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

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA
FACULTE DES SCIENCES



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

Thème :

EFFETS DU LOMBRICOMPOST SUR QUELQUES PARAMETRES MORPHO-PHYSIOLOGIQUE ET BIOCHIMIQUES DU HARICOT VERT *PHASEOLUS VULGARIS* ET SUR LES PARAMETRES POPULATIONELS DU PUCERON NOIR DE LA FEVE *APHIS FABAE*

Présenté par :

- BENMEZIANE Amina
- LAMI Khaoula

Devant le jury composé de:

-Mme F. SAFIDDINE	M.C.B	Univ. Médéa	Présidente
-Mme F.Z.TCHAKER	M.C.A	Univ. Médéa	Promotrice
-Mme K. CHAOUATI	M.A.A	Univ. Médéa	Co-promotrice
-Mme S. ALI KACEM	Doctorante	Univ. Médéa	Examinatrice

Année Universitaire : 2022/2023

RESUME

Effets du lombricompost sur quelques paramètres morpho-physiologiques et biochimiques du haricot vert *Phaseolus vulgaris* et sur les paramètres populationnels du puceron noir de la fève *Aphis fabae*

Le haricot *Phaseolus vulgaris* L. occupe une place importante dans l'agriculture mondiale en tant que légumineuse. Il est considéré comme une source de protéines diététiques et de revenus importante pour beaucoup de pays en développement. Cependant, sa production peut être limitée par des maladies et des ravageurs. Par conséquent, il est urgent de développer des méthodes de contrôle et de protection pour limiter ces attaques. Parmi les méthodes bioécologiques modernes, la lombriculture est considérée comme une technologie appropriée qui valorise les résidus des cultures et gère durablement la santé végétale.

Cette étude a été menée dans le but de valoriser l'utilisation des bio-fertilisants. Son objectif principal est d'évaluer l'impact stimulant de différents modes d'application du thé de lombricompost (frais et stocké / pur; D5% et D10%) sur les paramètres morpho-physiologiques du haricot vert *Phaseolus vulgaris*, ainsi que sur la sévérité de l'infestation par les pucerons noirs de la fève *Aphis fabae* (Scopoli, 1763).

Les résultats démontrent que l'utilisation de différentes formes de thé de lombricompost (frais et stocké) a un effet bénéfique sur tous les paramètres morphologiques des haricots verts par rapport au témoin. . L'activité stimulatrice se trouve influencer par la dose de thé de lombricompost, et par conséquent elle parait obéir à un gradient positif: dilution 5 % < dilution 10 % < thé pur .De plus, les résultats des paramètres de croissance révèlent une croissance végétative particulièrement favorable chez les plantes traitées avec du lombricompost frais par rapport à celles traitées avec du lombricompost stocké.

L'analyse de la composition phytochimique des feuilles de Phaseolus vulgaris (haricot vert) a révélé un effet stimulant sur la concentration de chlorophylle, de proline et de sucres totaux suite à l'application des différentes molécules, en comparaison avec le groupe témoin.

Les résultats indiquent que l'utilisation du thé de lombricompost réduit la gravité des attaques de puceron noir de la fève *Aphis fabae* par rapport au groupe témoin.

Mots clés: Abondance, Biofertilisants, Croissance, Qualité phytochimique, Thé de lombricompost.

Abstract

Effect of vermicompost on some morpho-physiological and biochemical characteristics of green bean *Phaseolus vulgaris* and on density of black bean *Aphis fabae*

Green bean *Phaseolus vulgaris* L occupies an important place in global agriculture as it is a vegetable that is a source of protein and an important income for many developing countries, but its production may be limited due to diseases and pests, so there is an urgent need to develop control and protection methods to limit these attack. Among modern bio-environmental methods, vermiculture is the appropriate technology that valorizes crop residues and sustainably manages phytosanitary.

This study was conducted to enhance the use of biofertilizers. Where the main objective is to evaluate the stimulating effect of different modes of application of vermicompost tea (fresh and stored/concentrated; diluted 5% and diluted 10%) on some morpho-physiological characteristics of green bean Phaseolus vulgaris as well as on the severity of infection with black bean *Aphis fabae.*

The results show that the use of different types of vermicompost tea (fresh and stored) has a beneficial effect on all morphological characteristics of green bean compared to the control. Whereas, stimulatory activity was found to be affected by the dose of vermicompost tea, and thus appears to obey a positive gradient: (10% dilution; 5% dilution; concentrated tea).

Moreover, the obtained results reveal that the vegetative growth characteristics in plants treated with fresh vermicompost are more favorable compared to plants treated with stored vermicompost.

As for the analysis of the phytochemical composition of green bean leaves, a stimulating effect was shown on the concentration of chlorophyll, proline, and total sugars after the application of various molecules, in comparison with the control group.

The results indicate that the use of vermicompost tea reduces the severity of attacks of black bean *Aphis fabae* compared to the control group.

Keywords: abundance, biofertilizer, growth, phytochemical quality, vermicompost tea

الملخص

تأثير السماد الدودي على بعض الخصائص المورفو-فيزيولوجية و البيوكيميائية للفاصوليا الخضراء *Phaseolus vulgaris* و على خصائص الوفرة لمن الفول الأسود *Aphis fabae*

تحتل الفاصوليا الخضراء *Phaseolus vulgaris* L مكانة هامة في الزراعة عالميا كونها من الخضروات التي تعتبر مصدرا للبروتين و ذات دخل مهم للعديد من الدول النامية , لكن يمكن أن يكون إنتاجها محدودا بسبب الأمراض و الآفات , لذلك هناك حاجة ملحة لتطوير أساليب التحكم والحماية للحد من هذه الهجمات.

من بين الأساليب البيئية الحيوية الحديثة ، تعتبر زراعة الديدان التكنولوجيا المناسبة التي تثمن مخلفات المحاصيل وتدير الصحة النباتية على نحو مستدام .

أجريت هذه الدراسة لتعزيز استخدام الأسمدة الحيوية. حيث الهدف الرئيسي هو تقييم التأثير المحفز للأنماط المختلفة لتطبيق شاي السماد الدودي (الطازج و المخزن / المركز ؛المخفف 5٪ و المخفف 10٪) على بعض الخصائص المورفو-فيزولوجية للفاصوليا الخضراء *Phaseolus vulgaris* وكذلك على شدة الإصابة بمن الفول الاسود *Aphis fabae* .

تظهر النتائج أن استخدام أنواع مختلفة من شاي السماد الدودي (الطازج والمخزن) له تأثير مفيد على جميع الخصائص المورفولوجية للفاصوليا الخضراء مقارنة بالشواهد. حيث تم العثور على نشاط تحفيز يتأثر بجرعة شاي السماد الدودي ، وبالتالي يبدو أنه يطيع التدرج الإيجابي: (تخفيف 10٪ ؛ تخفيف 5٪ ؛ شاي مركز) .

علاوة على ذلك ، فإن النتائج المتحصل عليها تكشف أن خصائص النمو النباتي في النباتات المعالجة بالسماد الدودي الطازج أكثر ملائمة مقارنة بالنباتات المعالجة بالسماد الدودي المخزن.

بالنسبة إلى تحليل التركيب الكيميائي النباتي لأوراق الفاصوليا الخضراء أظهر تأثير محفز على تركيز الكلوروفيل والبرولين والسكريات الكلية بعد تطبيق مختلف الجزيئات ، بالمقارنة مع مجموعة الشواهد.

نشير النتائج إلى أن استخدام شاي السماد الدودي يقلل من شدة هجمات من الفول الأسود ***Aphis fabae*** مقارنة بمجموعة الشاهد .

الكلمات المفتاحية: الوفرة ، الأسمدة الحيوية ، النمو ، الجودة الكيميائية النباتية ، شاي السماد الدودي

Remerciements

Avant tout, je dois remercie الله le tout puissant qui nous a accordé la force, la patience, le courage, la volonté et la santé sans les quelles nous travail n'aurait jamais pu voir la lumière de ce jour.

Nos sincères remerciements son exprimés a notre promotrice ***Mme TCHAKER FATMA ZOHRA*** pour son aide et ses conseils, sans lui ce travail n'aurit pas été possible *et la co-promotrice* ***Mme CHAOUATI Karima.***

Merci aux membres du jury, la présidente Mme **SAFFIDINE Fadhila** et l'examinatrice Mme **Sara ALI KACEM** d'avoir eu l'amabilité d'accepter de juger ce travail, et d'avoir consacré de leurs temps pour l'enrichir par leurs propositions

Nous tenons à remercier tout nos professeurs qui nous a enseigné durant les années universitaires car nous a beaucoup appris avec eux. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre reconnaissance.

Nous remercions en particulier Toute l'équipe de l'Institut Technique Spécialisé en Formation Agricole (ITSFA), de Médéa, pour nous avoir donné l'occasion extraordinaire de réaliser notre travail de terrain

Nous remercions aussi les ingénieures de laboratoires de département SNV pour leurs patiences et leurs aides

Nous remercions monsieur le directeur de finance et de comptabilité d'ONA **Benmeziane** Abdelrahmane

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

Pour ma Mère

Qui représente la lumière de notre existence L'étoile brillante de notre réjouissance et ma vie, Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

Pour mon père

Qui il y a Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous, Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

A mes chères frères Abdelkader, Khaled et Oussama

A mes chères sœurs Soumia et Fatma Zohra

A Mes nietes Anes et Ranim

A toute ma famille LAMI

Ma copine et ma binôme : « AMINA»

Ma cousine Hasna

A mes collègue, samir , Hayet , Zineb, Nihed , Feriel

Sans oublier une grande dédicace à ma copine et ma sœur Dilmi Asma

Khaoula

Dédicaces

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

À l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père ***Brahim***

À la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non-âmes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère ***Ouahida***

A ma moitié qui j'aie tout partagé avec, ma sœur ***Manel*** *qui attendait avec impatience mon diplôme mais malheureusement elle est décédée avant cela* رحمها الله و اسكنها فسيح جنانه

A mes petits princes ***EL-Moataz billah*** *et* ***Mohamed EL-Moatassim billah***

A toutes la famille ***Ben Meziane*** *spécialement mon oncle* ***EL-Nadhir***

A mes amies d enfances : ***EL-Dj Hanen Manel Yasmine Amira Nadjet Imen Imen benbrih*** *et a tous les cousins, les voisins et les amis Merci pour leurs amours et leurs encouragements.*

Sans oublier mon binôme ***Khaoula*** *pour son soutien moral*

Amina

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ
ABSTRACT
الملخص
REMERCIEMENTS
DÉDICACES
TABLE DES MATÈRES
LISTE DES FIGURES
LISTE DES TABLEAUX
INTRODUCTION GENERALE…… 15
CHAPITRE I. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE
I.1. Généralité sur la plante hôte *Phaseolus vulgaris* L., 1753…… 17
I.1.1. Importance économique du Haricot vert…….. 17
I.1.2. État phytosanitaire du haricot *Phaseolus vulgaris*…… 18
I.1.2.1. Maladies cryptogamiques…….. 18
I.1.2.2 Ravageurs…….. 19
I.2 Généralité sur le puceron noire de la fève *Aphis fabae* Scopoli, 1763……. 20
I.2.1 Position systématique……... 20
I.2.2 Description morphologique…….. 20
I.2.3 Cycle de développement……... 21
I.2.4 Plantes hôtes…….. 22
I.2.5 Dégâts…… 23
I.2.5.1 Dégât direct……. 23
I.2.5.2 Dégâts indirects…… 23
I.2.6 Méthodes de lutte…… 23
I.3 Nutrition minérale chez les plantes……. 24
I.3.1 Qu'est ce que une nutrition végétale?..... 24
I.3.2 Quels sont les éléments minéraux impliqués dans la nutrition des plantes ?..... 25
I.3.2.1 Eléments essentiels…….. 25
I.3.2.2 Eléments non essentiels……... 27
I.3.3 Fonction des principaux éléments minéraux…….. 27
I.3.4 Effet de la nutrition sur la santé végétale…… 28
I.4 Généralité sur les Biofertilisants…… 29
I.4.1 Définition de Biofertilisants…….. 29
I.4.2 Type de biofertilisants…… 30
I.4.2.1 Biofertilisants à base des bactéries fixatrices d'azote (NFB) 30
I.4.2.2 Bio-fertilisants à base des bactéries solubilisatrices de phosphore…….. 31
I.4.2.3 Bio-fertilisants à base des bactéries solubilisatrices de potassium ……. 32
I.4.2.4 Bio-fertilisants à base des bactéries oxydatives de soufre 32

I.4.2.5 Bactéries solubilisant le silicate…… 33
I.4.2.6 Production des sidérophores……. 34
I.4.3 Lombricompost……. 35
I.4.3.1 Définition…… 35
I.4.3.2 Lombricompostage……. 36
I.4.3.3 Différents types de Compostière……. 36
I.4.4 Types de lombrics en lombricompostage…….. 38
I.4.5 Importance de la lombriculture……. 39
I.5 Stimulation de défende naturelle chez les plantes(SDN)…… 40
I.5.1 Définition…… 40
I.5.2 Avantages et limites des SDN…… 41
I.5.3 Intérêt d'utilisation des SDN dans la protection des plantes……. 42
I.5.3.1 Intérêt technique……... 42
I.5.3.2 Intérêt environnemental…… 42
I.5.3.3 Place dans l'agriculture contemporaine…… 43
CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODE…….
II.1 Objectif…… 45
II.2 Matériel d'étude biologique…… 45
II.2.1 Obtention du matériel végétale…….. 45
II.2.1.1 Présentation de la chambre de culture……... 45
II.2.1.2 Obtention des plantules du haricot vert……. 46
II.2.2 Obtention des populations inféstantes…… 47
II.2.3 Obtention du lombricompost……. 49
II.3 Méthodes d'études……. 51
II.3.1 Préparation du thé de lombricompost…… 51
II.3.2 Dispositif expérimental et application des traitements……. 52
II.4 Paramètres étudiés……... 52
II.4.1 Mesure de la croissance en longueur de la partie aérienne et souterraine……... 52
II.4.2 Mesure de la croissance en poids frai de la partie aérienne et souterraine……... 54
II.4.3 Nombre de feuilles et de bouquets floraux……. 54
II.4.4 Evaluation des traits biochimiques de haricot vert *Phasoleus vulgaris*…….. 54
II.4.4.1 Quantification de la Proline…… 54
II.4.4.2 Quantification des sucres totaux solubles……... 55
II.4.4.3 Extraction et quantification de la chlorophylle totale…… 55
II.4.5 Evaluation de l'abondance des formes biologiques d'*Aphis fabae*…. 55
II.5 Analyse statistique……... 55
CHAPITRE III. RESULTATS ……..
III.1 Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur les paramètres de morphologiques du haricot vert *Phaseolus vulgaris*…… 58
III.1.1 Evolution de l'effet du thé de lombricompost sur la croissance 58

cumulative des plantes du haricot vert *Phaseolus vulgaris*……..

II.1.2 Evolution de l'effet du thé de lombricompost sur la croissance racinaire du haricot vert *Phaseolus vulgaris*…….. 61

III.1.3 Evolution de l'effet du thé de lombricompost sur la biomasse aérienne du haricot vert……. 63

III.1.4 Evolution de l'effet du thé de lombricompost sur la biomasse souterraine du haricot vert……. 66

III.1.5 Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur nombre de feuilles du haricot vert …… 69

III.1.6 Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur nombre de bouquets floraux du haricot vert…… 71

III.2 Effets de différents types de thé de lombricompost sur les paramètres physiologiques du haricot vert *Phaseolus vulgaris*…….. 74

III.2.1 Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur la quantité de la proline du haricot vert…… 74

III.2.2 Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur la quantité des sucres totaux du haricot vert……. 76

III.2.3 Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur la Chlorophylle du haricot vert…… 79

III.3 Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur l'abondance du puceron noir de la fève *Aphis fabae*…….. 81

CHAPITRE IV. DISCUSSION GENERALE……..

IV.1 Evaluation de l'effet du thé de lombricompost (Frais et stockés) sur les paramètres de croissance de la Haricot vert *Phaseolus vulgaris*…… 84

IV.2 Evaluation de l'effet de différents types du thé de lombricompost sur les paramètres physiologiques du haricot vert *Phaseolus vulgaris*…… 86

IV.3 Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur l'abondance du puceron noir de la fève *Aphis fabae*…… 87

CONCLUSION ……

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE ……..

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Liste des figures

Figure I.1.	Principales maladies de Haricot vert…….	19
Figure I.2.	Le puceron *Aphis fabae*……..	21
Figure I.3	Cycle de vie du puceron noir de la fève Aphis fabae……	22
Figure I.4	Nutrition des plantes……..	25
Figure I.5	Principales voies de transformation/d'acquisition des nutriments à médiation microbienne associées aux biofertilisants……..	31
Figure I.6	Dispositif d'un lombricomposteur vertical……	37
Figure I.7	Dispositif d'un lombricomposteur horizontal……	38
Figure II.1	Présentation de la Serre de culture……	46
Figure II.2	Stérilisation du substrat…….	47
Figure II.3	Présentation de différentes étapes de culture…….....	48
Figure II.4	Plantules infestées par le puceron noir *Aphis fabae*……..	49
Figure II.5	Espèce de Lombric utilisé *Eisenia fœtida*……..	50
Figure II.6	Préparation du thé de lombricompost……	51
Figure. II.7	dispositif expérimental des traitements appliqués ……	53
Figure. II.8	Floraison des plantes du Haricot vert……..	54
Figure III.1	Effet de différentes dilutions du thé de lombricompost sur la croissance aérienne des plants du haricot *Phaseolus vulgaris*…	59
Figure III.2	Etude comparée de l'effet du thé de lombricompost sur la croissance aérienne du haricot vert……	60
Figure III.3	Effet de différentes dilutions du thé de lombricompost sur la croissance racinaire des plants du haricot *Phaseolus vulgaris*……...	62
Figure III.4	Etude comparée de l'effet du thé de lombricompost sur la croissance racinaire du haricot vert……..	63
Figure III.5	Effet de différentes dilutions du thé de lombricompost sur le poids de la partie aérienne des plants du haricot *Phaseolus vulgaris*…….....	64

Figure III.6 Etude comparée de l'effet du thé de lombricompost sur le poids de la partie aérienne du haricot vert……. 65

Figure III.7 Effet des différentes dilutions du thé de lombricompost sur le poids de la partie souterraine des plants du haricot *Phaseolus vulgaris*……. 67

Figure III.8 Etude comparée de l'effet du thé de lombricompost sur le poids de la partie souterraine…… 68

Figure III.9 Effet de différentes dilutions du thé de lombricompost sur le nombre de feuilles des plants du haricot *Phaseolus vulgaris*….. 70

Figure III.10 Etude comparée de l'effet du thé de lombricompost sur le nombre de feuilles du haricot vert..... 71

Figure III.11 Effet de différentes dilutions du thé de lombricompost sur le nombre de bouquets floraux des plants du haricot *Phaseolus vulgaris*…… 72

Figure III.12 Etude comparée de l'effet du thé de lombricompost sur le nombre de bouquets floraux du haricot vert……. 73

Figure III.13 Effet de différentes dilutions du thé de lombricompost sur la quantité de la proline des plants du haricot *Phaseolus vulgaris*.... 75

Figure III.14 Etude comparée de l'effet du thé de lombricompost sur la quantité de la proline du haricot vert..... 76

Figure III.15 Effet de différentes dilutions du thé de lombricompost sur la quantité des sucres totaux des plants du haricot *Phaseolus vulgaris*……. 77

Figure III.16 Etude comparée de l'effet du thé de lombricompost sur la quantité des sucres totaux des plants du haricot *Phaseolus vulgaris*……...…… 78

Figure III.17 Etude comparée de l'effet du thé de lombricompost sur la chlorophylle des plants du haricot *Phaseolus vulgaris*..... 80

Figure III.18 Etude comparée de l'effet du thé de lombricompost sur l'abondance d'*Aphis fabae*..... 82

Liste des tableaux

Tableau I.1 Eléments essentiels aux plantes supérieures et concentrations internes considérées comme optimales pour une croissance normale…….. 27

Tableau I.2 Fonctions des éléments minéraux dans la plante …… 28

Tableau III.1 Evolution de la Chlorophylle du haricot vert sous l'effet des différents types du thé de lombricompost…… 79

Tableau III.2 Evolution de l'abondance de du puceron noir de la fève *Aphis fabae* sous l'effet des différents types du thé de lombricompost…… 81

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'agriculture intensive a mené à l'apparition d'importants problèmes environnementaux tels que l'érosion des sols, le lessivage des nutriments et la pollution des cours d'eau, le dégagement d'importants gaz à effet de serre (CO2, CH4 et N2O), la diminution de la biodiversité, l'apparition de grandes épidémies de parasites, la contamination par les pesticides, et plusieurs autres (Dion,2019).

Devant ces grands problèmes de l'agriculture moderne, différentes approches d'agriculture durable gagnent en popularité, telles que l'agroforesterie, la permaculture ou l'agriculture biologique. L'objectif commun de ces approches est d'offrir un rendement élevé d'une nourriture de bonne qualité, cultivée d'une façon durable qui n'affecte pas la rentabilité à long terme des terres agricoles et en améliore l'équilibre écologique, tout en assurant des conditions de vie respectables aux agriculteurs. Une voie privilégiée par l'ensemble de ces systèmes durables et ayant un grand impact sur la qualité du sol est d'en rehausser la teneur en carbone, par l'utilisation de différentes sources de matière organique, telles que les engrais verts, fumiers, composts et le lombricompost (Diacono et Montemurro, 2010 *in* Dion, 2019; Ge *et al.* 2013 *in* Dion, 2019).

Plusieurs auteurs affirment, que ces produits naturels communément appelés biofertilisants sont utilisés comme engrais biologique pour une agriculture durable présentant un impact environnemental et sanitaire positif tout en préservant la biodiversité naturelle. De plus, ils permettent de répondre aux besoins nutritionnels des cultures, c'est à dire fournir aux plantes tout ce dont elles ont besoin pour leur croissance (Guermache et Kobbi, 2017; Safiddine, 2019; Zemmouri et Belhadj, 2022). En plus, les biofertilisants 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 de 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; Ali kacem *et al.,* 2021). Parmi les biofertilisants utilisés, le lombricompost est considéré comme un processus biologique qui permet de transformer des matières organiques fraîches en un produit stabilisé, hygiénique et similaire à du terreau (Guet, 2003).

Le présent travail s'inscrit dans le contexte de l'agriculture raisonnée, qui représente une alternative durable visant à protéger la biodiversité et à promouvoir des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement. L'objectif de cette étude est double. D'une part, il s'agit d'estimer la capacité de différents types de lombricompost à améliorer la performance végétative et à stimuler les activités métaboliques des plants de haricots verts *Phaseolus vulgaris* (L., 1753). D'autre part, il s'agit d'évaluer la sévérité de l'infestation des pucerons noirs de la fève *Aphis fabae* (Scopoli, 1763) sur les plants étudiés.

CHAPITRE I
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Généralité sur la plante hôte *Phaseolus vulgaris* L., 1753

L'haricot vert *Phaseolus vulgaris* est originaire du Pérou et a été introduit en Europe et en Afrique par les espagnols autour du 16ème siècle ensuite dans le monde entier par les commerçants espagnols et portugais. Le genre Phaseolus est grand, comprenant environ 80 espèces cultivées et sauvages, mais P. vulgaris est l'espèce la plus cultivée (Porch *et al.*, 2013 *in* Mansouri, 2021).

I.1.1. Importance économique du Haricot vert

Les légumineuses occupent une place importante dans l'agriculture mondiale. Elles constituent un élément de base des systèmes culturaux de petites exploitations et du régime alimentaire des ménages. Dans ce groupe des légumineuses, le haricot vert occupe une place de choix, il est à la fois une culture vivrière et une source substantielle d'argent comptant (CIAT 2003). Le haricot est une source utile de protéines qui a un impact économique majeur (Mouhouche *et al.*,1998). Elle joue un rôle important dans l'alimentation humaine comme source de vitamines, de protéines, de fibres, de sels minéraux et dans la fixation biologique de l'azote (Fortin, 1996 *in* Berrichi et Negaza, 2019). Cette espèce se caractérise par sa capacité à fixer l'azote dans le sol (Amanuel *et al.*, 2000; Berrichi et Negaza; 2019), elle est utilisés pour améliorer les conditions du sol.

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* Skandri et Mammeri., 2022). Selon F.A.O. (2017), les plus grands producteurs des haricots verts sont les États-Unis, la France, le Mexique, le Philippine et la Turquie. A l'échelle mondiale, le haricot est classé au 10ème rang des légumes produits (les trois premiers étant la pomme de terre, le manioc et la tomate), et au premier rang des légumineuses consommées en légumes secs (hors soja), devant le pois, le pois chiche et les fèves. La surface destinée à la culture de haricot est en légère augmentation (Dutartre, 2015). En 2006, la production mondiale de haricots, selon les statistiques publiées par la FAO, s'est élevée à 28,6 millions de tonnes, dont 19,6 de haricots secs (68 %), 6,4 de haricots frais (22 %) et 2,6 de haricots verts (9 %). En 2002, ces chiffres étaient respectivement de 25,7, 18,3, 5,7 et 1,7 millions de tonnes. Entre 1961 et 2006, la production totale de haricots a doublé passant de 14,4 à 28,6 millions de tonnes, progressant assez régulièrement au taux de 1,5 % par an (https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Haricot-page-7.html). Elle s'élevait à près de 30 millions d'hectares de haricot sec 2 en 2012, soit environ 24 millions de tonnes produites, et 1,5 million d'hectares de haricot frais, soit une production d'environ 21 millions de tonnes. Les principaux producteurs de haricot sec sont l'Inde (3,7 millions de tonnes en 2012) et le Brésil (2,7 millions de tonnes en 2012). Concernant les haricots verts, le premier

producteur mondial est de loin la Chine, qui produisait plus de 16 millions de tonnes en 2012, soit 75% du total ! Face à ces "géants" mondiaux du haricot, la production européenne est largement en retrait. En effet, l'ensemble des pays européens ont produit seulement 500 000 tonnes de haricot sec et 800 000 tonnes de haricot frais en 2012. L'Albanie et l'Espagne sont respectivement les premiers producteurs de haricots secs et de haricots verts. La France reste l'un des producteurs principaux en Europe, avec 3 600 hectares pour 7 400 tonnes produites en haricot sec, et 4 700 hectares pour 70 500 tonnes de haricots frais (FAO, 2012 *in* Dutartre, 2015).

La production de semences suit globalement les mêmes tendances que la production de graines pour la consommation. Ainsi, le marché est dominé par l'Inde et le Brésil, qui produisaient respectivement 273 000 et 121 600 tonnes de semences en 2012. Viennent ensuite la Chine, le Mexique et les Etats-Unis. Les pays européens ont produit 36 500 tonnes de semences en 2012 (FAO, 2012 *in* Dutartre, 2015).

I.1.2. État phytosanitaire du haricot *Phaseolus vulgaris*

Le haricot vert est soumis pendant toute sa période de culture à un ensemble de contraintes biotiques qui occasionnent des pertes plus ou moins importantes de rendement : maladies cryptogamiques, bactériennes, ravageur… etc.

I.1.2.1. Maladies cryptogamiques

De nombreuses maladies affectent le haricot, *Phaseolus vulgaris*. Parmi les plus communes se trouvent l'anthracnose, le virus de la mosaïque commune ou encore la graisse bactérienne (Bernier, 2011).

i. Maladies fongiques

Il s'agit de la catégorie regroupant la plus large diversité de micro-organismes. Parmi les maladies foliaires les plus fréquentes se trouvent la rouille (*Uromyces phaseoli*), la pourriture blanche (*Sclérotinia*), la pourriture grise (*Botrytis cinerea*) et l'anthracnose (*Colletotrichum lindemuthianum).* Plus rarement, on peut observer des cas de tâche angulaire ou Ascochyta (maladies principalement rencontrées dans les zones tropicales), Alternaria ou encore de mildiou (rares conséquences économiques) (Bernier, 2011).

ii. Maladies bactériennes

Plus de 10 maladies bactériennes attaquent le haricot et 4 d'entre elles entraînent des pertes considérables, soit la brûlure commune ou graisse *Xanthomonas axonopodis*, la brûlure commune *Xanthomonas* phaseoli (var. fuscans), la tache aréolée *Pseudomonas syringae* pv. phaseoli et la flétrissure bactérienne *Corynebacterium flaccumfaciens*. A titre d'exemple, la brûlure, ou graisse, du haricot est une maladie bactérienne causée par *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*. La principale plante hôte est le haricot commun

Phaseolus vulgaris, mais d'autres légumineuses peuvent être touchées. La bactérie touche les feuilles, les tiges, les gousses et les graines des plantes. Dans les cas graves, on enregistre des pertes de récolte pouvant aller jusqu'à 40 %. La brûlure bactérienne du haricot est répandue dans le monde entier (Bernier, 2011; Tanja, 2018).

iii. Maladies virales

Les maladies virales sont occasionnelles, mais causent des dommages sévères d'une grande importance économique. Les symptômes apparaissent généralement en foyer une à deux semaines après l'inoculation. Chez le haricot, des pertes de rendement sont enregistrées lorsque la qualité des gousses et des grains est affectée. Par exemple le virus Mosaïque jaune du haricot BYMV est une mosaïque plus finement cloquée souvent avec une nécrose apicale de la plante, virus transmis par les pucerons (Hallouin, 2012).



Figure I.1. Principales maladies de Haricot vert (Bernier, 2011).

I.1.2.2. Ravageurs

L'impact de ces ravageurs varie considérablement en fonction de la gravité des symptômes qu'ils provoquent sur la plante hôte. Les ravageurs sont extrêmement variés, parmi lesquels les plus importants sont la Mouche des semis, Acariens, Pyrale du maïs *Ostrinia nubilalis*, Noctuelles défoliatrices, Noctuelles terricoles, Mouche mineuse,

Taupins (*Agriotes sordidus*, *Agriotes lineatus*) et Pucerons noir de la fève (*Aphis fabae*), etc.

