibles au moment nécessaire, la croissance de la plante sera limitée et le rendement final plus faible (FAO, 2005). Les éléments minéraux ont une ou des fonctions majeures au sein du métabolisme de la plante ; leur présence est donc déterminante pour garantir une croissance optimale (Whitehead, 2000 ; Taiz et Zeiger, 2002). Les cations et anions peuvent être des constituants de la structure organique de la plante, des activateurs de réactions enzymatiques, des transporteurs de charges ou des osmorégulateurs (Marschner, 1995; Barker et Pilbeam 2007).

En général, 17 éléments sont considérés comme essentiels pour la plante. Ils sont séparés en deux catégories : les **macro-éléments** et les **micro- éléments** (encore appelé oligoéléments) (Tableau II.2.). Cette distinction a été établie en fonction des concentrations dans les tissus végétaux. En effet, les macroéléments sont présents à des concentrations supérieures à 10 mmoles par kilo de matière sèche. 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). Tandis que les besoins en micro-éléments sont relativement faibles (moins de 30 mmoles / kg de MS) ; ils jouent un rôle de catalyseur ou de régulateur, par exemple d'activités enzymatiques.

Parmi les éléments minéraux essentiels, six sont nécessaires en grande quantité, ce sont l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le souffre (S), le calcium (Ca) et le magnésium (Mg). D'un point de vue chimique, certains éléments sont directement absorbés sous leurs formes minérales (K^+, Mg^{++}et Ca^{++}), d'autres, tel que l'azote, sont absorbés le plus souvent sous une forme ; moléculaire ionisée (nitrate : NO_3^- et ammonium : NH_4^+) (Delaire, 2005). L'Azote, le phosphore et le potassium sont les éléments minéraux dont la plante a besoin en plus grandes quantités, c'est pourquoi ils sont intégrés dans la composition de la majorité des engrais chimiques. Ils sont aussi appelés substances primaires ou éléments majeurs ou encore macroéléments ou éléments de base (Delaire, 2005; Jana, 2009).

Tableau II.2. : 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

M.S.: matière sèche.

II.2.1. Macro-éléments

Ce groupe est constitué des minéraux les plus abondants dans les cellules végétales et requis en grandes quantités par la plante afin d'assurer sa croissance et son développement nommés macro-éléments. Ils sont présents dans la plante en quantités élevés qui peut varier de 0,1% à 4% de la matière sèche. Au nombre de ces minéraux, on retrouve : l'azote, le potassium, le phosphore, le calcium, le magnésium et le soufre. (Hamdani 2020).

II.2.1.1. L'azote (N)

L'azote, un élément essentiel pour la croissance des plantes, est prélevé par la plupart des plantes dans le sol sous forme de nitrate (NO_3^-) ou d'ammonium (NH_4^+). Un facteur limitant du prélèvement de cet élément est la compétition accrue avec d'autres organismes présents dans le sol (Hopkins, Rambour et Evrard, 2003 *in* Louis Dumont, 2018). 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 comme il est nécessaire à la multiplication cellulaire et au développement des organes végétatifs (Lamrani, 2010 *in* Tahraou*i,* 2016).

En effet, l'azote est un élément important entrant dans la composition de la chlorophylle, des acides amines (protéines et enzymes), des acides nucléiques, des certaines hormones, des vitamines ainsi que des composés énergétiques tels que l'ATP (Camille, 2009; Harkat, 2014; Farndon, 1999 *in* Béatrice Perron, 2018).

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 in Alikacem *et al.,* 2022). 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 (Tahraoui, 2016).

II.2.1.2. Le phosphore (P)

Le Phosphore (P) est un élément essentiel pour les végétaux, il joue un rôle essentiel dans de nombreux processus biologiques comme la croissance, la photosynthèse et la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique (Marschner, 1995 *in* Emmanuel Frossard et *al*., 2004). Il participe à la plupart des réactions indispensables à la vie qui demandent de l'énergie : respiration, synthèse des glucides et des protéines. Avec l'azote, c'est un constituant des acides nucléiques, supports de l'hérédité. Il entre aussi dans la constitution des phospholipides des membranes cellulaires (Blisson, 2003 *in* Harkat, 2014).

Les teneurs les plus fréquentes se situent entre 0,1 et 0,5% de la matière sèche (Lamrani, 2010). Le phosphore de la solution du sol qui peut être utilisé immédiatement par la plantes. Trois ions phosphore existent : $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}, PO_4^{3-}. Ce dernier ne se rencontre en quantité notable qu'aux valeurs élevées du pH. La plantes absorbe le phosphore sous forme $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} selon le pH du sol (Elalaoui, 2007 *in* Tahraoui*., 2016*). Une carence en phosphore se traduit par: une réduction de taille; un feuillage généralement foncé; une défoliation précoce en commençant par la base de la plante et une fructification défectueuse (Mostefaoui, 2007).

II.2.1.3. Le potassium (K)

Le potassium est un élément de résistance des plantes au gel et à la sécheresse; c'est un activateur du système enzymatique (en tant que cofacteur d'enzymes), comme il favorise la synthèse des glucides et leur migration vers les organes de réserve (bulbes et tubercules). Le K+ est contribue de façon majeure au potentiel osmotique et a un rôle pour stabiliser le pH (Whitehead, 2000; Taiz et Zeiger, 2002). Il intervient dans le transport des photosynthétats jusqu'aux feuilles et est impliqué dans le chargement du phloème (marschner, 1995; Barker et Pilbeam, 2007). De plus, le K_+ affecte la photosynthèse étant donné son rôle dans l'ouverture et la fermeture des stomates. Il joue également un rôle dans l'équilibre cationique - anionique de la plante ; sa prédominance fait qu'il peut contrebalancer les anions présents dans le cytoplasme, les vacuoles, le xylème et le phloeme (Taiz et Zeiger, 2002; Barker et Pilbeam, 2007). Dans toutes les conditions de stress, l'apport de K permet de corriger les perturbations éventuelles (Skiredj, 2005 *in* Kemiha, 2008). Il majoritaire surtout dans les tissus jeunes (Champagnol, 1984 *in* Harkat, 2014). Le potassium est toujours abondant dans la matière sèche des végétaux. Il est absorbé par les racines sous forme du cation K^+, et circule sous cette forme dans toute la plante. La carence en potassium se manifeste tout d'abord sur les feuilles âgées car le potassium est très mobile dans la plante. Cela commence par une décoloration puis des tâches nécrotiques brunes, en premier lieu, sur le bord des feuilles, qui se propagent à travers les nervures (Hamdani, 2020). Le potassium joue un rôle prépondérant et de nature certainement multiple dans les divisions cellulaires, qui explique son abondance préférentielle dans les tissus méristématiques et ses teneurs décroissant régulièrement avec l'âge. Par un mécanisme d'appel et de mobilisation immédiate semblable à celui de P, ce sont ainsi les organes âgés qui manifestent les premiers les signes de la carence en K, signes qui sont d'ailleurs pour l'essentiel ceux de la déshydratation accompagnant immédiatement le départ du potassium (Martin Prevel, 1978).

II.2.1.4. Le calcium (Ca)

Le calcium joue de nombreux rôles clés dans la croissance des plantes. Il est essentiel et nécessaire à de nombreux processus, dont le plus important est celui de la croissance. Il a une fonction régulatrice dans les cellules et contribue ainsi à la stabilité de la plante (White et Broadley, 2003 *in* Pierre-Antoine, 2008). Il est absorbé par le système racinaire sous forme d'ion Ca^{++}. Il participe à la dégradation de la matière organique pour

assurer l'assimilation des nutriments par les plantes et joue le rôle de passerelle entre l'humus et les nutriments (Hamdani, 2020). Une large proportion du Ca^{2+} est localisée dans les vacuoles où il contribue à l'équilibre cationique-anionique **(**Brassard, 2005). La carence en calcium peut se traduire par une croissance faible, une malformation de jeunes feuilles et une nécrose des jeunes organes (Mostefaoui, 2007).

II.2.1.5. Le magnésium (Mg)

La nutrition magnésienne du végétal dépend non seulement de la richesse du substrat en cet élément, mais aussi de son rapport avec les autres cations présents dans le milieu: $NH4^+$, K^+, Ca^{++} (Cornillon, 2020). Le magnésium (Mg) fait partie de la molécule de la chlorophylle, correspondant à 2,7% de son poids moléculaire et prés de 10% de la teneur totale du Mg de la feuille (Malavolta *et al.,* 1997; Vitti *et al.,* 2006; Raij *et al.,* 2011; Borin et *al*., 2013), cependant essentiel à la photosynthèse. Le Mg est activateur de nombreuses enzymes. Toutes les enzymes, phosphorylases (incorporation et transfert de phosphore inorganique-Pi) dépendent de la présence du Mg, qui forme un pont entre l'ATP ou l'ADP et la molécule de l'enzyme. Le transfert de l'énergie de ces composés est fondamental lors des processus de photosynthèse, la respiration (glycolyse et le cycle des acides tricarboxyliques), réaction de synthèse de composés organiques (hydrates de carbones, lipides et protéines), absorption ionique (principalement de P) et le travail mécanique exécuté par la plante (Vitti *et al.,* 2006 *in* Borin et *al*., 2013). De plus, Fink *et al.* (1991) remarquent qu'une carence en magnésium provoque un affaissement des tissus conducteurs. Les cellules du mésophyle demeurent turgescentes car cet affaissement conduit à une accumulation d'amidon qui ne peut être relocalisée. Le magnésium et le potassium sont essentiels avec le potassium au bon fonctionnement des ATPases impliquées dans le chargement du phloème (Jollez, 2008).

II.2.1.6. Le soufre (S)

Le soufre est un macroélément essentiel à la croissance des végétaux, et sa concentration bien qu'assez variable dans la plante, est proche de celle du phosphore. On considère désormais que le soufre est le quatrième élément le plus important, après le tryptique NPK (Leustek *et al.*, 2000). C'est un constituant important de 2 acides aminés essentiels (méthionine, cystéine) et de ce fait, il est indispensable (tout comme l'azote) à la synthèse des protéines et notamment à la formation de la chlorophylle dans les feuilles. Ainsi une bonne alimentation soufrée permet à la plante de mieux valoriser l'azote. Le soufre joue aussi un rôle essentiel dans le métabolisme des vitamines, de plus il entre dans la composition de nombreuses molécules contrôlant la tolérance des plantes aux stress environnementaux (Serot, 2013). Le soufre est considéré comme un élément peu mobile dans la plante. Les effets de sa carence se manifestent d'abord sur les jeunes organes qui présentent une chlorose liée à une diminution de la teneur en chlorophylle. Les symptômes de carence s'apparaissent par une couleur vert-pale ou jaunâtre des jeunes feuilles. Les nervures sont souvent plus claires que le reste de la feuille. On observe aussi un

dessèchement comme pour une carence en azote. Les plantes sont chétives, petite et à croissance retardée (Elalaoui, 2007).

II.2.2. Micro-éléments

Les micro-éléments ou oligoéléments jouent un rôle important dans la santé et la croissance de la plante (Hamdani; 2020). 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). 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 *in* Alikacem., 2021). Les quantités d'oligoéléments assimilées par les plantes sont sous forme de traces mais leur rôle dans la nutrition globale de la plante est très important. Ils sont présents dans la plante en quantité très faible qui ne dépasse pas 0,01% de la matière sèche (Hamidani, 2020).

II.2.2.1. Le sodium (Na)

Le sodium est généralement considéré comme un élément mineur, inutile mais généralement bien toléré par les plantes (Alexandre, 1989 *in* Kemiha et *al*., 2008). Le sodium est présent dans tous les végétaux en quantité très variable 0,001 à 0,1% de la matière sèche, mais toujours inférieure au potassium (Snoussi, 2001 *in* Tahraoui, 2016). Il n'y a pas de symptômes de carence en sodium, puisqu'il ne s'agit pas d'un élément essentiel (Lamrani, 2010). Le sodium diminuée la croissance des plantes, provoque une chlorose (jaunissement) et une nécrose (tissus mort) des feuilles (William et Hopkins, 2003).

II.2.2.2. Le chlore (Cl)

Le chlore est un oligo-élément principalement présent à l'état ionique dans les plantes, mais également sous forme organique, notamment couplé à des enzymes intervenant dans les mécanismes de la photosynthèse et de la synthèse d'ATP. Il joue un rôle de compensation de charges et d'osmorégulation (Marschner, 1995). L'absorption racinaire du chlore par les plantes est très rapide et très intense. Les facteurs de transfert sol-plante varient de 2 à 400 (par rapport au végétal sec). Ces valeurs très élevées reflètent la grande mobilité et la grande disponibilité du chlore dans la plupart des types de sols (Coughtrey et *al*., 1983; Colle et *al*., 2001; Sheppard et *al*., 1999). La plante absorbe le chlore sous sa forme ionique Cl^-, qui est très répondu dans la nature, est très soluble (Elalaoui, 2007). Les plantes carencées en chlore présentes une croissance réduite, le flétrissement des extrémités des feuilles, les plantes peu affecter par les maladies (Yash, 1998). L'excès en chlorure provoque un jaunissement prématuré des feuilles inférieures avec une brûlure des marges des feuilles et la chute des feuilles. Les Plantes se flétrissent facilement (Yash, 1998 *in* Tahraoui., 2016).

II.2.2.3. Le fer (Fe)

Le fer est un élément essentiel au développement de presque tous les organismes vivants dont les plantes. En effet, les tissus végétaux contiennent autour de 100 mg de Fe par kg de poids sec (Marschner, 1995). Le fer est le microélément dont les plantes ont le besoin le plus important. Par son existence sous deux formes (fer ferrique Fe^{3+} et fer ferreux Fe^{2+}), le fer participe à la catalyse des réactions d'oxydo-réductions. Ce métal est impliqué dans de nombreux processus métaboliques comme les chaînes de transfert d'électrons de la respiration et de la photosynthèse mais également comme composant de cofacteurs d'enzymes responsables de réactions d'oxydo-réductions (Mary, 2015). Chez la plante, une carence en fer provoque une forte diminution de la concentration en chlorophylle des feuilles. Ainsi, le jaunissement des régions inter-nervures des jeunes feuilles est le premier symptôme visible qu'une plante souffre d'une carence en fer : ce symptôme est appelé chlorose. En diminuant la photosynthèse, la carence en fer engendre une diminution importante du rendement de certaines cultures (Gilloly *et al*., 1983).

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 (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 molybdène (Mo)

Le molybdène est un composant de différents enzymes. Lorsque l'apport d'azote se fait sous forme nitrique, la plante a davantage besoin de molybdène. Mo joue un rôle important dans la fixation biologique de l'azote par les bactéries des nodosités des légumineuses et intervient dans le métabolisme du phosphore. 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, 2002).

II.2.2.6. Cuivre (Cu)

Le cuivre joue un rôle essentiel dans plusieurs procédés métaboliques des plantes tels que la photosynthèse et le métabolisme des parois cellulaires (Yruela, 2009 *in* Aleena,

2020). Une déficience ou un excès peuvent avoir de grave conséquence sur la santé et la survie de la plante. Un excès de cuivre peut causer de la chlorose, de la nécrose, une croissance réduite, une baisse du taux de germination des semences, une baisse du taux de photosynthèse ainsi que nuire au développement racinaire (Reichman, 2002; Yruela, 2009). Les taux d'absorption du cuivre sont parmi les plus bas comparés à ceux des autres éléments essentiels, et varient suivant les espèces et les variétés (Gilkes, 1981 *in* Lenoir, 2011).

