

RÉPUBLIQUE ALGÉRIÈNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ SAAD DAHLAB – BLIDA 1



FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA
VIE

DEPARTEMENT DE BIOTECHNOLOGIE ET AGRO-
ÉCOLOGIE



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du Master académique en
Phytopharmacie et Protection des Végétaux

Thème

**Optimisation de la production végétale du haricot vert sous
conduite organique: Cas du vermicompost**

Présenté par :

Melle : MENZOU Faiza

Melle : ELHADI Meriem

Devant le Jury :

Mme BRAHIMI L.	M.C.A.	U. Blida 1	Présidente
Mme KHEDDAR R.	M.C.B.	U. Blida 1	Examinatrice
Mr. DJAZOULI Z.E.	Pr.	U. Blida 1	Promoteur
Mme BELKHOUMALI S.	Doctorante	U. Blida 1	Co-promotrice

Année Universitaire 2022-2023

Remerciements

Avant toute chose, nous tenons à remercier Dieu, « Allah », le Tout-Puissant, pour nous avoir donné la force et la patience d'élaborer ce travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre promoteur, le professeur Mr DJAZOULI Z.E., d'avoir dirigé et suivi ce travail et de nous avoir conseillé et orienté de manière judicieuse.

Nous remercions également notre co-promotrice, Mme BELKHOUMALI S., pour avoir co-dirigé ce travail et pour son soutien.

Nos remerciements sont également adressés aux membres du jury :

La présidente, Mme BRAHIMI L., qui nous a fait l'honneur de présider le jury.

Notre examinatrice, Mme KHEDDAR R., d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons à remercier tous nos enseignants en phytopharmacie et protection des végétaux.

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

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents, véritables héros de ma vie, qui ont été constamment présents pour moi, éclairant le chemin de ma vie par leur grand soutien et leurs encouragements. Ils ont été mes guides qui m'ont montré la voie à suivre et ont joué un rôle essentiel dans la personne que je suis aujourd'hui. Je vous aime énormément, que Dieu vous protège et vous garde toujours à mes côtés.

À mes meilleurs frères au monde, SAMIR et SIDAHMED, merci pour tout votre soutien. À ma belle-sœur Rofaida et au petit prince de la famille, mon ange SAIFEDDINE TAYEB, je vous aime.

À mes chères amies RANIA et SAMAH, vous êtes une source précieuse de soutien et de joie dans ma vie. Que notre amitié perdure et continue à grandir.

À mon binôme MERIEM, tu es bien plus qu'un simple binôme, tu es une confidente précieuse et une compagne de vie. Merci d'être ma meilleure amie et mon binôme parfait.

À toutes les personnes qui m'ont encouragé, soutenu et aidé tout au long de mon parcours.

Faiza

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes très chers parents pour tout ce que vous avez fait pour moi. Votre soutien constant et vos sacrifices ont été les fondements de ma vie. Je vous aime infiniment, et mes paroles ne suffisent pas à exprimer toute ma reconnaissance envers vous.

À mes chers frères, Mohamed et Amdjad, ainsi qu'à mes merveilleuses sœurs, Hiba et notre petite Alaa.

À mon fiancé, qui est toujours à mes côtés pour m'encourager et me soutenir.

À mes amies Rania et Samah, merci d'être des amies merveilleuses et aimantes. Je suis profondément reconnaissante de vous avoir à mes côtés.

À mon binôme et meilleure amie, Faiza, je suis reconnaissante de t'avoir comme binôme. Je tiens à te dire un grand merci pour tout ce que tu as apporté.

Et à toutes les personnes qui m'ont encouragé, soutenu et apporté leur aide tout au long de mon parcours.

Meriem

Optimisation de la production végétale du haricot vert sous conduite organique: Cas de vermicompost

Résumé

La recherche agricole moderne considère les biofertilisants comme une composante essentielle de l'agriculture biologique durable, offrant ainsi une alternative viable aux engrais chimiques.

L'étude vise à améliorer la production du haricot vert en évaluant les effets de différentes concentrations de jus de vermicompost, de vermicompost fermenté par comparaison à un produit organique "Orga", sur la croissance et les paramètres biochimiques des plantes. L'objectif est d'adopter des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement tout en obtenant des haricots verts de qualité supérieure.

Dans cette expérimentation, des plantules d'haricot vert de la variété Djedida ont été trempées et germinées dans des alvéoles en plastique. Après la transplantation, des traitements foliaires de biofertilisants ont été appliqués à des doses spécifiques à différents stades de croissance. Les paramètres étudiés ont été évalués en prélevant trois plantes à chaque période d'application.

Les résultats ont révélé que le traitement avec VLC 20% a conduit à une amélioration de la croissance du haricot vert, mesurée par des paramètres tels que la surface foliaire, la longueur de la partie aérienne et la partie racinaire. De plus, le traitement VLCF 20% a favorisé une augmentation de la production de chlorophylle. En outre, les traitements VLC à 10% et VLC à 20% ont réduit la production de proline, ce qui indique une meilleure capacité d'adaptation des plantes aux conditions de stress.

Ces résultats confirment la faisabilité d'utiliser du vermicompost à partir de déchets ménagers solides et liquides, ainsi que le vermicompost fermenté, pour améliorer la productivité des plantes.

Mots clés : Biofertilisant, Haricot vert, Vermicompost, Germination, Paramètres biochimiques, Production de chlorophylle.

Optimizing green bean vegetable production under organic management: The case of vermicompost

Abstract

Modern agricultural research considers biofertilizers as an essential component of sustainable organic agriculture, providing a viable alternative to chemical fertilizers.

The study aims to enhance the production of green beans by assessing the effects of different concentrations of vermicompost juice, fermented vermicompost, and the organic product "Orga" on plant growth and biochemical parameters. The objective is to adopt environmentally friendly agricultural practices while achieving high-quality green bean yields.

In this experiment, seedlings of Djedida variety green beans were soaked and germinated in plastic cells. After transplantation, foliar treatments of biofertilizers were applied at specific doses during different growth stages. The studied parameters were evaluated by sampling three plants at each application period.

The results revealed that the VLC20% treatment led to improved growth, including increased leaf area, aerial part length, and root development. Additionally, the VLC F20% treatment promoted chlorophyll production, while VLC 10% and VLC 20% treatments reduced proline production, indicating better plant adaptation to stress conditions.

These findings validate the feasibility of using vermicompost from solid and liquid household waste, as well as fermented vermicompost, to enhance plant productivity.

Keywords: Biofertilizer, Green bean, Vermicompost, Germination, biochemical parameters, Chlorophyll production.

تحسين إنتاج الفاصوليا الخضراء في ظل الزراعة العضوية: حالة السماد الدودي

الملخص

تعتبر الأبحاث الزراعية الحديثة الأسمدة الحيوية مكملًا أساسيًا للزراعة العضوية المستدامة، وبالتالي تُؤدم بدائلًا ذاتيًا للتطبيق للأسمدة الكيماوية.

تهدف الدراسة إلى تحسين إنتاج الفاصوليا الخضراء من خلال توظيف تائثيرات التركيبات المختلطة لعصير السماد الدودي والسماد الدودي المخمر والمزيج العضوي "Orga" على نمو الزبات والمعايير البيوكيميائية. الهدف هو تبني ممارسات زراعية صديقة للبيئة مع تحقيق غلة عالية الجودة من الفاصوليا الخضراء.

في هذه التجربة، تم تقسيم شتلات الفاصوليا الخضراء من الصنف الجديدة وإزبانها في خالٍ بالسنتيمتر. بعد الزرع، تم تطبيق العلاجات من الأسمدة الحيوية بتركيزات محددة خلال مراحل النمو المختلطة. تم توظيف المعايير المدروسة عن طريق أخذ نائلة زبانات في كل فترة تطبيق.

أظهرت النتائج أن العلاج باستخدام VLC20 % أدى إلى تحسين النمو، بما في ذلك زيادة مساحة الورقة وطول الجزء الجوي ونمو الجذر. بالإضافة إلى ذلك، عززت معالجة VLC F20 % إنتاج الكلوروفيل، بينما زالت معالجات VLC 10 % و VLC 20 % من إنتاج البرولين، مما يشير إلى تكيف الزبات بشكل أفضل مع ظروف الإجهاد.

تؤكد هذه النتائج جدوى استخدام السماد الدودي من المخلفات المنزلية والساوية، وكذلك السماد الدودي المخمر، لتحسين إنتاجية الزبات.

الكلمات المفتاحية: السماد الحيوي ، الفاصوليا الخضراء ، السماد الدودي ، الزبات ، المعايير البيوكيميائية ، إنتاج الكلوروفيل.

Liste des figures et des tableaux

Figure 1	Position de lieu d'expérimentation (Google earth, 2023).	15
Figure 2	Graines d'haricot vert variété DJEDIDA.	16
Figure 3	Matériels de laboratoire.	16
Figure 4	Germination des plantes du Haricot vert.	17
Figure 5	Dispositif de l'obtention de vermicompost.	18
Figure 6	Produit organique « ORGA PLUS ».	19
Figure 7	Dispositif expérimental de l'essai.	20
Figure 8	Application des traitements.	20
Figure 9	Estimation de la longueur des plantes.	21
Figure 10	Estimation de la surface foliaire.	21
Figure 11	Estimation du poids frais des plantes.	22
Figure 12	Projection des valeurs de croissances du haricot vert dans les deux axes de l'A.C.P.	25
Figure 13	Projection des valeurs biochimiques du haricot vert dans les deux axes de l'A.C.P.	26
Figure 14	Etude comparée d'effet des biofertilisants (Vlc 20%, Vlc f 20% et Témoin) sur les paramètres de croissance du haricot vert.	27
Figure 15	Etude comparée d'effet des biofertilisants (Orga, Vlc 10% et Vlc f 10%) sur les paramètres de croissance du haricot vert.	28
Figure 16	Etude comparée d'effet des biofertilisants (Orga, Vlc f 10%, Vlc f20% et Témoin) sur les paramètres biochimiques du haricot vert.	29
Figure 17	Etude comparée d'effet des biofertilisants (Vlc 10% et Vlc 20%) sur les paramètres biochimiques du haricot vert.	30
Tableau 1	La production nationale en haricot (FAOSTAT, 2021).	7