I.2. Généralité sur le puceron noire de la fève *Aphis fabae* Scopoli, 1763.

Le puceron noir de la fève *Aphis fabae* (Scopoli, 1763), est un petit puceron appartenant à la famille des Aphididés, qui parasite de nombreuses plantes cultivées, qu'elles soient en serre ou en plein champ. C'est l'une des espèces de pucerons les plus polyphage, étant capable de se nourrir de plus de 200 plantes différentes. *Aphis fabae*, est un insecte suceur-piqueur qui se regroupe en colonies denses à l'extrémité des plantes de fèves. Il entraîne des dommages aux plantes en prélevant de la sève au niveau des feuilles (Abdelkader et Ouadah, 2016).

I.2.1. Position systématique

Remaudiere et *al* (1997) classent l'*Aphis fabae* comme suite:

- Règne : Animal
- Embranchement : Arthropodes
- Sous embranchement : Mandibulates
- Classe : Insectes
- Sous-classe : Ptérygotes
- Section : Neoptères
- Super ordre : Hémiptéroïdes
- Ordre : Homoptères
- Superfamille : Aphidoidea
- Famille : Aphididea
- Genre : *Aphis*
- Espèces : *Aphis fabae* Scopoli, 1763

I.2.2. Description morphologique

Les femelles aptères du puceron noir de la fève *A. fabae* mesurent 1,5 à 2,9 mm de long. Elle est de couleur verte olive foncé à noir mat et recouverte d'une forte sécrétion cireuse blanche. Les antennes sont plus courtes que le corps. Les cornicules sont coniques nettement plus longues que la cauda. Cette dernière est digitiforme et trapue (Meradsi, 2009; Albittar, 2017) (Figure I.2.).

Sous sa forme ailé, *A. fabae* est plus allongée que l'aptère. Elle est de couleur sombre, avec des antennes courtes et qui représentent environ les deux tiers de la longueur du corps (Hullé *et al.*, 1999 *in* Meradsi, 2009). D'après Leclant (1999 *in* Meradsi, 2009), le troisième article antennaire porte un grand nombre de sensoria secondaires disposés irrégulièrement. Parfois il existe quelques sensoria sur le quatrième article antennaire.

L'abdomen de l'ailé est souvent orné de bandes pigmentées à contour irrégulier mais jamais fusionnées pour former une plaque (Figure I.2.).

Les nymphes ont des stries blanches sur l'abdomen et les individus ailés sont noirs, trapus avec une cauda courte (Figure I.2.) (Turpeau *et al.*, 2013 *in* Albittar, 2017).

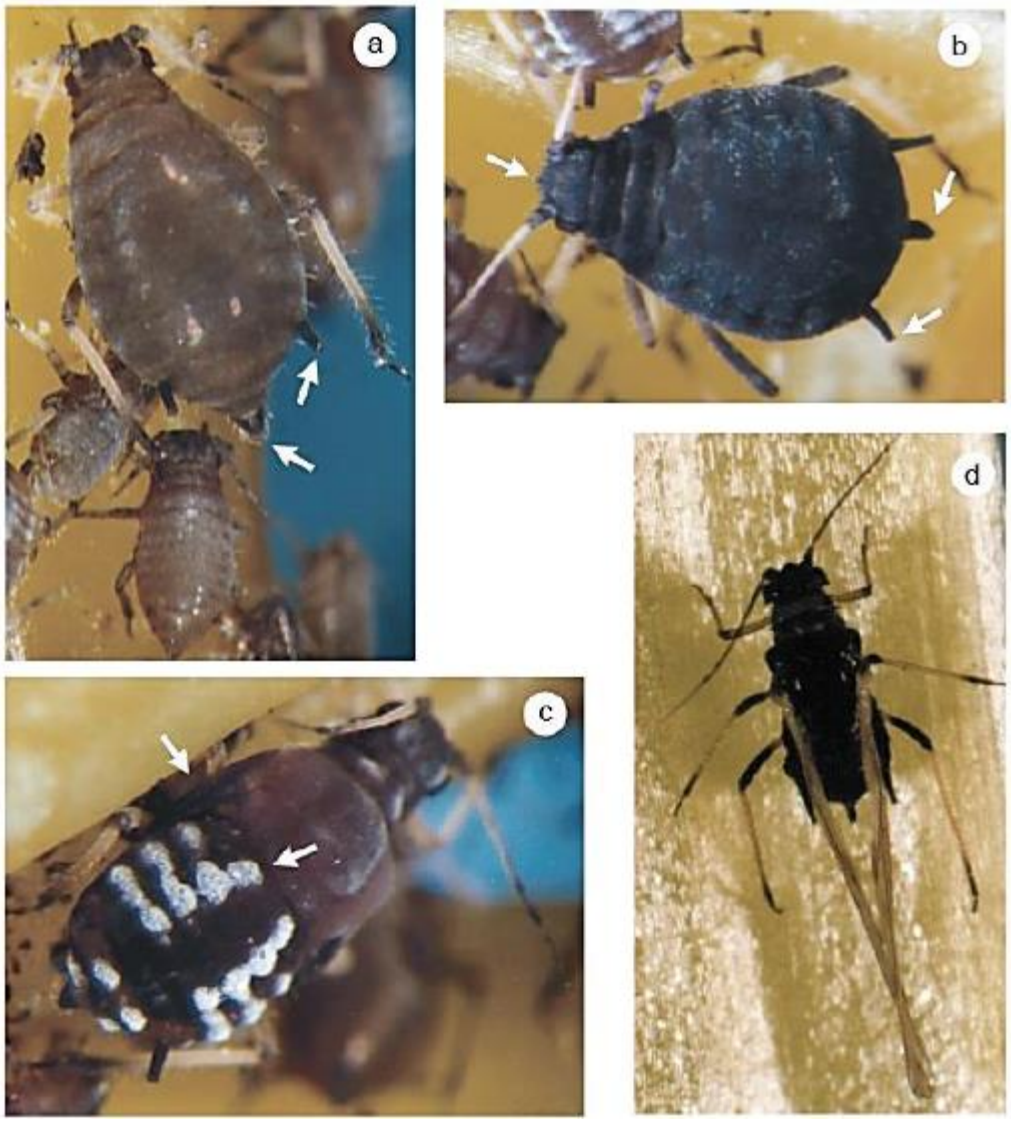


Figure I.2. Le puceron *Aphis fabae* (Boivin et Godin 2002 *in* Albittar, 2017)

a : stades larvaires, b : adulte aptère, c : larve avec stries sur l'abdomen, d : adulte ailé

I.2.3. Cycle de développement

Ce puceron a un cycle dioécique. A l'automne, il dépose ses œufs pour hiverner sur les hôtes primaires comme le fusain d'Europe (*Eunymus europea*), la Boule de neige (*Viburnum opulus*), ou le Seringat (*Philadelphus sp.*) (Duffus, 1971 *in* Albittar, 2017). Au printemps, les pucerons qui éclosent à partir de ces œufs, sont des femelles aptères, connues sous le nom de fondatrices. Elles sont capables de se reproduire de manière

asexuée par « parthénogenèse ». Plusieurs générations parthénogénétiques se développent sur l'hôte primaire. La génération suivante produit généralement des formes ailées, et celles-ci entreprennent des migrations vers les hôtes secondaires comme la fève (*Vicia fabae*), l'épinard (*Spinacia oleracea**)*** et la betterave (*Beta vulgaris*) à partir de mai. La reproduction asexuée (nymphes aptères) sur ces hôtes permet à de grandes populations de se développer rapidement. Des formes à ailes et aptères se multiplient tout au long de l'été. Vers l'automne, la migration vers les hôtes primaires se produit, et c'est sur ces plantes que les femelles accouplées pondent des œufs qui hiverneront, ce qui permettra au cycle entier de recommencer l'année suivante (Blackman et Eastop, 2000 *in* Albittar, 2017) (Figure I.3.).

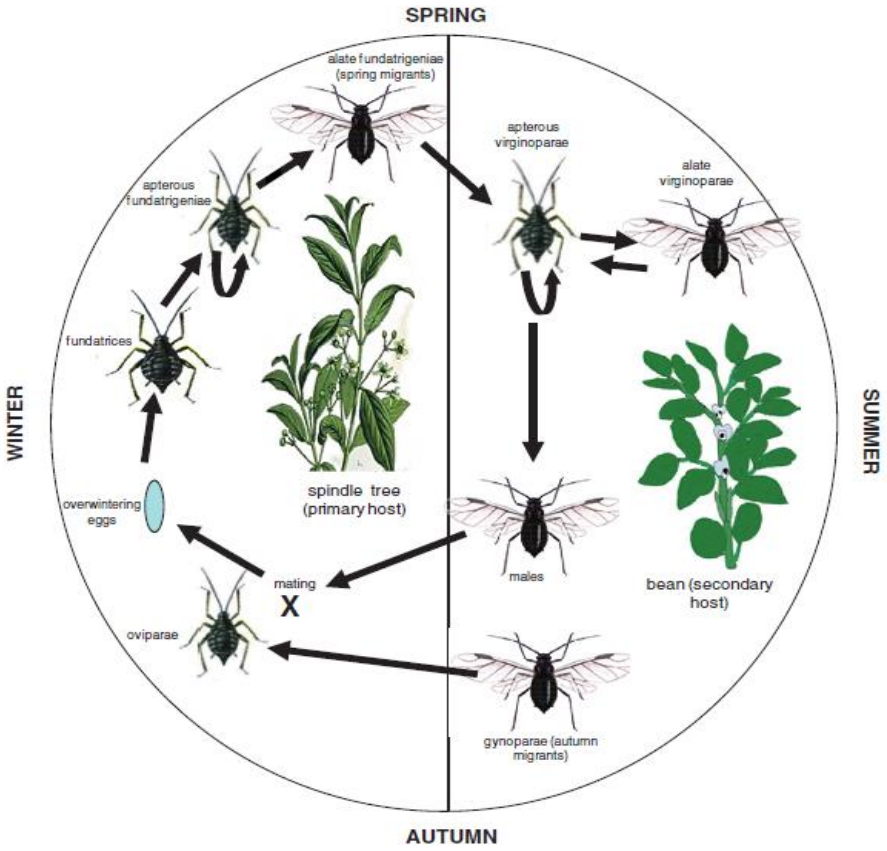


Figure I.3. Cycle de vie du puceron noir de la fève Aphis fabae (Van Emden, 2013 *in* Skanderi et Mammeri, 2022).
Les flèches en forme de U indiquent quand il y a plusieurs générations aptères avant la génération ailée suivante.

I.2.4. Plantes hôtes

Aphis fabae est une espèce polyphage, il s'attaque à plus de 200 espèces de plantes qui appartient à plusieurs familles. Les hôtes primaires sont principalement des arbustes : Fusain d'Europe (*Euonymus europaeus*), la boule de neige (*Viburnum opulus*) et seringat (*Philadelphus coronarius*). Ses plantes hôtes secondaires peuvent appartenir aux Fabacées, Chénopodiacées, Astéracées, Brassicacées, Solanacées, ainsi que diverses cultures florales et ornementales (Hullé *et al.*, 1999 *in* Albittar, 2017).

I.2.5. Dégâts

La présence de milliers d'individus sur une même plante peut causer des dégâts importants.

I.2.5.1. Dégât direct

Les stylets du puceron lui permettent d'effectuer des piqûres dans la plante pour atteindre les tubes criblés. La perforation des feuilles et l'injection d'une salive liquide dans les tissus végétaux lors de l'insertion des stylets peut avoir des effets toxiques (Comeau, 1992 *in* Saguez, 2007; Harmel *et al* ., 2008) qui occasionnent des désordres physiologiques se traduisant par des crispations, des dépigmentations des feuilles ou des fruits mais également la formation de galles (Forrest, 1987 *in* Saguez, 2007). Lors de la pénétration des stylets dans le végétal, la sécrétion d'une salive gélifiante permet la formation d'une gaine qui facilite la pénétration des stylets de l'insecte entre les diverses couches cellulaires. Lors de la prise alimentaire, les pucerons créent des puits de carbohydrates et prélèvent de grandes quantités de sève élaborée, afin de satisfaire leurs besoins nutritifs. Lorsqu'une plante est très fortement infestée, sa croissance peut être perturbée (Miles, 1968; Miles, 1989 *in* Saguez, 2007).

I.2.5.1. Dégâts indirects

Le miellat excrété par les pucerons, bien que non toxique, constitue un milieu favorable au développement de microorganismes notamment des champignons saprophytes (*Alternaria sp., Verticillium sp.)* responsables des fumagines (Huang et al., 1981 *in* Saguez, 2007). Le dépôt de miellat en grandes quantités peut également induire des phénomènes de dessiccation en obstruant les stomates ou par effet osmotique sur la surface des feuilles. Comme nous l'avons vu précédemment, les pucerons sont vecteurs de nombreux virus et la pénétration des stylets dans les tissus épidermiques est suffisante pour transmettre des particules virales.

I.2.6. Méthodes de lutte

La principale méthode de lutte contre le puceron s'appuie sur l'utilisation d'insecticides chimiques tels que des organophosphorés, des carbamates et des pyréthrinoïdes (Base e-phy, 2006 *in* Saguez, 2007). Depuis plusieurs années, les pucerons ont développé des résistances contre ces pesticides et il convient de développer de nouvelles méthodes de lutte. Parmi les différentes méthodes, la lutte biologique avec l'utilisation d'insectes aphidiphages tels que des prédateurs (coccinelles, chrysopes, syrphes) ou des insectes hyménoptères parasitoïdes a été envisagée. Le recours à certains pathogènes des insectes tels que des virus, des bactéries ou des suspensions des champignons entomopathogènes est également un moyen de lutte contre les pucerons (Dun et al., 2003 *in* Saguez, 2007; Ying et al., 2003 *in* Saguez, 2007).

Une stratégie pour lutter contre les aphides repose sur l'exploitation des résistances naturelles des plantes. Chez les espèces sauvages de Solanum, il existe des sources de résistances vis-à-vis de *Myzus persicae* et de *Myzus euphorbiae* (Radcliffe *et al.,* 1981 *in* Saguez, 2007). Des études récentes (Le Roux *et al.,* 2007) ont permis de caractériser la nature (antibiose ou antixénose) de la résistance chez certaines espèces et offrent de nouvelles opportunités pour la réalisation des croisements entre les espèces sauvages et *Solanum tuberosum*. Les recherches menées sur les interactions plantes-pucerons ont permis d'isoler chez de nombreuses plantes, des gènes de résistance aux pucerons, tel que le gène Vat (virus aphid transmission) qui confère une résistance contre *Aphis gossypii* en réduisant son taux de colonisation mais aussi contre les virus (Cucumber *Mozaic Virus, Watermelon Mozaic* Virus) qu'il transmet sur Cucurbitacées. De même, le gène Mi de la tomate induit une résistance contre les pucerons en réduisant leur capacité à s'alimenter (Kaloshian *et al.,* 1995 *in* Saguez, 2007). L'utilisation de la transgénèse pour lutter contre les aphides a également été envisagée, mais il existe de nombreux facteurs limitants parmi lesquels le choix des gènes d'intérêt et l'acceptation des OGM par les consommateurs.

I.3. Nutrition minérale chez les plantes

La plante se nourrit de sels minéraux qui existent dans le sol sous forme d'ions et qui pénètrent dans les racines. De grandes surfaces racinaires et des systèmes actifs d'absorption expliquent que, malgré les faibles concentrations des ions dans la solution du sol, l'acquisition des nutriments minéraux par les plantes est un processus très efficace (Bocon-Gibod, 2014). La nutrition des plantes est une branche importante de la phytologie, elle est étroitement liée à la biochimie, à l'anatomie végétale et à la chimie des sols. Il traite des aspects physiologiques des éléments nutritifs des plantes. C'est une merveille de l'univers qu'un organisme vivant puisse absorber des éléments et être capable d'utiliser ces éléments pour leur croissance et leur développement. Les éléments minéraux et non minéraux sont absorbés par les plantes et sont incorporés dans l'organe par divers processus métaboliques. Le processus d'acquisition des éléments et leur utilisation dans le corps végétal est très important pour l'agriculture, ce qui ouvre un sujet, connu sous le nom de nutrition des plantes. Le sujet de la nutrition des plantes est très important pour assurer un système agricole durable (Baset Mia, 2015).

I.3.1. Qu'est ce que une nutrition végétale?

D'après Hamdani (2020) et Morot-Gaudry (2013), la nutrition minérale de la plante englobe l'ensemble des mécanismes impliqués dans le prélèvement, le transport, le stockage et l'utilisation des éléments nutritifs nécessaires au métabolisme et aux différentes fonctions physiologiques de la plante. Ce processus peut être défini comme étant le transfert des éléments minéraux depuis le milieu édaphique vers le cytoplasme cellulaire *via* l'apoplasme (Figure I.4) (Delaire, 2005).

La nutrition minérale 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).

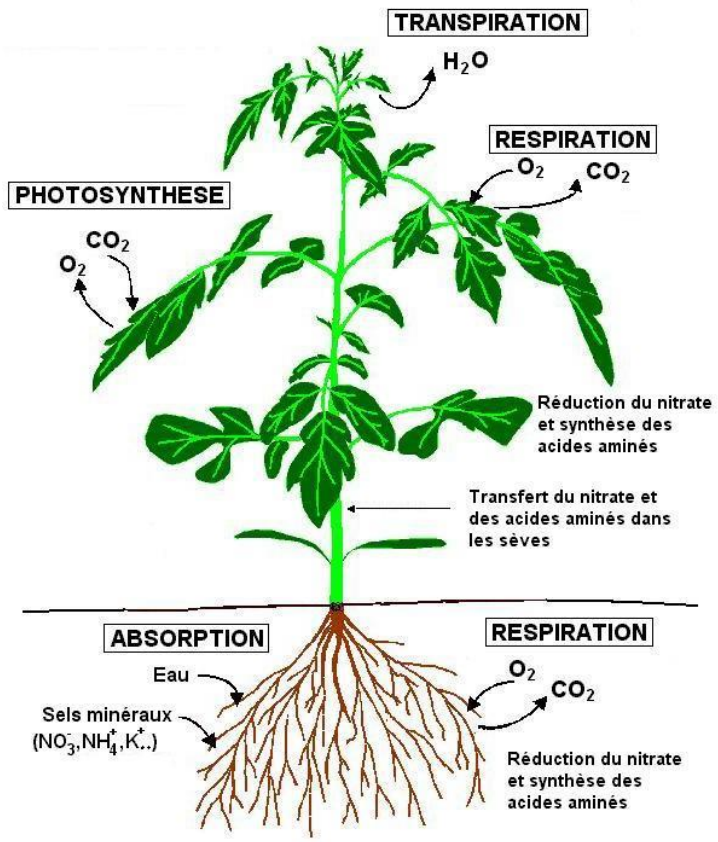


Figure I.4. Nutrition des plantes (Morot-Gaudry, 2013)

I.3.2. Quels sont les éléments minéraux impliqués dans la nutrition des plantes ?

Outre le carbone (C), l'hydrogène (H) et l'oxygène (O), qui sont les constituants de base de l'eau et de l'atmosphère, les plantes ont besoin de divers éléments minéraux pour leur croissance. Ces éléments sont principalement prélevés par les racines sous forme d'ions positifs (cations) ou négatifs (anions) (Morot-Gaudry, 2022). Ces éléments sont classés en deux catégories en fonction de leur importance pour les plantes : essentiels et non essentiels (Hamdani, 2020).

I.3.2.1. Eléments essentiels

Pour qu'un élément minéral puisse être considéré comme essentiel pour une plante, il doit avoir les trois conditions suivantes (Hamdani, 2020):

- L'élément doit être indispensable pour la croissance et le développement de la plante de telle manière que son absence empêche le déroulement normal du cycle de vie de la plante;

o Que la plante nécessite spécifiquement cet élément et que son déficit ne peut être corrigé par l'addition d'un autre élément (irremplaçable);

o L'élément doit être directement impliqué dans la nutrition des plantes, c'est-à-dire que son action ne peut être indirecte comme par exemple favoriser l'absorption d'un élément ou diminuer les effets toxiques d'un autre élément... ect.

Les éléments essentiels eux même peuvent être classés en 2 classes:

i. **Les macroéléments (macronutriment ou nutriments majeurs):** Les macro-éléments sont ceux qui sont requis en grande quantité par la plante afin d'assurer sa croissance et son développement. Ils sont présents dans la plante en quantités élevés qui peut varier de 0,1% à 4% de la matière sèche. Les principaux macronutriments requis pratiquement par toutes les plantes sont l'azote (N), le potassium (K), le phosphore (P), le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le soufre (S) (Briate et Lemaire, 2020). Le potassium K, le calcium Ca et le magnésium Mg sont prélevés du sol sous forme de cations simples K+, Ca2+, Mg2+. Le phosphore est prélevé sous forme d'ions phosphoriques H2PO4- et HPO42- (suivant le pH du sol) et le soufre S l'est sous forme de sulfate SO42-. L'azote N est prélevé sous une forme moléculaire ionisée (nitrate: NO_3^- et ammonium: NH_4^+) (Baset Mia, 2015; Hamdani, 2020; Morot-Goudry, 2022).

ii. **Les micro-éléments (oligoéléments ou bien éléments traces):** Les micro-éléments sont des éléments essentiels à la croissance des plantes et sont nécessaires en quantité faible dont leurs concentrations dans la plante excèdent rarement 5 mmoles.kg^{-1} (Delaire, 2005 ; Hamdani, 2020). Les quantités d'oligo-éléments assimilées par les plantes sont sous forme de traces mais leur rôle dans la nutrition globale de la plante est très important. 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). Le chlore est prélevé du sol sous forme d'anion Cl^-, et le bore B en milieu alcalin sous forme de borate H_3BO^{3-}. Le fer Fe, le manganèse Mn, le zinc Zn, le cuivre Cu, le molybdène Mo et le nickel Ni sont prélevés sous forme de cations, Fe2+ ou Fe3+ (selon les espèces), Mn2+, Zn2+, Cu2+, MoO42- et Ni2+. Leur concentration dans les tissus végétaux varie de 0,01 % pour le chlore Cl- et le fer Fe3+, à 0,00001 % pour le nickel et le molybdène (Hamdani, 2020; Morot-Gaudry, 2022). Leur absorption insuffisante provoque des troubles de végétation appelés maladies de carence (Henin, 1998).

Tableau I.1. Eléments essentiels aux plantes supérieures et concentrations internes considérées comme optimales pour une croissance normale (Briat et Lemaire, 2020)

Eléments	Symbole	Concentration dans la MS (%)	Forme absorbée	Groupe fonctionnel
Macroéléments				
Azote	N	1,5	NO_3^-, NH_4^+	1
Potassium	K	1	K^+	3
Calcium	Ca	0,5	Ca^{2+}	3
Magnésium	Mg	0,2	Mg^{2+}	3
Phosphore	P	0,2	HPO_4^{2-}/H_2PO^{4-}	2
Soufre	S	0,1	SO_4^{2-}	1
Silice	Si	0,1	SiO_3^{2-}	2
Microéléments				
Chlore	Cl	0,01	Cl^-	3
Fer	Fe	0,01	Fe^{2+} ou Fe^{3+}	4
Manganèse	Mn	0,005	Mn^{2+}	3
Zinc	Zn	0,002	Zn^{2+}	4
Bore	B	0,002	$B(OH)_4^-$	2
Cuivre	Cu	0,0006	Cu^{2+}	4
Nickel	Ni	0,00001	Ni^{2+}	4
Molybdène	Mo	0,00001	MoO_4^{2-}	4

I.3.2.2. Eléments non essentiels

Les éléments non essentiels (facultatifs), on les divise en 2 groupes (Hamdani, 2020):

i. **Eléments utiles ou essentielles** pour quelques plantes seulement (Na, Si, Co, Al, Se, Ti).

ii. **Eléments toxique:** ce sont ceux qui inhibent la croissance et le développement des plantes, leur action peut être en relation avec un blocage d'un système enzymatique, en tenant compte que l'élément minéral ajouté en concentration élevée inhibe la croissance et le développement: il devient toxique.

I.3.3. Fonction des principaux éléments minéraux

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

Tableau I.2. Fonctions des éléments minéraux dans la plante (Briat et Limaire, 2020)

Eléments	Fonctions impliquées
Groupe 1 : N, S	Constitution de composés carbonés (acides aminés, acides nucléiques…)
Groupe 2 : P, Si, B	Conservation de l'énergie et intégrité structurale (sucres-phosphates, acides nucléiques, phospholipides, ATP…)
Groupe 3 : K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, Mn^{2+}, Na^+	Osmorégulation, cofacteurs d'enzymes, signalisation… (sous formes ioniques)
Groupe 4 : Fe, Cu, Zn, Ni, Mo	Réactions redox (constituants des cytochromes, oxydases…)

I.3.4. Effet de la nutrition sur la santé végétale

Divers éléments peuvent influencer l'équilibre interne et le fonctionnement d'une plante, ce qui peut à son tour augmenter ou réduire sa susceptibilité aux ravageurs et aux maladies. Ces facteurs peuvent être liés à la plante elle-même, à son environnement ou aux pratiques de gestion adoptées, notamment la fertilisation (Guazzelli *et al.*, 2008 Bouchenafa, 2020; Ali kacem *et al.*, 2021).

D'après Chaboussou (1981 *in* Bouchenafa, 2020), 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 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. 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 (Crosby, 2008 *in* Camille, 2009; Bouchenafa, 2020; Ali kacem *et al.*, 2021). D'après Camille (2009), la nutrition induisant des variations aussi bien au niveau du métabolisme primaire qu'au niveau du métabolisme secondaire.

I.4. Généralité sur les Biofertilisants

Le secteur agricole est en pleine révolution en raison des effets négatifs des changements climatiques, de la croissance mondiale continue et de la demande alimentaire croissante. Les techniques et produits agricoles traditionnels (engrais, pesticides, etc.) sont en train de passer de la dépendance aux combustibles fossiles à une économie biologique plus durable. Dans ce contexte, des technologies innovantes doivent être développées pour maximiser la productivité globale des cultures tout en prenant en compte les différentes contraintes économiques, sociales et environnementales. Les biofertilisants apparaissent comme un outil intéressant pour augmenter la qualité et le rendement des cultures dans les pratiques agricoles modernes (Sanchez quintero, 2022). Autrement, les biofertilisants, les biostimulants et les biopesticides issus de produits et de processus naturels, constituent une alternative très prometteuse pour les producteurs, qui doivent renouer avec des pratiques et techniques agro-écologiques traditionnelles innovantes. Cependant la méconnaissance sur les constituants moléculaires et modes d'actions (principes actifs) de ces produits, engagent scientifiques et agriculteurs dans un partenariat renforcé pour répondre, de manière adéquate, à la demande croissante de moyens permettant de lutter efficacement contre les stress biotiques et/ou abiotiques rencontrés sur les exploitations agricoles (Desfontaines *et al.,* 2018).

I.4.1. Définition de Biofertilisants

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, sur le sol ou sur des surfaces végétales ils accélèrent certains processus microbiens dans le sol impliqués dans l'augmentation de la disponibilité des éléments nutritifs dans une forme facilement assimilable par les plantes (Vessey, 2003 *in* Assemien, 2018).

Les bio-fertilisants peuvent également être appelés « biostimulants », « stimulateurs de croissance et/ou développement », « activateurs de sol » ou encore « phytostimulants » (Faessel *et al.,* 2015 *in* Fruchart, 2016). L'EBIC (European Biostimulants Industry Council) définit le biofertilisant comme : « un produit 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 bio-stimulant » (European Biostimulants Industry Council). Les biostimulants n'ont pas d'action directe vis-à-vis des agents pathogènes et de ce fait ne tombent pas sous le coup de la réglementation des pesticides (Alabouvette et Cordier, 2018 *in* Zemmouri et Belhadj, 2022).

Les Biofertilisants, aussi appelés les **inoculants microbiens**. Ils ont été retrouvés pour stimuler la croissance et le rendement des plantes de 10 à 40% selon Stewar et

Roberts (2012 *in* Daniel *et al.,* 2022). Ces bio-inoculants colonisent l'environnement lorsqu'ils sont appliqués sur la rhizosphère et l'intérieur de la plante pour favoriser la croissance de la plante (Nosheen *et al.,* 2021 *in* Daniel *et al.,* 2022). Ils ajoutent non seulement des éléments nutritifs au sol pour améliorer la fertilité du sol et le rendement des cultures, mais ils protègent également la plante contre les ravageurs et les maladies. Il a été démontré qu'ils améliorent la survie des semis, prolonger la durée de vie du système racinaire, éliminer les produits chimiques nocifs et raccourcir la période de la floraison. Un autre avantage est que les biofertilisants ne sont plus nécessaires après 3 à 4 ans d'utilisation continue, car les inoculums parentaux sont suffisants pour la croissance et la multiplication (Bumandala et Tserennadmid, 2019 *in* Daniel *et al.,* 2022).