II.2.2.7. Le Zinc (Zn)

Le zinc est un élément peu mobile et en cas de consommation «de luxe», il tend à s'accumuler dans les racines (Loneragan, 1977 *in* Saur, 1990). Le zinc est principalement absorbé par les plantes sous sa forme Zn^{2+} et associé à des ligands organiques de faible poids moléculaire, appelés phytosidérophores et sécrétés par les racines de la plante. Les phytosidérophores sont aussi responsables de l'absorption d'autres ions comme le Fe et Cu (Grusak *et al.,* 1999). L'absorption du Zn dans la partie corticale de la racine passe par la voie apoplastique, tout particulièrement lorsque le zinc est contenu dans la solution du sol, et par la voie symplastique lorsque le zinc associé aux phytosidérophores (Grusak *et al.,* 1999 *in* Licinio, 2017).

II.2.2.8. Le manganèse (Mn)

Le manganèse est un activateur d'enzymes qui participent à la formation de la chlorophylle, à la photosynthèse. 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, 2002). Les teneurs moyennes dans la matière sèche des plantes cultivées vont de 50 à 150 ppm. Du fait de l'antagonisme entre fer et manganèse chez les organismes vivants, la présence de manganèse peut induire une carence en fer, auquel cas les teneurs de manganèse mesurées dans les feuilles peuvent atteindre pour certaines plantes 6 000 ppm (Smith *et al.*, 1997). L'absorption racinaire augmente avec la diminution du pH du sol. Aluminium, cadmium, calcium et fer sont des compétiteurs du manganèse pour les sites d'échange du sol (capacité d'échange) et peuvent ainsi influer sur son absorption par les végétaux. De façon moins sensible, la texture du sol peut également, *via* la capacité de sorption du sol modifier l'intensité des transferts racinaires (Schäfer, 2004). Le processus d'absorption du manganèse par les plantes est caractéristique de l'absorption ionique, conjuguant une phase rapide passive suivie d'une phase lente métabolique (Loué, 1993 *in* Adam et Beaugelin-Seiller, 2001). Ce processus passif semble également se produire à forte concentration du métal dans le sol. L'absorption globale dépend du gradient électrochimique du sol dans la rhizosphère (Schäfer, 2004). Le manganèse passerait dans le cytoplasme pour s'accumuler dans la vacuole des cellules racinaires, d'où il est ensuite distribué dans la plante, et plus particulièrement dans le méristème, ce qui génère des concentrations plus fortes dans les tissus jeunes (Loué, 1993 *in* Adam et Beaugelin-Seiller, 2001).

II.3. Absorption minérale

L'absorption minérale est une fonction essentielle à la croissance, au développement et à la reproduction des végétaux. L'absorption minérale s'effectue principalement par le système racinaire qui possède trois fonctions principales : ancrage, absorption hydrominérale et stockage (Delaire, 2015). La fonction d'absorption est assurée par des transporteurs membranaires et dépend à la fois des caractéristiques édaphiques du milieu (disponibilité en eau, élément s minéraux, température, pH, …), de la force de puits des parties aériennes (photosynthèse, croissance,…) et enfin du statut minéral du système racinaire lui-même (stockage et remobilisation de réserves). (Delaire, 2005).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.3.) (Java, 2009):

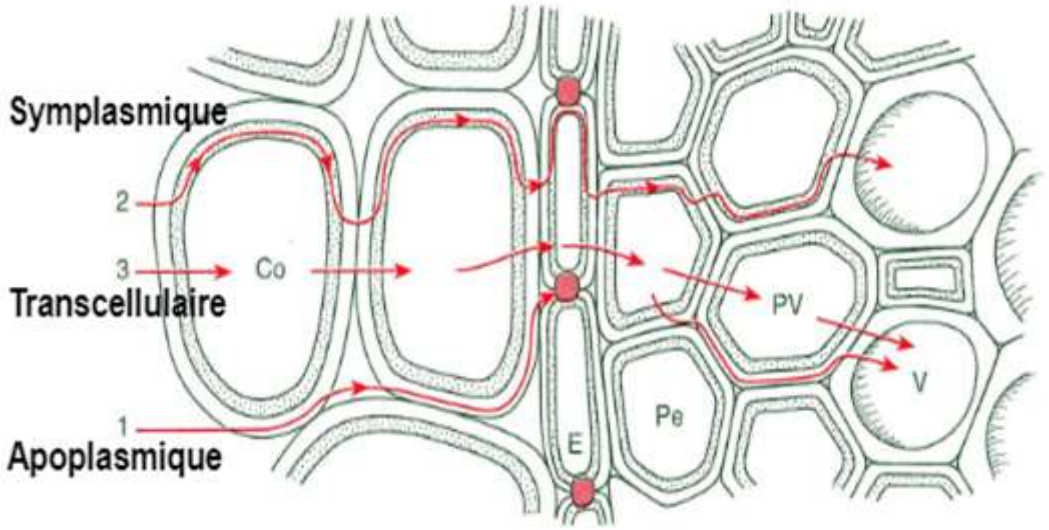


Figure II.3. Trajets possibles pour les nutriments dans une racine (Heller *et al.,* 2011)

1. **Apoplasmique; 2. Symplasmique; 3. Trascellulaire. Co. Cellule de cortex; E. Endoderme; Pe. Péricycle; PV. Parenchyme vasculaire ; V. Vaisseau.**

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** (Jana, 2009).

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** (Jana, 2009)..

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 (Jana, 2009).

II.4. Factures influençant l'absorption minérale

La composition minérale de chaque organe ou tissu change durant son développement sous l'influence de plusieurs facteurs. L'irrégularité plus ou moins grande des conditions climatiques entraîne des fluctuations annuelles parfois considérables sur la nutrition des plantes (Lamrani, 2010).

Le climat peut jouer un rôle déterminant dans la disponibilité du manganèse pour les plantes, en effet, une déficience en manganèse peut être aggravée quand le climat est froid et humide, ou lors des étés secs (Ryser et Heller, 1997). Selon Tremblay et *al*., (2001), un temps ensoleillé et chaud améliore l'absorption de l'azote puisque la vitesse de la photosynthèse est plus élevée dans de telles conditions. Une intensité lumineuse importante peut augmente l'absorption des nutriments en augmentant le débit massique grâce à une amélioration du taux de transpiration (Baset Mia, 2015).

Les déficiences en certains éléments dans la plante, peuvent être en relation directe avec leur disponibilité dans le sol, c'est par l'intermédiaire des racines que s'établissent les relations entre la plante et le sol, ainsi les racines jouent elles un rôle essentiel dans l'alimentation en eau et en élément minéraux des plantes. Encore faut-il qu'elles soient en mesure de remplir leurs fonctions. Cette possibilité dépend en effet des propriétés du milieu: conditions physicochimiques du sol, température et régime hydrique qui vont conditionner le développement et l'absorption racinaires, mais aussi la disponibilité plus ou moins grande des divers éléments minéraux, et de l'état sanitaire des racines (Lamrani, 2010 *in* Tahraoui; 2016). Selon le même auteur, le pH du sol exerce également une influence sur la disponibilité, l'assimilation des éléments minéraux et la composition minérale de la plante. Par exemple, une acidité trop accusée risque d'entraîner des carences (ex: Molybdène) ou la libération excessive dans le sol de certains éléments comme le Manganèse ou l'Aluminium (pH<5) engendrant des phénomènes de toxicité tels que brûlures sur feuilles ou nécroses foliaires. A l'inverse, un pH trop alcalin peut engendrer des carences en certains éléments minéraux tels que le Manganèse ou le Fer.

II.5. 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 *in* Alikacem et *al* 2021). L'utilisation

exclusive de la fertilisation minérale entraine une baisse des teneurs en matière organique et en azote total dans les sols (Giroux et *al.*, 2009) et ne permet pas de maintenir la fertilité des sols (Mills et *al.*, 2003). Par ailleurs, quand des engrais minéraux sont combinés avec des amendements organiques, le risque d'acidification du sol est réduit (N'dayegamiye et Cote, 1996; Estevez et *al.*, 1996); et on observe une productivité des systèmes de culture, une neutralisation du pH et une diminution de l'aluminium sur le complexe d'échange (Bado, 2002). 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 Della Penna, 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.
BIOFERTILISANTS

CHAPITRE III.
BIOFERTILISANTS

III.1. Généralité sur les biofertilisants

III.1.1. Définition

En agriculture un biofertilisant ou fertilisant organique est un bio-stimulant de la croissance et du rendement d'une plante, lorsqu'il appliqué en petite quantité, durant tout le cycle de la culture (Mohanty *et al.,* 2013). 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.

Les biofertilisants interviennent dans un aspect crucial de l'agriculture biologique et sont des acteurs majeurs de l'économie et de la production agricole générale à l'échelle mondiale (Pravin *et al.,* 2016 *in* Assemien, 2018).

III.1.2. Différents types de biofertilisants

A l'état naturel le sol est régulièrement enrichi par les éléments organiques (feuilles, racines,…) qui dépérissent. Ces éléments organiques sont des molécules complexes composées d'éléments simples qui constituent la vie : le carbone (C), l'hydrogène (H), l'oxygène (O), l'azote (N), le potassium (K), le phosphore (P) (Bidon, 1993). Ces éléments complexes sont ensuite décomposés par les microorganismes du sol en éléments simples et assimilables par les plantes (Figure III.1.).

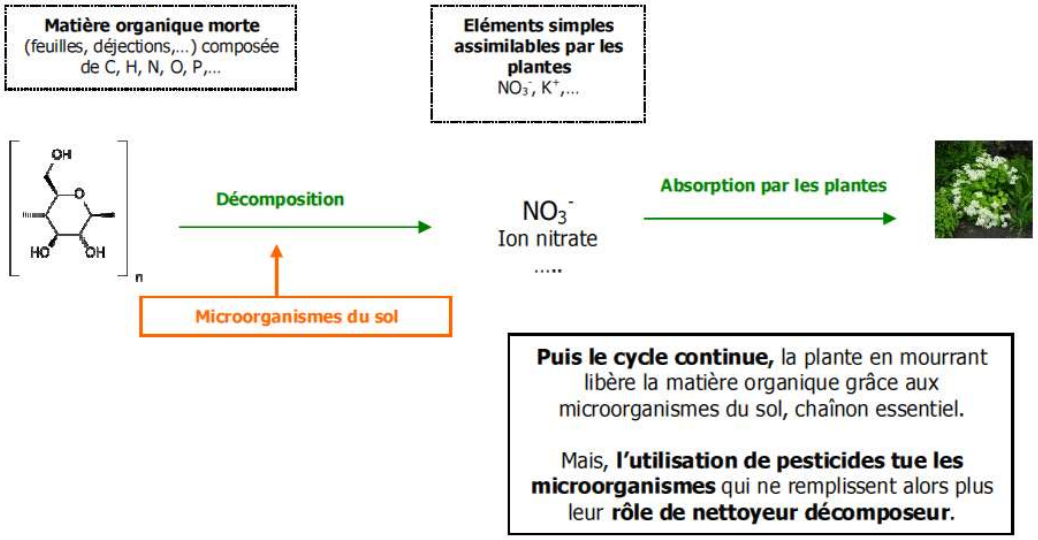


Figure III.1. Schéma explicatif de la fertilisation par les microorganismes (Bidon, 1993).

III.1.2.1. Biofertilisants à base des bactéries fixatrices 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). Le processus de conversion de l'azote atmosphérique en ammoniac par les organismes diazotrophes est connu sous le nom de fixation biologique de l'azote (BNF). Ce processus aide la plante à survivre et à rivaliser efficacement sur les sols pauvres en azote (Mirnes et Rahali, 2020; Liu *et al.,* 2001).

III.1.2.2. Biofertilisants à base des bactéries solubilisatrices des phosphates (PSB)

Les bactéries (*Bacillus Spp., Pseudomoona Spp*. et *Aspergillus Spp*) solubilisatrices de phosphore ont été considérés comme les meilleurs candidats écologiques pour la nutrition des plantes par le phosphore (Sharma et *al*., 2007 *in* Chibani, 2017). Ces organismes sont capables de solubiliser les formes insolubles de phosphate dans le sol et de convertir en forme solubles, afin que les plantes puissent les utiliser (Chang et Yang, 2009). Les bactéries solubilisatrices de phosphore ont plusieurs bénéfices agronomiques : (1) Amélioration de la disponibilité en phosphore inorganique; (2) Accélération des premiers stades de développement; (3) Augmentation de la croissance racinaire; (4) Rigidité des tissus; (5) Amélioration de la formation des grains; (6) Augmentation et sécurisation du rendement. A l'instar des bactéries fixatrices d'azote, les bactéries solubilisatrices du phosphore améliorent la qualité nutritionnelle et la résistance de la

plante, permettant ainsi à la culture d'assurer son rendement (Schütz *et al.,* 2018 *in* Assemien, 2018).

III.1.2.3. Bio-fertilisants à base de bactéries mobilisatrices de phosphates (PMB)

D'autres types de bactéries 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. Des bactéries comme *Rhizobium*, *Enterbacter*, *Serratia*, *Citrobacter*, *Proteus*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, ou encore *Bacillus,* 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 (Agro-nutrition, 2016).

III.1.2.4. Bio-fertilisants a base de bactéries solubilisatrices 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 *in* Alikacem *et al.,* 2021). 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 ou le Vermicompost 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. Le lombricompost contient également une grande diversité de population microbienne (Andrianarimanana, 2014).

III.2.2. Lombricompostage

Le lombricompostage est un procédé de bio-oxydation et de stabilisation de la matière organique, mais sous l'action combinée des microorganismes et des lombrics. Le lombricompostage se différencie du compostage par son absence de phase thermophile en présence des lombrics (St-Pierre, 1998). Le processus de lombricompostage se déroule en deux

phases : (*i*) **une phase active** au cours de laquelle les vers de terre dégradent les déchets organiques, modifiant ainsi leur état physique et leur composition (Lores *et al*., 2006 *in* Andrianarimanana, 2014) et (*ii*) **une phase de maturation** analogue marquée par le déplacement des vers de terre vers des couches fraîches de déchets non digérés, au cours de laquelle les microorganismes reprennent la décomposition des déchets traités par les vers (Aira *et al*., 2007 *in* Andrianarimanana, 2014). La durée de la phase de maturation est variable, elle dépend de l'efficacité de la phase active. La décomposition de la matière organique est essentiellement réalisée par les microorganismes. Pourtant, les vers de terre constituent des facteurs cruciaux du processus étant donné qu'ils sont impliqués dans la stimulation du fonctionnement des populations microbiennes par l'ingestion et la fragmentation de la matière organique, qui se traduit par une plus grande surface disponible pour la colonisation microbienne, modifiant ainsi considérablement l'activité biologique (Domínguez *et al*., 2010 *in* Andrianarimanana, 2014).

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 horizontal

La compostière horizontale inclut deux bacs contigus coupés en deux parties par une séparation trouée verticale. La récupération du compost est beaucoup plus facile dans celle-ci. Vous mettez vos déchets d'un côté. Lorsque ce bac est plein, le dépôt des déchets se fait dans le second. Quand vous voulez récolter le compost, vous n'alimentez plus ce côté et vous mettez les nouvelles matières organiques dans l'autre bac. Les vers vont alors simplement migrer pour effectuer la transformation de ces nouveaux déchets. Un bac de récupération du thé de vers (les liquides) est tout de même nécessaire sous le lombricomposteur (Figure III.2.) (Hassan, 2010; Safiddine, 2012).



Figure III.2.3.1. Schéma d'un lombricomposteur horizontal (Hassan, 2010 *in* Safiddine, 2012).

III.2.3.2. Lombricomposteur verticale

Les compostières verticales ont le même fonctionnement que les compostière horizontale, les vers se déplaceront de bas en haut. Vous obtiendrez deux produits différents: Un lombricompost et un engrais liquide résultant de l'écoulement naturel des nutriments présents dans le lombricompost. Les vers produisent plus de 45Kg de lombricompost par an et plus de 70 litres d'engrais liquide concentré par an (Figure III.3.) (Sictom, 2020).