Liste d'abréviation

%	Pourcentage
°C	Degré Celsius
Vlc	Vermicompost liquide
Vlc f	Vermicompost liquide fermenté
ST	Sucres totaux
CHL	Chlorophylle
PR	Proline
SF	Surface foliaire
LPA	Langueur de la partie aérienne
LPR	Langueur de la partie racinaire
PPA	Poids de la partie aérienne
PPR	poids de la partie racinaire
ACP	Analyse en Composantes Principale
V	Volume
FAO	Food and Agriculture Organisation of the United Nations (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture)
Ha	Hectare
Qx	Quintaux
N	Azote
P	Phosphore
K	Potassium
Fig	Figure

Table des matières

Remerciements.....	I
Dédicaces.....	II
Résumé.....	IV
Abstract.....	V
ملخص.....	VI
Liste des figures.....	VII
Liste des tableaux.....	VIII
Liste des abréviations.....	IX
Introduction.....	1
CHAPITRE 1: Synthèse bibliographique	3
1. Les haricots verts	4
1.1. La classification botanique	4
1.2. Description morphologique	5
1.2.1. Les graines	5
1.2.2. Le système racinaire	5
1.2.3. Les tiges	5
A. Les haricots grimpants.....	5
B. Les haricots nains.....	5
1.2.4. Les feuilles	5
1.2.5. Les fleurs	6
1.2.6. Les fruits	6
1.3. Cycle de végétation	6
1.4. Production des haricots verts en Algérie	6
1.5. Intérêts cultureux de haricot	7
1.6. La nutrition des plantes	8
2. Les biofertilisants	8
2.1. Définition des biofertilisants	9
2.2. Type des biofertilisants	9
2.3. Mode d'application des biofertilisants	10
2.3.1. Traitement des semences	10
2.3.2. Trempage des racines	10
2.3.3. Application au sol	10

3.	Vermicompostage.....	10
3.1.	Le processus de vermicompostage.....	11
3.2.	Paramètres influençant le vermicompostage.....	11
3.2.1.	Température.....	11
3.2.2.	Humidité.....	11
3.2.3.	Le PH.....	12
3.2.4.	Rapport C/N.....	12
3.3.	Intérêt de vermicompost.....	12
3.3.1.	Sur le plan agronomiqu.....	12
3.3.2.	Sur le plan écologique.....	13
Chapitre2 : Matériel et méthodes.....		14
1.	Le but de travail.....	15
2.	Présentation du site d'étude et conditions expérimentales.....	15
3.	Matériels d'étude.....	16
3.1.	Matériels végétale.....	16
3.2.	Matériels de laboratoire.....	16
4.	Méthodes d'étude.....	17
4.1.	Obtention des plantules du haricot.....	17
4.2.	Obtention des produits des traitements.....	18
4.2.1.	Jus de vermicompost de déchet ménager.....	18
4.2.2.	Jus de vermicompost fermenté.....	18
4.2.3.	Produit organique « ORGA PLUS ».....	19
5.	Dispositif expérimental et conduite de l'essai.....	19
6.	Application des traitements.....	20
7.	Evaluation de l'effet des traitements sur le haricot.....	21
7.1.	Mesure de la croissance en longueur de la partie aérienne et racinaire.....	21
7.2.	Mesure de la croissance de la surface foliaire.....	21
7.3.	Mesure du poids frais de la partie aérienne et racinaire.....	22
7.4.	Quantification des sucres totaux.....	22
7.5.	Quantification et Dosage de la proline.....	22
7.6.	Quantification des chlorophylles.....	23
8.	Analyses statistique des données.....	23
CHAPITR 3 : Résultats		24

1. Tendance de l'activité biofertilisant des différents traitements.....	25
1.1. Paramètres de croissance.....	25
1.2. Paramètres biochimiques.....	26
2. Représentation graphique et étude comparative des effets des biofertilisants à différentes concentrations sur le haricot vert.....	27
2.1. Paramètres de croissances.....	27
2.2. Paramètres biochimiques.....	29
CHAPITRE 4 : Discussions	31
1. Effets des biofertilisants à différentes concentrations sur le haricot vert.....	32
1.1. Les paramètres de la croissance.....	32
1.2. Les paramètres biochimiques.....	33
Conclusion et perspectives	35
Références bibliographiques	

Introduction

On estime qu'environ 10 milliards de personnes habiteront la Terre d'ici 2050, exerçant une forte pression sur les ressources alimentaires existantes. Bien que la production agricole mondiale puisse être obtenue grâce à l'intensification agricole, cela augmentera la dépendance à l'égard des intrants chimiques comme les engrais qui ont plusieurs effets sur l'environnement (**Aloo et al, 2022**). Cependant, la surutilisation incontrôlée d'engrais chimiques pour augmenter la production agricole entraîne une dégradation constante de la qualité des sols et met en péril l'équilibre environnemental, ce qui représente une menace sérieuse pour la santé humaine. Il est donc impérieux de se tourner vers une agriculture moderne et d'explorer les nouvelles avancées biotechnologiques pour réduire l'utilisation des intrants chimiques sans compromettre les rendements des cultures ou les revenus des agriculteurs (**Benrebha et al, 2020**). Les biologistes ont pris des mesures pour assurer une fertilisation saine en interdisant l'utilisation de produits chimiques, et ils ont établi ensemble des règles essentielles pour ce type de production agricole afin de protéger la biodiversité et préserver la dignité humaine (**Guermache et Djazouli, 2021**).

L'utilisation de biofertilisants pourrait représenter une solution hautement préconisée dans la mesure où elle permet de rendre l'activité agricole plus pérenne, étant donné que ces derniers sont élaborés à partir de résidus de végétaux et de micro-organismes avérés non nocifs, mais bénéfiques, qui se révèlent à la fois naturels, organiques, biodégradables, écologiques et économiquement rentables (**Giri et al, 2019**). Les recherches scientifiques ont clairement démontré que les biofertilisants peuvent remplacer efficacement les engrais synthétiques pour stimuler la croissance des plantes et améliorer les rendements des cultures, tout en minimisant l'utilisation de produits agrochimiques dangereux (**Kumawat et al, 2019**).

Le vermicompostage est un processus biologique et écologique complexe de biooxydation et de stabilisation de la matière organique. L'utilisation du vermicompost procure un effet biofertilisant, biostimulant et bio pesticide (**Guermache et Djazouli, 2021**). Ce processus implique l'utilisation de certaines espèces de vers de terre pour améliorer la conversion des déchets tels que les déchets agricoles, les déchets de cuisine, les déchets de marché, les déchets bio des industries agroalimentaires, les déchets d'élevage, etc, qui sont transformés en vermicompost riche en nutriments lorsqu'ils passent à travers le tube digestif des vers. Le vermicompostage diffère du compostage de plusieurs façons. Il s'agit d'un processus mésophile qui utilise des micro-organismes et des vers de terre actifs à des températures de 10

à 32°C à l'intérieur de la pile de matière organique humide, ce qui en fait une méthode efficace pour produire des avantages pour la croissance des plantes et la gestion de la santé des sols (Adhikary , 2012).

Notre étude vise à évaluer l'efficacité des biofertilisants issus du vermicompostage des déchets ménagers (VLC et VLCF) ainsi que d'un engrais organique appelé "orga-plus" sur les paramètres de croissance et de production ainsi que les paramètres biochimiques du haricot vert (*Phaseolus vulgaris* L.). Nous avons formulé les questions d'hypothèses suivantes :

(i) Est-ce que ces produits peuvent fournir une nutrition supérieure aux plantes ?

(ii) Lequel de ces trois produits a l'effet le plus important ?

(iii) Quel est le degré d'influence de ces produits sur les paramètres morfo-physiologiques du haricot vert ?

Chapitre1 : Synthèse bibliographique

1. Les haricots verts

Les haricots communs sont originaires du continent américain, en particulier du sud des États-Unis, du Mexique, de l'Amérique centrale et du nord de l'Amérique du Sud. En particulier, l'espèce *P. vulgaris* a été introduite en Europe au XVI^e siècle et depuis lors, elle est devenue une culture très importante dans de nombreuses régions du monde (**Carai et al ,2009**). L'haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) est le légume sec le plus consommé au monde. Sa production mondiale a été estimée à 20,4 millions de tonnes en 2008 pour une superficie cultivée de 26,47 millions d'hectares dans les régions tempérées et tropicales d'Amérique, d'Afrique et d'Asie. Les petits exploitants africains cultivent chaque année plus de 4 millions d'hectares des haricots dont les récoltes sont utilisées comme une source d'alimentation pour plus de 100 millions d'africains (**Djeugap et al , 2014**). En outre, en plus de son apport calorique, le haricot commun est également une source importante de protéines et de micronutriments. En tant que légumineuse, le haricot présente également l'avantage économique et environnemental de s'associer à des bactéries fixatrices d'azote, réduisant ainsi l'utilisation d'engrais de synthèse, ce qui est essentiel pour une agriculture durable (**Castro-Guerrero et al ,2016**).

1.1. La classification botanique

Le haricot ou *Phaseolus vulgaris* L. est une plante annuelle du genre *Phaseolus* de la famille des Fabaceae (Papilionacées), selon la classification décrite par **Chaux et Foury (1994)**, la position taxonomique du haricot est la suivante:

Règne : Plantae

Super division : Spermatophyta

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Ordre : Fabales

Famille : Fabaceae

Genre : *Phaseolus*

Espèce : *Phaseolus vulgaris* L.

1.2. Description morphologique

1.2.1. Les graines

Les graines des haricots varient en taille, forme et couleur en fonction des variétés. La taille des graines est classée en trois catégories en fonction du poids de 100 graines : les petites (inférieures à 25 g/100 graines), les moyennes (25 à 40 g/100 graines) et les grandes (supérieures à 40 g/100 graines). La forme la plus courante des graines des haricots est dite "réniforme". Cette forme est typique des haricots, mais peut varier légèrement en fonction de la variété. Elles peuvent avoir différentes couleurs telles que le blanc, le crème, le beige, le jaune, le brun, le marron, le rose, le rouge, le pourpre, le violet et le noir. (Mansouri ,2020).

1.2.2. Le système racinaire

La formation progressive de la racine du haricot s'opère postérieurement à la phase de germination. Il en résulte que le système racinaire initial de l'haricot découle de la radicule embryonnaire qui devient la racine primaire (Chaux et Foury, 1994). Le système racinaire de l'haricot se concentre principalement sur une zone comprise entre 20 et 30 cm de profondeur, cependant, les racines peuvent également se propager à des profondeurs variables allant de 45 à 70 cm. La racine de haricot abrite le phénomène de nodulation, qui se caractérise par la formation de nodules suite à l'infection des rhizobiums. Cela confère à la plante la capacité de capter l'azote atmosphérique présent dans le sol, ce qui est essentiel pour sa croissance et son développement (Mansouri, 2020).