I.4.2. Type de biofertilisants

I.4.2.1. Biofertilisants à base des bactéries fixatrices d'azote (NFB)

L'azote (N) est un élément essentiel à la vie et c'est le quatrième élément le plus abondant dans toute la biomasse vivante après l'hydrogène, le carbone et l'oxygène (Howarth, 2009 *in* Mitter *et al.,* 2021). C'est un composant essentiel de la chlorophylle, des acides aminés, des acides nucléiques et de la molécule de transfert d'énergie, l'adénosine triphosphate (ATP) (Werner et Newton, 2005 *in* Mitter *et al.,* 2021). La source importante de N dans les sols est le N organique qui nécessite la minéralisation microbienne pour être converti en N inorganique disponible pour les plantes sous formes (NO_3^-, NH_4), une combinaison d'ammonification et de nitrification (Paul, 2015 *in* Mitter *et al.,* 2021). Cependant, le principal réservoir de N se trouve dans l'atmosphère sous forme de N2, qui n'est pas directement utilisé par les plantes et n'est disponible que par la fixation biologique de N2 (BNF) (Figure 1). Il s'agit d'un processus énergivore par lequel l'enzyme nitrogénase convertit le N2 atmosphérique en ammoniac (NH3), qui est facilement assimilable par les plantes et les microbes (Dakora *et al.,* 2008 in Mitter *et al.,* 2021). Les nitrogénases peuvent être trouvées dans un petit groupe diversifié de micro-organismes appelés **diazotrophes** (fixateurs de N2), qui comprend des bactéries symbiotiques, des bactéries et des archées libres (Moreira-Coello *et al.,* 2019 *in* Mitter *et al.,* 2021). Le processus de conversion de l'azote atmosphérique en ammoniac par ces diazotrophes est connu sous le nom de fixation biologique de l'azote (BNF). Ces derniers permet la reconstitution de la teneur totale en azote et l'azote fixé régule la croissance et le rendement des cultures (Kumar *et al.,* 2022).

En agriculture, les organismes symbiotiques fixateurs de N2 les plus étudiés sont les bactéries connues sous le nom de rhizobium, composées principalement de la famille des Rhizobiaceae. Les rhizobiums peuvent établir des relations symbiotiques avec des légumineuses (famille des Fabacées) en formant des nodules sur leurs racines ou leurs tiges (Masson-Boivin et Sachs, 2018 *in* Mitter *et al.,* 2021). Ces nodules offrent un avantage pour la fixation de N2 dans laquelle les nitrogénases sont protégées dans les bactéroïdes de l'O^2 atmosphérique. La concentration en oxygène est un facteur important déterminant la quantité de N fixée, car l'oxygène est un régulateur négatif de l'expression du gène nif et

inhibe l'activité de la nitrogénase (Glick, 2015 *in* Mitter *et al.*, 2021). Plusieurs rhizobiums, tels que Rhizobium, Sinorhizobium (Ensifer) et Bradyrhizobium, sont couramment utilisés comme bio-fertilisants en agriculture (Cararetо Alves *et al.*, 2014 *in* Mitter *et al.*, 2021). Les plantes peuvent acquérir une part importante de leurs besoins en N par le biais d'associations avec les diazotrophes (Dakora *et al.*, 2008 *in* Mitter *et al.*, 2021).

Par exemple, la fixation de N2 pourrait fournir ~20–25 % des besoins en N total du riz, ~30–50 % du blé et jusqu'à 70 % de la canne à sucre (Hurek *et al.*, 2002; Gupta et Paterson, 2006; Santi *et al.*, 2013 *in* Mitter *et al.*, 2021). Pourtant, la quantité de N fournie par le BNF variera en fonction de l'espèce végétale et des facteurs environnementaux, ce qui déterminera finalement une colonisation réussie (Parnell *et al.*, 2016 *in* Mitter *et al.*, 2021).

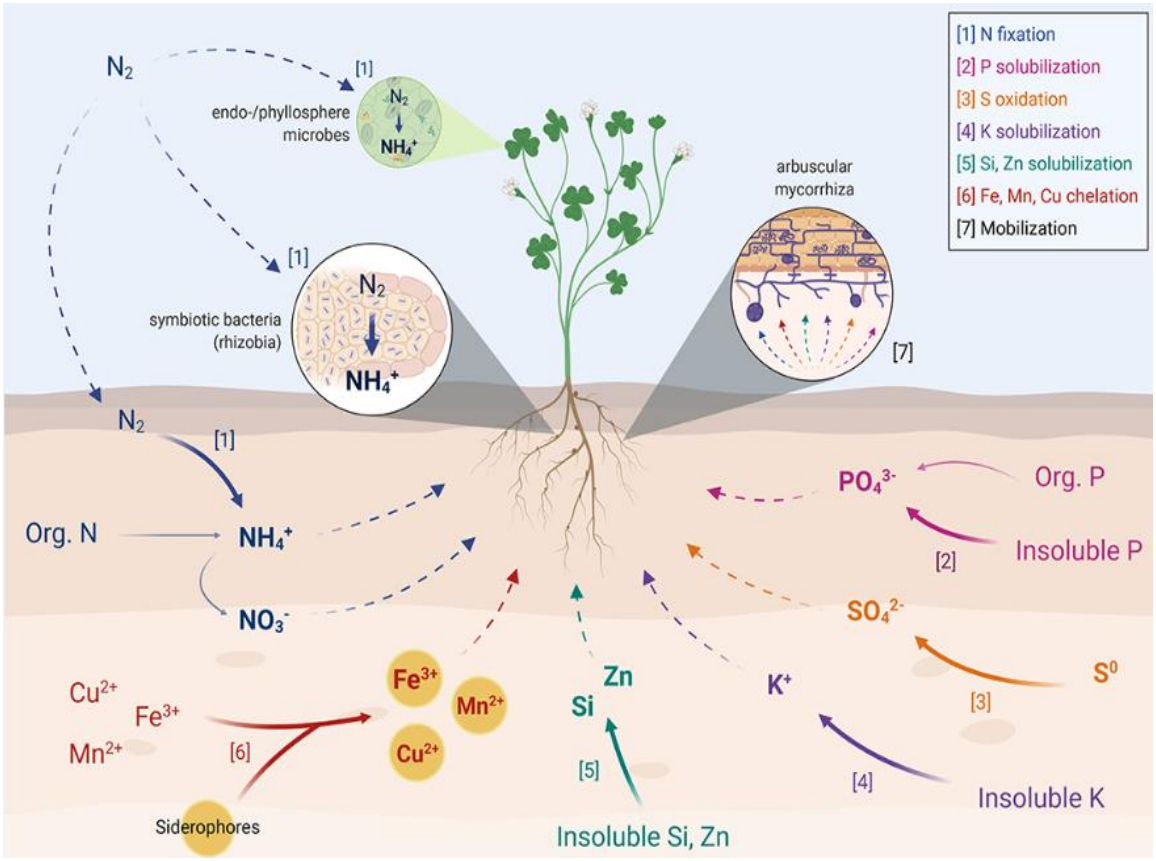


Figure I.5. Principales voies de transformation/d'acquisition des nutriments à médiation microbienne associées aux biofertilisants (Mitter *et al.*, 2021)

Les flèches pleines représentent les transformations microbiennes tandis que les flèches en pointillés représentent la mobilisation/mouvement des nutriments.

I.4.2.2. Bio-fertilisants à base des bactéries solubilisatrices de phosphore

Le phosphore est l'un des éléments nutritifs les plus importants pour les plantes car il affecte directement ou indirectement tous les processus métaboliques majeurs tels que la

photosynthèse, le transfert d'énergie, la transduction du signal, la biosynthèse de molécules et la respiration (Raghothama, 2015 *in* Mitter *et al.,* 2021). Cependant, dans le sol, le phosphore se présente principalement sous forme de phosphate insoluble qui ne peut pas être absorbé par les plantes. Les microbes du sol tels que les champignons (Penicillium et Aspergillus), les actinomycètes, les algues microscopiques et les bactéries (*Bacillus*, *Pseudomonas* et *Aspergillus*) sont capables de convertir le phosphore insoluble du sol en forme(s) assimilable(s) par les plantes (PO_4^{3-}) par divers mécanismes de solubilisation et minéralisation, afin que les plantes puissent les utiliser efficacement (Chibani, 2017; Richardson, 2001 *in* Thomas et Singh, 2019; Alori *et al.,* 2017 *in* Mitter *et al* ., 2021) (Figure I.5). Selon Riaz *et al.* (2020 in Mitter *et al*., 2021), les espèces microbiennes peuvent également libérer des composés chélatants qui capturent et mobilisent des cations de différents phosphates insolubles tels que Ca^{+2}, Al^{+3} et Fe^{+3}, ce qui entraîne la libération des phosphates solubles associés. En augmentant la biodisponibilité du phosphore, les PSM réduisent le besoin d'apports en engrais phosphatés minéraux, qui en excès peuvent entraîner des impacts environnementaux négatifs tels que l'eutrophisation des eaux douces.

I.4.2.3. Bio-fertilisants à base des bactéries solubilisatrices de potassium

Le potassium est un macronutriment intégral pour l'activation enzymatique, l'équilibre osmotique, le transport du phloème, la photosynthèse et la synthèse des protéines chez les plantes (Teotia *et al.,* 2016 *in* inamuddin *et al.,* 2021). La concentration de potassium soluble est généralement minime dans le sol, car la plupart des potassiums se présentent sous forme de minéraux silicatés et de roches insolubles (Parmar et Sindhu, 2013 *in* inamuddin *et al.,* 2021). Cependant, près de 98 % du potassium présent dans le sol se trouve sous une forme non échangeable, environ 1 à 2 % est adsorbé sur les particules d'argile et de matière organique, tandis que seule une quantité de 0,1 à 0,2 % est soluble dans la solution du sol et donc directement disponible pour être absorbée par les plante (Srivastava *et al.,* 2019 *in* Mitter *et al* ., 2021). Les limitations de potassium dans le sol pourraient être résolues en utilisant des micro-organismes solubilisateurs de potassium (KSM) (*Arthrobacter*, *Acidithiobacillus*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Paenibacillus* …) qui produisent des acides organiques comme les acides formique, malique, oxalique et tartrique pour libérer du K à partir de divers minéraux insolubles, notamment l'illite, les micas et les orthoclases (inamuddin *et al.,* 2021). Ces acides peuvent transformer le potassium en formes solubles via la solubilisation directe du potassium de la roche ou l'excrétion du silicium chélaté. Les acides organique augmentent la solubilisation des composés K via l'apport de protons et la formation de complexes avec des ions métalliques, tels que Ca2+, présents dans le sol (Figure I.5) (Etesami *et al.,* 2017 *in* inamuddin *et al.,* 2021).

I.4.2.4. Bio-fertilisants à base des bactéries oxydatives de soufre

Le soufre (S) est un nutriment essentiel à la croissance des plantes, impliqué dans la conformation de biomolécules telles que les protéines, le glutathion, les lipides de membrane chloroplastique, les coenzymes et les vitamines. La plupart du S dans les sols

(~95 %) se trouve sous une forme organique (On retrouve 3 formes: Acides aminés (cystéine, cystine, méthionine): formes réduites; Sulfonates: forme intermédiaires ; Sulfates: formes les plus oxydées), tandis que les formes inorganiques sont moins couranstes (5 à 10 %). La forme la plus courante de S inorganique est le sulfate (SO_4^{2-}), qui est facilement disponible pour l'absorption par les plantes et est présent soit en solution dans le sol, soit adsorbé aux particules du sol (Scherer, 2009 *in* Mitter *et al.,* 2021; AgroLeague, 2022). Au cours des dernières décennies, la carence en soufre dans les sols agricoles a augmenté à l'échelle mondiale, probablement en conséquence de la diminution des dépôts atmosphériques de S due à la réduction des émissions de SO2 et à l'utilisation d'engrais à faible teneur en soufre (Ercoli *et al.,* 2012 *in* Mitter *et al.,* 2021). Par conséquent, les engrais soufrés ont reçu une attention croissante, le soufre élémentaire (S^0) étant la forme la plus courante d'engrais soufré. Le soufre élémentaire constitue une forme hautement concentrée de S, mais doit être oxydé en SO_4^{2-} pour devenir disponible pour les plantes (Scherer, 2009). La réaction du soufre dans le sol est semblable à celle de l'azote. Les deux éléments sont soumis à l'oxydation et à la réduction par les organismes microbiens, ils sont ensuite lessivés sous forme d'anions et peuvent se transformer en gaz volatil (AgroLeague, 2022). Autrement, les espèces microbiennes peuvent aider à la fois à optimiser la fertilisation au soufre et à minimiser les risques environnementaux causés par la lixiviation du soufre (Figure I.5). Les bactéries oxydantes de soufre peuvent utiliser le S^0 comme source d'énergie, libérant du sulfate disponible pour les plantes. Par conséquent, leur inoculation avec des engrais S^0 peut accélérer sa conversion en sulfates, ce qui peut potentiellement conduire à des rendements plus élevés des cultures (Pujar *et al.,* 2014). Selon Macik *et al.* (2020), un nombre important d'espèces microbiennes ayant la capacité d'oxydation du soufre a été isolé et identifié; celles-ci comprennent des bactéries tels que les genres *Xanthobacter, Alcaligenes, Bacillus, Pseudomonas, Streptomyces* et *Thiobacillus,* ainsi que des champignons tels que *Fusarium, Aspergillus* et *Penicillium*.

I.4.2.5. Bactéries solubilisant le silicate

Les bactéries solubilisant le silicate sont des micro-organismes capables de dégrader les silicates qui sont des minéraux formés à partir d'un motif élémentaire tétraédrique (SiO^4). Ils fournissent: (*i*) des ions H^+ dans le milieu favorisant ainsi l'hydrolyse; (*ii*) les acides organiques comme l'acide citrique, l'acide oxalique, les acides aminés et les acides hydro-carboxyliques dont le complexe avec des cations permet de promouvoir leur enlèvement et leur rétention dans le milieu à l'état dissous (Agritech, 2014 *in* Assemien, 2018). De manière générale, les isolats bactériens fabriqués à partir de différents endroits ont un potentiel variable de solubilisation des silicates. Des études d'inoculation avec des isolats sélectionnés avec de la terre rouge, des sols argileux, des sols sableux et la terre vallonnée ont montré que les organismes se multiplient dans tous les types de sol et libèrent plus de silice augmentant ainsi la disponibilité de la silice dans le sol et l'eau (Amutha *et al.,* 2014 *in* Assemien, 2018).

I.4.2.6. Production des sidérophores

Les micronutriments tels que le fer (Fe), le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le manganèse (Mn), le bore (B), le molybdène (Mo), le chlore (Cl), le nickel (Ni), le cobalt (Co) et le silicium (Si) sont essentiels pour les plantes (Butzen et Jeschke, 2022). Ils sont indispensables au développement des plantes car ils participent à des réactions enzymatiques critiques, notamment la photosynthèse, la respiration, l'oxydation de l'eau et la protection contre le stress oxydatif (Castro *et al.,* 2018 *in* Mitter *et al.,* 2021). En fait, plusieurs études ont révélé que les carences en micronutriments entravent la production agricole dans de nombreuses régions du monde, en particulier dans les sols alcalins à faible teneur en matière organique (Rashid et Ryan, 2004 *in* Mitter *et al.,* 2021).

Le fer est un nutriment essentiel pour les plantes et leurs métabolismes. Il agit en tant que cofacteur dans un certain nombre d'enzymes essentielles aux processus physiologiques importants tels que la respiration, la photosynthèse et la fixation d'azote. Il est dans la nature sous la forme ferrique (Fe3+) insoluble (Guei, 2020). Pour satisfaire les besoins nutritionnels en fer, les bactéries ont développé des mécanismes appropriés pour l'assimilation du fer y compris la production de composés chélateurs de fer de bas poids moléculaire connus sous le nom de sidérophores. Ce sont de petites molécules peptidiques qui peuvent fournir un ensemble de ligands à haute affinité pour coordonner les ions ferriques. Les sidérophores fongiques sont divisés en trois familles principales selon le groupe fonctionnel caractéristique (l'acide rhodotorulique, les ferrichromes et les fusarinines) et quatre classes de sidérophores bactériens (les phénols-catécholates, les hydroxamates, les carboxylates et les pyoverdines) (Vejan *et al.,* 2016 *in* Guei, 2020; Crowley, 2006 *in* Mitter *et al.,* 2021). Les sidérophores ont été impliqués dans l'amélioration directe et indirecte de la croissance des plantes par des bacteries. Diverses études ont montré l'isolement des bactéries productrices de sidérophore appartenant aux genres *Bradyrhizobium, Pseudomonas, Rhizobium, Serratia* et *Streptomyces* de la rhizosphère (Guei, 2020).

D'après Ahmed et Holmström (2014 *in* Mitter *et al.,* 2021), les espèces végétales telles que l'orge, le seigle et le blé, peuvent aussi produire des concentrations élevées de sidérophores et sont ainsi plus résistantes à la carence en fer (Ahmed et Holmström, 2014 *in* Mitter *et al.,* 2021). Cependant, d'autres cultures (par exemple, le maïs, le sorgho et le riz) ayant une production de sidérophores plus faible peuvent bénéficier des micro-organismes producteurs de sidérophores. Chez les plantes agricoles, la production de sidérophores par *Pseudomonas fluorescens* a été démontrée jouer un rôle dans la nutrition en Fe et la PGP (plant growth promotion) chez la tomate (Nagata, 2017), le pois (Lurthy *et al.,* 2020) et le sorgho (Abbaszadeh-Dahaji *et al.,* 2020 *in* Mitter *et al.,* 2021) dans des conditions de carence en fer. En plus du Fe, on sait que les sidérophores se lient à d'autres métaux (par exemple, Al^{3+}, Cd^{2+}, Co^{2+}, Cu^{2+}, Hg^{2+}, Mn^{2+}, Ni^{2+} et Pb^{2+}) (Saha *et al.,* 2013 *in* Mitter *et al.,* 2021) (Figure I.5.).

La carence en zinc est le problème de micronutriments le plus important chez les cultures, entraînant la nécrose des racines, la réduction de la biomasse et du rendement, ainsi qu'une forte mortalité végétale (Caldelas et Weiss, 2017 *in* Mitter *et al.*, 2021). De plus, on estime que plus de 84 % du zinc total du sol se trouve sous forme liée au réseau cristallin [par exemple, la zincite (ZnO) et le sulfure de zinc (ZnS)], tandis que seulement 1 % est sous forme soluble dans l'eau et disponible pour l'absorption par les plantes (; Prasad et al., 2016 *in* Mitter *et al.*, 2021). En conséquence, le zinc est maintenant intégré dans les engrais chimiques (c'est-à-dire, appliqué avec NPK) pour la plupart des cultures dans plusieurs pays. Cependant, la plupart de ce zinc soluble dans l'eau (96 à 99 %) est rapidement converti en formes insolubles, et seulement 1 à 4 % du zinc total appliqué peut être utilisé par les plantes (Kushwaha et al., 2020). Une solution à ce problème est l'application de microbes solubilisateurs de zinc (ZSM) (*Bacillus subtilis*, *Thiobacillus thioxidans*, *Saccharomyces sp*) comme biofertilisants pour augmenter la disponibilité du zinc dans les sols où ce micronutriment est présent en concentrations élevées mais sous des formes insolubles (Sammauria et al., 2020 *in* Mitter *et al.*, 2021) (Figure I.5). Tout comme les autres solubilisateurs, ces ZSM sont capables de solubiliser le zinc par acidification, chélation et transformation chimique (Macik et al., 2020 *in* Mitter *et al.*, 2021).

I.4.3. Lombricompost

I.4.3.1. Définition

Le lombricompost est un processus biologique qui permet de convertir des matières organiques fraîches en un produit stabilisé, hygiénique tel que le terreau. Ce procédé plus rapide que le compostage, permet la bio-oxydation et la stabilisation des matières organiques. Il consiste en un passage du substrat par les intestins des vers de terre riches en micro-organisme et en régulateurs de croissance (Nagavallemma 2004 *in* Guermache et *al.*, 2018). D'après Chaichi et Djazouli (2017), est un produit issu de la dégradation des déchets organiques par des interactions entre les vers de terres anéciques et les micro-organismes 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. Le lombricompost est riche en éléments nutritifs (azote, phosphore, potassium, calcium, magnésium, cuivre, fer, manganèse et zinc…), en différentes enzymes et vitamines ainsi qu'en matières organiques (Pajot ,2010; Andrianarimanana, 2014) et, par conséquent, constitue une bonne source de fumier pour les cultures. Il contient également une grande diversité de population microbienne bénéfique au sol (fixateur d'azote, solubilisant de phosphate**, solubilisant de potassium** ….) (Sinha *et al.*, 2011 *in* Zemmouri et Belhadj, 2022). Le lombricompost est un fumier organique non toxique, stable et granulaire, enrichit la qualité du sol en améliorant ses propriétés physico-chimiques, biologiques ainsi que les activités biochimiques. Il est très utile pour l'élevage de semis et pour la production agricole, il est également écologique (Mosa *et al.*, 2015 *in* Zemmouri et belhadj, 2022).

L'utilisation des différentes doses de biofertilisant du lombricompost, a permis de mieux comprendre le rôle de cette substance naturelle sur la performance de la production de la phytomasse et dans l'induction de la résistance contre les ennemis naturels en particulier (Pajot 2010). Le même auteur montré que, le traitement foliaire des plants avec du lombricompost était associé au développement de certaines réponses défensives dans les tissus des plantes hôtes.

I.4.3.2. Lombricompostage

Le lombricompostage encore appelé le vermicompostage est un procédé éco-biotechnologique très efficace de conversion des déchets organiques solides en une ressource précieuse, utile et respectueuse de l'environnement (Patwa *et al*., 2020 *in* Ahmed et Deka, 2022). Le **lombricompostage** est une technique de compostage, à l'origine agricole, qui consiste à placer dans une compostière (un récipient) de vers de fumier (Eisenia foetida) (Mustin, 1987) qui se nourrissent des déchets qu'on leur apporte. Leurs déjections s'accumulent et constituent le « Lombricompost » de la consistance d'un terreau et sans odeur. Le terme vermicompostage (ou lombricompostage) se réfère à l'utilisation de vers pour composter ou transformer les résidus organiques. Les vers peuvent consommer pratiquement tous les types de matière organique et peuvent absorber l'équivalent de leur propre poids par jour (Koledzi, 2011). Cette technique est basée sur une observation fine du fonctionnement des sols, véritables intestins du monde, capables de recycler en permanence les couches de matières qui s'y déposent. C'est un procédé de bio-oxydation, de décomposition et de stabilisation de la matière organique, mais sous l'action combinée des microorganismes mésophiles et des lombrics (St-Pierre *et al*., 2010 *in* Qi, 2012).

Le vermicompostage produit deux types d'engrais, le thé de vermicompost et le jus de vermicompost. Le thé de vermicompost a la consistance d'un terreau sans odeur, riche en éléments nutritifs pour les végétaux et en oligo-éléments. Il améliore l'aération, le drainage et la structure du sol. Le jus de vermicompost pas le sol récupéré dans le fond du vermicomposteur, provient essentiellement de l'eau contenue dans le vermicompost. Il est chargé de nutriments minéraux et d'oligo-éléments (Koledzi, 2011; Guermache *et al.*, 2018)

I.4.3.3. Différents types de Compostière

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 *in* Zemmouri et Belhadj, 2022). Il existe deux grandes catégories:

i. Compostière Vertical

Un seul bac est le lombricomposteur la plus simple. Un conteneur basique avec un robinet dans le fond suffit. Les déchets sont alors simplement déposés par le haut comme on le ferait avec une poubelle classique. Simple, peu onéreux et ne nécessitant pas de grands espaces, ce simple bac complique la récolte. À ce moment il faudra sortir tout le contenant, séparer les déchets non encore transformés pour les remettre au fond et surtout trier le lombricompost des vers (Figure I.6.) (Safiddine, 2012 *in* Ali kacem *et al.,* 2021). Inspiré de la technique du silo, ce dispositif permettra de traiter de plus grandes quantités de matière. On veillera cependant à ce que la température ne s'élève pas trop en raison du volume plus important de déchets accumulés. Une température supérieure à 40°C est mortelle pour les vers qui fuiront la compostière.

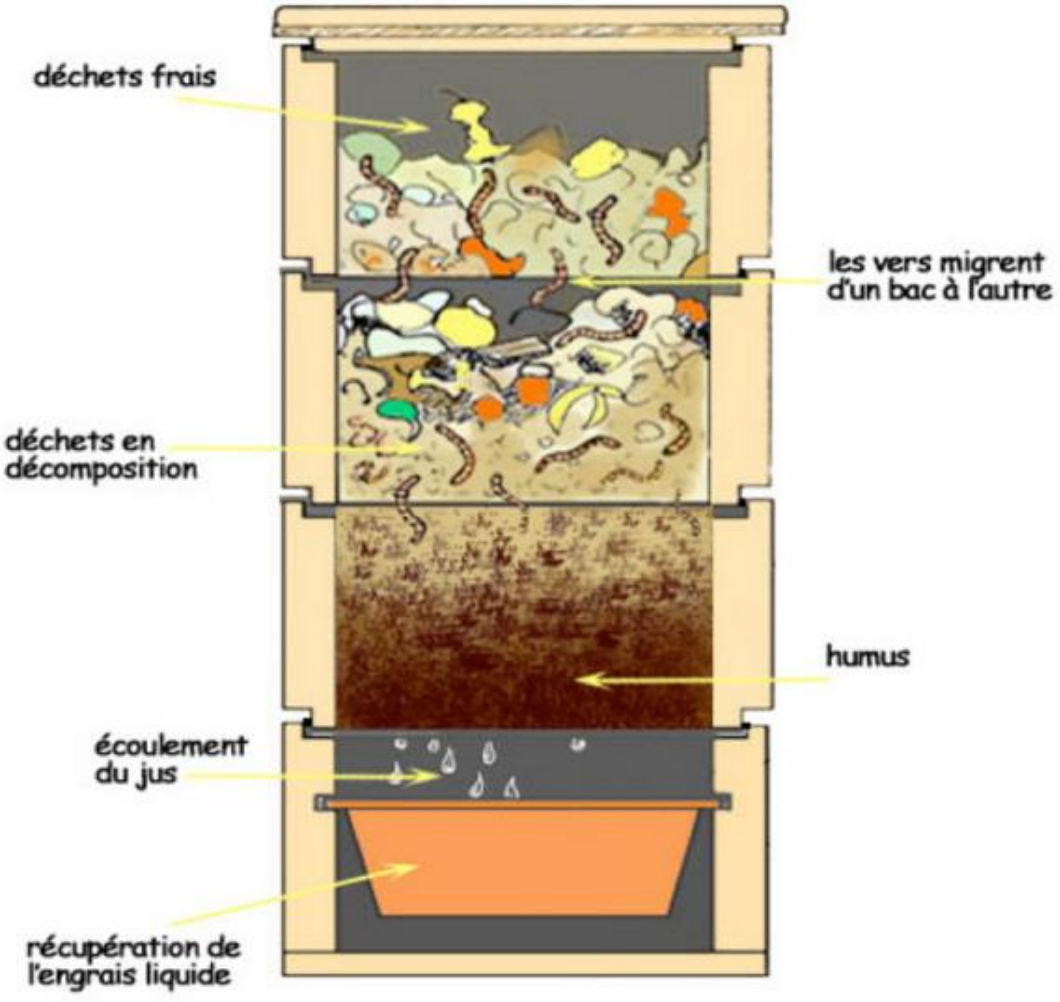


Figure I.6. Dispositif d'un lombricomposteur vertical https://www.transition-verte.com/nutriments-le-the-de-vers/

ii. Compostière Horizontal

Les Compostières sont coupées en deux parties par une séparation verticale trouée. La récupération du compost est beaucoup plus facile dans celle-ci. Vous mettez vos

déchets dans un côté, lorsque ce coté est plein, le dépôt des déchets se fait dans le second, la séparation entre les deux étant prévus pour, les vers vont alors simplement migrer pour effectuer la transformation de ces nouveaux déchets. Ainsi quand arrive la fin du second bac, le premier est entièrement composté et peut être directement récolté (Figure I.7.) (Hassan, 2010 *in* Safiddine, 2012; Hassan *et al.,* 2010 *in* Guermache *et al.,* 2018).



Figure I.7. Dispositif d'un lombricomposteur horizontal (**https://www.wormfarmingrevealed.com/flowthrough-outdoor-vermicompost-system.html)**

I.4.4. Types de lombrics en lombricompostage

Les lombrics représentent 60 à 80% de la masse animale du sol. Il existe environ de 4400 espèces de vers dans le monde mais seules quelques-unes peuvent être mises dans la compostière (Singh *et al.,* 2022 *in* Zemmouri et Belhadj, 2022). Bouché (1972 in St-Pierre, 1998) a classifié les lombrics en 3 catégories écologiques, selon leur position dans le sol, l'écologie et leur adaptation morphologique. On retrouve les anéciques, les endogés et les épigés.

- ***Anécique et endogés***

Les anéciques et les endogés constituent la majeure partie des lombrics présents dans le sol. Par la formation de galeries, ces lombrics assurent l'enfouissement actif des sources alimentaires au niveau du sol. Ainsi, ils sont responsables de la redistribution des nutriments, réduisant leurs pertes par lessivage (les pertes par lessivage du P inorganique sont entre 4 à 8 fois plus importante au niveau d'un sol ne contenant pas de lombrics). Le groupe des anéciques, dont fait partie *Lumbricus terrestris*, ont une action très importante au niveau des sols. Le sol est leur milieu de vie, leur nourriture. Laboureurs, ils creusent des galeries plus ou moins verticales qui s'ouvrent à la surface du sol. Ils sont donc responsables de l'aération du sol et d'une fraction importante de la macroporosité favorisant

l'infiltration de l'eau. La nuit, ils prélèvent la litière superficielle, comme source de nourriture et la dépose dans leurs galeries. De leur côté, la endogés vivent constamment dans le substrat minéralo-organique du sol. Ils font des galeries horizontales et ils se nourrissent de terre plus ou moins mélangée à la matière organique. Par l'ingestion du sol et des résidus, les anéciques et les endogés modifient, par l'action mécanique et l'activité enzymatique de leur tube digestif, les propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol. Sur une surface de 100 mètres carrés, le lombric digère plus de 100 kilogrammes de terre en un an (Dumas, 1996 in St-Pierre, 1998). Par leur travail, ils contribuent à l'aération du sol, augmentent sa macroporosité, améliorent sa structure, son drainage, diminuent son acidification en éliminant le gaz carbonique fixé sous forme de carbonate de calcium, améliore la décomposition de la matière organique, sa fertilité et amène une augmentation de sa productivité.