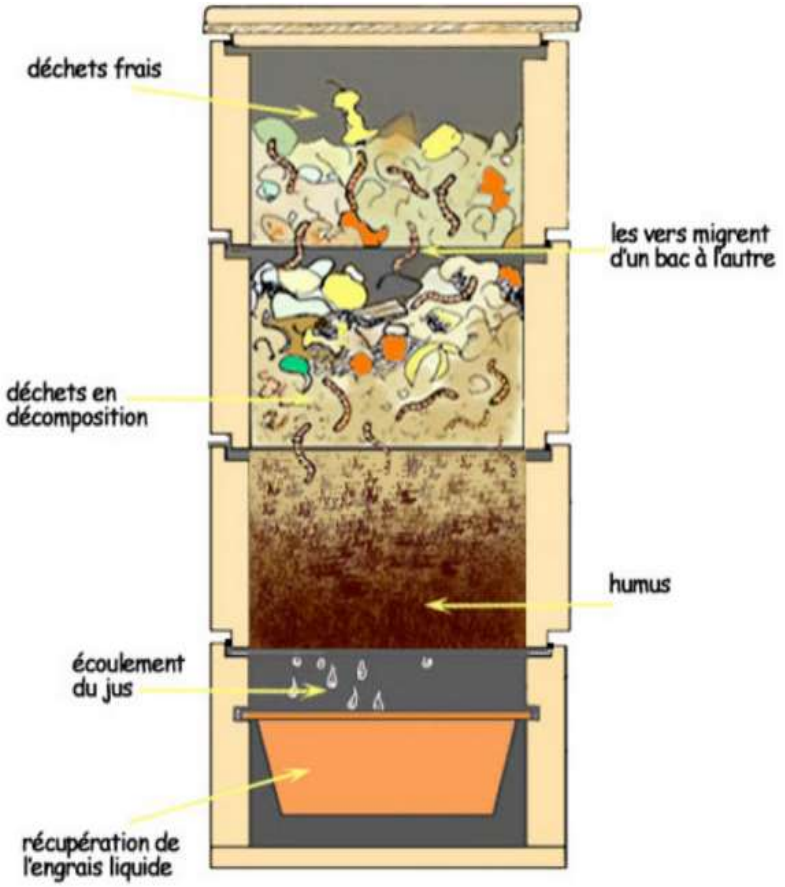


Figure III.2.3.2. Schéma d'un lombricomposteur verticale. http://www.transition-verte.com/nutriments-le-the-de-vers/.

III.2.4. Type de lombrics en lombricompostage

L'intérêt pour le lombricompostage de déchets organiques s'est intensifié au cours des vingt dernières années. Il s'agit essentiellement d'un système technologique à faible coût lorsqu'il est mis en œuvre en fonction des matières organiques disponibles localement (Hand *et al.,* 1988). Certaines espèces de vers de terre peuvent consommer des résidus organiques très divers. Si la famille des Lumbricidae ne constitue que 10 % des 3000 espèces de lombrics, les espèces qui la constituent sont largement distribuées dans le monde (Lee, 1983). Quatre espèces sont principalement utilisées en lombriculture : *Eisenia foetida* (Savigny), *E. andrei* Bouché, *Peronyx excavatus* Perrier et *Eudrilus*

eugeniae (Kinberg) en fonction du climat de la région considérée. La croissance et la reproduction de ces quatre espèces de vers de terre leur confèrent un rôle de premier plan dans le traitement de la biomasse constituant les déchets organiques, et dans l'alimentation animale (Francis *et al.,* 2003).

III.3. *Eisenia fœtida (*Savigny, 1826)

Étant donné que les lombriciens de la classe des épigés sont grandement impliqués dans la transformation de la matière organique en humus, ils deviennent des candidats intéressants pour la valorisation des déchets organiques. *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).

III.3.1. 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.3.2. Description morphologique

Selon Sims et Gérard (1985), *Eisenia fœtida* est caractérisée par un corps allongé de 60 à 120 mm de long, de 3 à 6 mm diamètres et un nombre de segment variant entre 80 et 120. . Son poids moyen est de 300 mg. Le clitelium est en forme de selle couvre 6 à 8 segments. Les tubercules pubertés s'étendent le long de la bordure ventrale de la clitelium sur trois segments. Les cocons sont 2,4 à 5,2 mm de long avec un diamètre de 2,3 à 4,4 mm. *Eisenia fetida* est rouge violacé mais il possède des anneaux clairs presque jaunes.



Figure III.3.2. *Eisenia fœtida* https://www.terrestris.fr/lombriculture-et-lombricompostage/eisenia-fetida-ou-le-vers-composteur/.

III.3.3. cycle de développement

Tous les vers de terre sont hermaphrodites. 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. Un échange de spermatozoïdes a lieu lors d'un accouplement, qui se produit généralement à la surface du sol ou dans le solum, lorsque les conditions sont favorables. 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. 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, 1991 *in* Ali kacem *et al.,* 2021). 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 *in* Ali kacem *et al.,* 2021). 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 *in* Ali kacem *et al.,* 2021). 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 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.*

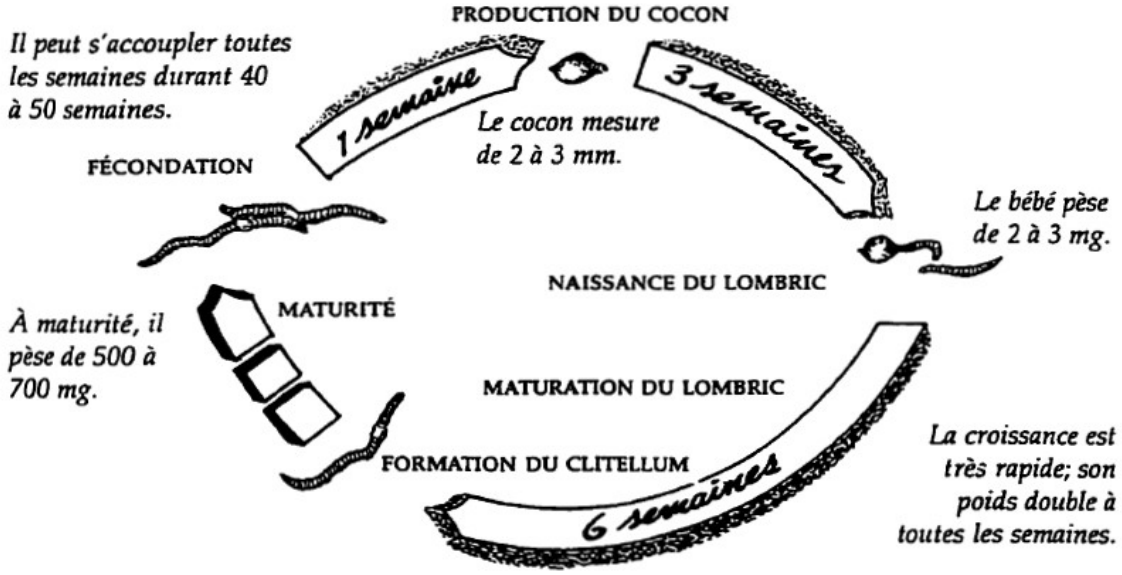


Figure III.3.3. Cycle de vie d'*Eisenia Fetida* (St-Pierre, 1998).

III.4. Importance de la lombriculture en point de vue écologique

Lorsque les vers ingèrent de la matière organique, leur tube digestif sécrète durant la digestion de l'eau et du mucus qui permet de réactiver les micro-organismes présents dans le sol. Cette stimulation des micro-organismes permet d'accélérer la décomposition et la minéralisation des matières organiques pour que les vers puissent assimiler une partie du carbone et des nutriments libérés par l'activité microbienne. Mais cette réactivation n'est

pas utile seulement pour la nutrition des vers car elle perdure par la suite dans les turricules ou dans leur urée qui se caractérisent tous deux par des teneurs en éléments minéraux (azote, potassium, phosphore etc.) bien supérieures à celles du sol environnant (rien que l'urée peut représenter jusqu'à 40 kg d'azote minéral par ha d'un sol « vivant »). Ainsi les vers favorisent la multiplication des bactéries et de champignons après une « désinfection biologique » des micro-organismes nuisibles présents dans la matière organique pour concentrer les éléments minéraux nécessaires à la croissance des végétaux. Enfin, les vers contribuent fortement à la dynamique et à la structure du sol qu'ils modifient sans cesse. Ils participent à la création de microporosité dans le sol (inférieur à 0,006 mm de diamètre) et leurs turricules améliorent la capacité de rétention en eau de la terre. En creusant des galeries, ils créent aussi de la macroporosité (de 2,5 à 11 mm de diamètre) qui favorise l'infiltration de l'eau dans le sol et son aération pour permettre la pénétration puis le développement des racines. Leurs déplacements entre le sous-sol et la couche arable permettent un rajeunissement continuel du sol (Benhamou et Patrice, 2012).

L'utilisation des vers de terre par l'homme est peu courante mais mérite pourtant toute son attention pour ses multiples intérêts. En effet, les vers élevés en lombriculture sont généralement utilisés par la suite dans l'objectif de réduire les déchets organiques par le lombricompostage. En tant que décomposeur de la litière *Eisenia Fœtida* peut transformer jusqu'à 13 l'équivalent de son poids par jour en matière organique ce qui représente un fort intérêt pour la valorisation de déchets par lombricompostage (Benhamou et Patrice, 2012). La transformation des déchets organiques par le ver de terre permet d'obtenir un compost organique de haute qualité «lombricompost», dont les principaux avantages sont:

- Représente une alternative à l'accumulation de résidus ou de déchets ;
- Remplace les engrais chimiques pollutants;
- Retient l'eau;
- Affiche un pH neutre;
- Contient une charge bactérienne et enzymatique ;
- Vivifie le sol;
- Constitue un stimulateur biologique de fertilité ;
- Présente une source de protéines et autres apports.

III.5. Stimulation des défenses naturelles des plantes

La stimulation des défenses naturelles des plantes (SDN) 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 (Ali kacem *et al.,* 2021).

III.5.1. Intérêt en protection des plantes

Les produits de stimulation des plantes SDN présentent plusieurs intérêts. Ils ont généralement une toxicité réduite, ce qui présente un intérêt pour les applicateurs et l'environnement. De plus, ils n'ont pas d'action biocide directe, ils n'ont donc aucun impact défavorable vis-à-vis des auxiliaires des cultures. Un autre avantage repose sur le fait que les mécanismes de défenses induits ne sont pas spécifiques à une maladie ou un ravageur donné, ils peuvent impacter un large spectre de bioagresseurs. En activant diverses voies de défenses, ils permettraient également de limiter les risques d'apparition de résistances chez les agents pathogènes. Dans la bibliographie, on souligne que les SDN ne permettraient pas forcément de se substituer à une application phytosanitaire, mais ils pourraient permettre de réduire ou retarder l'application d'un produit phytosanitaire. Leur utilisation pourrait ainsi permettre une réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires. L'utilisation des SDN demanderait donc de passer d'une logique curative à une logique préventive. Cependant, vu les mécanismes complexes mis en fonctionnement grâce à ces produits, des efficacités variables peuvent être expliquées grâce à différents paramètres : type de culture et variété, conditions environnementales, modalités d'applications… (Masson et Moigny, 2015).

III.5.2. 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. 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, concrétisée notamment à travers les exigences de la Directive européenne 91/414 définissant un nouveau cadre pour l'autorisation de mise sur le marché des pesticides. 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 *in* Ali kacem *et al.,* 2021).

CHAPITRE IV.
MATÉRIEL ET MÉTHODES

CHAPITRE IV.
MATÉRIEL ET MÉTHODES

IV.1. Objectif

La lutte chimique est le moyen le plus usité, mais n'est pas en mesure de résoudre durablement le problème de bioagresseurs en raison de ces effets néfastes sur la santé humaine et sur l'environnement. Par conséquent il est urgent de développer des méthodes de contrôle et de protection plus écologiques tout comme les approches alternatives complémentaires et innovantes tel que la lombriculture qui est une technologie appropriée valorisant les résidus des cultures et gérant durablement la santé végétale.

Notre travail vise à déterminer l'influence du thé de Vermicompost sur l'expression végétative du haricot vert *Phaseolus vulgaris* L. et sur la dynamique populationnelle et les paramètres démographiques du puceron noir de la fève *Aphis fabae* Scopoli (1763).

IV.2. Matériel d'étude biologique

IV.2.1. Obtention du matériel végétale

IV.2.1.1. Présentation de la chambre de culture

La culture du haricot a été menée au jardin botanique situe dans le Quartier de Bab El Akouas la partie ouest de la ville de Médéa, dans une serre de culture contrôlée appartenant à l'association de l'environnement et du milieu vert de Médéa. La serre a une superficie de 24m² dont sa longueur est de 6m et sa largeur de 4m (Figure IV.1). La température de l'enceinte est maintenue entre 25° et 35° C avec une hygrométrie comprise entre 40 et 50 %.



Figure IV.1. Présentation de la Serre de culture (Originale, 2022).

IV.2.1.2. Obtention des plantules du haricot

L'expérimentation a été menée sur des plantules du haricot vert *Phaseolus vulgaris* L. variété naine « El Jadida » à croissance déterminée, appartenant au groupe des haricots mange-tout et destinée à la consommation en frais. Cette variété à été choisis en raison de sa précocité et sa vigueur.

Avant utilisation, les graines du haricot ont subi un premier bain dans l'eau de javel pendant cinq minutes afin de les désinfecter et éliminer les impuretés. Ces graines sont ensuite rincées plusieurs fois à l'eau distillée pour éliminer toute trace de chlore.

Les graines du haricot sont imbibées dans l'eau pendant 24 h, la pré-germination a été effectuée dans des boites en plastique pendant 5 jours. Dès l'émergence de la radicule, les grains sont été plantés dans des alvéoles noires en plastiques remplies de tourbe stérilisé à raison deux graines par alvéole. Au stade 2 a 3 feuilles, les plants ont été soigneusement repiqués dans des pots en plastiques remplis d'un mélange de sable, de sol et de la tourbe (1:1:1) préalablement stérilisé dans une étuve pendant 24 h à une température de 180°C (Figure IV.2.).

Les plants ont suivi un régime d'irrigation régulièrement selon leur besoin en eau.