1.2.3. Les tiges : Selon Mansouri (2020), il existe deux types de tige d'haricot :

A. Les haricots grimpants: également appelés haricots à rames, possèdent des tiges très longues qui ont la capacité de s'enrouler autour de leur support pour atteindre une hauteur de plus de deux mètres.

B. Les haricots nains: se développent en port érigé et se ramifient davantage, donnant ainsi un aspect buissonneux ou dressé. Leur hauteur ne dépasse généralement pas les 60 cm.

1.2.4. Les feuilles

Les feuilles des haricots se composent de trois folioles ovales munies d'une terminaison pointue, leur conférant ainsi un caractère trifolié. Leur dimension oscille entre 7,5 et 14 cm. Les deux premières feuilles, émergeant de l'apex de l'hypocotyle, s'avèrent simples. Les

feuilles subséquentes, quant à elles, se présentent sous forme composite et s'ordonnent de manière alternée le long de la tige (**Kroll, 2000**).

1.2.5. Les fleurs

Les fleurs se regroupent en grappes de 4 à 10 et poussent à côté des feuilles. Elles restent naturellement fermées et ont la particularité d'être hermaphrodites, ce qui signifie que l'autofécondation est le mode de reproduction le plus fréquent. Grâce à cela, il est possible de maintenir des variétés et des lignées pures. Lorsqu'elles sont polonisées, chaque fleur se transforme en une gousse (**Mansouri, 2020**).

1.2.6. Les fruits

Les fruits ont une forme linéaire et mesurent entre 1 et 15 cm de longueur et 1 à 1,3 cm de largeur, peuvent être pubescents ou glabres (**Devil et al, 2020**). Ils contiennent généralement de 4 à 8 graines. Les parois de la gousse, également appelée cosse, peuvent présenter des faisceaux libéro-ligneux plus ou moins développés (**Goust et Seignobos, 1998**).

1.3. Cycle de végétation

Le haricot suit un cycle de végétation qui se déroule habituellement pendant les saisons les plus chaudes de l'année, et la durée de chaque stade de développement varie selon la variété. Dans les régions de climat méditerranéen, les semis sont généralement effectués entre fin avril et fin mai. Cependant, le haricot est très sensible au froid, ce qui peut affecter sa croissance. De même, les températures élevées de plus de 32°C peuvent entraver la croissance des fleurs et entraîner leur avortement (**Diouf, 1997**). Les graines de haricot germées apparaissent 5 à 7 jours après le semis, tandis que la floraison intervient entre 24 et 42 jours après le semis, selon les conditions climatiques. La floraison dure de 5 à 30 jours, tandis que le remplissage des graines prend de 23 à 50 jours. La maturité des graines varie selon la variété mais peut durer de 60 à 130 jours. Les nodules, processus par lequel les bactéries *Rhizobium* fixent l'azote atmosphérique, apparaissent généralement 15 à 30 jours après le semis (**Diaw, 2002**).

1.4. Production des haricots verts en Algérie

Bien que la culture du haricot puisse jouer un rôle important dans les systèmes agricoles en Algérie, sa production reste marginale en raison des rendements faibles et très instables. Ces rendements sont causés par le déficit hydrique et la déficience en phosphore, qui sont des

caractéristiques communes aux zones méditerranéennes, en particulier dans les zones où le haricot est cultivé en Algérie (Alkama, 2010).

Tableau 1: La production nationale en haricot (FAOSTAT, 2021)

Année	Haricot vert		
	Superficie (ha)	Production (qx)	Rendement (qx/ha)
2013	11594	717320	61.87
2014	11456	795695	69.45
2015	11276	795130	70.51
2016	10695	790990	73.95
2017	11434	980030	85.71
2018	11610	931835.9	80.26
2019	12706	950220	74.78
2020	12822	1003083	78.23
2021	12539	879480	70.14

Ce tableau présente des données sur la culture du haricot vert sur une période de 9 ans, de 2013 à 2021. On observe une légère diminution de la superficie allouée à cette culture durant les différentes années, passant de 11594 hectares en 2013 à 12539 hectares en 2021. Cependant, la production totale de haricots verts a augmenté de manière significative, passant de 717320 quintaux en 2013 à 1003083 quintaux en 2020, avant de diminuer légèrement en 2021 à 879480 quintaux. Le rendement moyen des cultures de haricots verts a également augmenté au fil des ans, passant de 61.87 quintaux par hectare en 2013 à 70.14 quintaux par hectare en 2021. Cependant, on observe une forte variation des rendements d'une année à l'autre, atteignant un pic en 2017 à 85.71 quintaux par hectare. En général, il semble y avoir une tendance à la hausse dans la production de haricots verts malgré des fluctuations annuelles imprévisibles.

1.5. Intérêts de la culture de haricot

Les haricots verts sont des légumineuses qui ont la particularité de former des associations symbiotiques avec des bactéries du genre *Rhizobium* présentes dans le sol, lesquelles forment des nodules racinaires. Ces bactéries ont la capacité de fixer l'azote atmosphérique et de le convertir en ammoniac, une forme d'azote assimilable par le haricot vert. Grâce à ce processus de fixation d'azote, les haricots verts peuvent réduire leur dépendance aux fertilisants chimiques externes, ce qui favorise la durabilité et la santé du sol (Ramos *et al*, 2003). En

outre, le haricot peut être intégré aux systèmes de production biologique qui utilisent la bio-fertilisation. En effet, lors de sa croissance, il libère des résidus riches en azote. Ainsi, il est souvent utilisé en rotation avec d'autres légumineuses, ou bien en association avec d'autres cultures telles que les céréales, dans le but d'optimiser l'utilisation des ressources azotées disponibles (**Canado et al, 2003**).

1.6. La nutrition des plantes

Les plantes absorbent les nutriments essentiels du sol pour assurer la bonne croissance et au bon fonctionnement physiologiques des cellules. On rencontre rarement des sols contenant tous les nutriments nécessaires aux plantes cultivées. Cela se produit pour plusieurs raisons telles que l'érosion du sol, qui entraîne l'épuisement de la couche arable, rendant ainsi le sol infertile. Pour surmonter ce problème, les agriculteurs du monde entier ont commencé à ajouter des engrais au sol pour augmenter la productivité des cultures (**Jasti et al, 2021**). Les sources de nutriments sont généralement classées comme organiques, minérales ou biologiques. La plupart des sources de nutriments organiques, qui sont principalement dérivées de substances d'origine végétale et animale, y compris les fumiers, d'excréments d'autres animaux, de composts, de résidus de cultures et même de cultures d'engrais verts. Ils ont une composition largement variable partiellement humifiées et minéralisées sous l'action de la microflore du sol et agissent principalement sur les composants physiques et biophysiques de la fertilité du sol (**FAO, 2006**).

2. Les biofertilisants

Les méthodes de gestion des sols d'aujourd'hui représentent de sérieuses menaces pour l'environnement et la santé humaine à cause de l'utilisation d'engrais chimiques inorganiques. En tant que contribution rentable et respectueuse de l'environnement pour les agriculteurs, les biofertilisants ont été reconnus comme des alternatives qui joueront un rôle important dans la protection de l'atmosphère, de la durabilité et de la productivité des sols (**Sharma et al, 2021**). « biostimulants », « stimulateurs de croissance et/ou développement », « activateurs de sol » ou encore « phytostimulants » ce sont tous des appellations qui représentent les biofertilisants (**Faessel et al., 2014**). Ils sont constitués de restes de plantes, de matière organique et de micro-organismes sûrs et bénéfiques, qui sont naturels, organiques, biodégradables, écologiques et rentables. Les biofertilisants répondent en effet à la demande intégrée en nutriments des cultures, donc qualifiée d'indispensable pour obtenir un meilleur

rendement des cultures, et attribuent une fertilité et une santé accrues du sol en fournissant des nutriments et un environnement naturel dans la rhizosphère (**Giri et al, 2019**). Donc selon Pandey et Chandra (2016) un biofertilisant est défini comme un produit formulé contenant un ou un mélange de micro-organismes bénéfiques importants pour l'agriculture qui peuvent améliorer la teneur en nutriments, la croissance et le rendement en rendant les nutriments disponibles pour les plantes (**Pandey et Chandra,2016**).

2.1. Définition des biofertilisants

Les biofertilisants sont des substances qui contiennent des micro-organismes vivants, lorsqu'ils sont appliqués sur les semences, les surfaces des plantes ou le sol, colonisent la rhizosphère ou l'intérieur de la plante et favorisent la croissance en augmentant l'apport ou la disponibilité des nutriments primaires à la plante hôte. Le terme bio fertilisant est une contraction du terme engrais biologique. Comme la biologie est l'étude des organismes vivants, le biofertilisant doit contenir des organismes vivants qui augmentent le statut nutritif de la plante hôte grâce à leur existence continue en association avec la plante (**Vessey, 2003**). Ils ont été suggérés comme des solutions viables pour les pratiques agricoles à grande échelle qui sont non seulement naturelles, respectueuses de l'environnement et économiques, mais qui maintiennent également la structure du sol ainsi que la biodiversité des terres agricoles (**Thomas et Singh, 2019**).

2.2. Type des biofertilisants

D'après **Kaur et Purewal (2019)** il existe différents types des biofertilisants qui peuvent être classés selon leur type, leur action et leur disponibilité. Notamment :

Les bactéries fixatrices d'azote, les bactéries solubilisant les phosphates et les champignons mycorhiziens. Les bactéries fixatrices d'azote convertissent l'azote atmosphérique en une forme utilisable pour les plantes tels que Les genres de bactéries les plus connus sont *Rhizobium*, *Azospirillum* et *Azotobacter* (**Abbey et al., 2019**), tandis que les bactéries solubilisant les phosphates rendent le phosphore plus disponible pour les plantes (**Richardson, 2001**). Les champignons mycorhiziens forment une relation symbiotique avec les racines des plantes, améliorant leur absorption de nutriments (**Liu et Poobathy, 2021**).

2.3. Mode d'application des biofertilisants

Les biofertilisants peuvent être appliqués sur les graines, les plants ou directement sur le sol (Chen, 2006). Chaque technique présente des avantages et des inconvénients, en tenant compte des propriétés de l'inoculant, du type de cultures, des conditions environnementales et des contraintes liées aux connaissances techniques des agriculteurs (Mahmood *et al*, 2016). Cependant, certaines précautions doivent être prises avant l'application, par exemple, une exposition directe au soleil. Les biofertilisants doivent également être stockés à une température appropriée, pas en dessous de 0°C et pas au-dessus de 35°C (Maçik *et al*, 2020).