- ***Epigés***

Le groupe des épigés vivent hors du substrat minéral du sol. Ils sont écologiquement associes aux substrats organiques, comme les composts et les fumiers ainsi qu'aux litières en décomposition. Ce groupe décomposent la matière organique et participent au processus d'humification (Edwards, 1995 *in* St-Pierre, 1998).

D'après Edwards (2004 *in* Kiyasudeen *et al.,* 2016), six espèces de vers de terre (*Eisenia fetida, Eisenia Andrei, Dendrobaena veneta, Lumbricus rubellus, Eudrilus eugeniae, Perionyx excavatus* et *Perionyx hawayana*) ont été identifiées comme potentiellement les espèces les plus utiles pour décomposer les déchets organiques. D'autres espèces peuvent être utilisées, mais ces espèces sont les plus courantes. L'un des vers les plus prometteurs pour le lombricompostage est ***Eisenia fetida*** (St-Pierre, 1998, Edwards, 1988 *in* Siddique *et al.,* 2015). D'après Edwards (1998 *in* St-Pierre, 1998), *E. fetida* est l'espèce la plus utilisée pour le lombricompostage, 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 (0°C et 35°C) et d'humidité.

I.4.5. Importance de la lombriculture

Lorsque les vers consomment de la matière organique, leur système digestif produit de l'eau et du mucus qui réactive les micro-organismes présents dans le sol pendant la digestion. Cette stimulation des micro-organismes accélère le processus de décomposition et de minéralisation des matières organiques, ce qui permet aux vers d'assimiler une partie du carbone et des nutriments libérés par l'activité microbienne. Cependant, cette réactivation n'est pas seulement bénéfique pour la nutrition des vers, car elle se manifeste également dans les turricules ou l'urée qu'ils produisent. Ces excréments se caractérisent par des concentrations en éléments minéraux (azote, potassium, phosphore, etc.) nettement plus élevées que celles présentes dans le sol environnant. Par exemple, l'urée peut contenir jusqu'à 40 kg d'azote minéral par hectare d'un sol "vivant". Ainsi, les

vers favorisent la multiplication des bactéries et des champignons après une "désinfection biologique" des micro-organismes nuisibles présents dans la matière organique, ce qui permet de concentrer les éléments minéraux nécessaires à la croissance des plantes (Benhamou et Rey, 2012).

En outre, les vers contribuent grandement à la dynamique et à la structure du sol, qu'ils modifient en permanence. Ils participent à la création de microporosité dans le sol (inférieure à 0,006 mm de diamètre) et leurs turricules améliorent la capacité de rétention d'eau du sol. Par le biais de leurs galeries, ils créent également de la macroporosité (de 2,5 à 11 mm de diamètre), favorisant ainsi l'infiltration de l'eau dans le sol et son aération, ce qui permet la pénétration et le développement des racines des plantes. Leurs déplacements entre le sous-sol et la couche arable permettent un renouvellement continu du sol (Benhamou et Rey, 2012). Selon Tazeen (2022), la vermiculture peut servir à l'**mélioration de la qualité** des terres**.**

I.5. Stimulation de défende naturelle chez les plantes(SDN)

I.5.1. Définition

En 2002, le Larousse agricole définit les stimulateurs de défenses naturelles comme des substances qui, appliquées aux plantes, entraînent la mise en route de mécanismes de défense pouvant être ultérieurement efficaces contre les agressions parasitaires. De natures diverses (polysaccharides, enzymes), les SDN jouent un rôle d'éliciteur et sont capables de renforcer la résistance des plantes aux agresseurs. Elles peuvent avoir un intérêt en agriculture biologique notamment, mais aussi en agriculture industrielle, en soutien des traitements habituels (Blanchard, 2021).

D'après 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. Les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN) sont une famille particulière de pesticides, également qualifiée de « vaccins des plantes » : ils ont en effet la particularité d'aider la plante à se défendre contre les champignons et bactéries au lieu de les attaquer directement. Comme les vaccins, les SDN simulent une attaque ou mettent en branle les mécanismes moléculaires de défense, qui pourront réagir plus vite et plus efficacement à la prochaine véritable attaque (Blanchrard, 2019).

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; Bouchenafa, 2020; Ali kacem *et al.,* 2021; Zemmouri et Belhadj, 2022).

I.5.2. Avantages et limites des SDN

Au cours des dernières décennies, les avancées spectaculaires de nos connaissances sur les mécanismes impliqués dans la résistance induite chez les plantes (Benhamou et Rey 2012) ont conduit la communauté scientifique à envisager l'exploitation de cette stratégie de défense naturelle dans un contexte conjuguant la préservation de l'environnement et la production agricole intensive (Klarzinsky et Fritig 2001 *in* Benhamou et Rey, 2012). Ces derniers temps, plusieurs facteurs militent en faveur de l'utilisation des stimulateurs de défense naturelle (SDN) pour sensibiliser les plantes à répondre plus rapidement et plus efficacement à des stress biotiques et/ou abiotiques (Benhamou 2009 *in* Benhamou et Rey, 2012).

- Les ingrédients actifs des SDN sont des substances entièrement biologiques ou des dérivés synthétiques de molécules biologiques;
- Les SDN présentent l'avantage de conserver leur activité biologique sur une longue période grâce à une formulation appropriée. En général, ils ne sont pas dépendants des conditions climatiques, mais leur efficacité varie en fonction du cycle biologique de la plante ;
- Les SDN sont capables de conférer aux plantes une résistance systémique et durable;
- Les SDN n'exercent pas de phytotoxicité répertoriée et leur toxicité pour l'environnement est réduite, voire inexistante. De plus, ils sont biodégradables;
- Les SDN exercent un effet potentiel sur la réduction des fréquences d'apparition de phénomènes de résistance;
- L'application des SDN est relativement simple et s'intègre parfaitement aux pratiques culturales usuelles;
- Les SDN sont sécuritaires pour la santé humaine et animale.

L'emploi de SDN comme méthode de contrôle des déprédations et maladies des plantes présente cependant certaines limites, militant en faveur de leur intégration dans un programme de GIEC (Gestion intégrée des ennemis des cultures) (Lambert, 2014 *in* Antoine Karam, 2020.):

- Un SDN ne suffit pas à lui seul à contrôler une pression parasitaire élevée;
- la réponse immunitaire de la plante peut être variable, selon son état de stress notamment;
- le traitement éliciteur est restreint à un stade physiologique pour certaines plantes;
- le SDN préparant la plante à répondre plus efficacement à une attaque, il doit être appliqué en prévention, lorsque les plants sont encore sains.

I.5.3. Intérêt d'utilisation des SDN dans la protection des plantes

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

I.5.3.1. Intérêt technique

Les SDN induisent les réactions de défense de la plante, qui mobilise alors ses moyens propres. Or le plus souvent il s'agit d'une résistance systémique acquise, qui est efficace contre un large spectre d'agresseurs. C'est un confort pour l'agriculteur, en même temps qu'une économie du nombre de passages au champ par rapport à l'application de plusieurs spécialités ciblées (Blanchard et Limache, 2005). Les SDN sont aussi souvent efficaces sur un grand nombre de cultures, ce qui peut sauver des cultures mineures pour lesquelles le nombre de produits phytosanitaires disponibles est quasi-nul.

Parce qu'ils ont un mode d'action indirect, il semble impossible que les SDN entraînent des résistances (qui seraient en fait des résistances aux propres systèmes de défense de la plante) (Blanchard et Limache, 2005; Bouchenafa, 2020; Ali kacem *et al.*, 2021; Zemmouri et Belhadj, 2022). L'utilisation de SDN en alternance avec des produits phytosanitaires «classiques» permettrait d'éviter ou de retarder l'apparition de résistances à ces produits et donc augmenterait leur durabilité. Or c'est là un enjeu majeur de la protection des plantes pour la venir.

Certaines expérimentations s'accordent pour montrer que l'association d'un fongicide et d'un SDN est significativement plus efficace que la simple juxtaposition des deux produits (Blanchard et Limache, 2005; Bouchenafa, 2020; Ali kacem *et al.*, 2021; Zemmouri et Belhadj, 2022). Il y aurait un effet de synergie intéressant à exploiter, permettant de réduire encore plus le nombre de traitements fongicides grâce au gain d'efficacité.

I.5.3.1. Intérêt environnemental

Dans un contexte où les préoccupations environnementales sont de plus en plus présentes, l'agriculture raisonnée devrait permettre aux producteurs agricoles de s'engager dans une démarche de développement durable en assurant une production de qualité tout en intégrant des valeurs fondamentales parmi lesquelles se retrouvent le respect de l'environnement, la maîtrise des risques sanitaires et la sécurité au travail (Benhamou et Rey, 2012). Les SDN sont le plus souvent des analogues ou des dérivés de molécules naturelles, efficaces à très faible dose et avec un profil éco-toxicologique généralement bon. Ce sont donc des molécules très respectueuses de l'environnement, ce qui est crucial

quand on sait qu'il s'agit d'une préoccupation majeure du public comme des pouvoirs publics et des agriculteurs. Par conséquent, elles n'ont généralement pas de contraintes de limite maximale de résidus (LMR) et de délai avant récolte (DAR) d'où une meilleure flexibilité pour l'utilisateur (Blanchard et Limache, 2005; Bouchenafa, 2020; Ali kacem *et al.,* 2021; Zemmouri et Belhadj, 2022).

I.5.3.3. Place dans l'agriculture contemporaine

Il reste la question importante de la place que les SDN peuvent prendre dans l'agriculture contemporaine notamment face à la lutte chimique « classique ». Nous pensons qu'il serait illusoire de vouloir remplacer l'un par l'autre, d'autant qu'une cohabitation semble bénéfique, que ce soit au sein d'un programme de lutte ou d'une formulation. Or il y a des cultures pour lesquelles le programme de lutte est très chargé (comme la vigne et ses 20 traitements fongicides par an) et où le remplacement de 2 ou 3 traitements par des SDN pourrait être envisagé (Delorme, 2005 *in* Blanchard et Limache, 2005; Bouchenafa, 2020; Ali kacem *et al.,* 2021; Zemmouri et Belhadj, 2022).

Ce serait déjà d'un intérêt évident pour les raisons environnementales et techniques évoquées précédemment et « éthiquement satisfaisant » (Delorme, 2005 *in* Blanchard et Limache, 2005). Autre exemple, sur des cultures à cycle court comme le chou-fleur d'automne ou le chou-fleur Romanesco, un traitement SDN conférant une protection durable (30 jours) serait suffisante pour lutter contre le mildiou et remplacerait plusieurs traitements fongicides, avec en plus un gain économique (Ziadi *et al*., 2001 *in* Blanchard et Limache, 2005).

Enfin, les SDN ont un rôle important à jouer dans les programmes de lutte intégrée, ceux-là même qui tendent à réduire l'utilisation des produits phytosanitaires «classiques», notamment en leur apportant une nouvelle approche, un complément d'efficacité et une plus grande flexibilité (Lyon et Newton, 1997 *in* Blanchard et Limache, 2005; Bouchenafa, 2020; Ali kacem *et al.,* 2021; Zemmouri et Belhadj, 2022).

Dans tous les cas, l'utilisation des SDN ne peut se faire que par des agriculteurs suffisamment au point techniquement, pour les raisons suivantes (Blanchard et Limache, 2005):

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

CHAPITRE II
MATERIEL ET METHODE

CHAPITRE II.
MATÉRIEL ET MÉTHODES

II.1. Objectif

Tenant compte des limites de l'agriculture intensive à savoir : la pollution, la dégradation de la biodiversité, la dégradation des sols et la désertification, et dans le cadre de la transition agro-écologique il est nécessaire de mettre en place des alternatives durables afin de répondre à la demande agricole. Parmi ces alternatives durables se distingue l'utilisation des biofertilisants cas le lombricompost offrant ainsi une alternative durable aux intrants chimiques.

Cette étude visait à tester l'efficacité de différents types de lombricompost (Frais et stocké à différentes dilutions pur, dilué 5%, dilué 10%) sur la croissance, la production et la phytochimie des haricots verts *Phaseolus vulgaris* L. (1753), ainsi que sur la dynamique populationnelle du puceron noir de la fève, *Aphis fabae* Scopoli (1763) (Hémiptera/Aphididae).

II.2. Matériel d'étude biologique

II.2.1. Obtention du matériel végétale

II.2.1.1. Présentation de la serre de culture

Notre expérience a été réalisée dans une serre de culture semi-contrôlée appartenant à l'Institut Technique Spécialisé en Formation Agricole (ITSFA), situé dans le quartier de Takbou, au centre de la ville de Médéa.

La serre a une superficie de 128 m², avec des dimensions de 16 m de longueur, 8 m de largeur et 3,20 m de hauteur (Figure II.1). À l'intérieur de la serre, la température est maintenue dans une fourchette de 25°C à 35°C, tandis que le niveau d'humidité varie entre 50% et 70%.



Figure II.1. Présentation de la Serre de culture (Originale, 2023).

II.2.1.2. Obtention des plantules du haricot vert

Les expérimentations ont été menées sur des plantules de haricot vert Phaseolus vulgaris L., variété naine "El Jadida". Cette variété appartient au groupe des haricots mange-tout, avec une croissance déterminée et un cycle de végétation court de 90 à 120 jours. Cette variété a été choisie en raison de sa précocité et de sa vigueur. Avant leur utilisation, les graines ont été désinfectées en les trempant pendant 5 minutes dans 1 litre d'hypochlorite de sodium à 1% pour éliminer les impuretés. Ensuite, elles ont été rincées plusieurs fois à l'eau distillée pour éliminer tout résidu de chlore. Les graines ont été ensuite immergées dans l'eau pendant 24 heures et placées dans une boîte en plastique pour la pré-germination pendant 5 jours.

Une fois que la radicule a émergé, les grains ont été plantés dans des alvéoles en plastique remplies de tourbe stérilisée, une graine par alvéole. Lorsqu'ils ont atteint le stade de 2 à 3 feuilles, les plants de haricot vert ont été soigneusement repiqués dans des pots en plastique contenant un mélange de sable, de sol et de tourbe dans des proportions égales (1:1:1), préalablement stérilisé dans une autoclave pendant 1h30 à 360°C (Figure II.2 et Figure II.3.). Les plantules ont été disposées sur des étagères et ont été régulièrement irriguées pendant toute la durée de l'essai.



Figure II.2. Stérilisation du substrat (Originale, 2023)

II.2.2. Obtention des populations inféstantes

Dans cette étude l'ensemble des cultivars de haricot sont infestés artificiellement par le puceron noir de la fève *Aphis fabae* Scopoli (1763) (Hémiptera / Aphididae). La première souche de ce puceron utilisée dans cette étude a été fournie par un agriculteur de la région de Benchicao Médéa, où il a été récolté en plein champ. Dans la serre, nous avons procédé à une infestation artificielle en plaçant ces plantes infestées sur des plantules saines de haricots verts, afin de faciliter et d'homogénéiser l'infestation dans les unités expérimentales (Figure II.4).



Figure II.3. Présentation de différents étapes de culture (Originale, 2023).
A: Graines de haricot ; b: Pré-germination; c: Plantation dans des alvéoles; d: Transplantation.

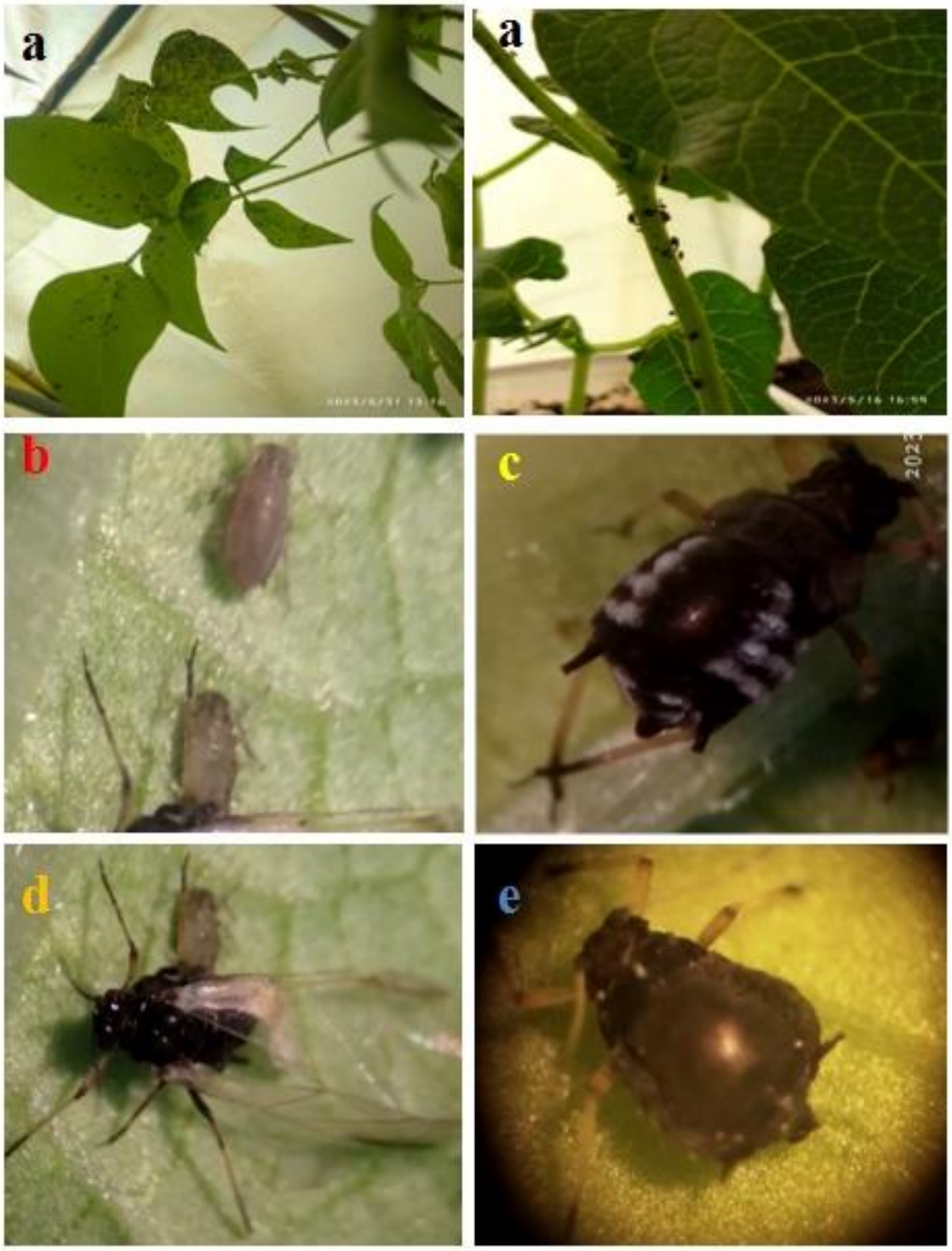


Figure II.4. Plantules infestées par le puceron noir *Aphis fabae* (GX04) (Originale, 2023)
A: Plants infestés; b: Larve; c: Nymphe; d: Forme ailées; e: Forme aptères.

IV.2.3. Obtention du lombricompost

Le lombricompostage a été réalisé au laboratoire du département des sciences de la vie et de la nature de l'Université Dr. Yahia Farès de MÉDÉA sur une période de trois mois, du 15 mars au 15 juin 2023. Le lombricompost utilisé a été obtenu en transformant

des matières organiques solides et liquides à l'aide de l'espèce de lombric *Eisenia fœtida* (Savigny, 1826) (Figure II.5). Ces vers rouges épigés ont été obtenus auprès d'un éleveur de la région de Bou Saada, Wilaya de M'Sila. Deux lombricomposteurs verticaux en bois ont été utilisés pour la fabrication du lombricompost. Les lombricomposteurs ont été placés dans un endroit sombre et bien aéré, tout en maintenant les conditions de température, d'humidité et de pH optimales pour la vie des lombrics. La température pendant le processus de lombricompostage a été maintenue entre 15 et 20 °C, ce qui correspond à la température optimale selon Ismail (1997 *in* Ali kacem *et al.*, 2021). L'humidité relative a été maintenue entre 65 et 70 %, comme recommandé pour le lombricompostage par Neuhauser *et al.* (1988) et Edwards (1998 *in* Ali kacem *et al.*, 2021). Lors de la transformation de la matière organique les valeurs de pH sont maintenues entre 6 et 7, ce qui correspond à une plage de pH acceptée et appropriée pour l'activité des vers de terre et des micro-organismes, selon Kaushik et Garg (2004 *in* Ali kacem *et al.*, 2021).



Figure II.5. Espèce de Lombric utilisé *Eisenia fœtida* (Originale, 2023)

Le processus de lombricompostage produit deux types d'engrais : le lombricompost et le jus de lombricompost. Le jus de vermicompost est un liquide principalement issu de la dégradation de la matière organique par les vers de terre, tandis que le lombricompost a la texture d'un terreau sans odeur et est riche en macro-éléments et oligo-éléments. Il améliore l'aération, le drainage et la structure du sol. Le lombricompost est stable et peut être directement assimilé par les plantes, favorisant ainsi leur enracinement et leur croissance en leur apportant des éléments nutritifs. Dans notre étude, nous nous concentrons sur la partie solide du lombricompost issu de l'espèce de lombric *Eisenia fœtida.*

Deux types de lombricompost ont été utilisés dans notre étude : le lombricompost frais et le lombricompost stocké. Pour le lombricompost frais, nous l'avons utilisé immédiatement après la récolte. En ce qui concerne le lombricompost stocké, une fois récolté, nous l'avons conservé dans un sac en plastique perforé de petits trous pour assurer une bonne aération. Ce sac a été entreposé dans un endroit sec et frais, à l'abri de la

lumière, avec une température comprise entre 8°C et 18°C (https://fr.ezgardentips.com/how-to-store-vermicompost-34210).

II.3. Méthodes d'études

II.3.1. Préparation du thé de lombricompost

La préparation du thé de lombricompost consiste à faire macérer 100 grammes de lombricompost frais ou stocké dans un litre d'eau distillée. Après 24 heures, le produit final est prêt à être utilisé (Figure II.6) (Safiddine, 2019).

Trois doses de thé de Vermicompost (Frais et Stocké) ont été recommandées, à savoir le thé pur, le thé dilué à 5% (D5) et le thé dilué à 10% (D10). Ces doses ont été appliquées sur des plants de *Phasoleus vulgaris* infestés par le puceron noir de la fève Aphis fabae afin d'évaluer leur efficacité sur les paramètres de croissance, la production métabolique des plants, ainsi que pour tester leur impact sur la structure de la population cible.

La dilution 5 % (D5) est obtenue en mélangeant 100 ml de la solution pure de thé de lombricompost avec 400 ml d'eau distillée. Quant à la dilution 10 (D10), elle est obtenue en ajoutant 900 ml d'eau distillée à 100 ml de la solution pure. Les solutions ainsi préparées doivent reposer pendant 24 heures avant d'être utilisées (Pautot, 2010 *in* Safiddine, 2012).

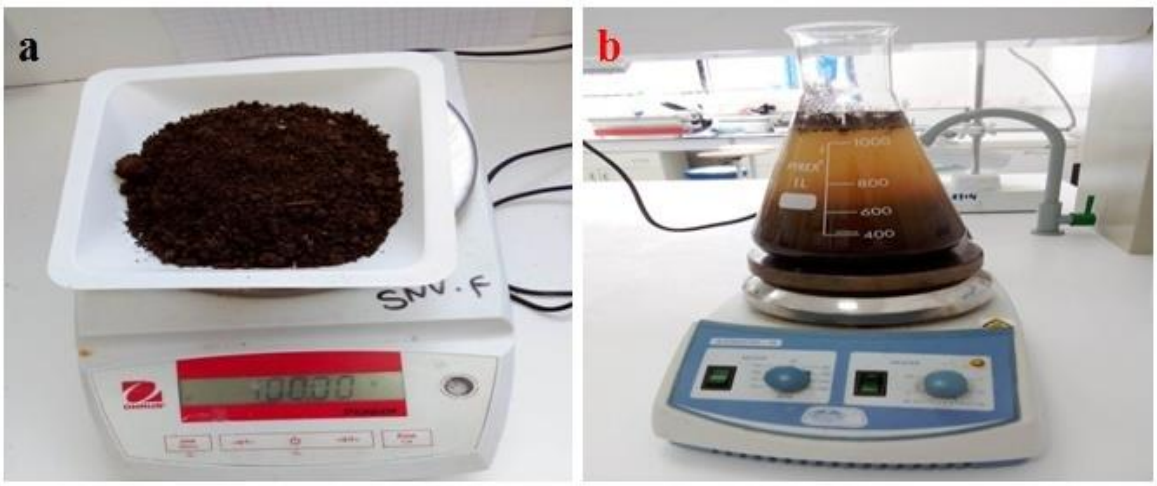


Figure II.6. Préparation du thé de lombricompost (Originale, 2023)

A : Lombricompost, b: Thé de Lombricompost

II.3.2. Dispositif expérimental et application des traitements

L'essai a été réalisé dans une serre tunnel (16m×8m) selon un dispositif en blocs aléatoires complets. Le dispositif se compose de 7 blocs, chacun contenant 45 plants (315 plants=Bloc expérimental). Les blocs sont répartis comme suit (Figure II. 7):

- Bloc 1 : Lombricompost frais pur,
- Bloc 2 : Lombricompost frais dilué à 5%,
- Bloc 3 : Lombricompost frais dilué à 10%,
- Bloc 4 : Lombricompost stocké pur,
- Bloc 5 : Lombricompost stocké dilué à 5%,
- Bloc 6 : Lombricompost stocké dilué à 10%,
- Bloc 7 : Témoin (utilisation d'eau courante).

Les blocs expérimentaux sont espacés de 30 cm les uns des autres. Les différents biofertilisants sont appliqués par voie racinaire.

L'application racinaire a été effectuée à l'aide d'un récipient de 400 ml afin d'administrer le même volume à toutes les plantes. Les plants ont été régulièrement irrigués selon leurs besoins en eau. Les biofertilisants sont ajoutés tous les 08 jours pendant toute la période de l'étude. Avant chaque ajout de biofertilisants, nous avons prélevés trois plantes de chaque bloc pris au hasard afin d'évaluer l'impact des biofertilisants sur le haricot vert et le puceron noir de la fève *Aphis fabae*. Le suivi temporaire des plantes a duré 2 Mois.

A partir des plants prélevés nous avons étudié les différents traits morphologiques, tels que la croissance en longueur de la partie aérienne et racinaire, le poids frais de la partie aérienne et racinaire, ainsi que le nombre de feuilles et de bouquets floraux. L'estimation de la toxicité des différents apports de biofertilisants sur les individus d'*A. fabae* a été évaluée chaque semaine tout au long de la période de suivi. À partir des trois plants prélevés précédemment, nous avons choisi aléatoirement cinq feuilles afin d'estimer l'abondance des pucerons. Les stades biologiques d'*Aphis fabae* ont été identifiés en se basant sur les caractéristiques morphologiques externes observées à l'aide d'une loupe binoculaire avec un grossissement de 8x10. Après avoir prélevé les pucerons, les feuilles des trois plantes du haricot sont conservées pour l'extraction de la phytochimie de la plante (Chlorophylle, proline et sucre totaux).

II.4. Paramètres étudiés

II.4.1. Mesure de la croissance en longueur de la partie aérienne et souterraine

La croissance en longueur de la partie aérienne et de la partie racinaire est évaluée après chaque prélèvement. Les mesures de la longueur de la partie aérienne et souterraine sont effectuées à l'aide d'un double décimètre.

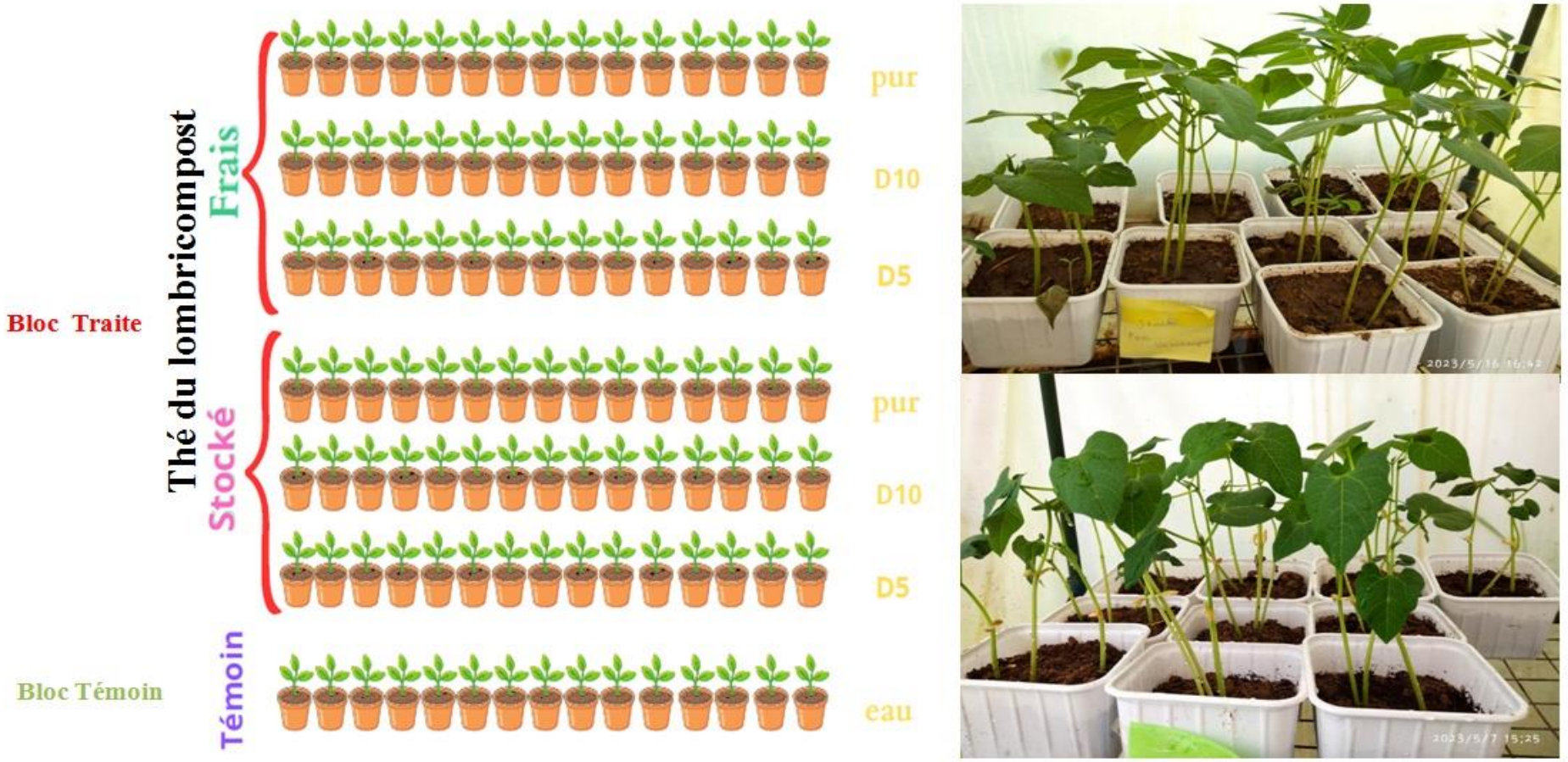


Figure. II.7. dispositif expérimental des traitements appliqués (Originale, 2023).