Figure IV.2. Stérilisation du substrat (Originale, 2022)

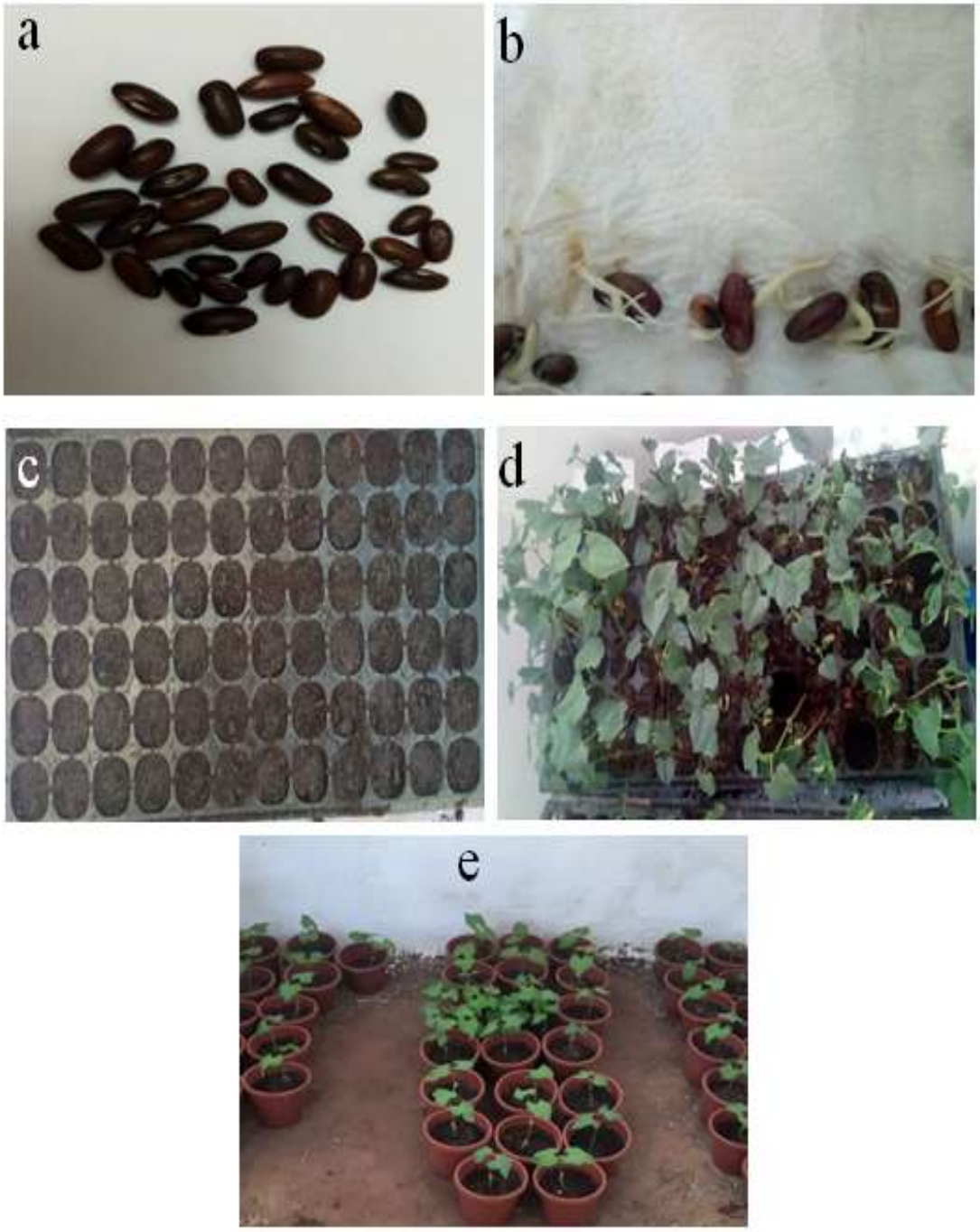


Figure IV.3. Présentation de la Serre de culture (Originale, 2022).
A: Graines du haricot; b: Pré-germination; c et d: Plantation dans des alvéoles; e: Transplantation

IV.2.2. Obtention des populations inféstantes du puceron noir de la fève *Aphis fabae*

Les plantes infestées nous ont été fourni par un agriculteur de la région de Blida pendant le mois de Mai à partir des plantes de fèves infestées par *Aphis fabae* Scopoli (1763) (Hemiptera / Aphididae). Les insectes ont été collectés à différents stades à savoir le stade larvaire, le stade nymphale ainsi le stade adulte. Au niveau de la serre de culture, nous avons procédé à l'infestation par la mise en place de ces plantes infestées sur les plantules de haricots sains au stade 4 feuilles (Figure IV.4.) pour faciliter et uniformiser l'infestation.



Figure IV.4. Plante de haricot infesté par *Aphis fabae* (Originale, 2022).

IV.2.3. 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 (5 Mars au 28 Mai 2022).

Le lombricompost utilisé a été obtenu en transformant des matières organiques solides et liquides avec une espèce de lombric. Les lombrics utilisés dans cette expérimentation sont des vers rouges épigés de l'espèce *Eisenia fœtida* (Savigny, 1826) Les Vers utilisés dans cette étude ont été obtenus auprès d'un éleveur de la région de Bou Saada, Wilaya de M'Sila (Figure IV.5).



Figure IV.5. Espèce de Lombric utilisé (Original, 2022)

Nous avons à utiliser une lombricompostière verticale qui était fabriquée à base de planche de bois. La 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 IV.6).

La lombricompostière à été placée dans un endroit calme, sombre et bien aéré tout en maintenant la température, l'humidité et le pH optimaux pour la vie des lombrics. Il es intéressant de signaler que, tous les type de mesures (pH, d'humidité et de température) ont été effectués quotidiennement 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.

- La base de lombricomposteur est trouée à quatre endroits, permettant ainsi une bonne aération et un bon écoulement des lixiviats.

- 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).

Nous avons préparé un vermis-lit à trois couches et on a disposé dans un 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 tandis que la troisième couche était formée par le sol mélangé avec 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.6).

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. Dès la deuxième semaine on ajoute de manière progressive et régulière de la nourriture fraîche (Salade, épinard, pomme de terre, fumier de bovins….). Au fur et à mesure que les vers consomment la matière organique ajoutée, une couche supplémentaire est additionnée, 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.6. Processus d'obtention du lombricompost (Original, 2022)
A : Lombricomposteur, b: Vermi-lit, d: Intégration des lombrics, d : Alimentation.

IV.3. Méthodes d'études

IV.3.1. Préparation du thé de lombricompost

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 processus accéléré qui implique la bio-oxydation et la stabilisation des déchets à la suite des interactions entre certaines espèces de vers de terre et de microorganismes. Le vermicompostage nous produit deux types d'engrais, le Vermicompost et le jus de Vermicompost. Le jus de vermicompost est la partie liquide provenant de la dégradation de la matière organique alors que le Vermicompost est la partie solide.

Dans notre travail nous sommes intéressés par la partie solide de Vermicompost issu de l'espèce de lombric Eisenia *fœtida* à cause de sa richesse en micro et macro-éléments.

Le thé du Vermicompost, est la solution obtenue après une macération de 100 grammes de lombricompost dans un 1litre d'eau de robinet. Le produit final sera prêt à l'utilisation qu'après 24 heures (Figure IV.7) (Safiddine, 2019). 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.

Une dose de thé de vermicompost a été recommandées «thé pur», et deux modes de traitement ont été utilisées « application foliaire et absorption racinaire» sur des plants de haricot *Phaseolus vulgaris* L. infestés par le puceron noir de la fève *Aphis fabae* afin de tester leur efficacité sur les paramètres de croissance des plantes et sa toxicité sur l'abondance et les paramètres démographique de puceron.



Figure IV.7. Préparation du thé de lombricompost
A, b: Lombricompost, c,d: Thé de Lombricompost

IV.3.2. Dispositif expérimental et application des traitements

Les bio-essais ont été réalisés sous une serre semi-contrôlé en bloc aléatoire complet (bloc traité, bloc non traité). Le dispositif est composé de 60 unités expérimentales relatives aux traitements appliqués. Pour le bloc traité, nous avons utilisé le Thé de Lombricompost pur avec deux voies d'exposition, la voie foliaire et la voie racinaire. Tandis qu'au bloc témoin; une application foliaire et racinaire à l'eau courante a été appliquée. Les blocs expérimentaux sont distants de 30 cm les uns des autres.

L'apport des biofertilisants est renouvelé chaque 10 jour durant toute la période d'étude. Avant chaque apport des biofertilisants, trois plants sont mesurés de chaque bloc afin d'évaluer l'effet des biofertilisants sur le haricot et sur le puceron.

L'estimation de la toxicité des biomolécules sur les individus d'*A. fabae* a été évaluée chaque semaine durant toute la période de suivi. A partir des blocs obtenus, nous avons prélevés 5 feuilles sur trois plantes de chaque bloc pris au hasard. Les feuilles sont placées dans un sac en plastique portant toutes les informations nécessaires aux différents apports. Les stades biologiques d'Aphis *fabae* ont été identifiés sur la base des caractéristiques morphologiques externes à l'aide d'une loupe binoculaire au grossissement (8×10).

Afin d'estimer les paramètres démographiques, trois plantes prises au hasard chaque bloc, dont nous avons gardé une nymphe et un adulte par plante (Tahriri Adabi *et al.,* 2010 *in* Tchaker, 2018). Après traitement, la nymphe et l'adulte sur chaque plantes ont été vérifiés hebdomadairement et leur survie a été enregistrée au niveau des différents blocs expérimentaux. La présence des exuvies a été adoptée pour déterminer la période de la mue. Quant les nymphes se transforment en adultes, un suivi a été mené pour estimer la survie et la reproduction. Nous avons pris la précaution d'enlever toutes les larves néonates des feuilles après les avoir comptabilisées (Tahriri Adabi *et al.,* 2010 *in* Tchaker, 2018). Ces observations se sont maintenues jusqu'au 45 jour après application des traitements.

IV.3.3. Estimation des paramètres morphologiques des plants du haricot *Phaseolus vulgaris* L.

Les données relatives aux paramètres de croissance et de développement ont été collectées sur chaque plante du haricot.

- **Estimation de la croissance journalière des plantes du haricot,** la longueur de chaque plant a été mesurée chaque jour durant les Six semaines de l'étude au niveau des blocs expérimentaux (Safiddine, 2012).

- La croissance journalière est estimée par la formule suivante:

$$CJ=100*(Lf-Li)/Li/Tj$$

Où:

- Lf: longueur final;
- Li: longueur initial;
- Tj: tempe journalière d'expérience au cours de traitement

- Estimation de la longueur des tiges principales et des racines, nous avons suivi l'évolution de développement des tiges principales (tallage) et des racines.

- Les biomasses ou le poids frais des tiges et des racines exprimées en gramme a été effectuée à l'aide de la balance de précision.

- Le nombre des feuilles a été comptabilisé pour chaque plante pour chaque traitement.

- Les paramètres de fructification ont été déterminés par le temps mis du repiquage à la formation des premières fleurs (TRFPF) en jours.

IV.3.4. Evaluation de la dynamique populationnelle d'*Aphis fabae*

IV.3.4.1. Evaluation des Abondance

La technique de dénombrement effectuée sur les individus du puceron obtenus par le biais des blocs végétaux. Les différents stades biologiques (larves et adultes) ont été observés sous une loupe binoculaire.

IV.3.4.2. Evaluation des populations résiduelles

L'évaluation de la toxicité des extraits aqueux et de l'insecticide de synthèse a été réalisée par l'estimation des populations résiduelles (P.R.) selon le TEST de DUNNETT (Magali, 2009 *in* Tchaker, 2018).

$$\boldsymbol{PR = \frac{Nb\ de\ formes\ mobiles\ (NFM) par\ traitement\ X\ 100}{Nb\ de\ formes\ mobiles\ par\ témoin\ (eau)}}$$

Le Test estime la toxicité des matières active selon les valeurs des P.R. P.R. < 30% molécule toxique, 30% <P.R. < 60% molécule moyennement toxique et P.R.> 60% molécule faiblement toxique ou neutre.

IV.3.5. Estimation de la fécondité d'*Aphis fabae*

La fécondité est évalué par le rapport du nombre de larve au nombre d'adultes, selon la formule suivante (Tchaker, 2018):

$$\mathbf{F = \frac{NL}{NF}}$$

NL : nombre de larves
NF : nombre de femelles

IV.3.6. Estimation des paramètres démographiques d'*Aphis fabae*

Les paramètres démographiques tels que le Taux de reproduction net(R_0), le Taux d'accroissement (r_m), le Taux de multiplication (λ), le Temps de génération moyen (T) et le Temps de doublement (D_T) ont été calculés selon les formules standards Carey (1993 *in* Tchaker, 2018).

IV.4. Analyse statistique

L'analyse statistique a concerné l'évaluation de l'effet de biofertilisant à base du the de lombricompost sur les paramètres de croissance des plantes de fève *Phaseolus vulgaris* et ses retombées sur la fluctuation temporelle et les paramètres démographiques des populations de puceron noir de la fève *A. fabae.*

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. s

L'analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée, afin d'apercevoir l'assemblage variétale dans les relations entre les traitements apportés et l'expression végétative et la sévérité de puceron. Les analyses suscitées sont réalisées par le logiciel Past ver. 1,37.

La description statistique des tendances de la variation temporelle des différents paramètres (Croissance, abondance…..) sous l'effet des différents traitements ont été établies par une présentation en BoxPlot réalises par logiciel XLSTAT.

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. L'analyse de la variance type GLM a été adoptée pour déterminer les différences significatives ($p \leq 0,05$). L'analyse statistique des données a été effectuée à l'aide du logiciel SYSTAT vers. 12.

CHAPITRE V.
RESULTATS

CHAPITRE V.
RESULTATS

Les résultats relatifs à l'effet du Lombricompost sur l'état phytosanitaire et sur la croissance du haricot vert *Phaseolus vulgaris* sont présentés dans ce chapitre.

V.1. Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur les paramètres de croissance du haricot vert *Phaseolus vulgaris* L.

V.1.1. Evolution de l'effet du thé de lombricompost sur la croissance cumulative des plantes du *Phaseolus vulgaris* L.

La figure V.1. démontre la fluctuation temporelle de la croissance cumulative des plantes du haricot sous l'effet des traitements appliqués.

La variation temporelle de la croissance de *Phaseolus vulgaris* L. tend à une élevation remarquable pendant la période d'invastigation sous l'action des molécules apportées. Il est à signaler qu'a partir de la 1^{ière} sortie d'application on note une élévation continue 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). En revanche, chez le témoin la croissance cumulative des plantes reste moins important comparant aux traités (Figure V.1. a).

La présentation graphique en BoxPlot des données expérimentales est avancée dans le but d'évaluer la fluctuation de la croissance cumulative des plantes du haricot sous l'action des différentes modes d'application du lombricompost (Figure V.1.b). À partir des résultats du test ANOVA, nous observons que le facteur mode traitement enregistre un effet hautement significatif sur la croissance des plantes traités (Test ANOVA: p=0,001***; p<1‰) (Figure V.1.b).

Le rapprochement du taux de croissance sous l'effet de différentes applications étale que le lombricompost appliqué par absorbation racinaire, exerce une action fertilisante remarquable sur la croissance des plantes traitées (AR: Q1=13,3; Q2=18,13; Q3=25,33) s'il est comparé au lombricompost appliqué par voie foliaire, qui exerce un effet fertilisant moins important (AF: Q1=14,02; Q2=17,06; Q3=20).

Le test Post-Hoc, indique l'existence de 3 groupes homogènes proportionnels aux paliers d'activité fertilisante de lombricompost. Le premier palier est remarquable chez les plantes exposées à l'application racinaire, présentant le taux de croissance le plus fort, affiliées au groupe homogène (a) alors que le dernier palier est signalé chez le témoin,

présentant le taux de croissance le plus faible, associé au groupe homogène (b) (Figure V.1.B.).