2.3.1. Traitement des semences: Le traitement des semences est une méthode très efficace, économique et la plus couramment utilisée pour tous les types d'inoculants (Asif *et al*, 2018), peut être appliqué sur les graines de l'une des manières suivantes : en poudre, en suspension liquide et en enrobage de semences (Maçik *et al*, 2020).

2.3.2. Trempage des racines: Cette application est courante pour les cultures de plantation telles que les céréales, les légumes, les fruits, les arbres, la canne à sucre, le coton, les raisins, les bananes et le tabac, où les racines des plants sont trempées dans une suspension aqueuse de biofertilisant pendant une période suffisante (Thomas et Singh, 2019).

2.3.3. Application au sol: Cette méthode implique l'application directe des biofertilisants dans le sol. L'application peut être effectuée de manière distincte ou en combinaison avec d'autres biofertilisants (Amenaghawon *et al*, 2021).

3. Vermicompostage

Le vermicompostage ou lombricompostage est une méthode de préparation de vermicompost (lombricompost) à l'aide de vers de terre par le recyclage des déchets agricoles qui enrichit la qualité du sol en améliorant ses propriétés physico-chimiques et biologiques. Ce dernier est très avantageux pour augmenter la croissance des semis et améliorer la production agricole. Le niveau de nutriments dans le vermicompost dépend de la source de la matière première et de l'espèce de vers de terre. Le vermicompost permet une conversion efficace des déchets organiques, des résidus de cultures et d'animaux. C'est un conditionneur de sol stable qui aide à réduire la population de microbes pathogènes et la toxicité des métaux lourds. En outre, c'est un complément nutritif économique et sans danger pour l'environnement pour la production d'aliments biologiques, facile à appliquer et peu coûteuse (Abd El-Gleel Mosa *et al*, 2015).

3.1. Le processus de vermicompostage

Le vermicompostage s'agit d'un processus mésophile qui utilise des micros organismes et des vers de terre qui sont actifs entre 10 °C et 32 °C (pas la température ambiante mais la température à l'intérieur du tas de matière organique humide). La matière organique est digérée par les vers de terre et subit une transformation importante, par laquelle les déjections de vers de terre résultantes (fumier de vers) sont riches en activité microbienne et en régulateurs de croissance des plantes, et enrichies également d'attributs répulsifs contre les ravageurs. En bref, les vers de terre par une sorte d'alchimie biologique sont capables de transformer les déchets en "or" (**Saranraj et Stella, 2012**).

Il se compose de deux phases essentielles en fonction de l'activité des vers de terre. Tout d'abord, il y a **une phase active** pendant laquelle le ver de terre modifie le substrat organique en le transformant physiquement et en changeant sa composition microbienne (**Lores et al, 2006**). Ensuite, il y a **une phase de maturation**, signalée par la migration des vers de terre vers des couches de substrat non digérées et plus fraîches, au cours de laquelle les micro-organismes prennent le relais pour décomposer le substrat déjà digéré par les vers de terre (**Aira et al, 2007 ; Gómez-Brandón et al, 2011**). La durée de la phase de maturation est variable et dépend de l'efficacité de la phase active du processus de vermicompostage, laquelle est influencée par l'espèce et la densité des vers de terre présents dans le compost (**Dominguez et al, 2010**).

3.2. Paramètres influençant le vermicompostage

Le vermicompostage est un processus biologique qui dépend de plusieurs paramètres pour obtenir un produit final de qualité. Voici quelques-uns des paramètres les plus importants qui l'influencent :

3.2.1. Température: c'est un facteur clé dans le vermicompostage car elle impacte fortement l'activité biologique des micro-organismes et des vers de terre (**Singh et al, 2013**). La plage de température optimale pour le vermicompostage se situe autour de 15-25 °C (**Dominguez, 2004**).

3.2.2. Humidité: La teneur en humidité des déchets organiques est fortement liée au taux de croissance des vers de terre, et un excès ou un manque d'humidité peut être préjudiciable pour ces derniers. Une forte humidité peut réduire les concentrations en oxygène dans le substrat, ce qui est préjudiciable pour les vers, car ils respirent à travers leur peau (**Sierra et al., 2011**).

En général, il est recommandé de maintenir une plage optimale de teneur en humidité comprise entre 50 et 90 % dans le vermicompost pour la plupart des espèces de vers (**Dominguez, 2004**).

3.2.3. Le pH: La sensibilité des vers de terre au pH peut limiter leur répartition, leur nombre et leur activité dans le sol ou les déchets. Cependant, dans le vermicompostage, les vers sont sensibles au pH et ne tolèrent pas une large gamme de pH et préfèrent les pH neutres. (**Singh et al., 2005; Rostami, 2011**).

3.2.4. Rapport C/N: Le rapport C/N est un critère important à considérer lors du choix des matières premières pour la fabrication du vermicompost. Il représente la proportion relative de carbone et d'azote disponibles dans la matière organique utilisée. Selon plusieurs auteurs, pour obtenir un compostage efficace des déchets ménagers, il est recommandé d'avoir un rapport C/N compris entre 25 et 30, en fonction du type de matière première utilisée. (**Graves et al, 2000**).

3.3. Intérêt de vermicompost

3.3.1. Sur le plan agronomique

Le vermicompost offre de nombreux avantages agronomiques essentiels en tant qu'amendement pour le sol. Il permet de maintenir la matière organique dans le sol, ce qui est crucial pour la santé et la qualité du sol à long terme. Il améliore la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes, stimule la croissance des micro-organismes bénéfiques dans le sol et réduit les maladies des plantes. (**Gomez-brandone et Domínguez, 2014**). D'après **Arancon et al (2006)** le vermicompost a été identifié comme ayant deux contributions importantes dans le sol : l'augmentation de la population microbienne et de leur activité. Ces deux facteurs sont essentiels pour le rythme du cycle des nutriments dans le sol, ainsi que pour la production d'éléments nutritifs qui influencent la croissance des plantes, l'accroissement de leur résistance aux maladies et leur tolérance aux attaques de nématodes. En tant qu'amendement organique le vermicompost ne se contente pas de rendre les plantes saines et productives, il joue également un rôle régulateur dans leur développement. En effet, il contient des acides humiques et des hormones de croissance qui peuvent influencer positivement la croissance et le développement des plantes (**Durak et al, 2017**).

Le lombricompost est connu pour améliorer la qualité nutritionnelle du sol en favorisant une croissance saine des racines et en augmentant la disponibilité des macros et micro-nutriments essentiels pour les plantes. Cette amélioration est due en partie aux excréments des vers (appelés turricules), qui contiennent des quantités importantes de nitrates, de phosphore, de potassium, de calcium et de magnésium, qui sont tous des éléments nutritifs importants pour les plantes, qui sont présents dans des formes facilement assimilables pour les plantes (**FAO, 2005**). Plusieurs études ont mis en évidence les effets bénéfiques du lombricompost sur la croissance et le rendement de différentes cultures en plein champ. Parmi celles-ci, on peut citer les légumes, les cultures florales et fruitières (**Achsah et Lakshmi Prabha, 2013**), ainsi que la laitue (**Durak et al., 2017**), la tomate (**Eswaran et Mariselvin, 2016; Azarmi et al., 2008**).

3.3.2. Sur le plan écologique

Le vermicompostage est une méthode durable, économique et sûre pour éliminer les déchets urbains de manière hygiénique (**Achsah et Lakshmi Prabha, 2013**). Cette technologie verte offre une solution efficace à deux problèmes majeurs de la société actuelle en réduisant les coûts de transport des déchets vers les sites d'enfouissement ou d'incinération, tout en évitant les conditions insalubres causées par les déchets non triés (**Silawat et al, 2010**). De plus, le vermicompostage est respectueux de l'environnement et de la santé humaine, ce qui en fait une alternative appropriée pour le traitement des déchets urbains (**Pirsaheb et al, 2013**).

Chapitre 2 : Matériel et méthodes

1. Le but de travail

L'objectif de cette étude est d'optimiser la production végétale du haricot vert en évaluant les effets de différentes concentrations de jus de vermicompost, de vermicompost fermenté et du produit organique "Orga plus" sur la croissance et les paramètres biochimiques. En adoptant des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement, tout en produisant des haricots verts de haute qualité.

2. Présentation du site d'étude et conditions expérimentales

Le semi a été réalisée dans une serre en polycarbonate d'une superficie de 382,5 m², offrant des conditions semi-contrôlées avec une exposition nord-sud. Les analyses de la présente étude a été menée au sein du laboratoire de Phytopharmacie (109) ainsi qu'au laboratoire de recherche en Biotechnologie des Productions Végétales, département de Biotechnologie et Agro-Écologie de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université de Blida 1. Ces travaux ont été réalisés dans une période s'étendant du 5 mars 2023 au 25 mai 2023.



Figure 1 : Position de lieu d'expérimentation (Google earth, 2023)

3. Matériels d'étude

3.1. Matériels végétale

Les graines d'haricot vert variété « DJEDIDA ».

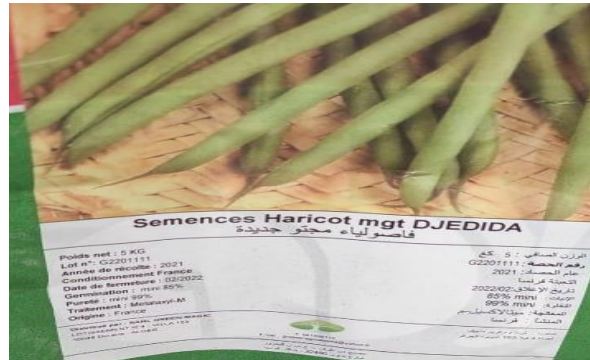


Figure 2 : Graines d'haricot vert variété DJEDIDA (Originale)

3.2. Matériels de laboratoire



Bain marie

Centrifugeuse

Balance

Chlorophylle-mètre

Vortex

Etuve

spectrophotomètre

Figure 3 : Matériels de laboratoire (Originale)

4. Méthodes d'étude

4.1. Obtention des plantules du haricot

Les plantules d'haricot vert (*Phaseolus vulgaris*) utilisées dans l'expérimentation étaient issues d'une variété naine à croissance déterminée appelée Djedida. Ces haricots appartiennent au groupe des haricots mange-tout et sont destinés à la consommation fraîche. Avant le semis, les graines d'haricot ont été trempées dans l'eau pendant une période de 24 heures. La germination des graines a été réalisée le 5 mars 2023 en utilisant des alvéoles en plastique remplies de tourbe. Chaque cellule contenait une seule graine. L'irrigation des plantules a été effectuée en fonction de leurs besoins en utilisant de l'eau du robinet.