II.4.2. Mesure de la croissance en poids frai de la partie aérienne et souterraine

La biomasse fraîche de la partie aérienne et souterraine a été mesurée en milligrammes en pesant les deux parties séparément à l'aide d'une balance de précision.

II.4.3. Nombre de feuilles et de bouquets floraux

-

Le Nombre des feuilles et de bouquets floraux du haricot vert *Phasoleus vulgaris* a été compté pour chaque traitement.



Figure. II.8. Floraison des plantes du Haricot vert (Originale, 2023).

II.4.4. Evaluation des traits biochimiques de haricot vert *Phasoleus vulgaris*

II.4.4.1. Quantification de la Proline

La méthode suivie est celle de Troll et Lindsley (1955), simplifiée et mise au point par Dreir et Goring (1974), qui à partir de 100mg matière végétale fraîche mélangée au 2ml méthanol est chauffée à 85°C pendant 60 min. Après refroidissement, on ajoute à l'extrait de l'acide acétique, de la ninhydrine et un mélange d'eau distillée, d'acide acétique et d'acide orthophosphorique (0,4: 1: 0,26); l'ensemble est porté à ébullition pendant 30 min au bout desquelles la couleur vire au rouge. Après refroidissement, l'addition du toluène induit la séparation de la solution en deux phases: la phase supérieure contenant la proline est récupérée, à laquelle on ajoute du Na_2SO_4 et on lit la densité optique à 528 nm. Les valeurs obtenues sont converties en teneur de proline à partir de courbe étalon dont la relation est la suivante:

$$\mathbf{Y= 0,1043\ X}$$

Avec :

- Y : Absorbance (nm)
- X : Concentration de L- proline (mg/ml.)

II.4.4.2. Quantification des sucres totaux solubles

Les sucres solubles totaux sont dosés par la méthode de Dubois *et al.* (1956). La matière végétale est mise en contact avec de l'éthanol à 80% durant 48 heures à une température ambiante. Le dispositif est mis à l'étuve à 80°C afin d'évaporer l'alcool, puis on ajoute 20 ml d'eau distillée au résidu. Une fraction de 2 ml de la solution obtenue est additionnée au phénol à 5%, l'acide sulfurique concentré 96 %, puis homogénéisé au vortex, après 10 min; on la place au bain- marie à une température de 30°C pendant 20 min; la lecture de la densité optique se fera à 485 nm au bout de 10mn.

Les valeurs obtenues sont reportées sur la gamme étalon, à l'aide de l'équation suivante:

$$\mathbf{Y= 4,3918\ X – 0,1946}$$

Avec :

- Y : Absorbance (nm)
- X : Concentration des sucres totaux (mg/ml.)

II.4.4.3. Extraction et quantification de la chlorophylle totale

La méthode proposée par Lichtenthaler (1987), a été utilisé pour quantifier la chlorophylle et les caroténoïdes. 0,1 g. de feuille fraîche a été additionné à 4 ml d'acétone 80%, puis centrifugée à 3000 tr/min pendant 10 min. L'absorbance du surnageant a été lu respectivement à 647, 664, et 470 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

La chlorophylle a, la chlorophylle b, le contenu en chlorophylle totale et les caroténoïdes exprimés en mg/g. M.S., ont été déterminés comme suit:

- **$Chla = 12,21\ (A_{664}) – 2,79(A_{647})$,**
- **$Chlb = 21,21\ (A_{647}) – 5,1\ (A_{664})$,**
- **ChlT = Chla + Chlb,**

II.4.5. Evaluation de l'abondance des formes biologiques d'*Aphis fabae*

L'abondance représente le nombre d'individus des différents stades biologiques *d'Aphis fabae*. Les différents stades biologiques (larves, adultes ailés et aptères) ont été observés sous une loupe binoculaire.

II.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 haricot vert

Phasoleus vulgaris et ses retombées sur la fluctuation temporelle 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.

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 III
RESULTATS

CHAPITRE III.
RESULTATS

Les résultats relatifs à l'effet du Lombricompost sur l'état phytosanitaire et sur les caractéristiques morphologiques et phytochimiquesdu haricot vert *Phaseolus vulgaris* sont présentés dans ce chapitre

III.1. Evaluation de l'effet du thé de lombricompostsur les paramètres morphologiques du haricot vert *Phaseolus vulgaris*

III.1.1. Evolution de l'effet du thé de lombricompostsur la croissance cumulative des plantes du haricot vert *Phaseolus vulgaris*

L'évolution hebdomadaire de la croissance aérienne du haricot vert a été étudiée sous l'effet de différentes doses du thé de lombricompost Frais et stocke (Figure III.1.).

La lecture des résultats montre, que tous les apports appliqués entraînent une augmentation remarquable de la croissance cumulative des plants traités par rapport au témoin. Il est intéressant de noter qu'à partir de la 2ème application, on observe une augmentation continue de la croissance due à l'effet du thé lombricompost. Les résultats illustrent que, les différentes dilutions du thé de lombricompost (pur; 5%;10%)ont un effet presque similaire sur la longueur aérienne des plantes traitées (Figure III.1 a. et b.).L'évolution temporelle de la croissance cumulative montre un effet comparable du thé de lombricomposts frais et celui qui a été stocké.

La présentation graphique des données expérimentales est avancée dans le but d'évaluer la variation de la croissance des plantes du haricotsous l'effet des différents du thé de lombricompost appliqué (Figure III.2.).

Les résultats de la croissance cumulative exposent une expression végétative plus importante chez les traités par le thé frais que chez les traités par le thé stocké (Figure III.2.a).

À partir des résultats du test G.L.M., nous observons que le type d'apport (Frais ou stocké) enregistre un effet hautement significatif sur la croissance des plantes traités (Test : G.L.M.: p=0,000***; p<1‰) (Figure III.2.b).Le test post-hoc révèle l'existence de deux groupes homogènes correspondant aux niveaux d'activité stimulante du thé de lombricompost. Le premier palier est observé chez les populations exposées au thé de lombricompost frais présentant le taux de croissance le plus fort, affiliées au groupe homogène (**a**) alors que le deuxième palier est signalé chez les population exposées au thé stockés et au bloc témoin, montrant un taux de croissance plus faible, associé au groupe homogène (**b**) (Figure III.2.b.).

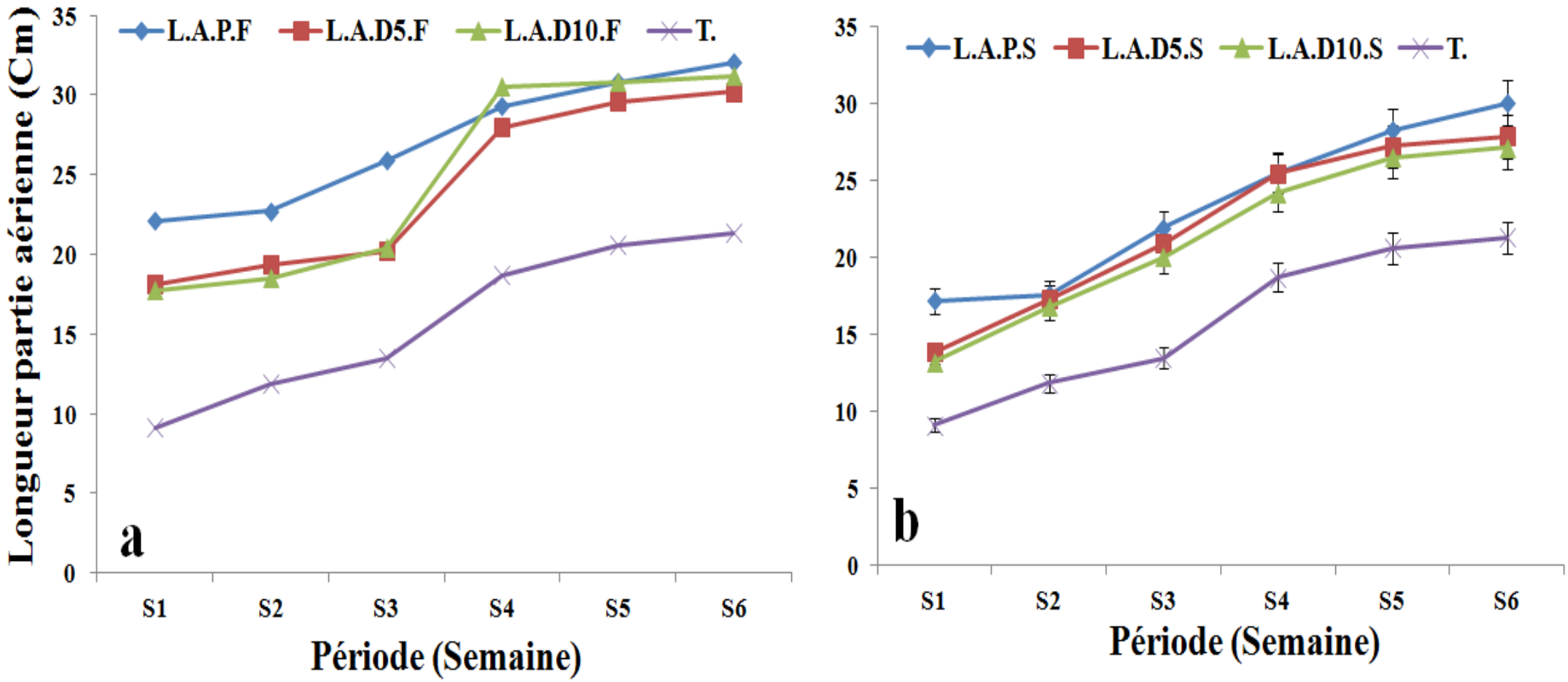


Figure III.1. Effet de différentes dilutions du thé de lombricompost sur la croissance aérienne des plants du haricot *Phaseolus vulgaris*

L:Longueur; A:Aérienne; P:Pur; D:Dose; F:Frais; S: Stocke. T:Témoin.
A : Absorption du thé Frais; b: Application du thé stocke

L'activité stimulatrice se trouve influencer par la dose de thé de lombricompost(Test : G.L.M.: p=0,000***; p<1‰), et par conséquent elle parait obéir à un gradient positif de croissance allant de : **Témoin (**Groupe homogène **c**) <**dilution 10%** et dilution 5% (Groupe homogène **b**)<**thé pur** (Groupe homogène **a**) (Figure III.2.c).

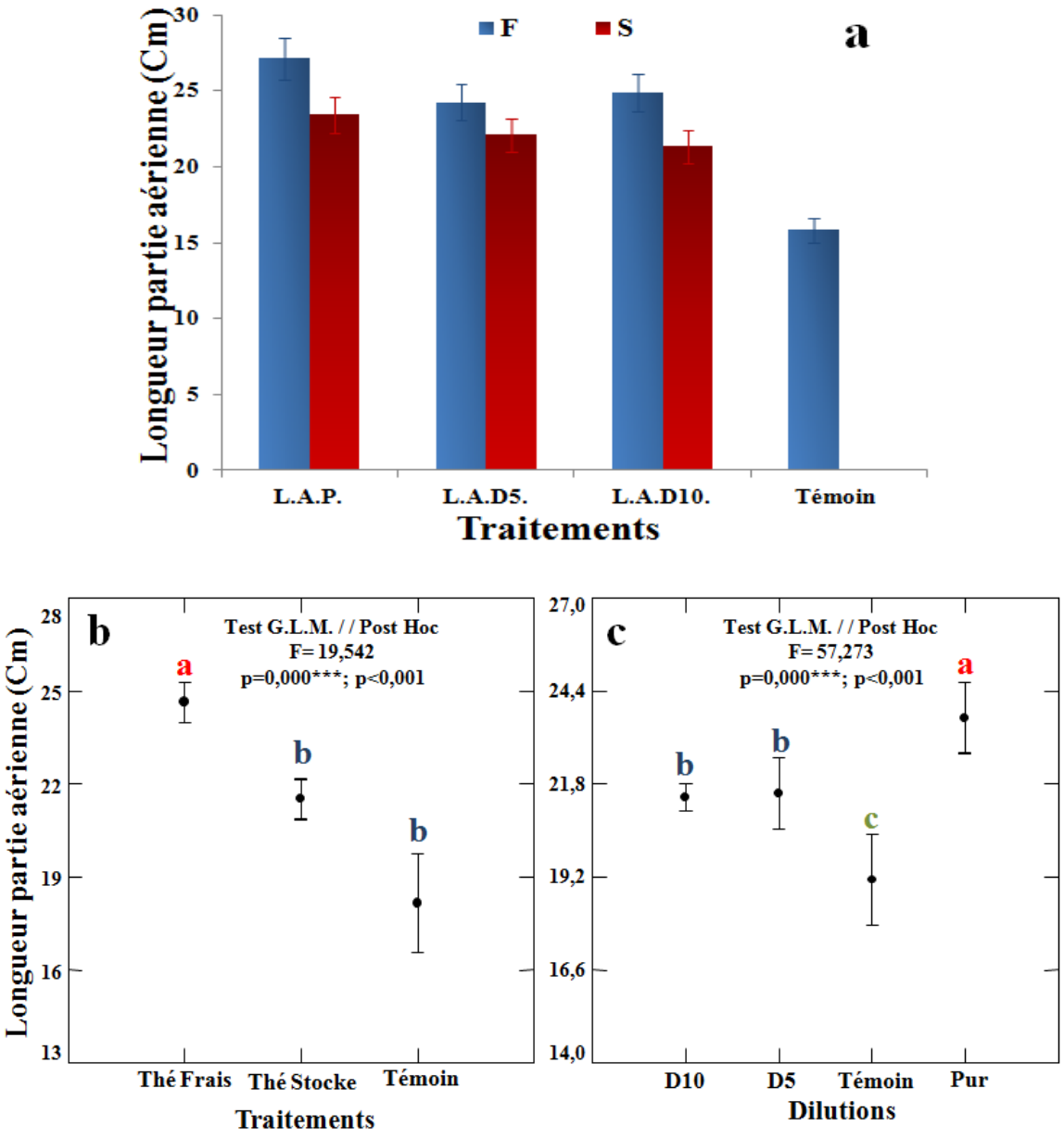


Figure III.2. Etude comparée de l'effet du thé de lombricompost sur la croissance aérienne du haricot vert

L:Longueur; A:Aérienne; P:Pur; D:Dose; F:Frais; S: Stocke. T:Témoin.

II.1.2. Evolution de l'effet du thé de lombricompost sur la croissance racinaire du haricot vert *Phaseolus vulgaris*

La figure III.3 présente l'effet de différentes dilutions du thé de lombricompost sur la croissance racinaire des plants de haricot vert.

Après avoir effectué cette application, on constate que tous les traitements appliqués ont montré une augmentation remarquable de la longueur racinaire du haricot vert par rapport au témoin. Les résultats illustrent que le thé non dilué à un effet plus favorable sur la longueur racinaire des plantes que les autres dilutions de lombricompost appliquées (10% et 5%). L'évolution temporelle de la croissance souterraine montre un effet moins important du lombricompost stocké par rapport au lombricompost frais (Figure III.3a et b).

Le thé de lombricompost utilisé a contribué significativement dans l'augmentation de la croissance racinaire du haricot vert *Phaseolus vulgaris*en comparaison avec le témoin (Test G.L.M.: p=0,0001*; p<0,01) (Figure III.4.b). Cependant le lombricompost frais semble plus efficace**(**Groupe homogène **a**) que celui de lombricompost stocké **(**Groupe homogène **b**).

Les résultats reportés dans la figure III.4., révèlent que le facteur dilution signale un effet significatif sur la croissance racinaire des plants traités en comparaison au témoin (Test G.L.M.: p=0,0001*; p<0,01) (Figure III.4.c).Le thé pur de lombricompost démontre un effet stimulateur important sur la longueur racinaire des plantes traitées **(**Groupe homogène **a**)par apport aux autres dilutions appliquées (10% et 5%) **(**Groupe homogène **b**).Cependant les résultats, révèlent que la croissance racinaire des plants traités est plus importante que celles des plants témoin**(**Groupe homogène **c**) (Figure III.4.c).

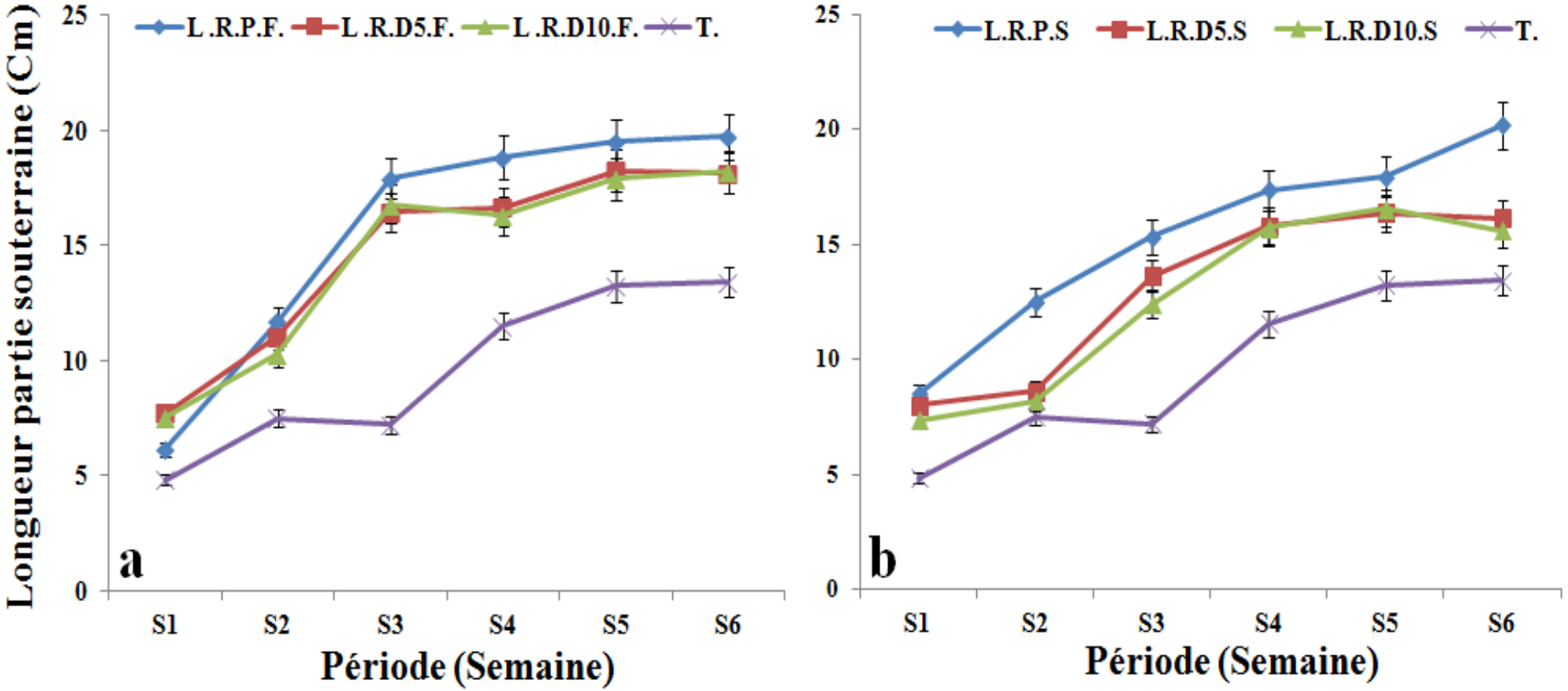


Figure III.3. Effet de différentes dilutions du thé de lombricompost sur la croissance racinaire des plants du haricot *Phaseolus vulgaris*

L:Longueur; A:Racinaire; P:Pur; D:Dose; F:Frais; S: Stocke. T:Témoin.
A : Absorption du thé Frais; b: Application du thé stocke

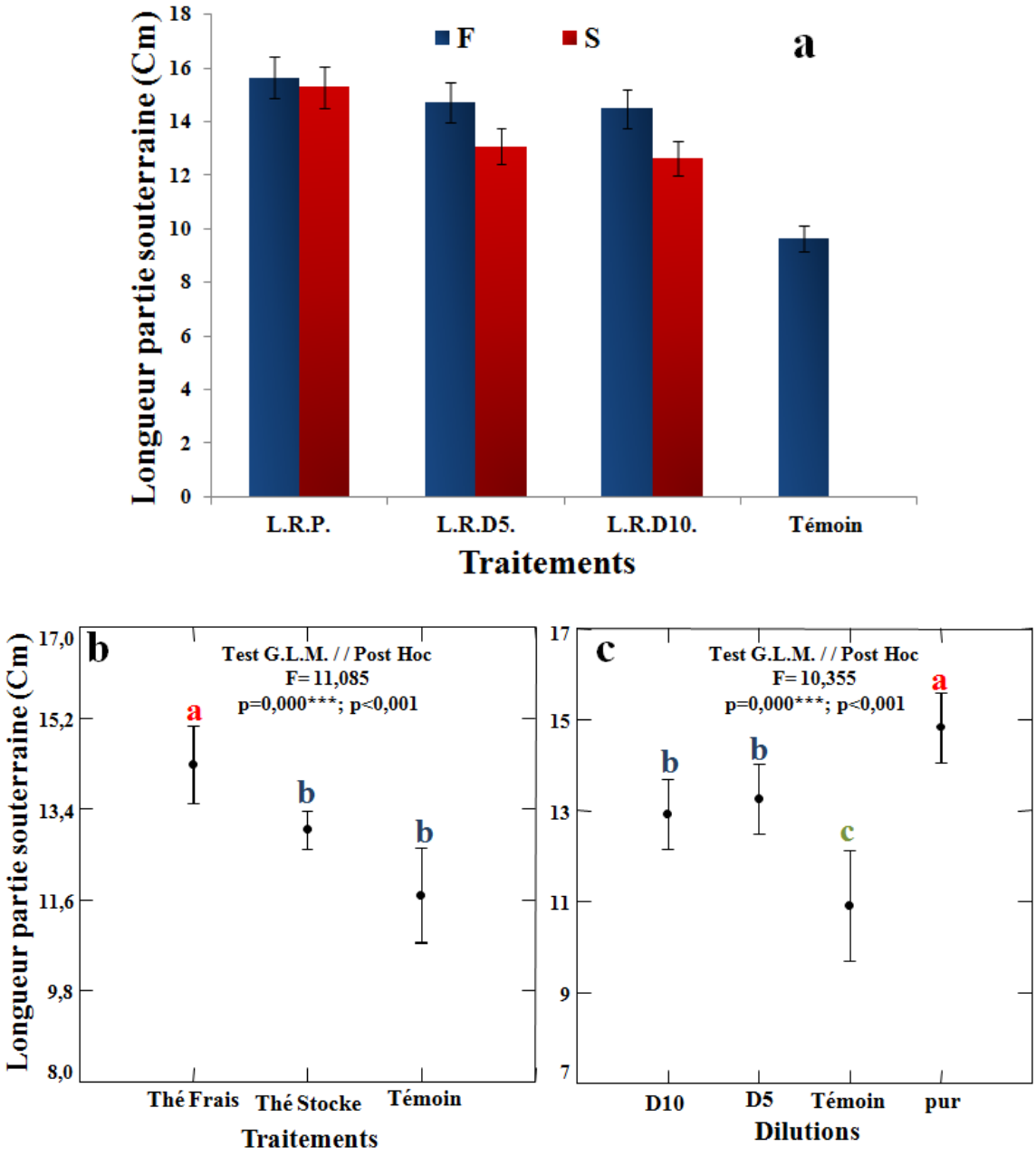


Figure III.4. Etude comparée de l'effet du thé de lombricompost sur la croissance racinaire du haricot vert

L:Longueur; A:Racinaire; P:Pur; D:Dose; F:Frais; S: Stocke. T:Témoin.

III.1.3. Evolution de l'effet du thé de lombricompost sur la biomasse aérienne du haricot vert

Nous avons considéré la biomasse aérienne comme paramètre possédant la capacité de montrer l'aptitude du lombricompost à stimuler la croissance du haricot vert *Phaseolus vulgaris*(Figure III.5.).

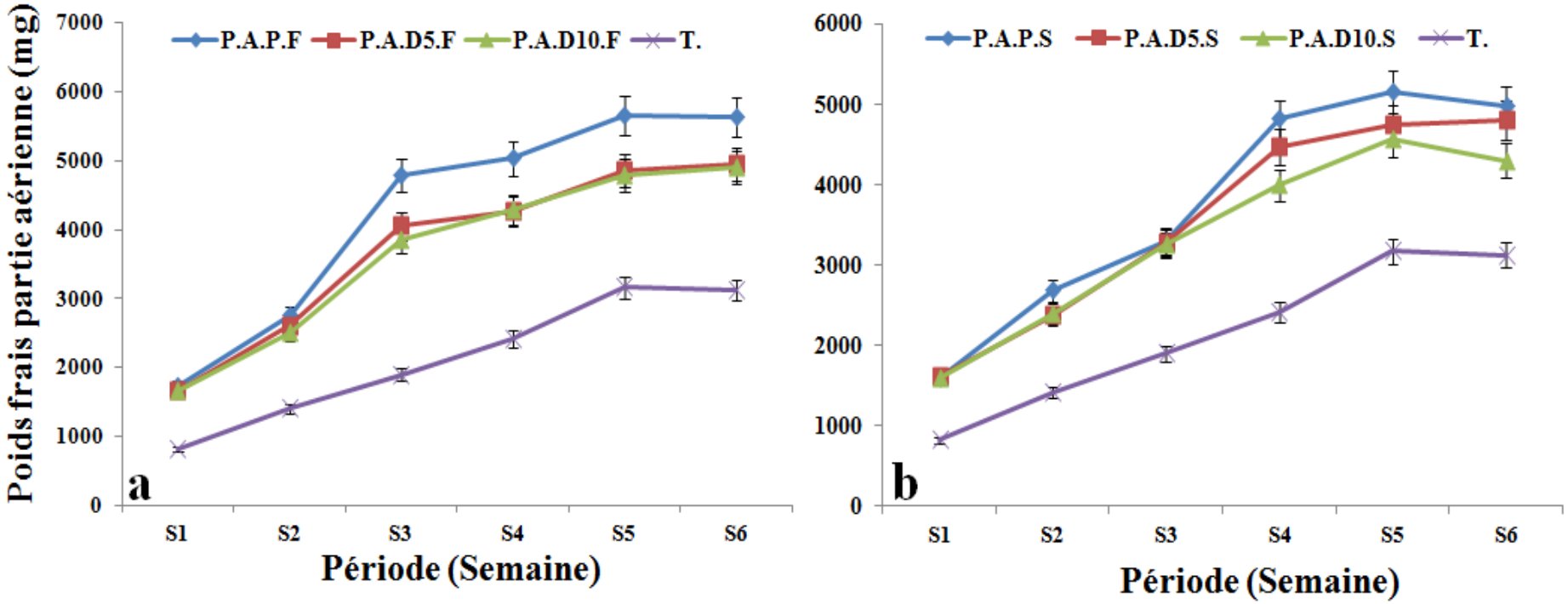


Figure III.5. Effet de différentes dilutions du thé de lombricompost sur le poids de la partie aérienne des plants du haricot *Phaseolus vulgaris*

P:Poids; A:Aérienne; P:Pur; D:Dose; F:Frais; S: Stocke. T:Témoin.
A : Absorption du thé Frais; b: Application du thé stocke

La variation de la biomasse aérienne des plants du haricot a été évaluée en fonction de différentes dilutions du thé de lombricompost frais et stocké. Les résultats reportés dans la figure III.5., révèlent que le poids aérien présente une tendance assezimportante à la hausse chez les blocs traités par comparaison au bloc témoin(Figure III.5.a et b). Les mêmes résultats exhibent que le thé pur provoque une action stimulatrice remarquable par comparaison aux autres dilutions. Il est intéressant de souligner que le lombricompost frais a un impact plus important sur le poids aérien par rapport au lombricompost stocké(Figure III.5.a et b).