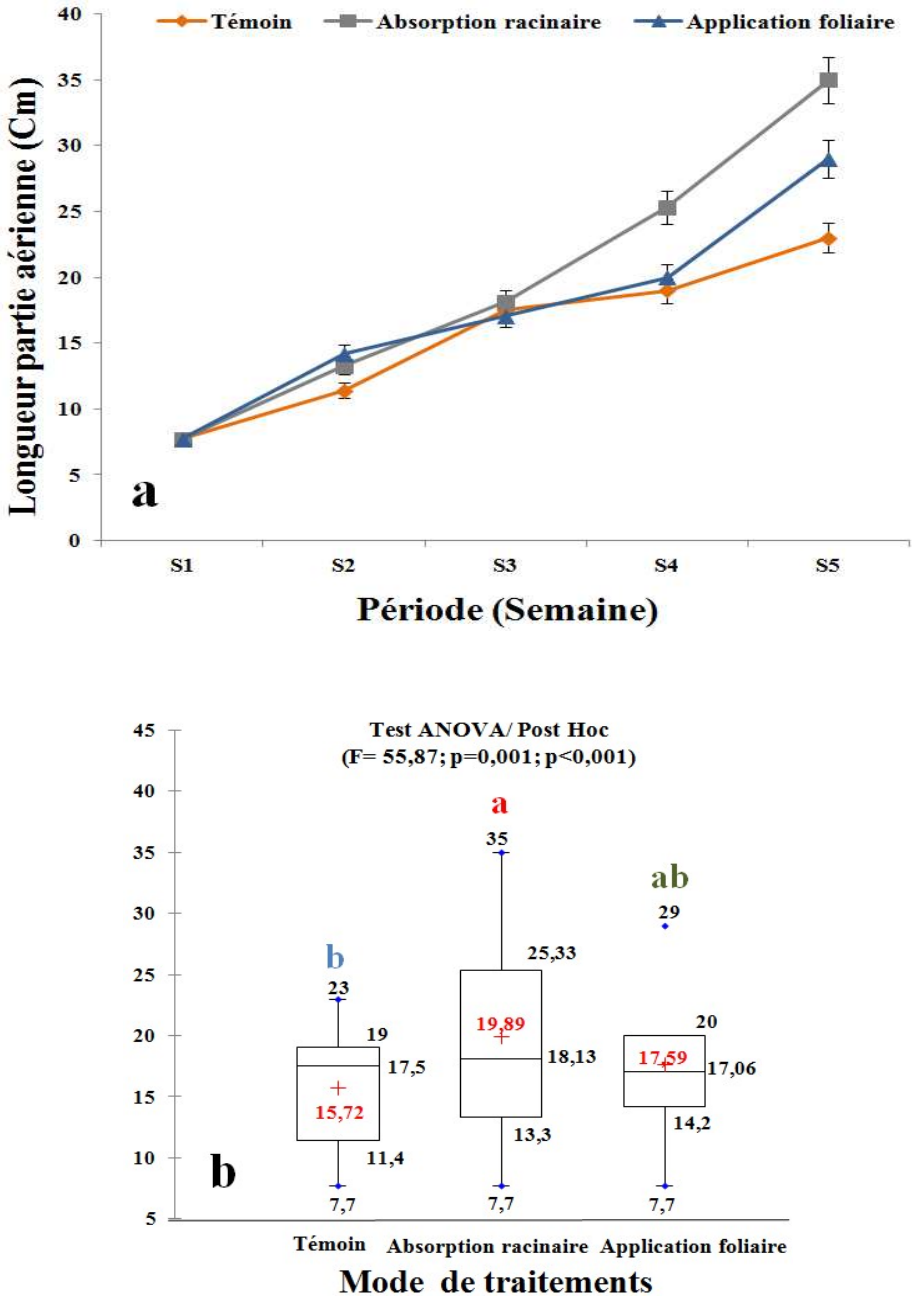


Figure V.1. Effet des modes de lombricompost sur la croissance des plants du haricot *Phaseolus vulgaris* L.

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

L'évolution temporelle de la croissance cumulative de *Phaseolus vulgaris* sous l'effet des différents traitements varie significativement durant la période d'investigation (Test G.L.M.: p=0,000***; p<0,001). Il est à noter que dés la première semaine de

traitement nous remarquons une augmentation importante de la croissance sous l'effet du lombricompost. Cet accroissement continue jusqu'à la fin de suivi (Figure V.2.a.).

Les dénivellations de la croissance enregistrés entre les différentes modes d'application sont en faveur en premier degrés au lombricompost appliqué par voie racinaire (Test G.L.M.: p=0,001***; p<0,001) (Figure V.2.b.).

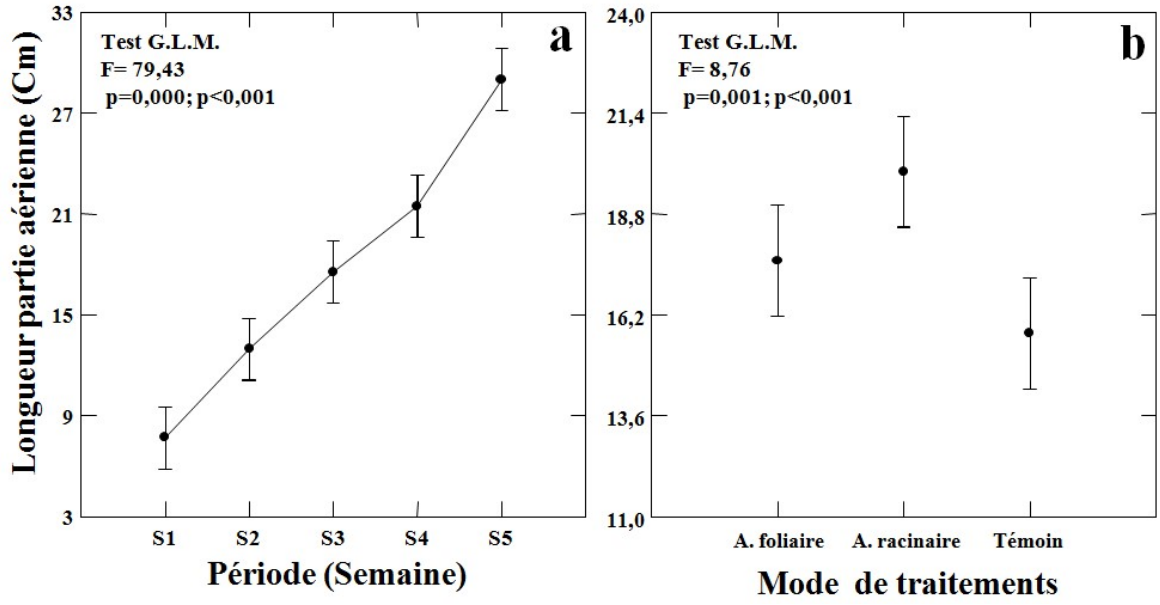


Figure V.2. Etude comparée de lombricompost sur la croissance cumulative du haricot
A.: application ; S.: Semaine.

V.1.2. Evolution de l'effet du thé de lombricompost sur la croissance racinaire du *Phaseolus vulgaris* L.

La figure V.3., montre l'effet du mode d'apport de lombricompost sur la croissance racinaire des plants de haricot *Phaseolus vulgaris*. Les analyses statistiques illustrent que le mode d'apport de lombricompost n'annonce aucune différence significative sur la croissance racinaire des plants de haricot (p= 0,079 ; p> 0,05).

Les résultats obtenus indiquent clairement la dissemblance de la croissance racinaire entre la phase qui précède et qui suit l'application de traitement. Les mêmes résultats démontrent que la croissance racinaire des plants traités par le lombricompost administré par voie racinaire est plus importante que celles des plants traités par le lombricompost appliqué par voie foliaire.

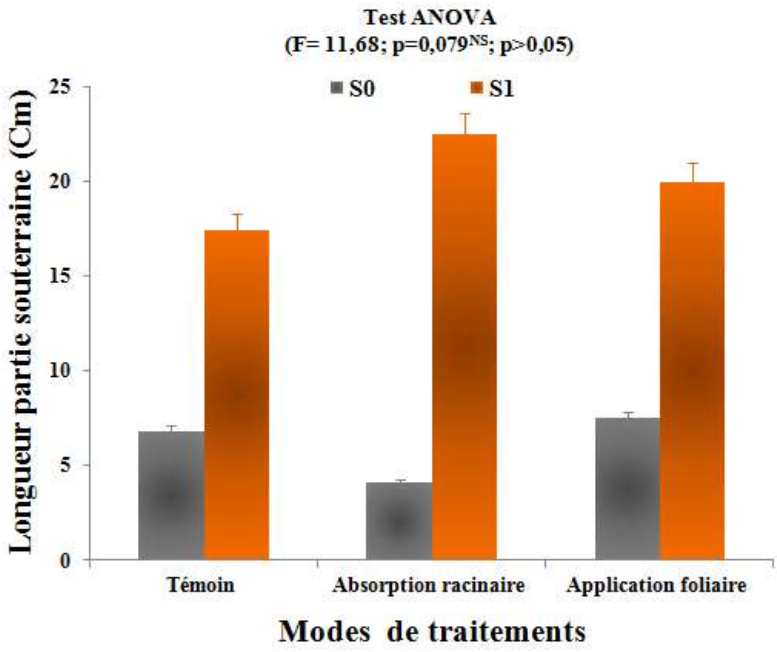


Figure V.3. Effet des modes des traitements sur la croissance racinaire des plants de haricot.

V.1.3. Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur nombre des tiges secondaires

Nous avons considéré le nombre des tiges secondaires comme paramètre possédant la capacité de montrer l'aptitude du lombricompost à stimuler la croissance du haricot.
Les résultats montrent que les fluctuations du nombre des tiges secondaire est plus important chez les plantes traités en comparaison au témoin. La lecture des résultats, montre qu'à partir de la 3ière sortie d'application on note une augmentation continue du nombre des tiges secondaires sous l'effet du lombricompost. Suite aux résultats, le nombre des tiges secondaires semble dépendre de l'apport du thé de lombricompost applique par voie racinaire (Figure V. 4).

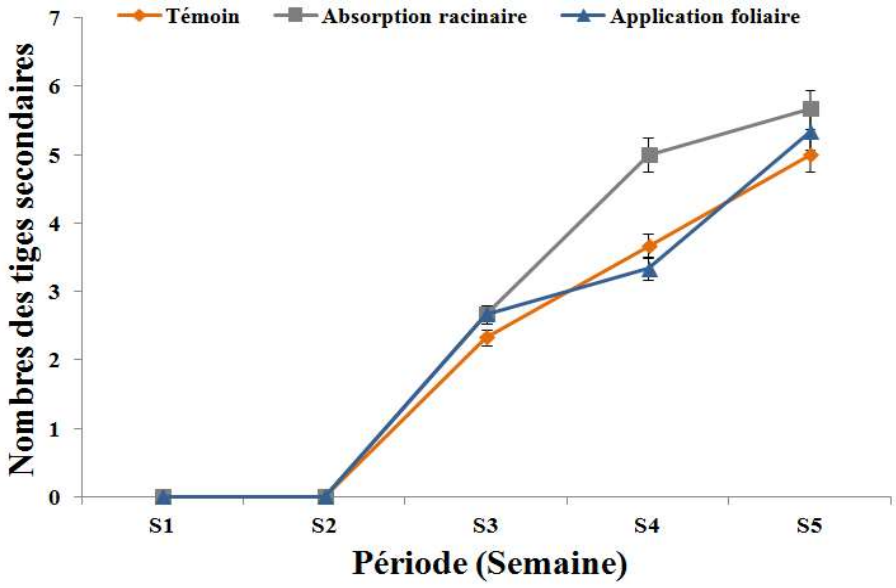


Figure V.4. Effet des modes de lombricompost sur le nombre des tiges secondaires du haricot

L'évolution temporelle du nombre des tiges secondaires de *Phaseolus vulgaris* sous l'effet des différents traitements varie significativement durant la période d'investigation (Test G.L.M.: p=0,000***; p<0,001) (Figure V. 5.a).

Le nombre des tiges secondaires enregistrés chez les plantes traitées par le thé de lombricompost dépassent significativement celles enregistrés chez le témoin (Test G.L.M.: p=0,04*; p<0,05). Les résultats, montrent l'existence d'une gradation positive sur le nombre des tiges secondaires suivant le gradient : témoin < thé de lombricompost appliqué par vois foliaire < thé de lombricompost appliqué par vois racinaire (Figure V. 5.b).

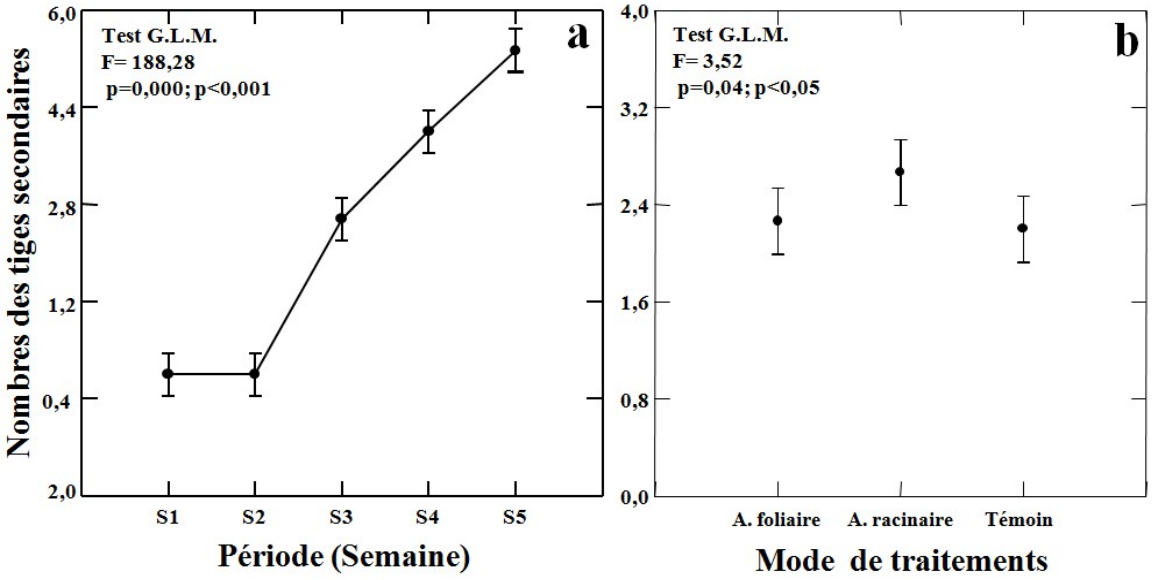


Figure V.5. Etude comparée des traitements sur le nombre des tiges secondaires du haricot
A.: application ; S.: Semaine.

V.1.4. Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur le nombre de fleurs

La fluctuation des traits de production du haricot a été étudiée sous l'effet des différents modes de traitement de lombricompost.

Les résultats montrent que les fluctuations du nombre fleurs est plus important chez les plantes traités en comparaison au témoin. Il est à noter qu'a partir de la 4^{ière} sortie de traitement on note une augmentation continue du nombre de fleurs sous l'effet du lombricompost. Suite aux résultats, le nombre de fleurs est sous la dépendance du thé de lombricompost appliqué par voie racinaire (Figure V. 4).

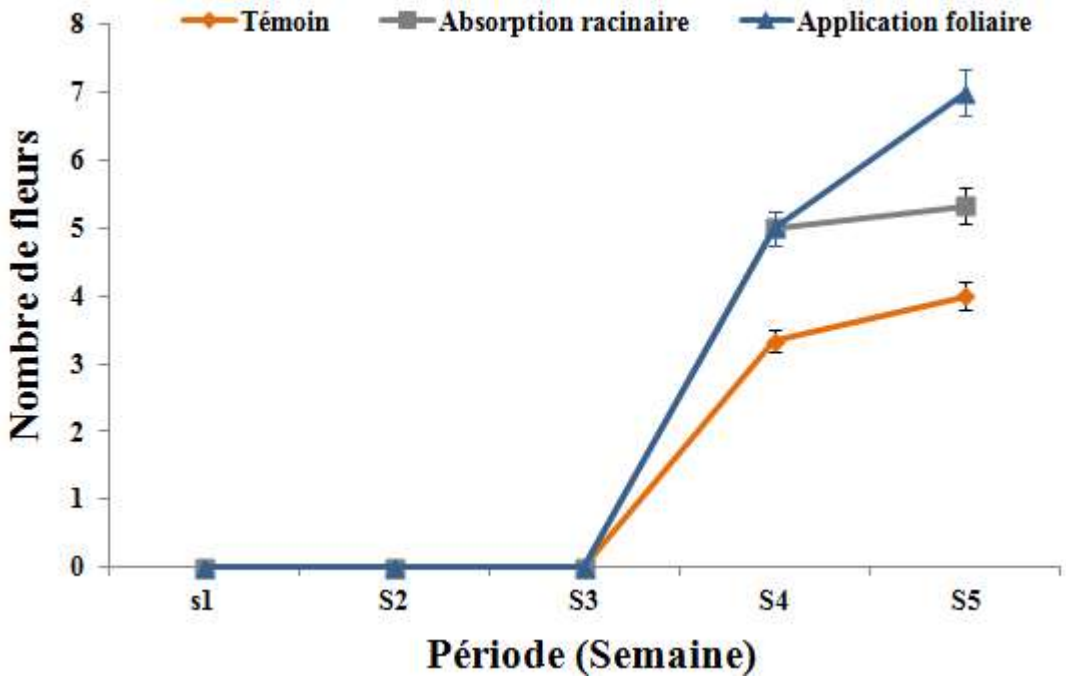


Figure V.6. Effet des modes de lombricompost sur le nombre de fleurs du haricot

L'évolution temporelle du nombre de fleurs de *Phaseolus vulgaris* sous l'effet des différents traitements varie significativement durant la période d'investigation (Test G.L.M.: p=0,000***; p<0,001) (Figure V. 7.a).