Lorsque les plantes de haricot avaient atteint le stade de 2 feuilles le 20/03/2023, elles ont été transplantées dans des pots en plastique de 13 cm de hauteur et 10 cm de diamètre. Ces pots avaient une capacité de 1500 ml et étaient équipés de trous de drainage à leur base pour permettre l'élimination de l'excès d'eau. Ils étaient remplis d'un mélange de moitié de terre et de moitié de tourbe.



Figure 4 : Germination des plantes du Haricot vert (Originale)

4.2. Obtention des produits de traitement

4.2.1. Jus de vermicompost de déchet ménager

L'élevage des vers de terre de l'espèce "Eisenia foetida" sur des déchets ménagers permet de produire deux types d'engrais : le vermicompost solide et le jus de vermicompost. Pour obtenir du vermicompost, un système de casiers empilés est utilisé. Les vers de terre sont placés dans les casiers, ainsi que les déchets ménagers et un peu de terre pour favoriser la dégradation des déchets en un engrais biologique. Une fois que le vermicompost est prêt, les vers de terre sont retirés et le vermicompost est étalé sur un journal pour sécher avant d'être utilisé comme engrais.

Pendant le processus de décomposition, un liquide est récolté, connu sous le nom de thé du vermicompost ou jus de vermicompost. Ce jus est récupéré dans le fond du vermicomposteur et provient principalement de l'eau contenue dans les déchets de cuisine (environ 80 % de leur masse), qui est chargée en nutriments minéraux et oligo-éléments assimilés lors de son passage dans le vermicompost (Chaichi et al, 2017).



Figure 5 : Dispositif de l'obtention de vermicompost (Originale)

4.2.2. Jus de vermicompost fermenté

Le jus de vermicompost est obtenu selon le procédé de la fermentation solide. Le protocole prévoit l'inoculation du substrat lignocellulosique de résidus agricoles, entre autres la paille de blé à partir d'une suspension de spores provenant du vermicompost brut.

Après la phase de fermentation le substrat solide fermenté est additionné à de l'eau courante. Après agitation et filtration, la phase liquide obtenue constitue le thé de vermicompost fermenté (Guermache, 2021).

La dilution recommandée dans notre expérimentation pour les deux types de jus de vermicompost était : V/10V et V/20V (ce qui signifie qu'on ajoutait 100 ml et 200 ml de jus de vermicompost respectivement à 1 litre d'eau).

4.2.3. Produit organique « ORGA PLUS »

Orga Plus est un engrais liquide organique qui a pour effet de revitaliser les racines et de fournir des nutriments aux plantes. Il contient des matières organiques actives qui stimulent la croissance des racines et favorisent la production de chlorophylle. Il peut être utilisé dans une variété de cultures, que ce soit en serre ou en plein air.

La dilution recommandée est de 1 à 1,5 litre d'Orga Plus dans 150 litres d'eau.



Figure 6 : Produit organique « ORGA PLUS » (Originale)

5. Dispositif expérimental et conduite de l'essai

L'essai a été réalisé en bloc aléatoire complet, le dispositif composé de 6 blocs à raison de 18 plantes par bloc (108 plantes utilisées).

Les traitements sont effectués comme suit :

Bloc 1 : Témoin

Bloc 4 : Jus de vermicompost fermenté à 10%

Bloc 2 : Jus de vermicompost à 10%

Bloc 5 : Jus de vermicompost fermenté à 20%

Bloc 3 : Jus de vermicompost à 20%

Bloc 6 : Orga

Les blocs sont distants de 30cm les uns des autres. Les plantules sont irriguées régulièrement selon leur besoin en eau du robinet jusqu'à l'apparition du 1^{er} trifolié.



Figure 7 : Dispositif expérimental de l'essai (Originale)

6. Application des traitements

À partir du stade de développement des premières feuilles trifoliées, nous avons effectué des applications foliaires de différents traitements à des doses spécifiques jusqu'à l'égouttage. Le groupe témoin a été traité avec de l'eau du robinet lors de l'application foliaire. A chaque stade de croissance des haricots verts, les traitements ont été renouvelés et trois plantes ont été prélevées dans chaque groupe.



Figure 8 : Application des traitements(Originale)

7. Evaluation de l'effet des traitements sur le haricot

7.1. Mesure de la croissance en longueur de la partie aérienne et racinaire

Après avoir prélevé trois échantillons aléatoires de chaque groupe, nous mesurons la croissance en longueur de la partie aérienne et des racines. Les plantes sont soigneusement lavées avant d'être mesurées. Pour évaluer la longueur totale finale, nous utilisons une méthode consistant à étaler les plantes sur du papier millimétré, permettant de mettre en évidence les rebords. Des photos sont ensuite prises à l'aide d'un smartphone, puis traitées avec le logiciel Image DIGIMIZER pour déterminer précisément la longueur totale des plantes. Les résultats de ce paramètre sont exprimés en centimètres.



Figure 9 : Estimation de la longueur des plantes (Originale)

7.2. Mesure de la croissance de la surface foliaire

La surface foliaire des plantes a été estimée en utilisant le logiciel Image DIGIMIZER, selon la même procédure que précédemment décrite. Nous avons calculé la moyenne de la surface de quatre feuilles pour chaque plante.

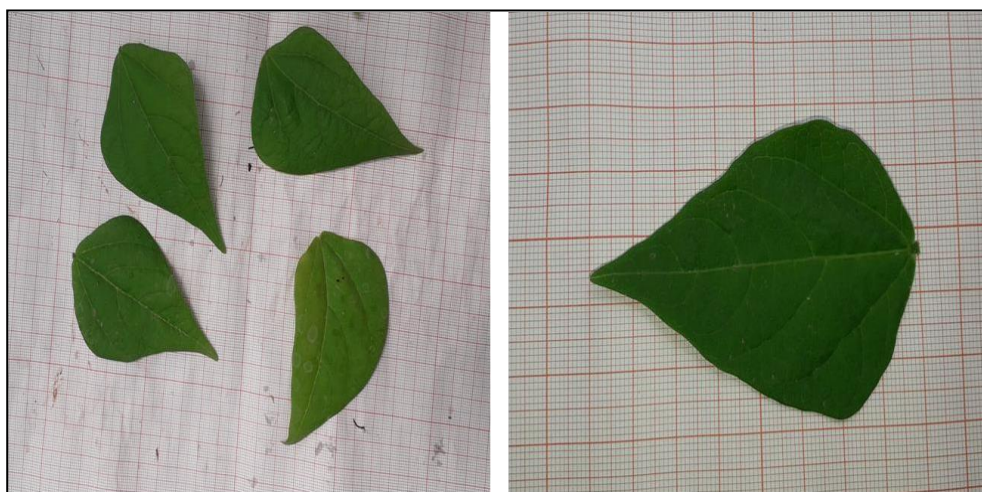


Figure 10 : Estimation de la surface foliaire (Originale)

7.3. Mesure du poids frais de la partie aérienne et racinaire

La mesure de la biomasse fraîche des plants exprimée en gramme a été réalisée en pesant séparément les deux parties : la partie racinaire et la partie aérienne. Une balance a été utilisée pour effectuer ces pesées, permettant ainsi d'estimer le développement de chaque partie des plantes.



Figure 11 : Estimation du poids frais des plantes (Originale)

7.4. Quantification des sucres totaux

Les sucres totaux (saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthyles et les polysaccharides) sont dosés par la méthode de **Dubois et al (1956)**. Elle consiste à additionner 3 ml d'éthanol à 80 % à 100mg de matière végétale fraîche. Le mélange est mis à température ambiante pendant 48 heures. Au moment du dosage, l'éthanol est évaporé par passage à l'étuve à 80°C. L'extrait obtenu est additionné à 10 ml d'eau distillée. Une prise d'essai de 0.5 ml de la solution analyser est mélangée à 0.5ml de phénol 5%. Dont on ajoute rapidement 2.5ml d'acides sulfurique concentré 96%, le mélange vire en couleur jaune orange. après homogénéisation au vortex, l'échantillon est placé au bain-marie pendant 10 à 20 min à une température de 30°C. La couleur de la solution est stable pendant plusieurs heures. L'absorbance est lu à 485nm. les valeurs obtenues sont reportés sur la gamme étalon, à l'aide de l'équation suivant: $Y=4,3918x-0.1946$. Avec: Y: étant l'absorbance ; X: étant la quantité des sucres totaux exprimée en $\mu\text{g/g.MF}$.

7.5. Quantification et Dosage de la proline

L'extraction a été réalisée selon la méthode décrite par **Naidu (1998)** : 50mg d'échantillon ont été placés dans des tubes de centrifugation contenant 5ml d'un mélange (méthanol : chloroforme : eau) (60 : 25 : 15 ml). Les tubes scellés ont été chauffés au bain marie (60°C) durant 02 h et centrifugés à 5000 G pendant 10 mn. Le surnageant a servi ensuite aux dosages de la proline.

La proline a été déterminée par une méthode développée par **Singh (1973)**: 1ml de surnageant, 4ml de solution de Ninhydrine, 4ml d'acide acétique glacial et 1ml d'eau distillée sont placés dans des tubes de centrifugation de 10 ml. Ce mélange a été chauffé au bain marie (90°C)

pendant 45mn et refroidi à la température ambiante. L'absorbance est lu à 520nm. Les valeurs obtenues sont reportés sur la gamme étalon, à l'aide de l'équation suivant: $Y=0.0112x-0.0004$. Avec: Y: étant l'absorbance ; X: étant la quantité de proline exprimée en $\mu\text{g/g.MF}$.

7.6. Quantification des chlorophylles

La mesure de la chlorophylle a été effectuée à l'aide d'un chlorophyllomètre. Cette méthode permet de quantifier la quantité de chlorophylle présente dans les feuilles des plantes. Le chlorophyllomètre utilise une technologie optique pour mesurer l'absorption de la lumière par la chlorophylle dans les feuilles. Les valeurs de chlorophylle obtenues fournissent des informations sur l'activité photosynthétique et la santé des plantes.

8. Analyses statistique des données

La tendance de l'activité biofertilisant des différents traitements sur le haricot vert nous a été établie par une analyse en composante principale (A.C.P.). La projection des variables sur les deux axes de l'analyse multivariées a été conduite par le logiciel (PAST) (**Hammer *et al.*, 2001**).