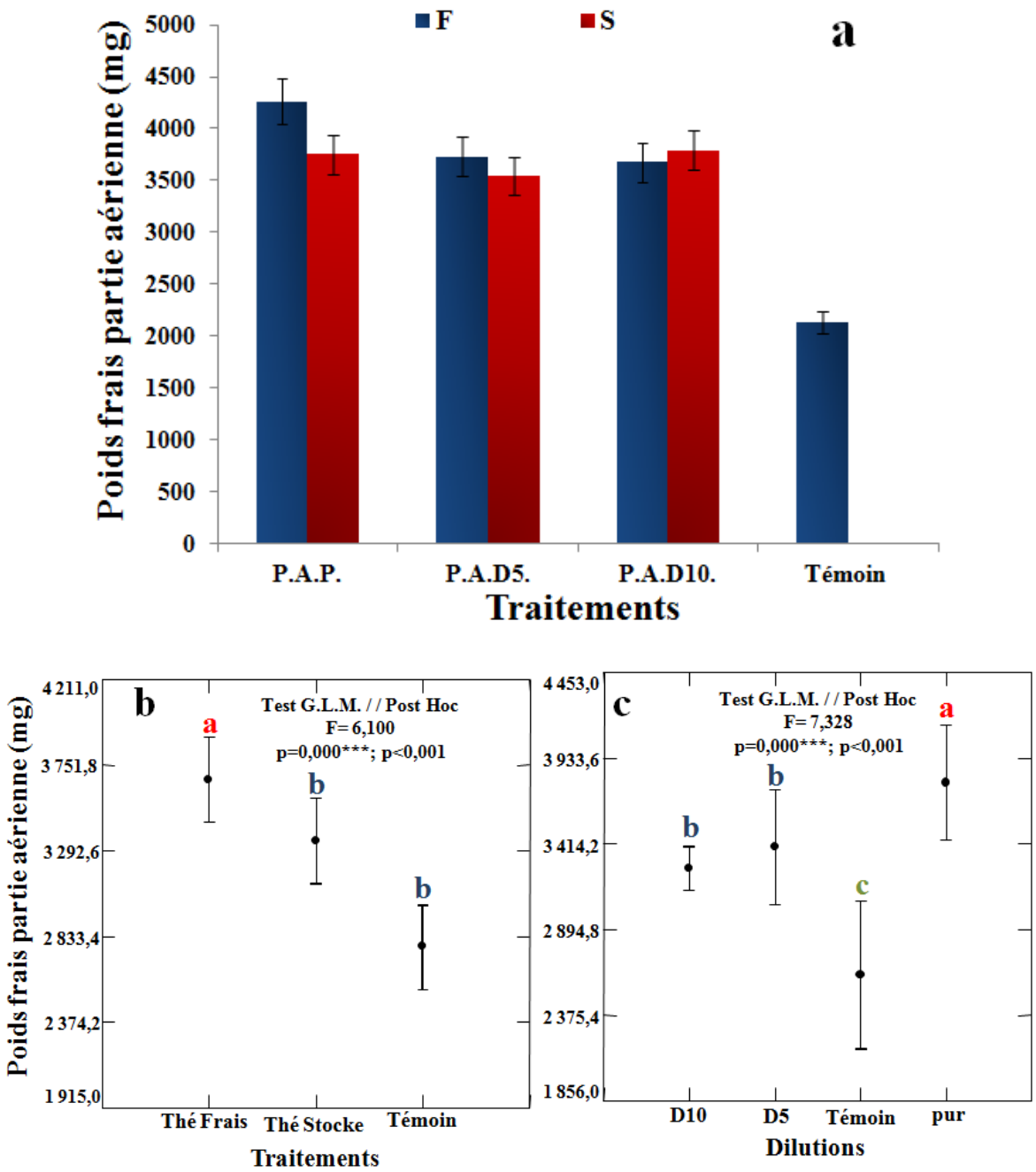


Figure III.6. Etude comparée de l'effet du thé de lombricompost sur le poids de la partie aérienne du haricot vert

P:Poids; A:Aérienne; P:Pur; D:Dose; F:Frais; S: Stocke. T:Témoin.

Les résultats de la biomasse aérienne exposent une expression végétative moyennement importante chez les traités par le thé frais que chez les traités par le thé stocké (Figure III.6.a).

À partir des résultats du test G.L.M., nous observons que le type d'apport (Frais ou stocké) enregistre un effet hautement significatif sur la biomasse aérienne des plantes traités (Test : G.L.M.: p=0,000***; p<1‰) (Figure III.6.b).Le test post-hoc révèle l'existence de deux groupes homogènes correspondant aux niveaux d'activité stimulatrice du thé de lombricompost. Le premier palier est observé chez les populations exposées au thé de lombricompost frais présentant le poids le plus fort, affiliées au groupe homogène (**a**) alors que le deuxième palier est signalé chez les population exposées au thé stockés et au bloc témoin, montrant un poids plus faible, associé au groupe homogène (**b**) (Figure III.6.b.).

À partir des résultats du test G.L.M., nous observons que le facteur dilution enregistre un effet simulateur hautement significatif sur la biomasse aérienne des plants de haricot *Phaseolus vulgaris*(Test G.L.M.: p=0,001; p<1‰)(Figure III.6. a et b). Cette activité stimulatrice est influencer par la dilution du thé, et semble suivi à un gradient positif: **Témoin (**Groupe homogène **c**)<**dilution10%<dilution5%**<**pur (**Groupe homogène **a**)(Figure III.6.c.).

III.1.4. Evolution de l'effet du thé de lombricompost sur la biomasse souterraine du haricot vert

Les résultats obtenus concernant le poids souterrain des plants de haricot vert indiquent que l'application de différents apports de thé de lombricompost (frais et stocké) présente un effet stimulant remarquable en termes d'augmentation du poids des plants traités par rapport au groupe témoin (Figure III.7). Il convient de souligner qu'une augmentation importante du poids des racines des plants traités est observée dès la première semaine d'application (Figure III.7. a et b). L'analyse de la variation du poids démontre que le thé dilué à 10% a l'impact le plus faible par rapport aux autres dilutions (pur ; 5%). Les mêmes résultats mettent en évidence une évolution temporelle du poids souterrain moins importante pour le lombricompost stocké par rapport au lombricompost frais(Figure III.7. a et b).

Les résultats concernant la biomasse souterraine révèlent un developpement racinaire moyennement important des plants de haricot vert traités avec du thé frais par rapport à ceux traités avec du thé stocké (Figure III.8.a).

Les résultats des analyses effectuées à l'aide du modèle G.L.M. démontrent que le poids racinaire des plants traités avec du thé de lombricompost est significativement plus élevé que celui des plants non traités (Test : G.L.M. : p=0,000*** ; p<1‰) (Figure III.8.b).

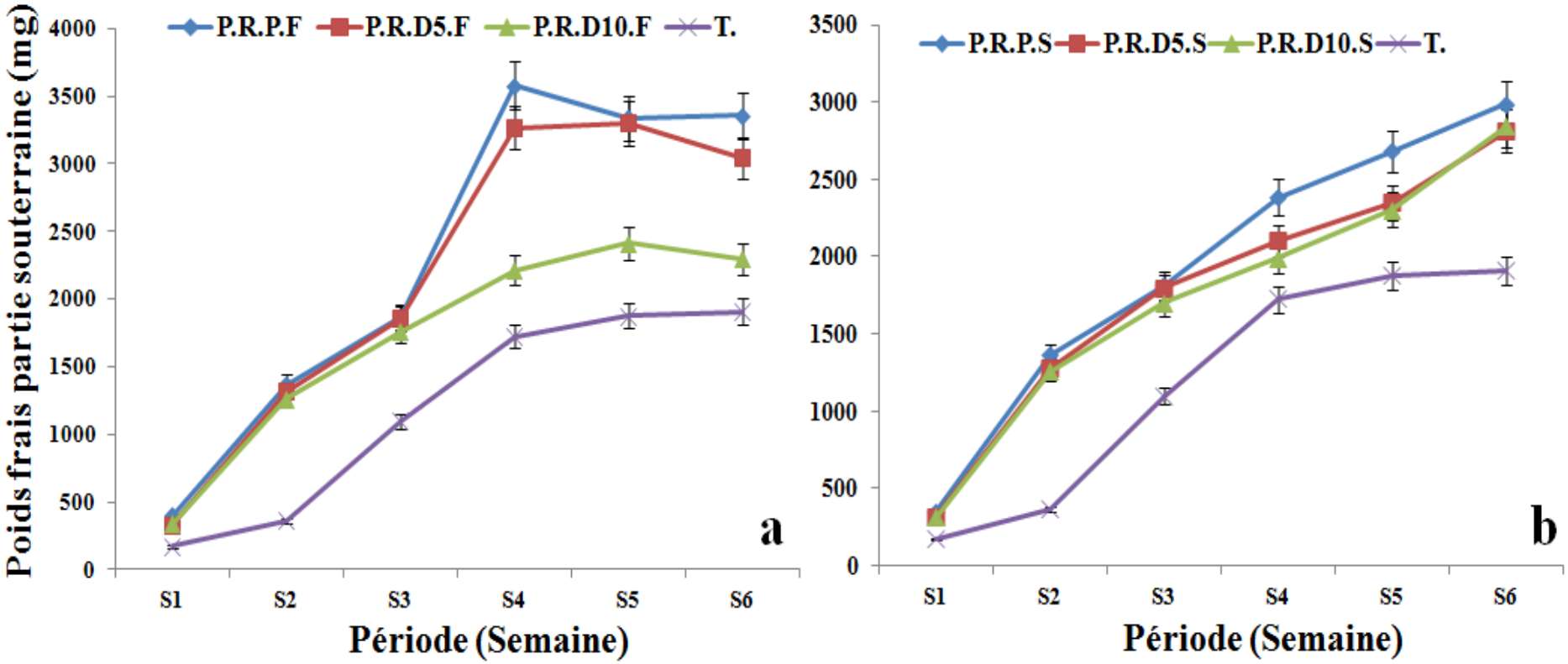


Figure III.7. Effet des différentes dilutions du thé de lombricompost sur le poids de la partie souterraine des plants du haricot *Phaseolus vulgaris*

P:Poids; R:Racinaire; P:Pur; D:Dose; F:Frais; S: Stocke. T:Témoin.
A : Absorption du thé Frais; b: Application du thé stocke

L'analyse post-hoc révèle la présence de deux groupes homogènes correspondant aux niveaux d'effet stimulant du thé de lombricompost. Le premier groupe se compose des populations exposées au thé de lombricompost frais, qui présentent le poids racinaire le plus élevé et sont affiliées au groupe homogène (a). Le deuxième groupe concerne les populations exposées au thé stocké ainsi que le groupe témoin, qui affichent un poids racinaire plus faible et sont associés au groupe homogène (b) (Figure III.8.b).

La comparaison des variations de poids racinaire entre les différentes dilutions de thé de lombricompost révèle une action fertilisante remarquable du lombricompost par rapport au témoin (Figure III.8.c).

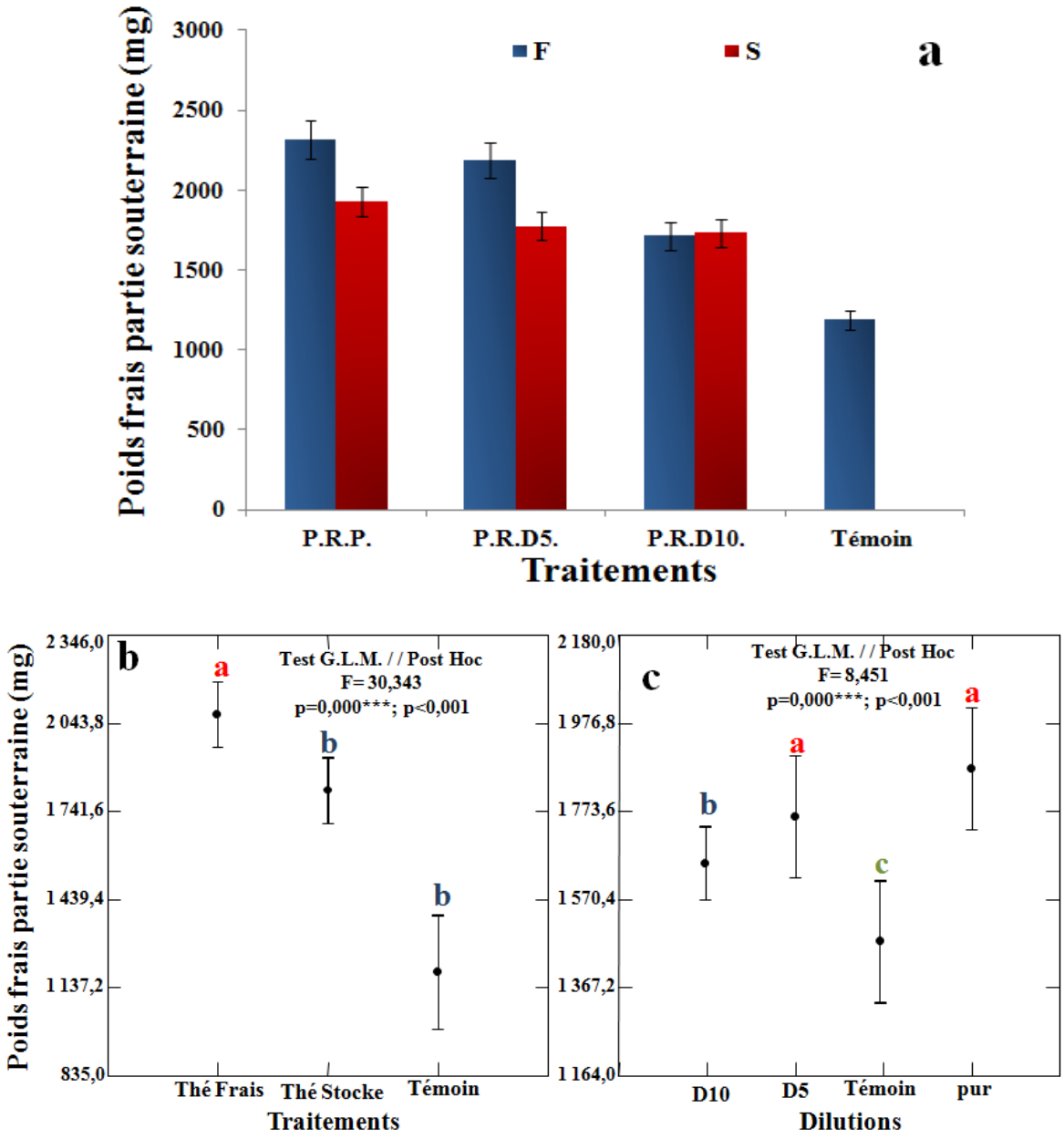


Figure III.8. Etude comparée de l'effet du thé de lombricompost sur le poids de la partie souterraine du haricot vert

P:Poids; R:Racinaire; P:Pur; D:Dose; F:Frais; S: Stocke. T:Témoin.

L'analyse Post-Hoc révèle l'existence de trois groupes homogènes correspondant aux niveaux d'activité fertilisante du lombricompost. Le premier groupe se distingue chez les plantes exposées au thé pur et à la dilution de 5%, présentant le poids racinaire le plus élevé, et est associé au groupe homogène (a). Le dernier groupe est observé dans le bloc témoin, présentant le poids racinaire le plus faible, et est associé au groupe homogène (c) (Figure III.8.c).

III.1.5. Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur le nombre de feuilles du haricot vert

Nous avons considéré le nombre de feuilles comme paramètre possédant la capacité de montrer l'aptitude du lombricompost à stimuler la croissance du haricot *Phaseolus vulgaris* (Figure III.9 a et b).

Les résultats montrent que les fluctuations du nombre de feuilles est plus important chez les plantes traités en comparaison aux plantes non traitées. La lecture des résultats, montre qu'à partir de la 3^{ière} sortie d'application on observe une augmentation continue du nombre de feuilles due à l'effet du thé lombricompost. Les résultats démontrent que les différentes dilutions du thé de lombricompost (pur, 5% et 10%) ont un effet pratiquement similaire sur le nombre de feuilles des plantes traitées (Figure III.9 a et b). L'évolution temporelle du nombre de feuilles montre un effet comparable entre le thé de lombricompost frais et celui qui a été stocké.

La Figure III.10.a, montre que le nombre de feuilles du Haricot vert *P.vulgaris* reste similaire, que ce soit sous l'effet du thé frais ou de celui qui a été stocké.

Le modèle G.L.M. a été appliqué dans le but d'évaluer l'effet strict des différentes molécules sur le nombre de feuilles du Haricot vert *Phaseolus vulgaris* (Figure III.10. b et c.).Les résultats effectuées démontrent que le nombre de feuilles des plants traités avec du thé de lombricompost est moyennement important que celui des plants non traités (Test : G.L.M. : p=0,009* ; p<5%) (Figure III.10.b).

Les résultats révèlent que les différentes dilutions de thé de lombricompost ne signale aucune différence significative sur le nombre de feuilles du Haricot vert traités en comparaison au témoin (p= 0,304^{Ns}; p> 0,05) (Figure III.10.c.).

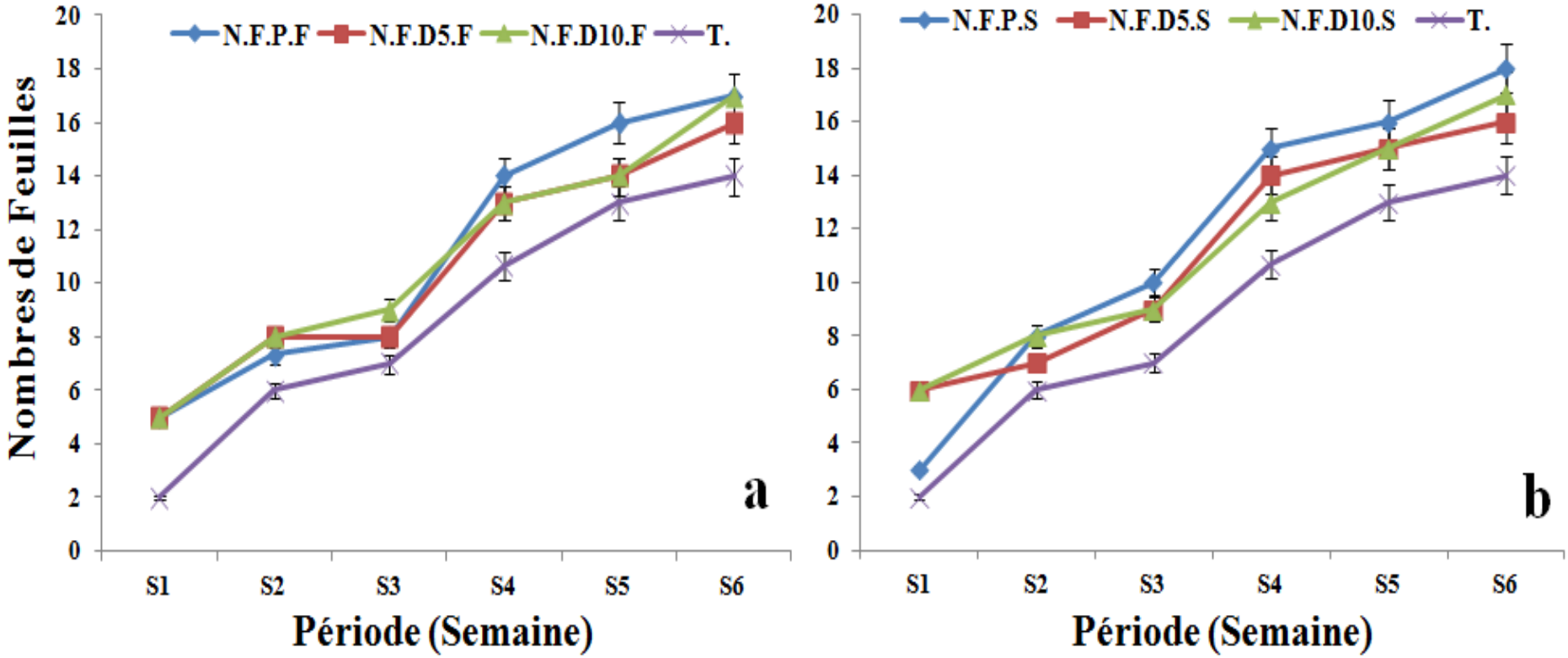


Figure III.9. Effet de différentes dilutions du thé de lombricompostsur le nombre de feuilles des plants du haricot *Phaseolus vulgaris*

N:Nombre; F:Feuilles; P:Pur; D:Dose; F:Frais; S: Stocke. T:Témoin.
A : Absorption du thé Frais; b: Application du thé stocke

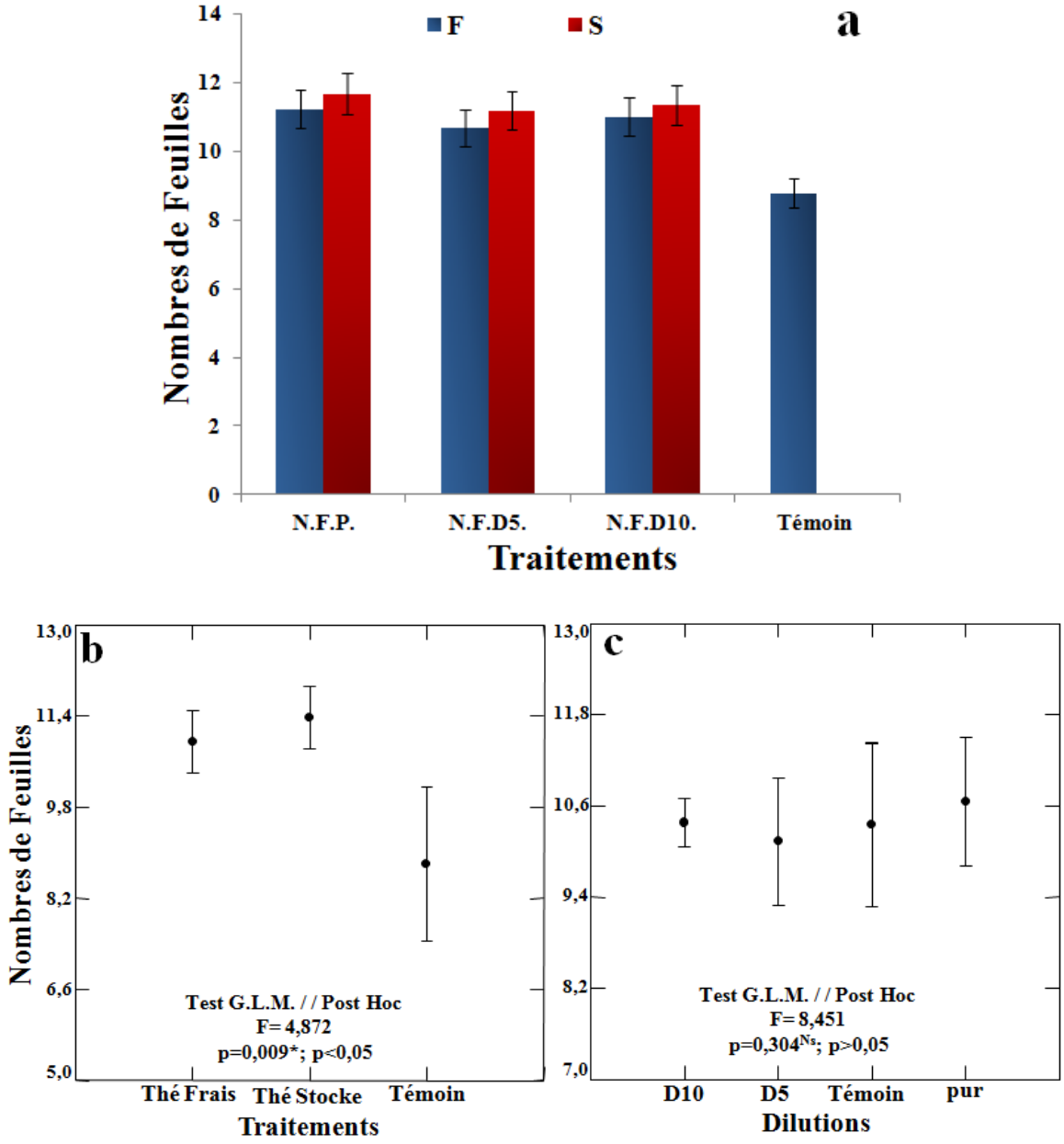


Figure III.10. Etude comparée de l'effet du thé de lombricompost sur le nombre de feuilles du haricot vert

N:Nombre; F:Feuilles; P:Pur; D:Dose; F:Frais; S: Stocke. T:Témoin.

III.1.6. Evaluation de l'effet du thé de lombricompostsur le nombre de bouquets floraux du haricot vert

La fluctuation des traits de production du haricot a été étudiée sous l'effet de différentes dilutions de traitement du thé de lombricompost.

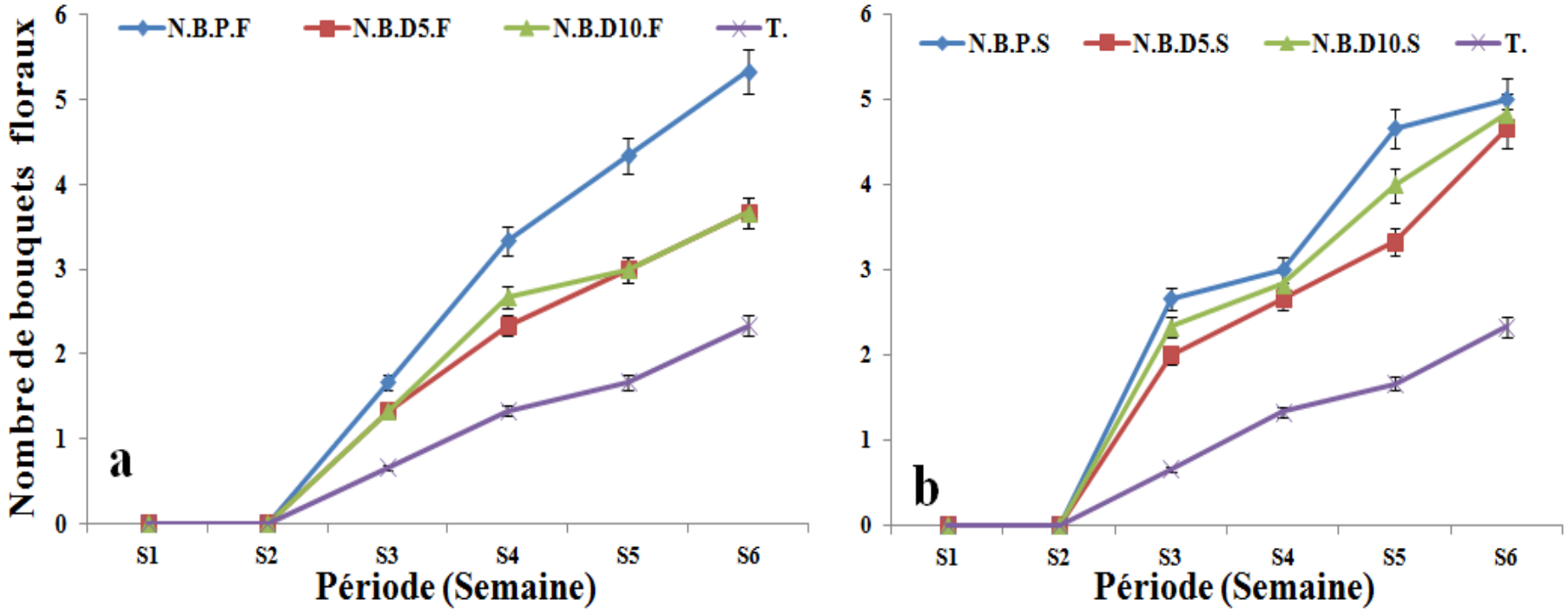


Figure III.11. Effet de différentes dilutions du thé de lombricompost sur le nombre de bouquets floraux des plants du haricot *Phaseolus vulgaris*

N:Nombre; B: bouquets floraux; P:Pur; D:Dose; F:Frais; S: Stocke. T:Témoin.
A: Absorption du thé Frais; b: Application du thé stocke

Les résultats montrent que le nombre de bouquets floraux est plus important chez les plants traités en comparaison au témoin. Il est à noter qu'a partir de la 3ière sortie de traitement on note une augmentation continue du nombre de bouquets sous l'effet du lombricompost. Suite aux résultats, le nombre de bouquets est sous la dépendance du thé de lombricompost non dilué (Figure III. 11).L'évolution temporelle du bouquet floraux montre un effet presque similaire entre le thé de lombricompost frais et celui qui a été stocké.

La Figure III.12.a met en évidence que le nombre de bouquets floraux du Haricot vert *P.vulgaris* est légèrement plus élevé sous l'effet du thé de lombricompost stocké par rapport à celui qui a été frais.