Les résultats, montrent que le thé de lombricompost améliore significativement l'induction florale par référence au témoin (Test G.L.M.: p=0,000***; p<0,001) (Figure V. 7.b). L'analyse, montre que le thé de lombricompost appliqué par voie racinaire affiche un effet stimulateur important sur le nombre de fleurs par rapport au thé de lombricompost appliqué par voie foliaire.

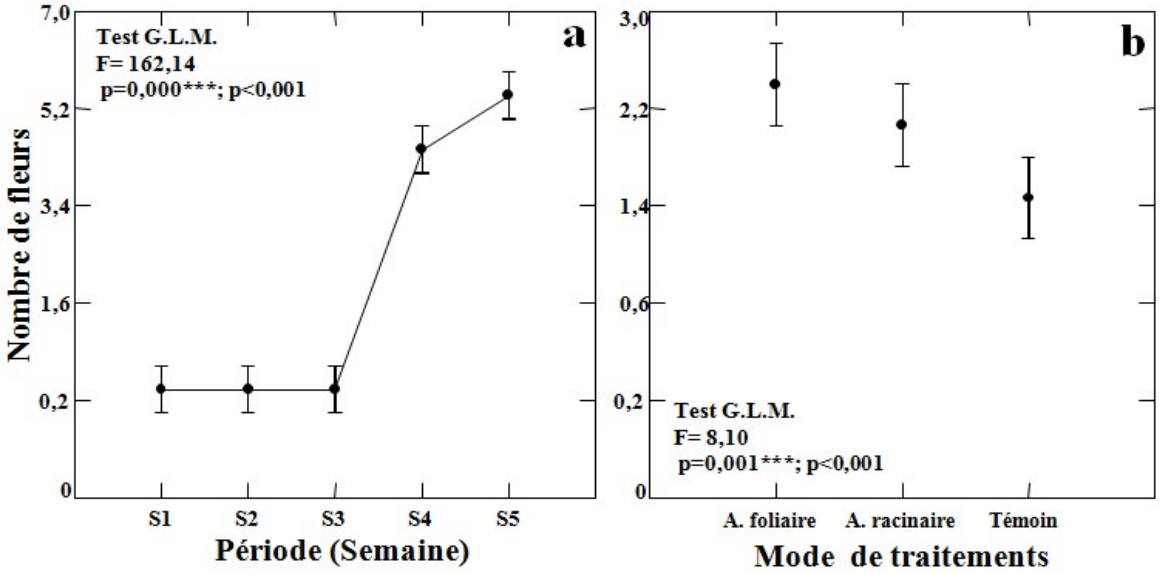


Figure V.7. Etude comparée des traitements sur le nombre de fleurs du haricot
A.: application ; S.: Semaine.

V.1.5. Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur le poids des plantes du haricot *Phaseolus vulgaris* L.

Nous avons considéré le poids de la partie aérienne et de la partie souterraine comme paramètres ayant la capacité de dévoiler l'aptitude de thé de lombricompost à stimuler la croissance des plants de haricot. La fluctuation de poids de la partie aérienne et souterraine du haricot a été étudiée sous l'effet des différents modes d'administration de lombricompost (Figure V.8.).

La lecture des résultats, fait apparaitre que la biomasse de la partie aérienne et de la partie souterraine avant l'application de lombricompost est très faible que celle après l'application de traitement (Figure V.8. a et b).

Les résultats montrent que les fluctuations de la biomasse aérienne et racinaire sont plus importantes chez les plantes traités comparant au témoin. Cependant le thé du lombricompost apporté par absorption racinaire manifeste un effet plus satisfaisant sur la biomasse aérienne racinaire que le lombricompost apporté par application foliaire (Figure V.8. a et b).

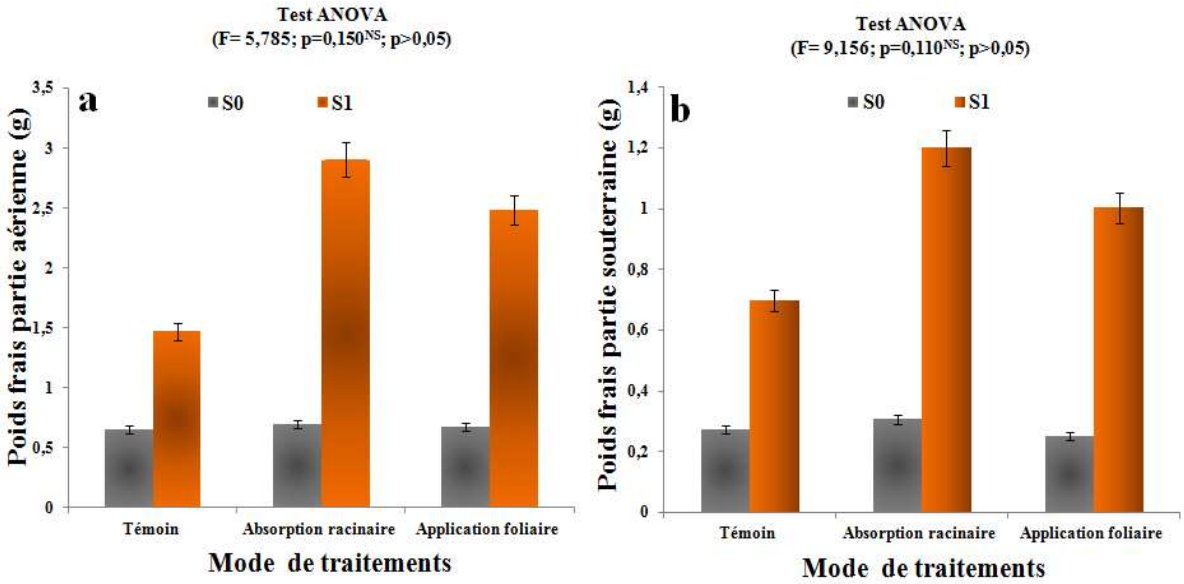


Figure V.8. Effet des modes des traitements sur le poids de la partie aérienne et souterraine des plants de haricot.
S0 : Début de suivi ; S1:Fin de suivi

V.2. Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur l'abondance du puceron noir de la fève *Aphis fabae*

La figure V.9.a. montre la fluctuation temporelle de l'abondance du puceron noir de la fève *Aphis fabae* sous l'effet des diffirentes molécules apportés. L'evaluation temporelle des populations traitées d'*Aphis fabae* tend à une diminution numérique assez marqué dés la deuxième semaine de suivi sous l'effet des traitements appliqués. Cette chutte d'abondance continue jusqu'à la fin de suivi.

À partir des analyses, nous observons que le facteur traitement enregistre un effet significatif sur l'abondance des populations traitées d'*A. fabae* (Test ANOVA: Test Post Hoc) (Figure V.9.b). 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 (Q_1=14,66, Q_2=20 Q_3=21,66: Groupe homogène **c**) < Absorption racinaire (Q_1=17,33, Q_2=27, Q_3=27,33: Groupe homogène **b**) (Figure V.9.b). D'une manière générale les abondances sont beaucoup plus faible comparées au témoin (Groupe homogène **a)**

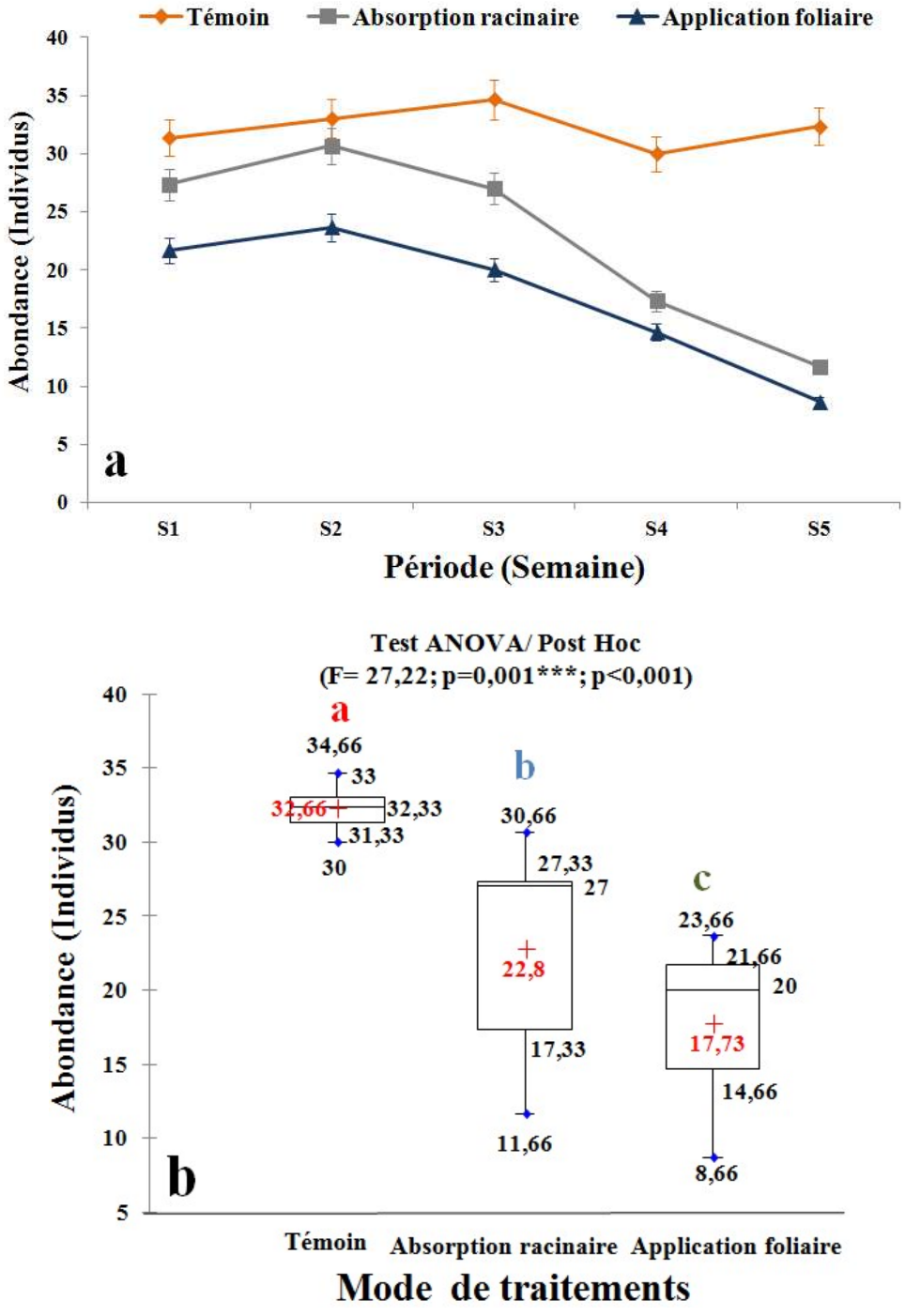


Figure V. 9. Evolution temporelle des abondances d'*Aphis fabae* sous l'effet du Thé de lombricompost

Nous avons appliqué le modèle général linéaire (G.L.M.), de manière à étudier l'influence de différents apports du lombricompost sur l'abondance des populations aphidiennes (Figure V.10.).

L'efficacité temporelle des traitements appliqués désigne une différence hautement significative (Test G.L.M.; p=0,000; p<1%) entre les abondances d'*A. fabae* durant la période d'investigation (Figure V.10.a).

Les dénivellations des abondances entre témoin et traité sont nettement significatives (Test G.L.M.; p=0,000***; p<0,001) (Figure V.10.b.). Les résultats montrent que la population la plus marquée est enregistrée chez le bloc témoin. Nous ajoutons aussi que l'application foliaire du lombricompost présente un effet contraignant aux abondances par rapport à l'absorption racinaire.

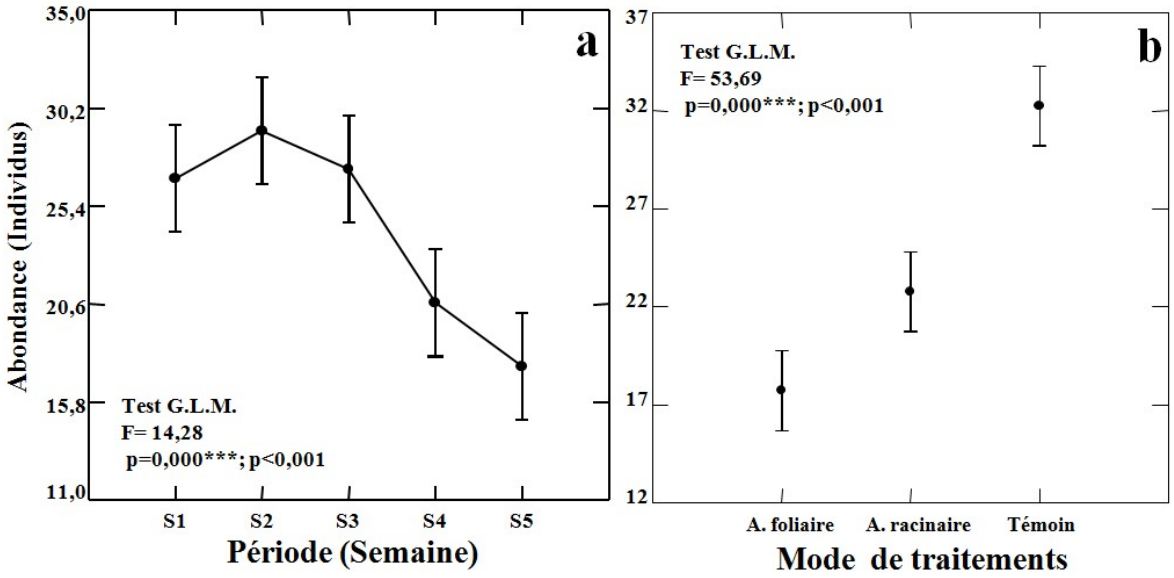


Figure V.10. Etude comparée de l'effet de lombricompost sur l'abondance d'*Aphis fabae*

CHAPITRE VI.
DISCUSSION GENERALE

CHAPITRE VI.
DISCUSSION GENERALE

Ces dernières années ont vu se développer, au sein du marché des intrants agricoles, divers produits et substances qui visent à améliorer le fonctionnement du sol, de la plante ou les interactions entre sol et plante. Il s'agit d'une catégorie très large de produits et substances qui apportent des solutions souvent innovantes dans le domaine de la fertilisation et de la protection des cultures. Ces solutions ont pour caractéristique commune de reposer sur un mode d'action passant par la stimulation de processus biologiques au niveau du sol ou de la plante. Ainsi, plutôt que d'agir « directement » sur un facteur externe affectant la production agricole (par exemple : attaque par un bioagresseur ou problème de disponibilité des éléments nutritifs), ces solutions permettent d'agir sur la capacité des systèmes biologiques à s'adapter (par exemple : stimulation des défenses naturelles de la plante ou meilleure absorption des nutriments, respectivement) (Faessel *et al.,* 2014; Benhammouda *et al.,* 202l).