Chapitre 3 : Résultats

1. Tendances de l'activité biofertilisant des différents traitements

1.1 Paramètres de croissance

L'analyse en composantes principales (A.C.P.), effectuée avec le logiciel PAST, à partir des valeurs d'effet des différents biofertilisants à différentes concentrations est satisfaisante pour le paramètre activité biofertilisant sur l'haricot vert dans la mesure où plus de 80% de la variance sont exprimés sur les deux premiers axes.

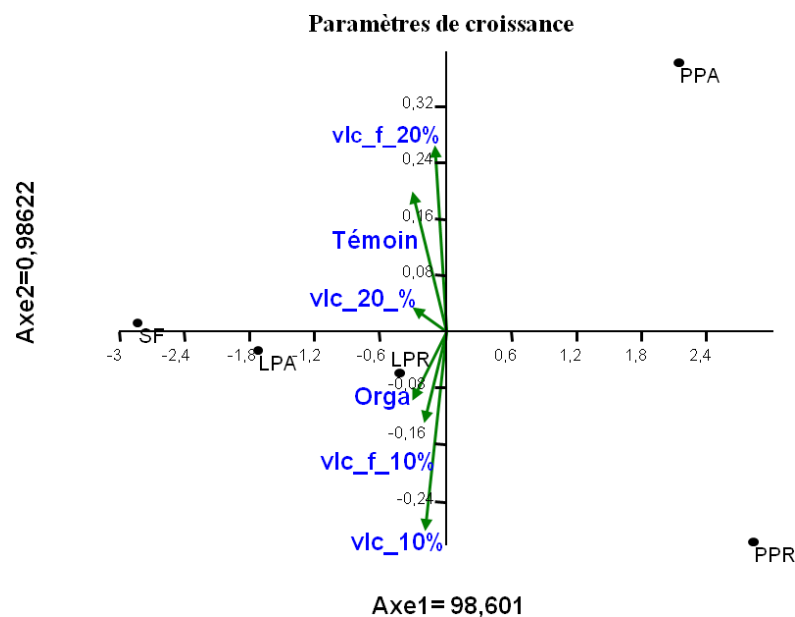


Figure 12: Projection des valeurs de croissances du haricot vert dans les deux axes de l'A.C.P

Vlc : Vermicompost liquide, **Vlc F** : Vermicompost liquide fermenté, **SF** : Surface foliaire, **LPA** : Longueur de la partie aérienne, **LPR** : Longueur de la partie racinaire, **PPA** : Poids de la partie aérienne, **PPR** : poids de la partie racinaire.

La projection des valeurs de croissances du haricot vert sur le premier axe 1 (98,601%), montre que les traitements ont un effet significatif sur la surface foliaire, la longueur de la partie aérienne et la partie racinaire de la plante. Cela signifie que les différents traitements appliqués ont eu un impact mesurable sur ces paramètres de croissance. Cependant, il est important de noter que le poids de la partie aérienne et de la partie racinaire ne semblent pas être des paramètres très sensibles aux traitements. Cela suggère que les traitements appliqués n'ont pas eu un impact important sur le poids de ces parties de la plante. Il apparaît que la surface foliaire du haricot vert est particulièrement sensible aux traitements **VLC 20%** et **VLC F20%**. En revanche, la longueur de la partie aérienne et la partie racinaire sont des paramètres sensibles aux traitements **ORGA**, **VLC 10%** et **VLC F10%**.(Fig. 12).

1.2. Paramètres biochimiques

La projection des valeurs biochimiques du haricot vert sur le premier axe (**86,858%**), montre un état de stress chez la plante dans le cas du témoin ainsi que des traitements **ORGA**, **VLC F10%** et **VLC F20%**. Cette condition de stress se manifeste par une concentration significative de proline dans ces traitements. En revanche, les traitements **VLC 10%** et **VLC 20%** semblent atténuer les effets négatifs du stress, ce qui se reflète dans les valeurs biochimiques mesurées. En effet, dans le contexte des traitements **VLC 10%** et **VLC 20%**, il est observé une présence plus élevée de chlorophylle par rapport à la proline. Cependant, il est noté que les sucres totaux sont à une moindre quantité chez toutes les plantes, la réduction des sucres totaux peut indiquer une diminution de la capacité de la plante à produire de l'énergie (**Fig. 13**).

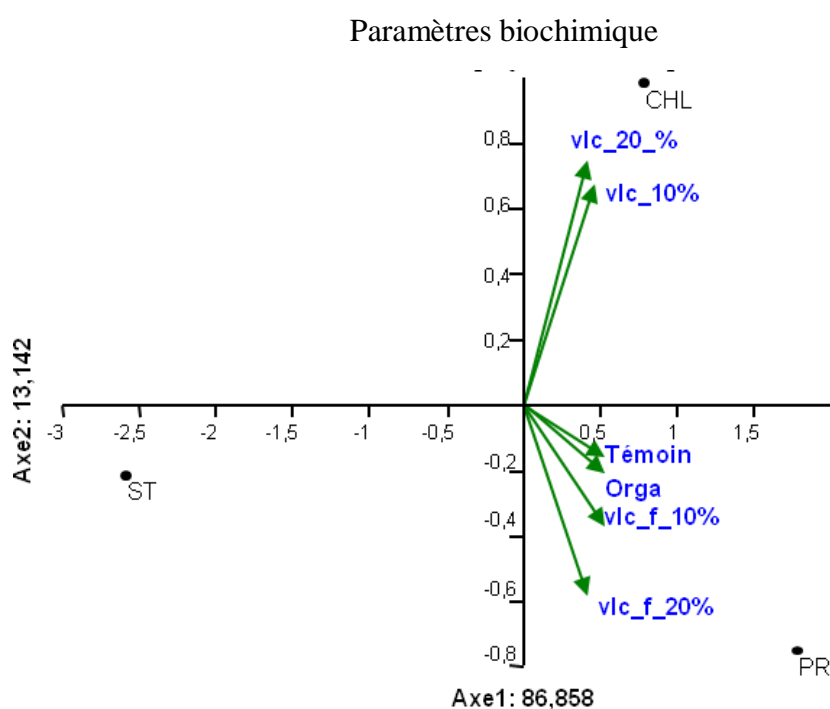


Figure 13 : Projection des valeurs biochimiques du haricot vert dans les deux axes de l'A.C.P

Vlc : Vermicompost liquide, Vlc F : Vermicompost liquide fermenté, ST : Sucres totaux, CHL : Chlorophylle, PR : proline

2. Représentation graphique et étude comparative des effets des biofertilisants à différentes concentrations sur le haricot vert

Dans cette partie, nous avons comparé les effets des biofertilisants à différentes concentrations sur les paramètres de croissance et biochimiques du haricot vert.

2.1. Paramètres de croissances

D'après les résultats obtenus dans la **figure 14**, l'analyse de variance ne montre pas la présence d'une différence significative entre les différents biofertilisants pour les paramètres de croissance (la surface foliaire, la longueur de la partie aérienne et la partie racinaire), (Test One-Way-ANOVA : $p=0,6971$, $p=0,4523$, $p=0,6902$, $p>0,05$). Cependant les histogrammes montrent une tendance importante pour le traitement **VLC 20%** par rapport au traitement **VLCF 20%** et **TEMOIN** dans tous les paramètres de croissance. Cela peut indiquer que même s'il n'y a pas de différence significative entre les traitements, il peut y avoir des tendances ou des différences subtiles qui ne sont pas détectées par l'analyse de variance.

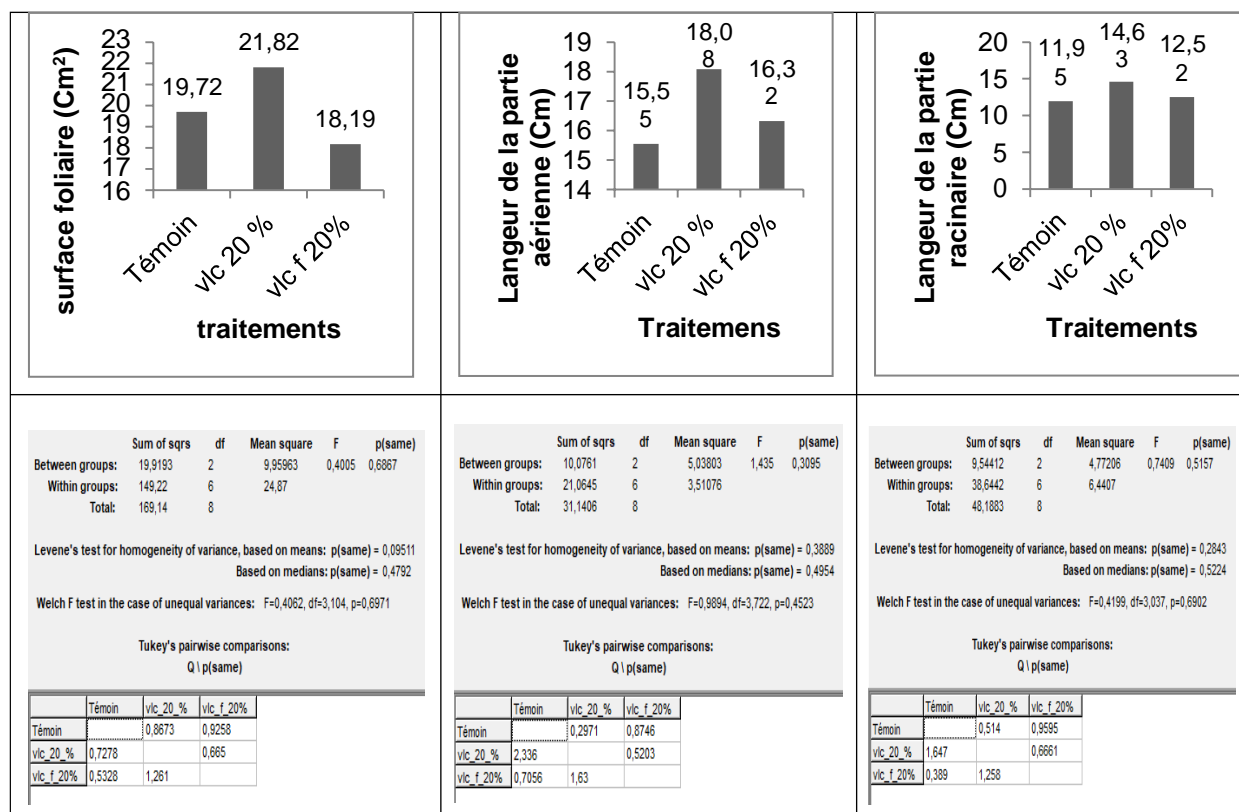


Figure 14 : Etude comparée d'effet des biofertilisants (Vlc 20%, Vlc f 20% et Témoin) sur les paramètres de croissance du haricot vert

D'après les résultats obtenus dans la **figure 15**, l'analyse de variance ne montre pas la présence d'une différence significative entre les différents biofertilisants pour les paramètres de croissance (la surface foliaire, la longueur de la partie aérienne et la partie racinaire), (Test One-Way-ANOVA : $p=0,487$, $p=0,155$, $p=0,2368$, $p>0,05$). Cependant les histogrammes montrent une tendance importante pour le traitement **VLCF 10%** par rapport au traitement **ORGA** et **VLC 10%** dans tous les paramètres de croissance. Cela peut indiquer que même s'il n'y a pas de différence significative entre les traitements, il peut y avoir des tendances ou des différences subtiles qui ne sont pas détectées par l'analyse de variance.