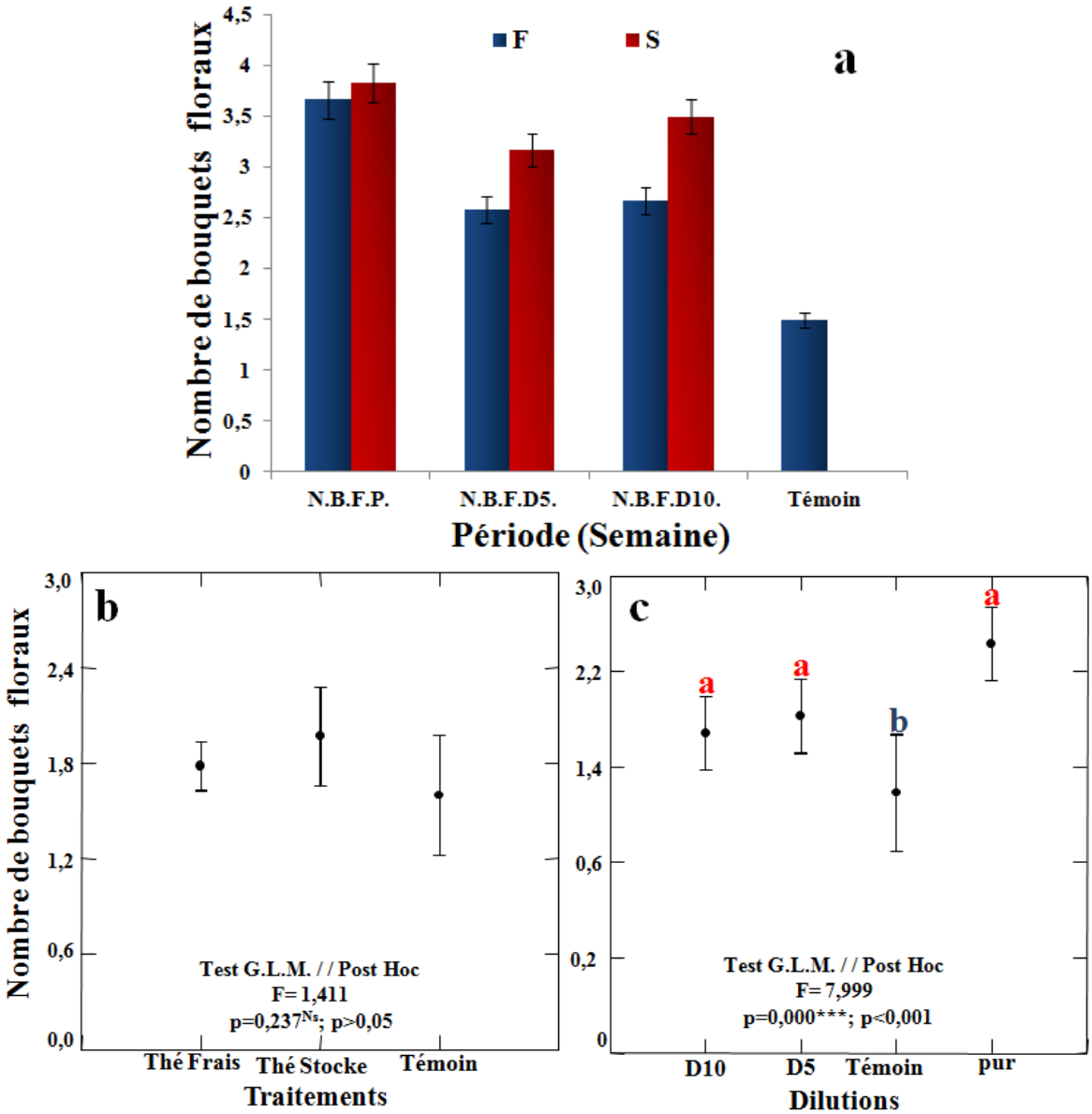


Figure III.12. Etude comparée de l'effet du thé de lombricompost sur le nombre de bouquets floraux du haricot vert

N:Nombre; B: bouquets floraux; P:Pur; D:Dose; F:Frais; S: Stocke. T:Témoin.

Le test G.L.M.révèle qu'il n'y a pas de différence significative dans le nombre de bouquets floraux du Haricot vert entre le bloc traités et le bloc témoin (p= 0,237Ns; p> 0,05) (Figure III.12.b.).

L'analyse post-hoc révèle la présence de deux groupes homogènes correspondant aux niveaux d'effet stimulant du thé de lombricompost. Le premier groupe est composé des populations exposées à différentes dilutions du thé de lombricompost, qui présentent le nombre de bouquets floraux le plus élevé et sont regroupées dans le groupe homogène (a). Le deuxième groupe concerne les populations du bloc témoin, qui affichent le nombre le plus faible de bouquets floraux et sont associées au groupe homogène (b) (Figure III.12.b).

III.2. Effets de différents types de thé de lombricompost sur les paramètres physiologiques du haricot vert *Phaseolus vulgaris*

III.2.1. Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur la quantité de la proline du haricot vert

Le graphe de la figure III.13 illustre l'effet des différents types de thé de lombricompost sur la quantité de proline du haricot vert. Les profils de la proline chez les plantes soumises aux différents traitements présentent une accumulation temporelle moyennent importante en comparaison aux plantes non traitées (bloc témoin). Les résultats illustrent que, les différentes dilutions du thé de lombricompost (pur; 5%;10%) ont un effet presque similaire sur la quantité de la proline des plantes traitées. L'évolution temporelle de la quantité de proline montre une action similaire entre le thé de lombricompost frais et celui qui a été stocké(Figure III.13. a et b).

La Figure III.14.a met en évidence que la quantité de proline dans le Haricot vert *P.vulgaris* est similaire sous l'effet du thé de lombricompost frais et stocké (voir Figure III.14.a). Le test G.L.M. révèle qu'il n'y a pas de différence significative dans la quantité de proline du Haricot vert entre le groupe traité et le groupe témoin (p = 0,099Ns ; p > 0,05) (Figure III.14.b.). Cependant, il est intéressant de noter que la quantité de proline est légèrement plus élevée dans le groupe traité par rapport au groupe témoin.

Les résultats révèlent que les différentes dilutions de thé de lombricompost ne signale aucune différence significative sur la quantité de la proline de plantes de Haricot vert Phaseolus vulgaris traités en comparaison aux plantes non traitées (p= $0,406^{Ns}$; p> 0,05) (Figure III.14.c.).

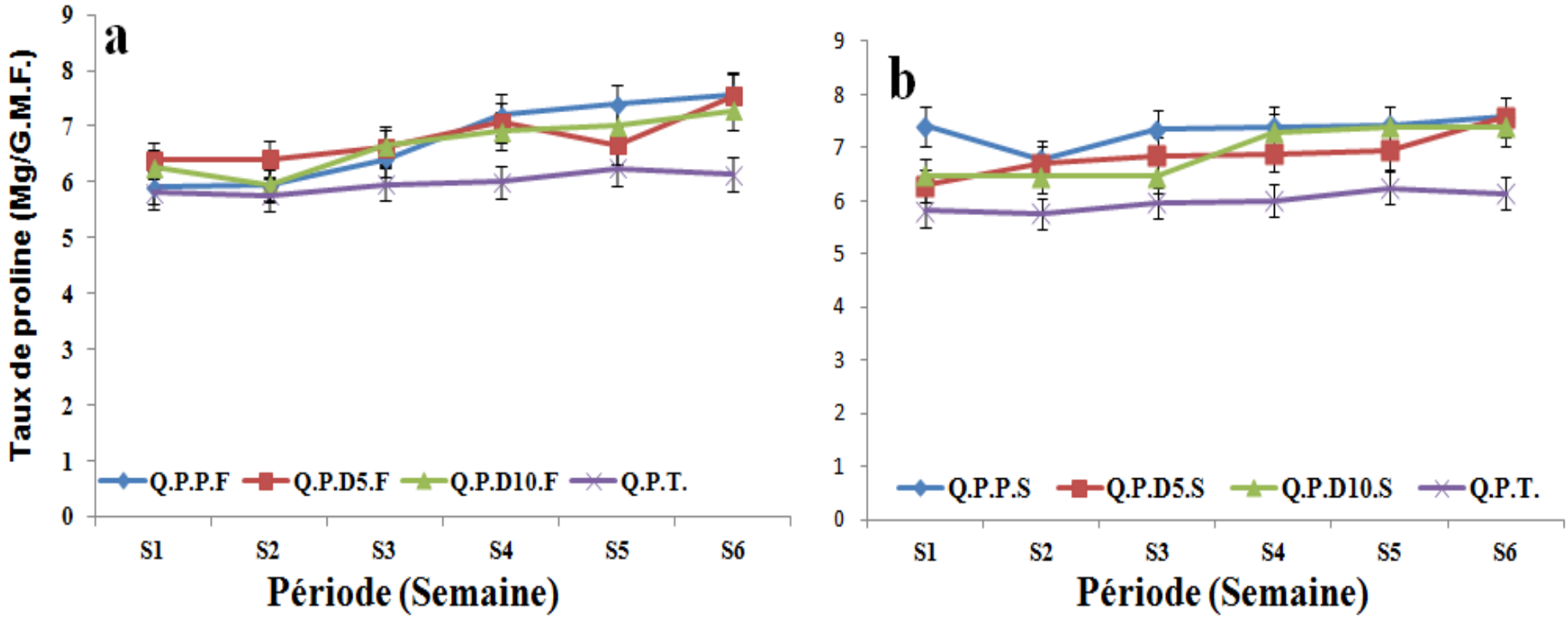


Figure III.13. Effet de différentes dilutions du thé de lombricompost sur la quantité de la proline des plants du haricot *Phaseolus vulgaris*

Q.P.: Quantité de la proline; P: Pur; D:Dose; F:Frais; S: Stocke. T:Témoin.
A: Absorption du thé Frais; b: Application du thé stocke

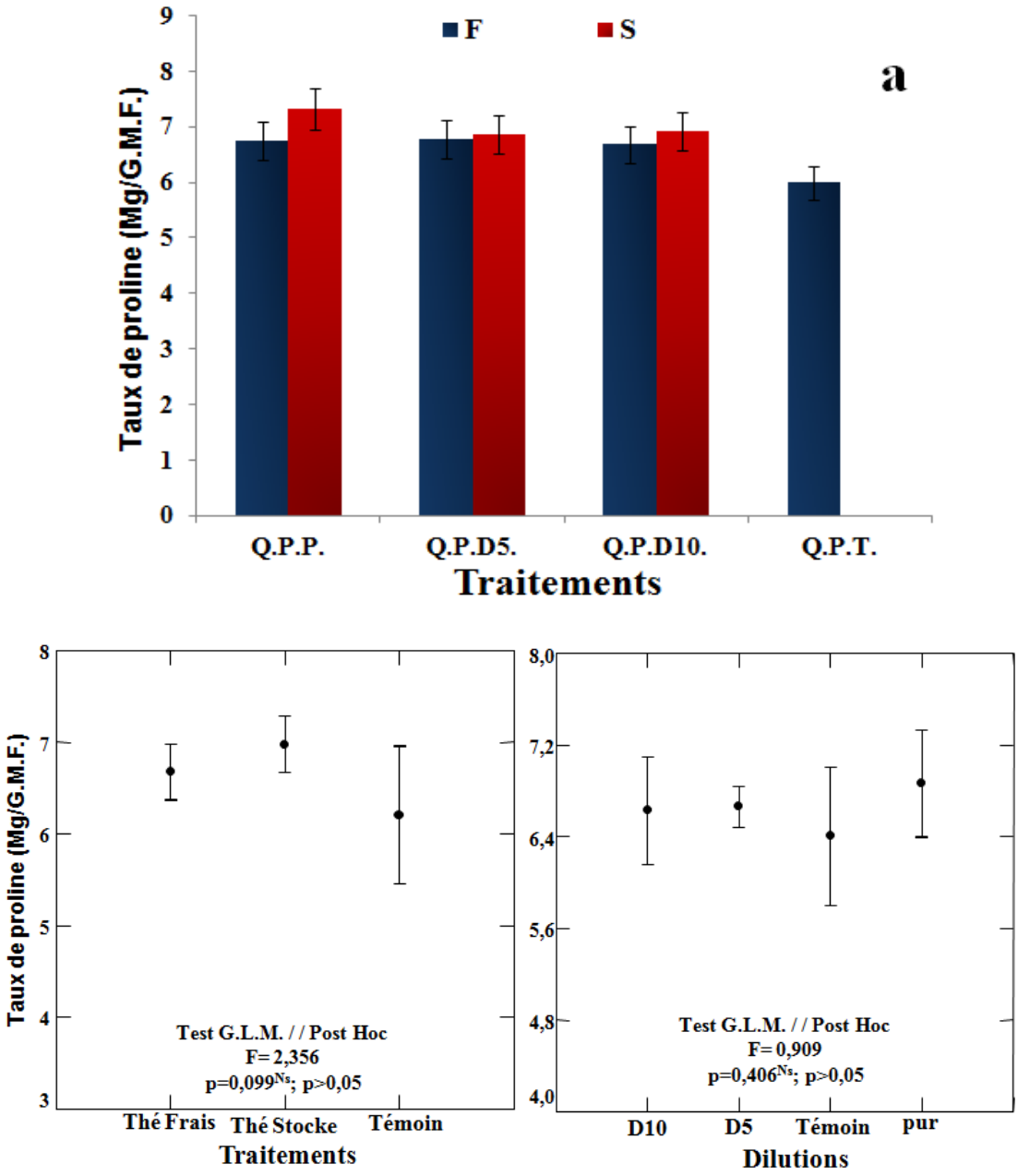


Figure III.14. Etude comparée de l'effet du thé de lombricompost sur la quantité de la proline du haricot vert

Q.P.: Quantité de la proline; P:Pur; D:Dose; F:Frais; S: Stocke. T:Témoin.

III.2.2. Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur la quantité des sucres totaux du haricot vert

Le graphe présenté dans la Figure III.15 représente l'effet de différents types de thé de lombricompost sur la quantité de sucres totaux des plants haricots verts. Les profils des sucres totaux chez les plantes soumises aux différents traitements présentent une accumulation temporelle moyennent importante par rapport aux plantes aux plantes non traitées (bloc témoin).

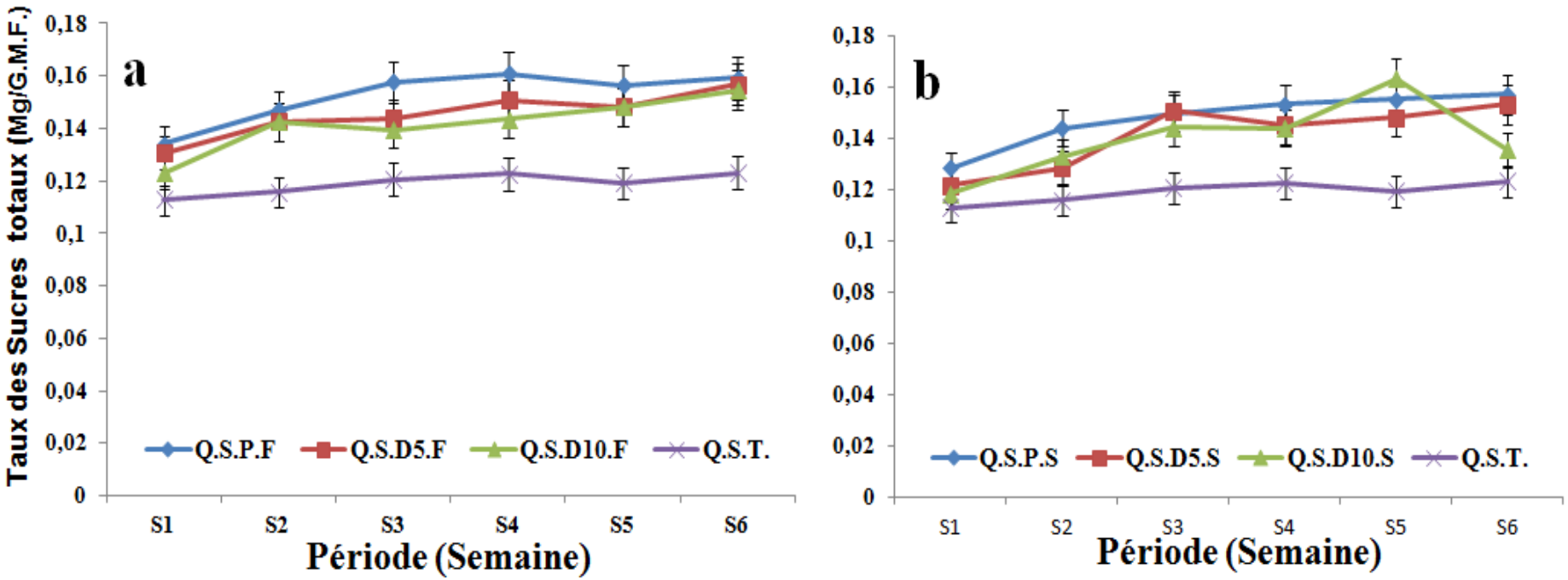


Figure III.15. Effet de différentes dilutions du thé de lombricompost sur la quantité des sucres totaux des plants du haricot *Phaseolus vulgaris*

Q.P.: Quantité des sucres totaux; P: Pur; D:Dose; F:Frais; S: Stocke. T:Témoin.
A: Absorption du thé Frais; b: Application du thé stocke

Les résultats montrent que, les différentes dilutions du thé de lombricompost (pur; 5%;10%) ont un effet presque similairesur la quantité des sucres totaux des plantes traitées.L'évolution temporelle du la quantité des sucres totaux montre uneactionsimilaire entre le thé de lombricompost frais et celui qui a été stocké(Figure III.15. a et b).

La Figure III.16.a, montre la quantité des sucres totaux du Haricot vert *P.vulgaris* reste similaire, que ce soit sous l'effet du thé frais ou de celui qui a été stocké. Les résultats effectuées démontrent que la quantité des sucres totauxdes plants traités avec du thé de lombricompost est moyennement important que celui des plants non traités (Test : G.L.M. : p<5%) (Figure III.16.b).De plus, il est intéressant de noter que l'accumulation de sucres totaux est plus importante chez les plantes soumises à l'effet du lombricompost frais par rapport à celui qui a été stocké.

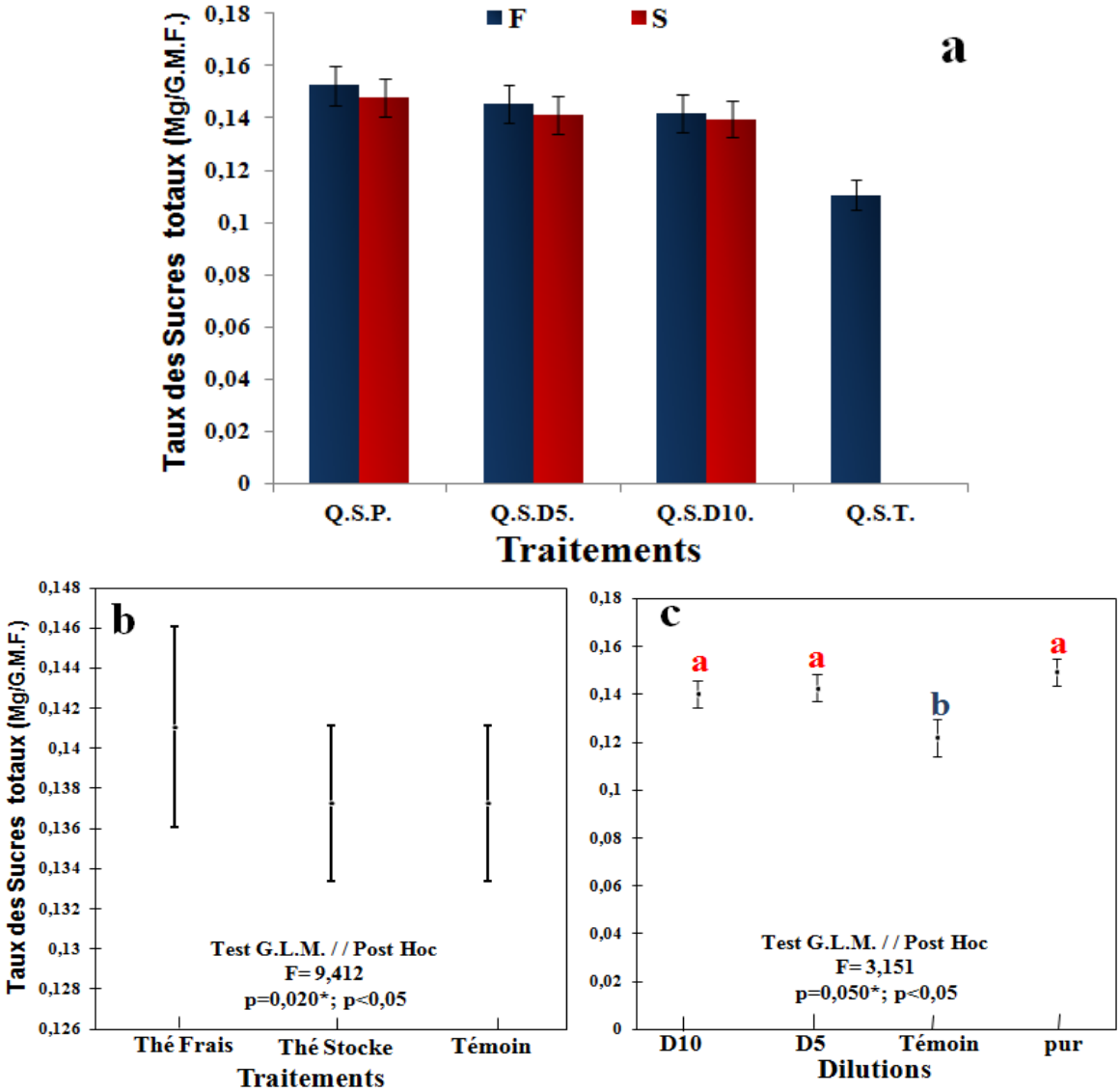


Figure III.16. Etude comparée de l'effet du thé de lombricompost sur la quantité des sucres totaux des plants du haricot *Phaseolus vulgaris*

Q.P.: Quantité des sucres totaux; P: Pur; D:Dose; F:Frais; S: Stocke. T:Témoin.

L'analyse post-hoc révèle la présence de deux groupes homogènes correspondant aux niveaux d'effet stimulant du thé de lombricompost. Le premier groupe est composé des populations exposées à différentes dilutions du thé de lombricompost, qui présentent le taux des sucres totaux le plus élevé et sont regroupées dans le groupe homogène (a). Le deuxième groupe concerne les populations du bloc témoin, qui affichent le taux le plus faible des sucres totaux et sont associées au groupe homogène (b) (Figure III.16.c).

III.2.3. Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur la concentration en Chlorophylle du haricot vert

Le tableau III. 1., montre la variation de la chlorophylle a, b et totale du haricot vert *Phaseolus vulgaris*sous l'effet des diffirentes molécules apportés. La lecture des résultats dévoilent que les différents types du thé de lombricompost provoquent une augmentation remarquables de chlorophylle par comparaison au témoin (ANOVA: p= 0,0001; p<1‰).

Table III.1. Evolution de la Chlorophylle du haricot vert sous l'effet des différents types du thé de lombricompost

Traitement	Dilutions	Chlorophylle a	Chlorophylle b.	Chlorophylle T
		Moy±E.S.	Moy±E.S.	Moy±E.S.
Frais	**Pur**	**12,59±0,48**	18,35±1,16	30,95±1,14
	D5	12,01±0,38	**18,89±1,21**	**30,90±1,05**
	D10	11,48±0,37	17,42±1,52	28,90±1,86
Stocké	**Pur**	11,56±0,21	18,40±1,144	29,97±1,31
	D5	11,66±0,39	17,93±1,07	29,43±1,36
	D10	11,19±0,33	17,14±0,92	28,33±1,22
Témoin		10,76±0,43	16,13±1,16	26,89±1,54
P-Value		**F=9,2783; p= 0,0001**	**F=10,6273; p=0,0001**	**F=14,3668;p=0,0001**

Les variations temporelles de la chlorophylle a (Figure III.17 a), de la chlorophylle b (Figure III.17. d).et de la chlorophylle totale (Figure III.17.g) du haricot vert signalent une divergence significative au cours de toute la période de suivi. Il est intéressant de constater une augmentation des chlorophylles durant toute la période d'exposition.

L'apport de deux type de thé de lombricompost augmente significativement l'expression de la chlorophylle a et b que la chlorophylle totale par rapport au contrôle (Figure III.17.b. e et h.).

L'application du thé de lombricompost pur permet d'accroitre d'une manière modérée les concentrations en chlorophylles a, b et totale par rapport au thé dilué (D5 et D10)(Figure III.17.c. f et i.).

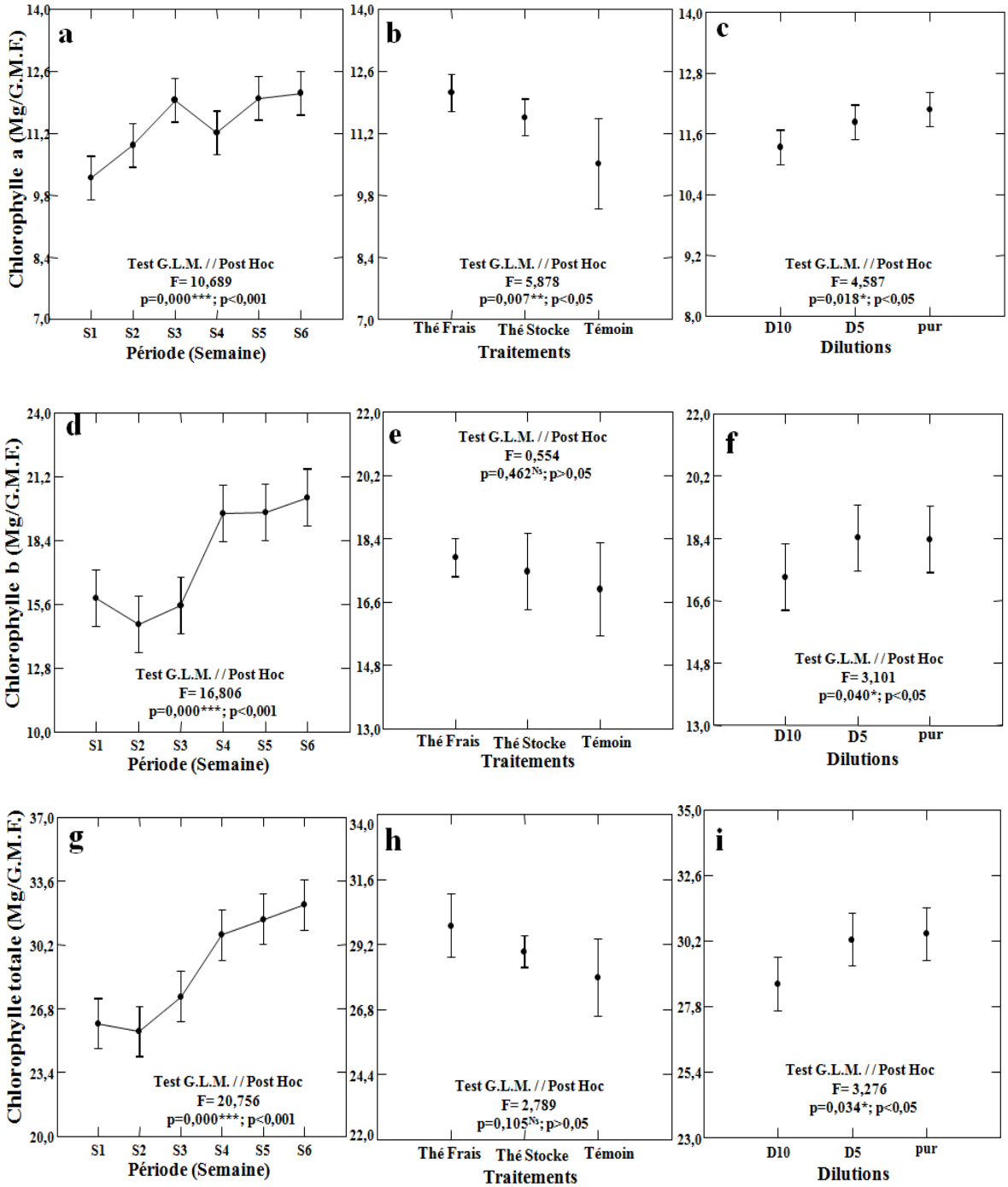


Figure III.17. Etude comparée de l'effet du thé de lombricompost sur la chlorophylle des plants du haricot *Phaseolus vulgaris*

III.3. Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur l'abondance du puceron noir de la fève *Aphis fabae*

Le tableau III.1., montre la variation de l'abondance du puceron noir de la fève *Aphis fabae* sous l'effet des diffirentes molécules apportés. La lecture des résultats dévoilent que les différents types du thé de lombricompost provoquent une diminution remarquables d'abondance par comparaison au témoin (ANOVA: p= 0,0001; p<1‰).

Table III.2. Evolution de l'abondance du puceron noir de la fève *Aphis fabae* sous l'effet des différents types du thé de lombricompost

Traitement	Dilution	Larve		Nymphe		Adulte		P-Value
		Somme	**Moy±E.S.**	Somme	**Moy±E.S.**	Somme	**Moy±E.S.**	
Frais	Pur	76,4	19,1±2,88	8,6	2,15±0,340	29,2	7,3±1,147	**F=50,22; p=0,0001**
	D5	82,2	20,55±3,875	9,6	2,4±0,365	7,8	1,95±0,403	
	D10	97,6	24,4±5,176	6,6	1,65±0,095	29,2	7,3±0,80	
Stocke	Pur	56,6	14,15±2,985	11,4	2,85±0,434	16,2	4,05±0,960	
	D5	73	18,25±3,324	5,4	1,35±0,340	26	6,5±1,327	
	D10	56	14±3,388	18	4,5±0,911	17,8	4,45±0,953	
Témoin		184	**46±7,275**	65,6	**16,4±2,814**	97,4	**24,35±2,196**	

Le modèle G.L.M. a été appliqué en pour évaluer l'effet strict de la période, des dilutions et du mode d'apport lombricompost sur l'abondance d'*A. fabae.* L'efficacité temporelle des traitements appliqués désigne une différence hautement significative entre les abondances d'*Aphis fabae* durant toute la période d'investigation. Nous remarquerons clairement qu'il y a une chute importante des abondances jus qu'a la fine de suivi (Test G.L.M.: p=0,001; p<1‰) (Figure III.18. a). Les résultats démontrent que l'abondance le plus important est signalée chez le stade larvaire en comparaisons aux autres stades de développement (Figure III. 18. b).

Le test de G.L.M., montre que les différents types de thé de lombricompost appliqués démontrent une action marquée sur la réduction du taux d'infestation des plants du haricot par les individus de puceron noir de la fève *Aphis fabae* en comparaison au témoin(Test G.L.M.: p=0,001; p<1‰)(Figure III.18.c).

Les résultats révèlent que les différentes dilutions de thé de lombricompost ne signale pas une différence significative sur les abondances d'*Aphis fabae* en comparaison au témoin (p= 0,692^{Ns}; p> 0,05) (Figure III.18.d). Nous signalons que l'effet le plus important est observé sous l'effet de thé non dilué.