Dans un contexte où les attentes sociétales sur la durabilité des systèmes agricoles, et les contraintes réglementaires et techniques sont de plus en plus fortes, les produits de stimulation suscitent un intérêt grandissant auprès des différents acteurs du monde agricole. Ainsi, la stimulation des défenses naturelles des plantes est vue comme une option pour aller vers la réduction de l'utilisation de produits phytopharmaceutiques traditionnels et les biostimulants sont quant à eux un moyen pour aller vers une fertilisation raisonnée, limitant les apports en engrais minéraux (Faessel *et al.,* 2014; Benhammouda *et al.,* 202l). Donc, 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 thé de lombricompost sur le puceron noir d'*Aphis fabae* Scopoli, 1763 (Hemiptera / Aphididae) et d'estimer son incidence sur la croissance des plantes du haricot vert *Phaseolus vulgaris L*., 1753.

VI.1. Effet du thé de lombricompost sur l'expression végétative des plantes du haricot vert *Phaseolus vulgaris* L., 1753.

Les résultats montrent que l'apport des biofertilisants a base du thé de lombricompost ont un effet satisfaisant sur les tous les paramètres de croissance des plantes du haricot vert. Les mêmes résultats expriment un effet stimulateur favorisant de lombricompost apport par

absorption racinaire sur les paramètres croissances par comparaison aux biofertilisants apportés par application foliaire.

En se référant aux résultats nous supposons que l'effet stimulateur des paramètres de croissance du haricot est dû principalement à la nature et a la richesse du lombricompost en divers molécules nutritives tel que l'azote, le potassium, le phosphore et le calcium. Cette hypothèse rejoindre plusieurs études qui ont touchées de plus près l'effet de lombricompost sur les paramètres physio-morphologiques des plantes (Chaichi *et al.,* 2018; Guermache *et al.,* 2018; Safiddine, 2019; Ali kacem *et al.,* 2020). Ces auteurs ont attribué cet effet à la richesse et a la capacité de lombricompost a libérer rapidement des éléments nutritifs dans le sol pour les cultures ceux qui contribué à l'amélioration de la croissance (Hien *et al.,* 2018; Safiddine *et al.,* 2019).

D'après Chaichi *et al.,* (2018), 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. Par ailleurs, Les biofertilisants à base du vermicompost sont riches en azote et en hormones, ce qui leurs permis de stimuler la multiplication du parenchyme et qui conduit à une augmentation de la phytomasse des plantes (Guermache *et al.,* 2018). 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. Safiddine *et al.,* (2019), disent que l'augmentation de la croissance des plants sous l'effet du vermicompost serait en relation avec son richesse en substances régulatrices de la croissance tels que les auxines, les gibbérellines, les cytokinines d'origine microbienne. Selon Edwards, (2004 *in* Benhammouda *et al.,* 2021), les lombricomposts sont des matières organiques finement divisées et entièrement stabilisées qui favorisent une grande activité microbienne, supportant un grand nombre et une grande activité microbienne. Ces divers composés font du vermicompost un biofertilisant qui augmente aussi bien la germination, la croissance, la floraison et la fructification de nombreuses cultures. Autrement, les lombricomposts augmentent la germination des plantes, la croissance, la floraison et la fructification d'un large éventail de cultures grâce aux effets hormonaux, indépendamment des nutriments (Benazzouk et *al.*, 2019 *in* Benhammouda *et al.,* 2021).

Les biofertilisants produisent des hormones et des anti-métabolites qui favorisent la croissance des racines et fixent l'azote atmosphérique dans le sol et dans les nodosités des racines des cultures légumineuses (Guermache *et al.,* 2018).

Les résultats montrent que l'absorption racinaire des biofertilisants a un effet satisfaisant sur la croissance du haricot 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.2. Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur l'abondance du puceron noir de la fève *Aphis fabae*

A partir des résultats obtenu sur la fluctuation des abondances d'*A. fabae* il apparaît clairement une diminution importante d'abondance sous l'effet du thé de lombricompost par rapport au témoin. De ce fait on suppose que le biofertilisant apporté a stimulé les défenses naturelles de la plante et cette dernière a réagi par un effet répressif sur les populations de puceron noir. 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. Ainsi, l'utilisation judicieuse d'éliciteurs pourrait permettre de diminuer la quantité de pesticide nécessaire pour protéger une culture (Tchaker et *al*., 2015; Chaichi et Djazouli, 2017; Safiddine *et al.,* 2019).

Le vermicompost est un produit issu de la dégradation des déchets organiques par des interactions entre les vers de terres anéciques et les microorganismes dans un processus mésophile qui aboutira à la formation d'un biomatériau entièrement stable dans son application à faibles doses sur des cultures en plein champ ou sous abri serre a provoqué une augmentation de la croissance des cultures de façon spectaculaire et significativement indépendantes de l'approvisionnement en éléments nutritifs. Les vermicomposts ont également été supposés réduire les populations d'arthropodes comme les pucerons, et d'atténuer les dommages engendrés par les agents pathogènes d'après Chaichi et Djazouli (2017). De nombreux auteurs ont confirmé la capacité du vermicompost dans la régulation et la réduction de plusieurs ravageurs. Selon Ducasse (2015 *in* Safiddine *et al.,* 2019), les teneurs élevées en microorganismes de vermicompost protègent les plantes en concurrençant les organismes pathogènes sur le plan des ressources. Pathma et Sakthivel (2014), disent que, l'existence de microbes désirables dans le lombricompost, comme les champignons, les bactéries et les actinomycètes, peut favoriser la croissance des plantes en libérant des enzymes et des hormones qui stimulent la croissance des plantes et suppriment ainsi indirectement les ravageurs et les maladies des plantes.

Les résultats montrent que l'application foliaire des biofertilisants a un effet satisfaisant sur l'abondance du puceron noir par rapport à l'absorption racinaire. Des études antérieures 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 d'haricot a conduit une forte diminution des densités des formes biologiques du puceron noir, 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).

CONCLUSION

CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce travail consacré principalement à évaluer l'effet du thé de lombricompost sur les paramètres de croissances du haricot vert *Phaseolus vulgaris L.*, 1753 et sur la structuration populationnelles *d'Aphis fabae* Scopoli, 1763 (Hemiptera / Aphididae) il nous a paru intéressant de dégager les primordiaux résultats auxquels nous avons aboutis.

Les résultats relatifs aux paramètres de croissance des plants de haricot vert *Phaseolus vulgaris* montrent que l'apport du thé de lombricompost sous leurs différents modes a un effet satisfaisant sur les paramètres de croissance (Croissances cumulative aérienne, croissance racinaire, biomasse aérienne, biomasse racinaire, nombre des tiges secondaire et nombre des fleurs) et permettent de mettre en évidence l'effet bio-stimulant du thé de lombricompost. Cependant, le thé de lombricompost apport par l'absorption racinaire a étalé un effet favorable dans l'expression végétative des plants du haricot vert *Phaseolus vulgaris* par rapport à au thé de lombricompost apport par l'application foliaire.

Les résultats montrent que le thé de lombricompost provoque une réduction considérable sur l'abondance d'*Aphis fabae* en comparaison avec le témoin. Par ailleurs, le thé de lombricompost apport par l'application foliaire a montré un effet satisfaisant dans la régulation des infestations du puceron par rapport au thé de lombricompost apport par l'absorption racinaire.

En perspective, il serait intéressant:

- Instaurer un programme d'apport de fertilisants sur la base des connaissances accumulées via cette approche.

- utilisation du biofertilisant sous sa version formulée dans un programme de lutte intégrée.

- Le recours à une évaluation de certains paramètres physiologiques nous permet de bien connaitre le mode et les conditions d'applications des différentes molécules.

LISTE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

Liste des références bibliographique

1. **Abdelkader F., et Ouadah A.,2016** . Etude de l'activité insecticide des extraits hydro-alcoliques de Ricinus communis L. et Sapindus saponaria L. sur le puceron noir de la fève (Aphis fabae). Mémoire Master , Université Abd El Hamid Ibn Badis Mostaghanem ,57p.
2. **Abedjalil H., et Abboudi A.,2015.** Etude De l'effet de l'extrait méthanoïque de Salvia officinalis .L, sur le pucerons noir de la fève « in vitro » et « in vivo ». . Mémoire Master , Université Abd El Hamid Ibn Badis Mostaghanem,34p.
3. **Adam C., Beaugelin-Seiller K., 2001.** Manganèse 54 et environnement. Fiche Radionucléide. Direction de l'environnement et de l'intervention - Service d'étude du comportement des radionucléides dans les écosystèmes, 20p.
4. **Aggoun S., et Akliouat F 2018.** Activité insecticide de l'huile essentielle de Romarin (Rosmarinus officinalis L.) sur la bruche du haricot Acanthoscelides obtectus Say (Coleoptera : Chrysomelidae), mémoire master . Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou,95p.
5. **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/.
6. **Aleena M.,2020.** Monoculture ou polyculture de *B. napus* et S. *nigra* 'S05' pour la phytoremédiation d'un sol contaminé par du cuivre. Université de Montréal,29p.
7. **Alikacem S., Benabderrahmane M.A., Guedoui S.,2021.** stimulateurs de defense naturelles des plantes comme une alternative durable aux produits phytosanitaires conventionnels: cas du lombricompost.Mémoire de master, Universite dr. Yahia Fares de Medea,95p.
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.
9. **Arab H., et feddi I.,2018 .**Etude de l'effet biocide de quatre extraits vegetaux : l'origan (Origanum vulgare) , le thym (Thymus Numidicus) , le romaris (Rosmarinus officinalis) et la lavande (Lavandula stoechas) a l'égard du puceron noir de la fève Aphis fabae Scopoli,1763(Homoptera : Aphididae). Mémoire Master, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou ,50p.
10. **Assemien E.A.,2018.** Impact de pratiques agricoles conventionnelles et innovantes sur la fertilité des sols et les acteurs microbiens impliqués dans la zone de savanes humides de Côte d'Ivoire. These de Doctorat,

Universités Claude Bernard de Lyon 1 et Nangui Abrogoua,205p. . ffNNT : 2018LYSE1103ff. fftel-01896147.

11. **Atiyeh R.M., Dominguez J., Subler S. et Edwards CA.,2000.** Changements dans les propriétés biochimiques du fumier de vache lors du traitement par les vers de terre (Eisenia andrei, Bouché) et effets sur la croissance des plantules. Pedobiologia, 44 : 709–724p.
12. **Ayache R., et AitAmer M.,2020.** Contribution a l'etude des pucerons des agrumes dans la région de l'Akhdaria. Mémoire Master , Université Akli Mohand Oulhajd Bouira ,54p.
13. **Bachelier G., 1978.** La faune des sols, son écologie et son action. IDT n° 38, ORSTOM, Paris, 391p.
14. **Bado B. V., 2002**. Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrigineux tropicaux des zones Guinéennes et soudaniennes du Burkina Faso. Thèse de Philosophiae Docteur (Ph. D). Université Laval, Québec.,197p.
15. **Barker A.V.,et Pilbeam D. J., 2007.** Handbook of plant nutrition. Ed. CRC Taylor & Francis Group, London, 631p.
16. **Baset M**.,**2015**.Nutrition of Crop Plants, ISBN1634828038,9781634828031, 187p.
17. **Bassou S.,2019 .** effet du stress salin sur la germination de trois variété d'haricot(*Phseolus vulgaris* L .) . Mémoire Master , Université Mohamed Kheider Biskra,43p.
18. **Bayou B.,2019.** Contribution a l'étude qualitative de la faune aphidienne sur tomate et poivron (solanacées) sous abri serre dans la région de M'ziraa . Mémoire Master , Université Mohamed Kheider Biskra ,49p.
19. **Béatrice P., 2018.** Impact de la nutrition azotée sur l'activité microbienne du milieu de culture et sur la qualité de la tomate et du concombre biologiques de serre. Maîtrise en biologie végétale - avec mémoire, Québec, Canada,87p.
20. **Belaadi M.,2014.** Etude de l'effet de la slinité sur la germination et la croissance de quelques variétés d'Haricot (*Phseolus vulgaris* L .) . Mémoire Master , Université 8 Mai 1945 Guelma,40p.
21. **Benchamma H., et Bouacha R.,2020 .** ecophysiologie de la réponse des plantes du Haricot (*Phseolus vulgaris* L .) variété contender au stress salin. Mémoire Master , Université de Blida 1,50p.
22. **Benhammouda B., et Bounouar A.,et Mohammedi R.,et Djazouli Z-E.,2021.** influence de la nutrition organique sur le statut phytosanitaire de *citrus sinensis* thomson. évaluation de l'installation primaire des espèces folivores et variation phytochimique, Laboratoire de Biotechnologie des Productions Végétales, Département de Biotechnologie et Agro-Écologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Blida 1, B.P.270, route de Soumaa, Blida, Algérie,2776p.

www.agrobiologia.net,ISSN (Print): 2170-1652e-ISSN (Online): 2507-7627.

23. **Benhamou N.,et Rey P.,2012.** Stimulateurs des défenses naturelles des

plantes : une nouvelle stratégie phytosanitaire dans un contexte d'écoproduction durable. I. Principes de la résistance induite. *Phytoprotection*, *92*(1),1–23. https://doi.org/10.7202/1012399ar

24. **Benzait H.,2013.** Effet des extraits aqueux des feuilles de Pergularia tomentosa L. et Peganum Harmala L. sur le puceron noir de la fève (Aphis fabae Scopoli) (1763), Mémoire Master, Université de Ghardaia ,55p.
25. **Berrichi D., et Negaza R , 2019.** Etude du comportement de six variétés d'haricot vert (Phaseolus vulgaris L) sous serre et avec deux systèmes de conduit : conventionnelle et Agro-écologique.memoire master , Université Ahmed Draïa Adrar ,50p.
26. **Bidon Y., 1993.** Influence des sucres solubles et de l'azote sur la croissance, le développement et l'utilisation de la nourriture par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* (Clem.)). Thèse de Maîtrises en Science. Université de Québec, Canada, 63 p.
27. **Bonvalet A., 1981**. L'analyse minérale des plantes oléagineuses à l'I.R.H.O. Oléagineux, Vol. 36, n° 2, 92p.
28. **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.
29. **Boukhellout S.,2009.** Influence de la salinité sur le métabolisme azoté de l'haricot (*Phseolus vulgaris* L .) . Université D'Oran Es-senia ,64p.
30. **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.
31. **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.
32. **Chaichi W.,et Djazouli Z., et Zebib B., et Merah O.,2018**. Effect of Vermicompost Tea on Faba Bean Growth and Yield. Compost Science & Utilization.UCSU#1528908. VOL 0.ISS 0
33. **Chaichi W.,et Djazouli Z.,et Djemai I .,et Abdelkader S.,et Ribera I.,et Nancé J.,2017**. Stimulation des défenses naturelles par l'application d'un Lombricompost. Effet sur les paramètres populationnels d'Aphis fabae scop. (Homoptera: Aphididae) et la qualité Phytochimique de la fève. Lebanese Science Journal, 18(1): 97p.
34. **Chaichi W.,et Djazouli Z-E.,2017.** impact du thé de vermicompost sur la qualité phytochimique de la fève et sur la réduction des populations du puceron noir de la fève *aphis fabae,* Université de Blida1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département des Biotechnologies, B.P. 270, route de Soumâa, Blida 09000-. Algérie,262p.

www.agrobiologia.net,issn (print): 2170-1652 e-issn (online): 2507-7627

35. **Chaux C.L., et Foury C.L., 1994.** Production légumière, tome III, légumineuses potagères, légumes fruits. Edition Lavoisier, Paris,854p.
36. **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.
37. **Chekkal K., et Derradji S,2015.**Evaluation de l'effet insecticide de deux huiles essentielles formulees (thymus vulgaris et eucalyptus globulus) en combinaison avec un bioadjuvant silena juscata) sur Aphis fabae (homoptera : aphididae)sur haricot en comparaison avec un produit chimique. université mohamed el bachir el ibrahimi b.b.a, 68p.
38. **Chibani H. R.,2017.** Sélection et caractérisation des bactéries solubilisant le phosphate isolées du sol salin dans l'ouest Algérien: effet sur la promotion de la croissance du blé (Triticum sp.), Doctoral dissertation, Université de Mostaganem-Abdelhamid Ibn Badis.169p.
39. **Claude Godin, M.Sc., et Guy Boivin, Ph. D., 2022.**Guide d'identification des pucerons dans les cultures maraîchères au Québec. Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2000, 31p.
40. **Colle C, Mauger S, Massiani C, Kashparov V et Grasset G.,2001**. Behaviour of chlorine 36 in cultivated terrestrial ecosystems. Actes du congrès ECORAD, 3-7 sept 2001, Aix en Provence, France Radioprotection-colloques, 37,C1: 49-496p.
41. **Cornillon P.,2020**. Le magnesium et les cultures maraicheres. Le magnesium en agriculture, INRA Editions, 1992, 2-7380-0404-0. ffhal-02847207 , 148p.
42. **Coughtrey PJ, Jackson D et Thorne MC.,1983**.Radionuclide distribution and transport in terrestrial and aquatic ecoystems, Vol 3.Rotterdam, 77-101p.
43. **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.
44. **Elalaoui A C., 2007.** Fertilisation Minérale des cultures. Les éléments fertilisant majeurs (Azote, Potassium, Phosphore). Transfert de technologie en agriculture. Sommaire N°155. 4p
45. **Estevez B. A., N'dayegamiye A., Coderre D., 1996**. The effect of earthworm abundance and selected soil properties after 14 years of solid cattle manure and NPKMg fertilizer application. Can. J. Soil Sci,355p.
46. **Faessel L., Gomy C., Nassr N., Tostivint C., Hipper C. et Dechanteloup A., 2014.** Produits de stimulation en agriculture visant à améliorer les fonctionnalités biologiques des sols et des plantes – Étude des connaissances disponibles et recommandations stratégiques. Rapport Bio By Deloitte, 152 p.