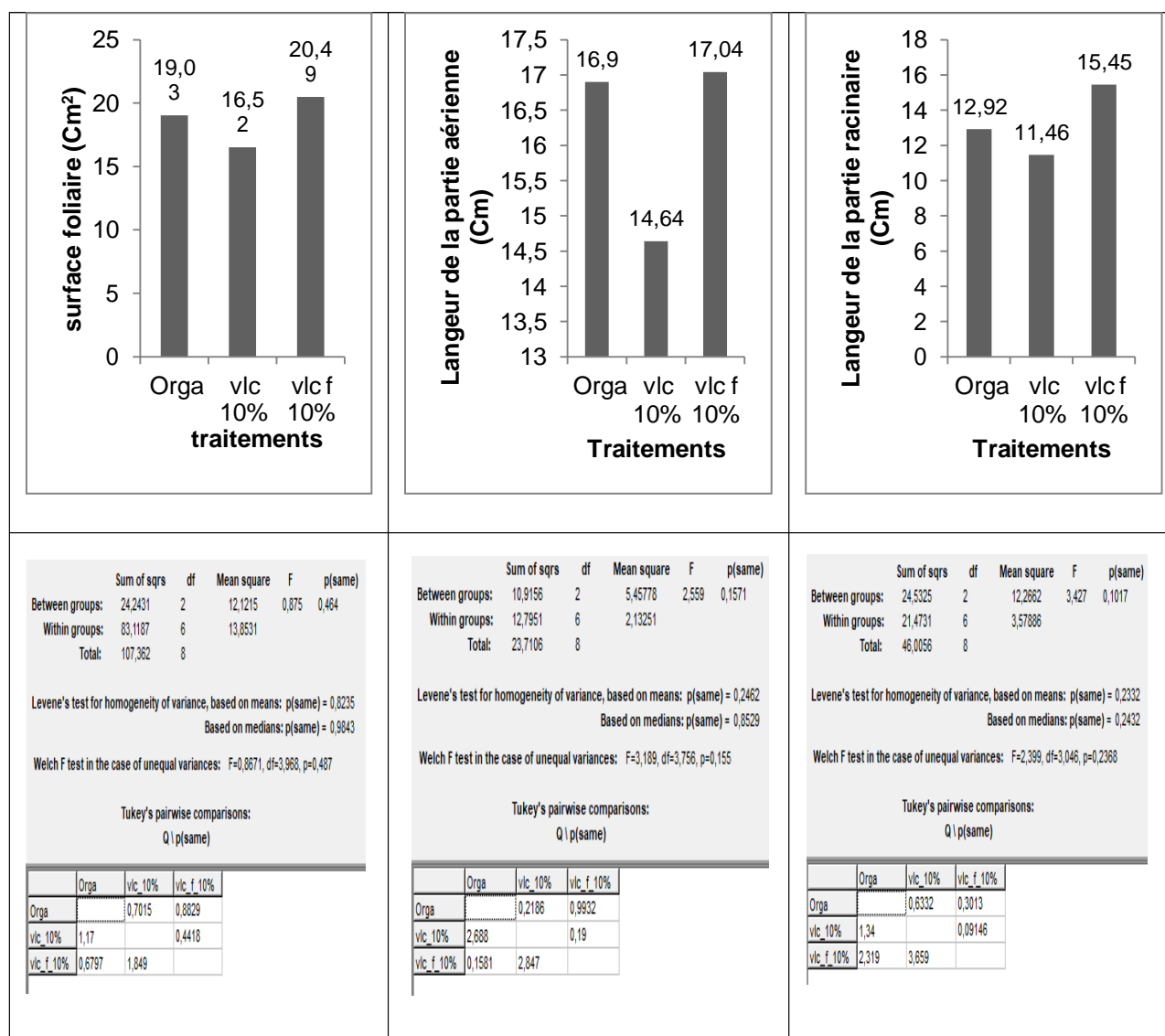


Figure 15 : Etude comparée d'effet des biofertilisants (Orga, Vlc 10% et Vlc f 10%) sur les paramètres de croissance du haricot vert

2.2. Paramètres biochimiques

D’après les résultats obtenus dans **la figure 16**, l’analyse de variance ne montre pas la présence d’une différence significative entre les différents biofertilisants pour les paramètres biochimiques (chlorophylle et proline), (Test One-Way-ANOVA: $p=0,1698$, $p=0,1671$, $p>0,05$). Cependant les histogrammes montrent une tendance importante pour le traitement **VLCF 20%** dans la quantité de la proline et la chlorophylle par rapport aux autres traitements appliqués.

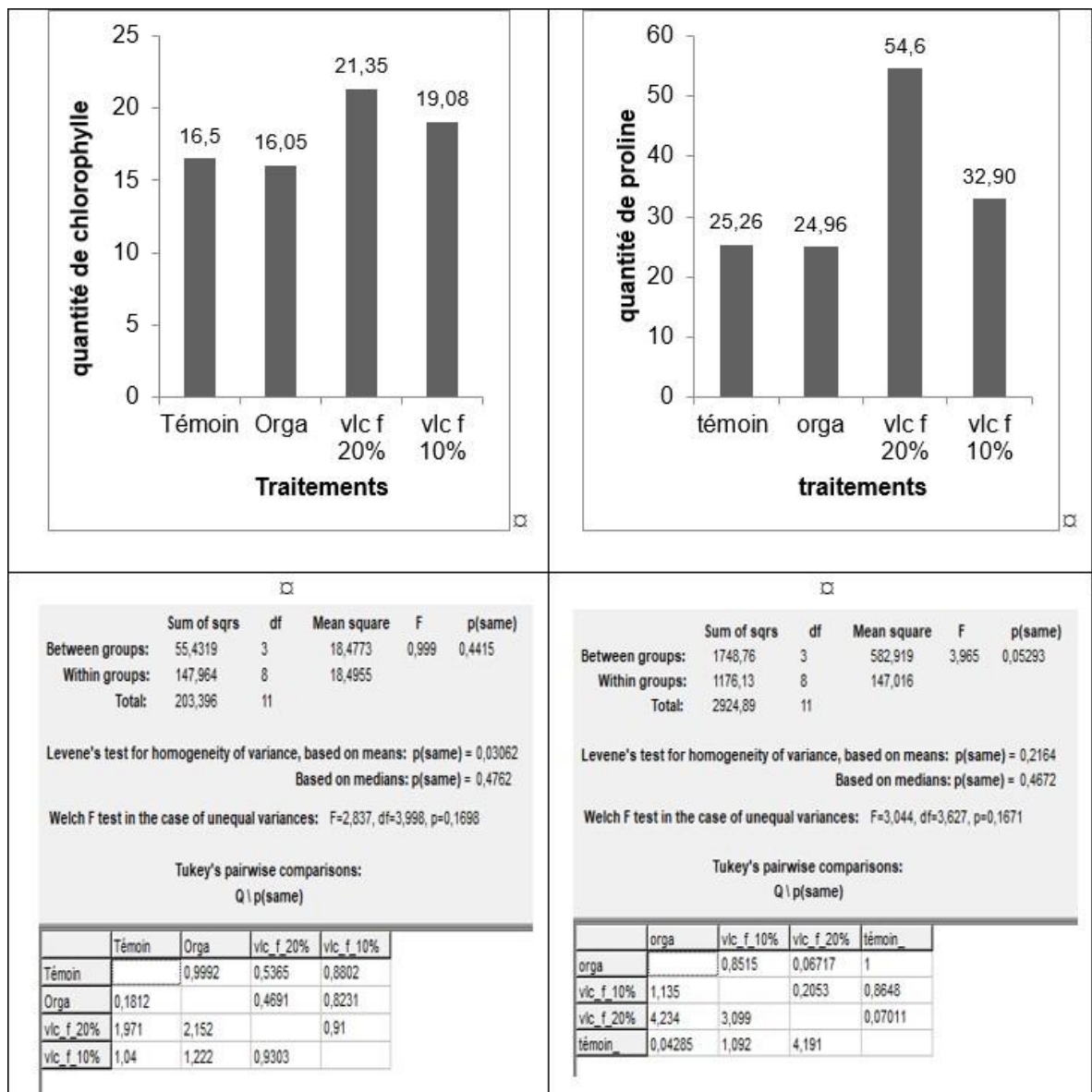


Figure 16 : Etude comparée d’effet des biofertilisants (Orga, Vlc f 10%, Vlc f20% et Témoin) sur les paramètres biochimiques du haricot vert

D'après les résultats obtenus dans **la figure 17**, l'analyse de variance ne montre pas la présence d'une différence significative entre les différents biofertilisants pour les paramètres biochimiques (chlorophylle et proline), (Test One-Way-ANOVA: $p=0,6802$, $p=0,9717$, $p>0,05$). Cependant les histogrammes montrent une tendance importante pour le traitement **VLC 20%** dans la quantité de chlorophylle et **VLC 10%** dans la quantité de proline.