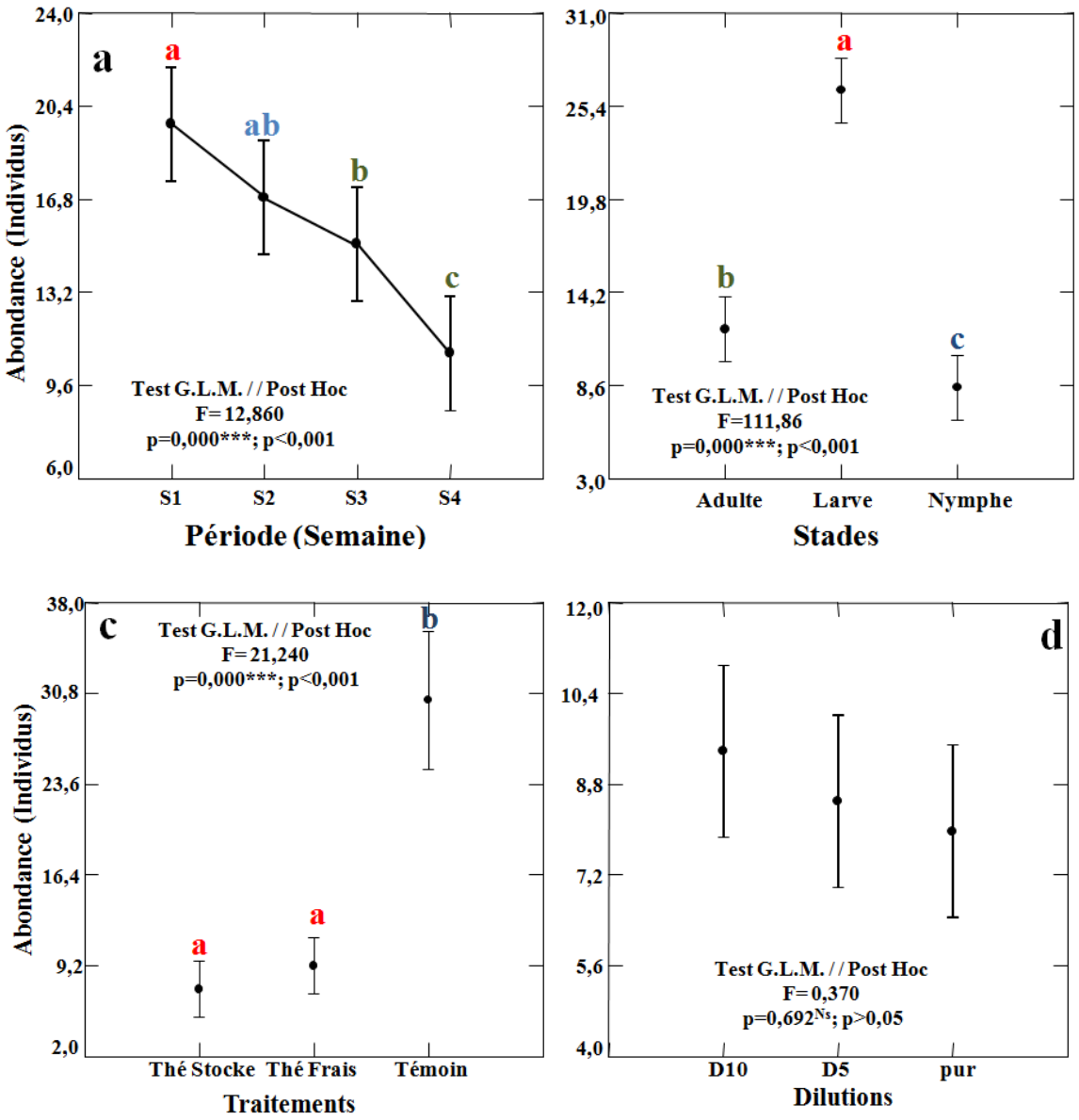


Figure III.18. Etude comparée de l'effet du thé de lombricompost sur l'abondance d'*Aphis fabae*

CHAPITRE IV

DISCUSSION GENERALE

CHAPITRE IV

DISCUSSION GENERALE

Les systèmes de cultures intensives, largement utilisés aujourd'hui, reposent principalement sur la mécanisation avancée et l'utilisation intensive d'engrais chimiques, de pesticides, de fongicides et d'herbicides pour maximiser la production agricole. Bien que ce mode de production permette de répondre aux besoins alimentaires d'une population mondiale croissante, il engendre de graves risques pour la biodiversité et la santé humaine. En effet, l'utilisation de pesticides et d'engrais chimiques est en grande partie responsable de la disparition de la biodiversité, de la pollution des sols, des nappes phréatiques et des cours d'eau souterrains (N'Goran Urbain, 2017).

C'est pourquoi il est crucial d'explorer des alternatives aux intrants chimiques, tels que les biofertilisants. Le recours aux biofertilisants naturels, tels que l'utilisation du vermicompost, pourrait offrir une alternative prometteuse aux intrants chimiques dans l'agriculture intensive, préservant ainsi la biodiversité et la santé de l'homme (Safiddine *et al.,* 2019).

Cette étude nous a permis de mettre en évidence l'effet régulateur des biofertilisants à base de thé de lombricompost sur le puceron noir d'*Aphis fabae* Scopoli, 1763 (Hemiptera/Aphididae) et d'estimer son incidence sur les paramètres morpho-physiologiques et biochimiques des plantes du haricot vert Phaseolus vulgaris L., 1753.

IV.1Evaluation de l'effet du thé de lombricompost (Frais et stockés) sur les paramètres de croissance de la Haricot vert *Phaseolus vulgaris*

Les résultats relatifs à l'action de biofertilisant sur l'expression végétative, ont prouvé que le thé de vermicompost (Frais ou bien stocké à différents dilutions: pure, dilué à5%, dilué à 10%), a stimulé rentablement la croissance (la croissance aérienne cumulative, la croissance racinaire, la biomasse aérienne, la biomasse racinaire, le nombre de feuilles) des plants du haricot vert en comparaison au témoin. Les résultats suggèrent que les biofertilisants, cas du thé de lombricompost, constituent une source riche en éléments minéraux et contiennent des substances bioactives telles que des hormones de croissance végétale et des enzymes. Ces composants ont la capacité de stimuler les processus métaboliques des plants de haricot, favorisant ainsi leur croissance et leur développement. Cette hypothèse est soutenue par plusieurs études approfondissant les effets du lombricompost sur les paramètres morphologiques des plantes. Ces recherches, menées par Hien *et al.*(2018),Chaichi *et al.* (2018), Guermache *et al.* (2018), Safiddine *et al*. (2019), Ali Kacem *et al.* (2020) et Zemmouri et Belhadj (2022), ont attribué les effets bénéfiques du lombricompost à sa richesse en éléments nutritifs et à sa capacité à libérer rapidement ces éléments dans le sol, favorisant ainsi la croissance des plantes.

D'autres études, telles que celles menées par Edwards *et al*. (2004), montrent que, le vermicompost est le produit de la dégradation des déchets organiques par les vers de terre et les microorganismes, dans un processus mésophile. Ce processus conduit à la formation d'un matériau biologique stable. L'application de ce vermicompost à faibles doses sur des cultures en plein champ ou en serre a entraîné une augmentation spectaculaire de la croissance des cultures, indépendamment de leur approvisionnement en éléments nutritifs. Ces résultats sont similaires à ceux de Visvanathan *et al.* (2005), seulement 5 à 10% du matériel digéré est absorbé par le corps du lombric, tandis que le reste est excrété sous forme d'un fin mucus qui est associé à des agrégats granulaires. Ces agrégats sont riches en éléments nutritifs tels que les nitrates, les phosphates et le potassium (NPK), ainsi que des micronutriments et des microorganismes bénéfiques pour le sol et la plante. Bowden *et al*. (2010), ont également constaté que l'application de vermicompost augmentait la hauteur des plantes grâce à la stimulation de substances auxiliaires produites lors de la consommation de vermicompost. Les travaux de Muraleedharan et al. (2010) ont indiqué que les biofertilisants, tels que le vermicompost, produisent des hormones et des anti-métabolites favorisant la croissance des racines et la fixation de l'azote. Les biofertilisants à base de vermicompost, riches en azote et en hormones, stimulent ainsi la multiplication du parenchyme, entraînant une augmentation de la phytomasse des plantes (Guermache *et al.*, 2018). De plus, Safiddine *et al.* (2019) ont souligné que l'augmentation de la croissance des plants de haricot sous l'effet du vermicompost est liée à sa richesse en substances régulatrices de la croissance, telles que les auxines, les gibbérellines et les cytokinines d'origine microbienne. Les vermicomposts contiennent également une variété de composants tels que des antioxydants, des composés phénoliques, des phytohormones, des acides humiques et fulviques, ainsi que d'autres acides organiques (Hosseinzadeh *et al.*, 2015). Cette composition diversifiée suggère que leurs extraits peuvent être utilisés comme biostimulants végétaux (Rady *et al.*, 2013*in* Zemmouri et Belhadj, 2022). Hien *et al.* (2018), les vermicomposts ont montré une capacité à favoriser une libération rapide des éléments nutritifs dans le sol pour les cultures, ce qui a contribué à l'amélioration de leur croissance.

Les résultats ont montrés que la production florale est très précoce et importante sous l'effet du lombricompost par apport au témoin. Par référence aux fluctuations de paramètre de production du haricot sous l'effet de traitements, nous estimons que la composition des du lombricompost agit sur l'induction florale. On se basant sur l'hypothèse avancée, nous pouvons l'accordée avec les travaux de Benazzouk et *al.* (2019 *in* Benhammouda *et al.*, 2021) qui ont montrés que 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.

Nos résultats révèlent que vermicompost frais apporté par absorption racinaire provoque une stimulatrice importante à la croissance des plants par rapport à vermicompost stocké.

IV.2. Evaluation de l'effet de différents types du thé de lombricompost sur les paramètres physiologiques du haricot vert *Phaseolus vulgaris*

Les résultats indiquent que le thé de lombricompost a un effet significatif sur la synthèse de la chlorophylle par rapport au témoin. Ces résultats suggèrent que le thé de lombricompost est riche en éléments minéraux et organiques, ce qui favorise une activité photosynthétique accrue. Cette hypothèse est étayée par l'étude de Guermache *et al.* (2018), qui ont examiné la synthèse de la chlorophylle chez les plantes traitées avec du vermicompost. Leurs résultats confirment que l'apport de vermicompost contribue probablement à l'augmentation de la teneur en chlorophylle et en caroténoïdes dans les feuilles, ce qui entraîne une amélioration de l'efficacité photosynthétique.De copieux travaux ont montré que les biofertilisants, y compris le vermicompost, contiennent des quantités importantes de macro et microéléments, en particulier l'azote, qui peuvent stimuler la croissance des plantes (Roy *et al.*, 2010 ; Chaichi et Djazouli, 2017 ; Ali Kacem *et al.*, 2021). Selon Danso et Eskew (1984), l'azote joue un rôle essentiel dans la synthèse de la matière vivante. Il est nécessaire, en combinaison avec d'autres éléments tels que le carbone, l'oxygène et l'hydrogène, pour former les acides aminés qui constituent les protéines. L'azote est essentiel à la structure des cellules et à la photosynthèse donc formation de la chlorophylle. Ainsi, il est le principal facteur de croissance des plantes et un facteur de qualité qui influe sur le taux de protéines des végétaux (Anon, 2005).Selon Mondal *et al.*, 2016 *in* Chaichi et Djazouli, 2017, l'utilisation de lombricompost a conduit à une augmentation de la concentration totale de chlorophylle. Les feuilles des plantes traitées ont montré une biosynthèse élevée de chlorophylle et une augmentation de la photosynthèse, ce qui a entraîné une augmentation des niveaux de sucres solubles totaux. Ces résultats mettent en évidence l'importance des changements positifs observés dans les métabolites primaires, car ils sont directement liés à l'ensemble des processus physiologiques des plantes.

Les résultats indiquent que l'application de lombricompost a un effet bénéfique sur la production de sucres totaux et la quantité de proline chez les plantes traitées. En visualisant les fluctuations des paramètres physiologiques, nous pouvons estimer que la composition spécifique des différents types de vermicompost influence l'enrichissement du contenu métabolique. En accord avec l'hypothèse proposée, plusieurs chercheurs ont signalé que l'effet stimulant du vermicompost sur la production de métabolites primaires et secondaires peut être attribué à l'amélioration de la nutrition minérale ou à l'augmentation de l'activité photosynthétique.

L'accumulation des sucres totaux solubles, peut être liée à l'activation du métabolisme basale de la plante. Des études portant sur d'autres espèces végétales, telles que la fève et le concombre, ont également révélé des résultats similaires en termes de taux d'accumulation des sucres totaux solubles (Chaichi et Djazouli, 2017). Nos propres résultats confirment également les conclusions antérieures d'Uprety et Yadava (1985), selon lesquelles des taux élevés d'accumulation de sucres totaux solubles dans les feuilles des plantes cultivées avec des fertilisants compostés entraînent des modifications des

glucides, qui revêtent une importance particulière en raison de leur lien direct avec des processus physiologiques tels que la photosynthèse, la translocation et la respiration. En effet, les sucres, bien qu'ils agissent en tant qu'osmorégulateurs, contribuent au maintien de l'équilibre de pression osmotique. De plus, ils préservent l'intégrité membranaire dans les organes desséchés et protègent les protéines (Chaichi, 2018).

Différentes études corroborent nos observations concernant l'accumulation de proline, mettant en évidence l'impact des différents régimes nutritionnels des plantes sur le métabolisme des glucides, entraînant ainsi l'accumulation de sucres et d'autres composés organiques (Chaichi, 2018 ; Guermache *et al.,*2018). Selon les recherches menées par Tahri *et al.* (1998*in*Abdessemed, 2014), l'accumulation de proline a été observée dans de nombreuses espèces végétales et dans diverses conditions de stress. Cette accumulation de proline est considérée comme un véritable mécanisme de tolérance au stress chez les plantes. De plus, Monneveux (1991), a constaté que l'accumulation de proline joue un rôle dans la protection de la membrane cellulaire et contribue à l'ajustement osmotique. En outre, l'accumulation de proline est l'une des stratégies adaptatives fréquemment observées chez les végétaux pour atténuer les effets des différents régimes de stress.

IV.3.Evaluation de l'effet du thé de lombricompost sur l'abondance du puceron noir de la fève *Aphis fabae*

D'après nos résultats, nous avons observé qu'il y avait un effet satisfaisant dans la réduction des infestations de pucerons noirs grâce à l'utilisation du thé de Vermicompost, comparé au groupe témoin. Cet effet varie en fonction de la dilution utilisée. À partir de nos résultats, nous formulons l'hypothèse que l'application du biofertilisant a stimulé les défenses naturelles de la plante. Cette hypothèse est en accord avec de nombreuses études qui ont examiné l'utilisation d'éliciteurs sur les plantes, en activant préventivement leurs réactions de défense, ce qui conduit à une augmentation de leur résistance aux bio-agresseurs. Des études antérieures, telles que celle de Chaichi et Djazouli (2017), ont suggéré que les vermicomposts réduisent les populations d'arthropodes tels que les pucerons et atténuent les dommages causés par les agents pathogènes. De nombreux auteurs ont également confirmé la capacité du vermicompost à réguler et réduire plusieurs ravageurs. Selon Ducasse (2015 *in*Safiddine *et al.,* 2019), la forte présence de microorganismes dans le vermicompost protège les plantes en rivalisant avec les organismes pathogènes pour les ressources disponibles. Phelan (2004) a signalé que les plantes fertilisées avec des engrais organiques sont généralement moins susceptibles et mieux résistantes aux attaques des ravageurs que celles recevant des engrais inorganiques. De plus, les informations bibliographiques disponibles suggèrent que le biofertilisant agit comme un insecticide sur les populations de pucerons en raison de sa richesse en chitinases. Les chitinases fongiques ont de multiples fonctions, notamment dans le métabolisme trophique, le développement, la morphogenèse, les interactions symbiotiques et les infestations parasitaires. Les champignons utilisent leurs chitinases pour faciliter leur pénétration ou pour exploiter les sucres et les acides aminés provenant de la dégradation de leurs sources de nourriture (Saguez, 2007).

CONCLUSION

CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce travail portant sur l'efficacité du thé de lombricompost (frais et stocké) à différentes dilutions (pure ; D5% ; D10%) sur les paramètres morpho-physiologiques et biochimiques du haricot vert *Phaseolus vulgaris*, ainsi que ses effets sur la dynamique du puceron noir de la fève *Aphis fabae*, il ressort les conclusions suivantes :

L'ensemble des traitements appliqués entraînent des effets satisfaisants sur les paramètres morphologiques tels que la croissance aérienne cumulative, la croissance racinaire, la biomasse aérienne, la biomasse racinaire, le nombre de feuilles et le nombre de bouquets floraux. Ces traitements mettent en évidence l'effet bio-stimulant du thé de lombricompost par rapport au témoin.

Les résultats montrent que le thé frais de lombricompost a un effet fertilisant important sur les paramètres de croissance des plantes traitées par rapport au thé stocké. Cependant, le thé de lombricompost pur semble être plus efficace pour favoriser l'expression végétative des plants par rapport aux autres dilutions.

En ce qui concerne la qualité phytochimique, les différentes formes de thé de lombricompost influencent les réponses physiologiques et biochimiques, entraînant la synthèse et l'accumulation de métabolites simples tels que les sucres totaux solubles et la proline, ainsi que des variations de teneur en pigments (chlorophylle totale) chez le haricot vert.

Les résultats démontrent que les différentes formes de thé de lombricompost appliquées ont une action marquée dans la réduction de l'infestation des plants de haricot par les pucerons noirs de la fève *Aphis fabae*, par rapport au témoin. Les résultats indiquent également que la dilution la plus forte affiche le taux le plus faible d'infestation.

Le lombricompostage peut permettre la production de phyto-stimulants et de phyto-fortifiants de bonne qualité agronomique, qui peuvent être utilisés dans les exploitations agricoles.

Dans une perspective d'amélioration, il serait intéressant de :

- Mettre en place un programme d'apport de fertilisants basé sur les connaissances accumulées grâce à cette approche.
- Utiliser le biofertilisant sous forme formulée dans le cadre d'un programme de lutte intégrée.
- Évaluer certains paramètres physiologiques et des éléments minéraux afin de mieux comprendre le mode d'application et les conditions optimales des différentes molécules.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1 . **Abdelkader F et Ouadah A .,2016** .etude de l'activité insecticide des extraits hydroalcoliques Ricinus communis L. et ***Sapindus saponaria*** L. sur le puceron noire de fève « *Aphis fabae* »mémoire de master . Université Hamid ibn badis Mostaganem ,56p.

2. **Abdessemed N.,2014.** Implication des phytofortifiants dans la régulation du stress salin sur une culture du haricot *phaseolus vulgaris* L. var Djedida .ca d'un biofertilisant issu de la lombriculture, SDB, Alger,65 p.

3. **Albittar L., 2017.** Etude de la relation entre plante-pucerons-parasitoïdes et virus dans la culture de betteraves. Thèse doctorat, 248p.

4. **Ali kacem S., Benabderrahmane M.A., Guedoui S., 2021.** stimulateurs de défense naturelles des plantes comme une alternative durable aux produits phytosanitaires conventionnels: cas du lombricompost. Mémoire de master. Université Dr Yahia Fares de Médéa, 95p.

5. **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.

6. **Antoine Karam., 2020.** Produits de protection des plantes contre les ravageurs des cultures et les agents phytopathogènes.Université Laval ,108p.

7. **Assemien E. F. L., 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. Biochimie [q-bio.BM]. Université de Lyon. Français. ffNNT : 2018LYSE1103ff. fftel-01896147.

8. **Baste Mia B. M. A., 2015.** Nutrition of crop plants. Published by *Nova Science Publishers*, Inc. † New York, 187p.

9. **Benhamou N. et Rey P., 2012.** Stimulateurs des défenses naturelles des plantes : une nouvelle stratégie phytosanitaire dans un contexte d'éco-production durable. Phytoprotection, 92: 24-35

10. **Benhammouda B., Bounouar A., Mohammedi R., et Djazoul Z-E.,2021.** Influence de la nutrition organique sur le statut phytosanitaire de citrus sinensis thomson. Evaluation de l'installation primaire des espèces folivores et variation

phytochimiques, , Laboratoire be biotechnologie des production 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,2776 p**.**

11. **Bernier M., 2011.** Étude de la variabilité des symptômes pathologiques affectant le haricot commun. HAL Id: hal-01458624, 69 p.

12. **Blanchard A. et Limache F., 2005.** Les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN). [Travaux universitaires] Institut national agronomique Paris-grignon - INA P-G; ENSA de Rennes; Montpellier SupAgro. 2005, pp.18. ffhal-01857661f, 16p.

13. **Blanchard A., 2018.** Les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN), histoire d'une innovation phytosanitaire (1977-2007). Cahiers COSTECH - Cahiers Connaissance, organisation et systèmes techniques, 2018, 1. ffhal-01633345v2f

14. **Blanchard A., 2021.** Comment les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN) ont renouvelé le lexique des pesticides. Journée d'études "Pesticides : dialogues interdisciplinaires en sciences humaines et sociales", 21 et 22 octobre 2021, 33p.

15. **Boccon-Gibod J., 2014.** Connaître la nutrition minérale des végétaux pour bien fertiliser. *Botanique - Jardins de France*, 631, pp 45-47.

16 . **Bouchenafa H., 2020.** Évaluation de l'effet des fertilisants sur la croissance de la tomate et la dynamique de ravageur. Mémoire de Master, Université de Médéa, 88p.

17. **Bowden C.L., Evanylo G.K., Zhang X.,Ervin E.H et Seiler J.R., 2010.** Oil carbon and physiologicalresponses of corn and soybean to organic amendments, compost science & utilization, (18),pp. 162-174

18. **Briat et Lemaire .,2020** Nourrir les plantes en polluant moins ? encyclopédie de l'environnement

19. **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.

20. Chaichi wissam .,2011effet d‟un lombricompost sur la qualité phytochimique et la fitness du puceron noir de la féve dans les conditions contrôlées mémoire de magistère université saad dahlab de Blida

21. 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.* Revue Agrobiologia, 7(1): 247-262.

22 . 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.). Thèse de doctorat, Université de Mostaganem, 125p.

23. Daniel A .I., 2022. Biofertilizer: The Future of Food Security and Food Safety , 10, 1220

24. 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.

25. Desfontaines L., Rotin P., Ozier-Lafontaine H., 2018. Les Biostimulants : Qu'en savons-nous ? Quelles alternatives pour l'agriculture Guyanaise ? Innovations Agronomiques 64, 31-46.

26. Dion P. P., 2019. Minéralisation et prélèvement direct de l'azote organique dans les cultures légumières biologiques en serre. Doctorat en biologie végétale, Québec, Canada

27. Dreir W. et Goting M., 1974. Der einfluss bother. Salzkonzentrationen auf physiologische parameter von aiswurzelu. Wiss. Der H. V. Berlin, Nath. Naturwiss, 23, pp: 641- 646.

28. Dubois M.K.A., Gilles Y.K. et Hamilton P.A., 1956. Colemetric method for determination of sugars and related substance. *Anal and Chem. Jour*: 28. P: 350-356.

29. Dutartre M., 2015. Santé et adaptation du haricot commun Phaseolus vulgaris L. HAL Id: hal-01458648, https://hal.science/hal-01458648, 70 p.

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

31. **Guei N.K.R., 2020.** Caractérisation moléculaire et phénotypique des bactéries symbiotiques et associatives isolées des nodules du pois bambara [*Vigna subterranea* (L.) Verdc.]. Thèse de doctorat, Université Jean Lorougnon Guede, Côte D'Ivoire, P 251.

32. **Guermache et Djazouli.,2021** effets de la fertilisation à base de la biomasse vermicompostée sur les performances agronomiques du haricot vert (*phaseolus vulgaris* l.) en culture irriguée *Agrobiologia* **11**(1): 2394-2405

33. **Guermache L., Kobbi S., Aroun M.E.F., Merah O.et Djazouli.** 2018. Évaluation Des Changements Induits Par Différents Types De Vermicompost Sur Les Traits Morpho-Physiologique Et Biochimique Du Haricot vert. *Revue Agrobiologia*, 8(2) : 1072-1084.

34. **Guet G., 2003.** Mémento d'agriculture biologique, 2 ème édition mise à jour et enrichie. Ed. Agridécisions. 416 p.

35. **Hallouin I., 2012.** Tout savoir sur la culture du Haricot sous abris et en plein champ. Fiche culturale haricot. Décembre 2012 - V2, 15p.

36. **Hamdani D., 2012**. Actions des poudres et des huiles de quelques plantes aromatiques sur les paramètres biologiques de la bruche de haricot, *acanthosceldes obbtectus* Say. (coleoptera: bruchidae). Memoir de Magister. université Mammeri de Tizi-Ozou 97p.

37. **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.

38. **Hosseinzadeh S.R., Amiri H. and Ismaili A.,2015.** effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (cicerarietinum L.) under drought stress , photosynthetica (53) :1-6.

39. **Inamuddin Ahamed M.I., Boddula R., Rezakazemi M. (Eds.), 2021.** Biofertilizers: study and impact. 1st ed. *Wiley*, 663p. https://doi.org/10.1002/9781119724995.fmatter

40. **Kiyasudeen S.K., Ibrahim M.H., Quaik S., Ahmed Ismail S., 2016.** Prospects of Organic Waste Management and the Significance of Earthworms. *Applied Environmental Science and Engineering for a Sustainable Future*, 259p. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24708-3

41. **Kumar S., Diksha, Sindhu S.S., Kumar R., 2022.** Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Current Research in Microbial Sciences*, 3, 100094p. https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100094

42. **Lichtenthaler H.K., 1987.** Chlorophyls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148:350-382.

43. **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.

44. **Mansouri L. M., 2021.** Etude des effets des facteurs biotiques et abiotiques sur la nodulation chez le haricot (Phaseolus vulgaris L.). Thèse de doctorat, université de Batna, 123p.

45. **Meradsi F., 2009.** Contribution à l'étude de la résistance naturelle de la fève *Vicia faba* L. au puceron noir *Aphis fabae* Scopoli, 1763 (Homoptera: Aphididae). Mémoire de Magister, Université El-Hadj Lakhdar, Batna, Algerie, 87p.

46. **Mitter E.K., Tosi .M., Obregón .D., Dunfield.K.E., and Germida .J.J.,2021.** Rethinking Crop Nutrition in Times of Modern Microbiology: Innovative Biofertilizer Technologies Article 606815 V 5

47. **Morot-Gaudry J-F., 2013.** Mineral nutriton of plants: molecular aspects. Académie d'agriculture de France, 25 p.

48. **Muralidaran M., Selvakumar C., Sundar S . and Raja M., 2010,** macro invertebrates as potentian Indicators of Environmental quality sriparamakalyani centre for environmental sciences, manonmaniam sundaranar. University Alwarkurichi - 627412, Tamilnadu, India.

49. **N'Goran Urbain F. N ., 2017 .**optimisation de la culture de spiruline en milieu controlé : éclairage et estimation de la biomasse. Optique /photonique . université Paul Sabatier – Toulouse III, 2017. Francais, NNT: 2017TOU30378 . Tel 02013829, 144p.

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

51. **Phelan P. I ., 2004** connecting below-groud and above-ground food webs : the role of organic matter in biological buffering.in Magadoff F . et Well R.R., 2004-soil organic matter insustainable agriculture CRC press , bocaraton, Londre, new-York , Washington, DC , PP : 199-226

52. **Roy S., Arunachalam K., Dutta B.K. and Arunachalam A., 2010.** Effect of organicamendements of soil on growth and productivity of tree common crops viz-zea mays , phaseolus vulgaris and Abelmoschus esculentus, applied soil ecology(45) ;78-84**.**

53. **Safiddine F., 2012.** Effet des biofertilisants sur l'évolution des métabolites secondaires des plants de tomate et le développement des nématodes a galles dans des conditions contrôlées. Mémoire de Magister, Université de Saad Dahleb, Blida, 121p.

54. **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.

55. **Saguez J., 2009.** Dérégulation des activités chitinases : vers de nouvelles perspectives de lutte contre les aphides. Sciences du Vivant [q-bio]. Université de Picardie Jules Verne, Français. HAL Id: tel-00521546, 149p.

56. **Sanchez quintero A., 2022.** Production innovante de biostimulants végétaux à base d'algues à partir de flux de déchets pour une agriculture durable. Thèse de doctorat, Institut des sciences analytiques et de Physico-chimie pour l'Environnement et les Matériaux.

57. **Siddique J., Khan A.A., Hussain I., Akhter S., 2015.** Growth and Reproduction of Earthworm (*Eisenia fetida*) in Different Organic Media. *Journal of Zoology*, 37p. https://www.researchgate.net/publication/268189122

58. **Skanderi M. et Mammeri A., 2022.** *Effets des extraits de la spiruline Spirulina platensis sur les défenses naturelles des plantes.* . Mémoire de Master, Université de Médéa, 100 p.

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

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

61. **Thomas L., Singh I., 2019.** Microbial Biofertilizers: Types and Applications, in: **Giri B., Prasad R., Wu Q.-S., Varma A. (Eds.)**, Biofertilizers for Sustainable Agriculture and Environment, Soil Biology. *Springer International Publishing*, Cham, pp. 1–19. https://doi.org/10.1007/978-3-030-18933-4_1

62. **Troll W. et Lindsley J., 1955.** A photometric method for the determination of proline. *J.Biol. Chem.*, 216, pp: 655- 660.

63. **Uprety M, et Yadava R. B.R., 1985.** Effect of CCC on lodgin, Yield, and grain quality of Oat (avena sativa) cultivar Kent Indian journal plant physiol 28(1):103-106**.**

64. **Vessey J.k., 2003.** Plant growth promoting rhizobacteria as bio-fertilizers. *Plant Soil, 255: 571-586.*

65. **Visvanathan C., Trankel J., Josspeh K. et Nagendran R., 2005.** Vermicomposting as an Eco-Tool in Sustainabl Solid Waste Management , Asian institute of technology, Annamalai university, Chidambaram Anna University , India