47. **Fao., 2005.** Notions de nutrition des plantes et de fertilisation des sols. Utilisation des Intrants agricoles par les Organisations de Producteurs. 25P.
48. **Fetnassi O.,2015.** Etude de l'effet de salinité sur la germination et la croissance de quelques variété du Haricot (*Phseolus vulgaris* L .) . Mémoire Master , Université 8 Mai 1945 Guelma,41p.
49. **Francis, Frédéric & Haubruge, Eric & P, Tat & L, Van & Lebailly, Philippe & Gaspar, C. (2003).** Technique de lombriculture au Sud Vietnam. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement. 7.
50. **Frossard E et Julien P., Neyroud J.A., Sinaj S.,2004.** Le phosphore dans les sols. État de la situation en Suisse. Cahier de l'environnement nº 368. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne,180 p.
51. **Fruchart S., 2016.** Essais de l'efficacité de différents biofertilisants sur orge de printemps (Hordeum vulgare) et prairie naturelle. 55p. http://creativecommons.org/licences/by-nc-nd/2.0/fr/
52. **Fun-mooc, 2011**. Cycle biologique d'*Aphis fabae* (Aphidinae, Aphidini). **https://lms.funmooc.fr/c4x/supagro/120001/asset/cycle_biologique_Aphis_fabae.pdf**
53. **Ghetai k.A., et Seghir B.K ,2021**. Legumineuses alimentaires en algerie : etats des lieux et perspectives d'amelioration. Mémoire de master. Université mohamed Boudiaf Msila,38p.
54. **Gilloly M, Bothwell T.H, Torrance J.D, MacPhail A.P, Derman D.P, Bezwoda W.R, Mills W, Charlton R.W, Mayet F., 1983**. The effects of organic acids, phytates and polyphenols on the absorption of iron from vegetables. British Journal of Nutrition **49**,331-342p.
55. **Giroux M., N'dayegamiye A., Nyiranneza J., Sarr J-B., 2009**. Effets des épandages d'engrais minéraux et organiques sur l'évolution des propriétés physiques et de la teneur en matière organique des sols sous cultures commerciales ; observatoire de la qualité des sols du Québec site de Saint Lambert de Lauzon, Cahier N° 8, 28 p.
56. **Grappelli A., Galli E. et Tomati U.,1987**. Effet de ver de terre sur la fructification d'Agaricus bisporus. Agrochimica, 2: 462p.
57. **Grusak, M. A., Pearson, J. N., & Marentes, E.,1999**. The physiology of micronutrient homeostasis in field crops. *Field Crops Research*, *60*(1),56p.
58. **Guermache .L.,et Kobbi S ., et Aroun M.E.F., Merah O.et Djazouli Z., 2018**. Évaluation des changements induits par différents types de vermicompost sur les traits morphophysiologique et biochimique du haricot vert. Revue Agrobiologia, 8(2): 1084p.
59. **Guesmi-Jouini J.,et Boughalleb-M'hamedi N et Ben Halima Kamel M.,2011.** Etude préliminaire sur les champignons entomopathogene des pucerons de l'artichaut en Tunisie . Université de Sousse Tunisie . Entomologie faunistique 2011(2010) 63(3),181p.
60. **Guignard J.L., 1998.** Botanique, Ed. Masson, 159p.

61. **Hamdani D .,2012 .** Actions des poudres et des huilles de quelques plantes aromatique sur les parametres biologique de la bruche du Haricot *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera , Bruchdae) . Mémoire Magister, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou ,96p.

62. **Hamdani F.,2020.** Nutrition minérale et maladies physiologiques des plantes, Hassiba Benbouali University of Chlef, ISBN: 978-9931-800-19-4, 79p

63. **Hamza S., 2016.** Effet combiné de la bentonite et de la salinite sur les propriétés biochimiques, minérales et hydriques chez l'haricot « Phaseolus vulgaris.L . mémoire de magister en biologie ,Université Abdelhamid IBN BADIS- Mostaganem, 33p.

64. **Hand P., Hayes WA., Frankland JC., Satchell JE. (1988).** The vermicomposting of cow slurry. Pedobiologica 31.

65. **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.

66. **Hassan H S A., Sarrwy S M A., Mostafa E A M., 2010 -** Effect of foliar spraying with liquid organic fertilizer, some micronutrients, and gibberellins on leaf mineral content, fruit set, yield, and fruit quality of "Hollywood" plum trees. Agriculture and biology journal of North America. ISSN print: 2151-7517, ISSN online: 2151 7525. dokki, giza, egypt.

67. **Heller R., Esnault R., et Lance C., 2011**.Physiologie Végétale:1. Nutrition, 6ème édition, DUNOD, France, 323p.

68. **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

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

70. **Hulle M., Turpeau-Aitighil É., Robert Y. et Monnet Y., 1999**. Les pucerons des plantes maraîchères. Cycles biologiques et activités de vol. Ed. ACTA, INRA, Paris, 136p.

71. **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. Thése de Doctorat , Université Paris Est,251p.

72. **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.

73. **Jollez P-A.,2008.** effet de la nutrition minérale azotée sur le gain en biomasse de l'if du canada et sur le contenu en taxanes , Mémoire de l'Université Laval, Québec ,98 p.

74. **Kali A.G ., et Potasse S.A., 2004.** Les symptômes de carence en éléments

nutritifs. Edit Murtenstrasse 116, France, 33P.

75. **Kali A.G et Potasse S.A., 2002.**Les éléments nutritifs, les symptômes de carence, les remèdes. Murtenstrasse 116 ,45p.
76. **Kauffmann S., Dorey S. et Fritig B., 2001.** Les stratégies de défense. Pour la Science, p. 116–121
77. **Kemiha S., Bounit D.,2008.** ffetde la salinité sur, la nutrition minerale des vegetaux.Mémoire de fin d'étude, Uiversité de Jijel, 90p.
78. **Kheloul L.,2014.** Inventaire qualitatif et quantitatif des pucerons inféodés a la culture de la feve. Dynamique des populations de certains especes caracteristique dans deux parcelles de feve Vicia faba minor et Vicia faba major dans la région Tizi-Rached (Tizi-Ouzou). Mémoire Magister , Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou,122p.
79. **Lamrani Z., 2010.** Nutrition minérale et azoté. Physiologie végétales, nutrition minérale. Ecole normal supérieure., 49P.
80. **Lee KE. (1983).** Earthworm ecology in tropical and arid soils. In Satchell JE. (Ed). Earthworm ecology, from Darwin to vermiculture. London: Chapman & Hall,
81. **Lenoir T.,2011**. Mécanismes de rétention du cuivre dans les sols : évaluation statistique des approches macroscopiques et spectroscopiques. Sciences de la Terre. Université de Grenoble,. Français. ffNNT : 2011GRENU028ff,265p.
82. **Leustek T., et Saito K.,1999**. Sulfate transport and assimilation in plants. *Plant Physiology* **,**644p.
83. **Licinio A.,2017**. Phyto-extraction du zinc et de l'arsenic par différentes espèces de plantes. Université de Montréal,69p.
84. **Louis D.C.,2018.** évaluation de l'activité fixatrice d'azote de nodosités de pois protéagineux par imagerie hyperspectrale proche infrarouge.Mémoire de master ,83p. http://hdl.handle.net/2268.2/5172.
85. **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. 133-142p.
86. **Malavolta E.,2006.** Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba : Potafós 1997,638p.
87. **Mansouri L. , 2021.** Etude des effets des facteurs abiotiques sur la nodulation chez le haricot (Phaseolus vulgaris L.).Université Mustapaha Ben Boulaid / Batna 2,142p.
88. **Marschner H.,1995**. Mineral nutrition of higher plants. second edition. Academic Press, London, 889 p
89. **Martin P.,1978**. role des éléments minéraux chez les végétaux, juil.-août 1978, vol. 33, n° 7-8,529 p.
90. **Mary V.,2015.** Caractérisation de mutants d'*Arabidopsis thaliana* affectés dans le stockage du fer dans leurs graines. Thèse de Doctorat, Université Paris-Sud,29 p.

91. **Masciandaro G., Ceccanti B. et Gracia C.,1997.** Gestion agro-écologique des sols: traitements de fertigation et de vermicompost. Bioresour Technol., 59 : 206p.

92. **Mohanty D., Adhikary S. P., and Chattopadhyay G. N., 2013.** Seaweed liquid fertilizer (slf) and its role in agriculture productivity. International quarterly journal of environmental sciences. The Ecoscan: Special issue, vol III: 155p.

93. **Morot-Gaudry J-F., 2013.** Mineral nutriton of plants: molecular aspects. *Académie d'agriculture de France*, 25 p. https://www.researchgate.net/publication/299367663.

94. **Morot-Gaudry J-F., 2016.** Mineral nutriton of plants: molecular aspects. *Académie d'agriculture de France*, 25 p. https://www.researchgate.net/publication/299367663.

95. **Mostefaoui R.,2007.** effet d'un anti-stress : le fertiactyl en agriculture sous condition saline. Memoire de Magister, Universite Saad Dahlab de Blida,118p.

96. **Muscolo A., Bovalo F., Gionfriddo F. et Nardi S.,1999.** La matière humique de ver de terre produit un effet semblable à celui de l'auxine sur la croissance cellulaire et le métabolisme du nitrate de Daucus carota. Sol Biol. Biochem., 31 : 1311p.

97. **N'dayegamiye A., Cote D., 1996**. Effet d'application à long terme de fumier de bovins, de lisier de porc et de l'engrais minéral sur la teneur en matière organique et la structure du sol. Agrosol 9 (1),45p.

98. **Pacha S.,2016.** Utilisation de Racine de pyrèthre comme produit insecticide . Mémoire Master , Université AbdEl Hamid Ibn Badis Mostaghanem,40p.

99. **Pratx L.,2017**. Identification de marques épigénétiques chez le nématode à galles parasite de plantes Meloidogyne incognita. Sciences agricoles. Université Côte d'Azur.Français :NNT : 2017AZUR4026

100. **Razanadrakoto N .Y .,2005.** Optimisation et diffusion de la culture de haricots suivant les techniques agro-ecologique de la region mangoro : cas de sabotsy anjiro. ecole superieure des sciences agronomiques , universite d'antananarivo,84p.

101. **Rebri N., ET Maamour N.,2018 .** Effet de la durée de stress hydriquee sur la production du Haricot vert sous serre.,Mémoire master Université Djillali Bounaama Khemis Miliana ,42p.

102. **Reichman S.,2002**. The Responses of Plants to Metal Toxicity : A review focusing on Copper, Manganese and Zinc. Dans *Australian Minerals & Energy Environment foundation* (Vol. 7),54p.

103. **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.

104. **Riaz.U et Murtaza.G et Anum.W et Samreen.T et Sarfraz.M et Nazir.M. Z., 2020.** Plant GrowthPromoting Rhizobacteria (PGPR) as biofertilizers and biopesticides. Microbiota and Biofertilizers, 4, 181-196.

105. **Ryser J P., Heller W., 1997.** Carence en manganèse en arboriculture. Edition Agroscope RAC et FAW Wädenswil. Fiche: 829,4P.

106. **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

107. **Saur E.,1990** Mise au point bibliographique, au sujet de la nutrition oligo-minérale des plantes supérieures. Carences et toxicités chez les conifères. Annales des sciences forestières, INRA/EDP Sciences, , 47 (4), 389p.

108. **Schäfer U.,2004**. Manganèse. In: *Elements and their Compounds in the Environment.* Eds. Merian, Anke, Ihnat et Stoeppler. 2ème édition, Wiley-VCH Weinheim (D). Vol2, Metals and their Compounds, 930p.

109. **Serot M.,2013**. Contribution au développement d'un indicateur de la nutrition soufrée et de fertilisants innovants chez le blé tendre d'hiver (Triticum aestivum L.). ffdumas- 00912360ff , 36p.

110. **Sheppard S.C., Evenden W.G et Macdonald C.R.,1999**. Variation among chlorine concentration rations for native and agronomic plants.J Environ Radioactiv,43 ,65-76p.

111. **Sictom,.,2020.** Guide de compostage. Région Montluçonnaise. https://www.sictomrm.com/wp-content/uploads/2020/08/guide-compostage.pdf.

112. **Sims RW, Gerard BM .,1985.** Earthworms: Keys and notes for the identification and study of the species. Synopses of the British Fauna no 31, London

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

114. **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.

115. **Tahri M., 2018.** Recherche de paramètres liés à la tolérance au sel chez l'haricot (*Phaseolus vulgaris* L.). Thèse de doctorat, université de Mostaganem, 130p.

116. **Taib H.,2015 .** Etude de l'activité insecticide des huilles essentieles d'*Eucalyptus globulus* L. et *Rosmarinus officinalis* L. a l'egard de la bruche du Haricot *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera , Bruchdae) . Mémoire Master, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou ,45p.

117. **Taiz L et Zeiger E., 2002.** physiologie des plantes.3éme édition sinauer associés éditeurs ,427 p .

118. **Turpeau E, Hullé M, Chaubet B., 2010.** Aphis fabae Scopoli, 1763 - Encyclop'Aphid-l'INRA.**https://www6.inrae.fr/encyclopedie pucerons/Especes/Pucerons/Aphis/A.-fabae**

119. **Vessey J. K. ,2003.** Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers.

Plant soil, 586p.

120. **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.
121. **Vitti G. C., Lima, E., Cicarone, F., 2006**. Cálcio, magnésio e enxofre. In : Fernandes, M. S.(Ed.). Nutrição mineral de plantas. Viçosa : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo,325p.
122. **Whitehead D.C.,2000**. éléments nutritifs dans le sol des prairies plant relations avec les animaux. CABI publication. Wallingford,UK,369p.
123. **Wiedenhoeft A.C., 2006**. Plant nutrition. Ed. Chelsea House Publishers, New York, 144p
124. **Yash P. K., 1998.** Referance Methods for Plant Analysis. Handbook. Soil and Plant Analysis Council, Inc, 286p.
125. **Yruela I.,2009.** Copper in plants : Acquisition, transport and interactions. *Functional Plant Biology*, *36*(5), 409-430p. https://doi.org/10.1071/FP08288