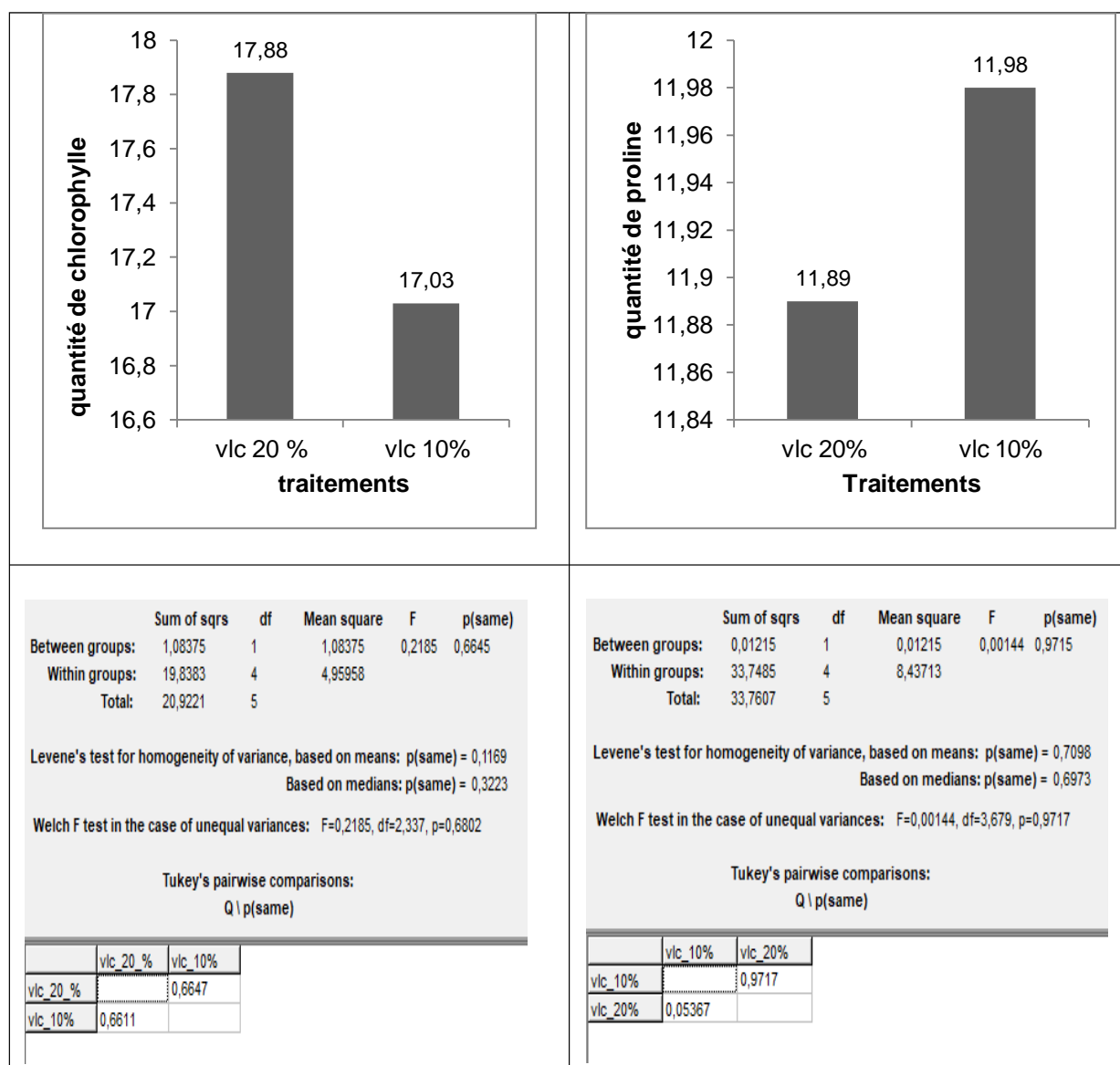


Figure 17 : Etude comparée d'effet des biofertilisants (VLC 10% et VLC 20%) sur les paramètres biochimiques du haricot vert

Chapitre 4 : Discussion

Dans les pratiques agricoles modernes, les biofertilisants constituent un élément important de l'agriculture biologique durable en tant qu'alternative viable aux engrais chimiques. Les biofertilisants peuvent fixer et rendre disponible l'azote atmosphérique dans le sol et les nodules racinaires, solubiliser le phosphate sous forme disponible, produire des hormones et des anti-métabolites pour favoriser la croissance des racines et décomposer la matière organique pour la minéralisation du sol. Cela entraîne une augmentation des rendements de récolte, une amélioration de la structure du sol, des sources d'eau non polluées et une tolérance accrue à la sécheresse chez les plantes. Dans cette optique la présente étude vise à mettre en évidence l'effet des différentes dilutions des biofertilisants à base de jus de vermicompost et un produit organique (ORGA PLUS) sur les paramètres de croissance ainsi que les paramètres biochimiques de haricot vert. Nous ont permis de dégager les hypothèses suivantes :

- (i) Est-ce que ces produits peuvent fournir une nutrition supérieure aux plantes ?
- (ii) Lequel de ces produits a l'effet le plus important ?
- (iii) Quel est le degré d'influence de ces produits sur les paramètres morpho-physiologiques du haricot vert ?

1. Effets des biofertilisants à différentes concentrations sur le haricot vert

1.1. Les paramètres de la croissance

Les résultats portant sur les paramètres de croissance du haricot vert ont montré que le vermicompost (VLC) secondé par le vermicompost fermenté (VLC F) stimulent de manière positive la croissance végétative du haricot vert. Cette observation met en évidence les effets plus importants du VLC 20% et du VLCF 10% sur la croissance du haricot vert par rapport aux autres traitements. Cependant, il est important de noter que le jus de vermicompost semble être plus efficace à des concentrations plus élevées, contrairement au jus de vermicompost fermenté. Cette différence peut être attribuée à la variabilité dans la composition du vermicompost, qui dépend des types de déchets organiques utilisés pour le processus de vermicompostage. Cette variabilité peut entraîner divers effets sur la croissance du haricot vert. Ainsi que la fermentation favorise la multiplication et l'activation de micro-organismes bénéfiques tels que les bactéries, les champignons et les actinomycètes. Ces micro-organismes jouent un rôle crucial dans la dégradation des matières organiques et la libération de nutriments sous une forme facilement absorbable par les plantes. Ces résultats

sont conformes à de nombreuses études relatives à l'effet du vermicompost sur la croissance des plantes. Des résultats similaires ont été obtenus en utilisant du vermicompost (**Guermache et Djazouli, 2021**) sur les haricots, (**Benazzouk et al, 2019**) les tomates et (**Chaichi et al, 2018**) sur les fèves ont démontré qu'il présente un potentiel considérable pour améliorer la croissance des plantes. Le vermicompost est riche en nutriments, acides humiques et fulviques, qui stimulent la multiplication cellulaire. Cela favorise le développement des méristèmes apicaux racinaires et des méristèmes médullaires de la tige, ce qui conduit à la stimulation de la croissance des plantes et de leur capacité de photosynthèse.

Selon les recherches menées par **Shafique et al (2021)** et **Zarei et al (2018)** ont mis en évidence que l'augmentation significative de la croissance des plantes peut être attribuée aux caractéristiques du vermicompost, notamment sa texture hautement poreuse et sa richesse en nutriments (N, P, K). Ces nutriments jouent un rôle crucial dans l'amélioration des propriétés physico-chimiques du sol, ce qui entraîne une meilleure circulation des nutriments, de l'eau et de l'air. Cette amélioration favorise la croissance des plantes en facilitant leur capacité d'absorption des nutriments. La richesse du vermicompost en hormones, régulateurs de croissance et microorganismes actifs facilite l'absorption des nutriments par les plantes. Cette hypothèse est confirmée par les travaux d'**Arancon et al (2008)** et de **Benazzouk et al (2019)** sur tomates hybrides.

1.2. Les paramètres biochimiques

Les résultats obtenus pour les paramètres biochimiques du haricot vert ont montré que l'application de vermicompost fermenté à une concentration de 20% a un effet significatif sur la production de chlorophylle, même si la quantité de proline est élevée. La proline agit comme un osmolyte, aidant la plante à maintenir l'équilibre hydrique et à protéger les cellules contre les dommages oxydatifs causés par le stress. La composition du vermicompost fermenté, riche en nutriments et en micro-organismes bénéfiques, peut aider la plante à surmonter le stress et à maintenir des fonctions physiologiques normales, telles que la production de chlorophylle. Lorsque les plantes sont soumises à un état de stress, la quantité de sucres totaux diminue, ce qui indique que les plantes ont utilisé une partie de leurs réserves de sucres pour produire des osmoprotecteurs pour faire face au stress. De plus le VLC10% et VLC 20% réduisent la production de proline, ce qui peut indiquer une meilleure adaptation des plantes au stress environnemental, avec une moindre nécessité de produire des osmoprotecteurs. Cela suggère que le vermicompost peut jouer un rôle bénéfique dans

l'amélioration de la croissance et de la résistance des plantes face aux conditions stressantes. L'hypothèse avancée est soutenue par les résultats de plusieurs études, dont celle de **Benazzouk et al (2018)**, qui ont montré que l'application de vermicompost peut améliorer la résistance de la tomate à la salinité, faisant de cet amendement organique une solution potentielle pour améliorer la croissance des plantes en conditions de stress salin. D'autres études, menées par **Uma et Malathi (2009)** et **Guermache et Djazouli (2021)**, ont également signalé des effets positifs du vermicompost sur la production de chlorophylle chez différentes plantes, comme l'Amaranthus et le haricot vert.

En outre, la concentration de chlorophylle est étroitement liée à la teneur en azote des feuilles et à l'utilisation d'engrais azotés, comme l'ont souligné **Haboudane et al (2002)**. Plusieurs chercheurs ont également suggéré que l'effet stimulateur du vermicompost sur la production de métabolites secondaires pourrait être attribué à une amélioration de la nutrition minérale ou de l'activité photosynthétique, comme l'ont signalé **Amooaghaie et Golmohammadi (2017)**.

Conclusion et Perspectives

Conclusion

Au terme d'optimiser la production végétale du haricot vert en évaluant les effets de différentes concentrations de jus de vermicompost, de vermicompost fermenté et du produit organique "Orga plus" sur la croissance et la production ainsi que les paramètres biochimiques. En adoptant des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement, tout en produisant des haricots verts de haute qualité. Nous pouvons dégager les résultats suivants :

Les plantes traitées par le VLC 20% ont montré une tendance importante sur tous les paramètres de croissance du haricot vert par rapport aux autres traitements (VLC 10%, VLCF 10%, VLCF 20%, ORGA).

Les résultats portent sur les traits des paramètres biochimiques du haricot vert, Le VLC F20% a amélioré la production de chlorophylle bien que les plantes sont soumises a un état de stress.

Le VLC 10% et VLC 20% a entraîné une diminution de la production de proline. Cette diminution est interprétée comme une amélioration de l'adaptation des plantes aux conditions de stress environnemental.

En résumé, les résultats de ces études suggèrent que le vermicompost est un amendement organique prometteur pour améliorer la croissance des plantes, en améliorant notamment la nutrition minérale et l'activité photosynthétique.

Perspectives

Afin de poursuivre l'amélioration de la production végétale et de promouvoir des pratiques agricoles durables :

Optimiser les doses et les méthodes d'application du vermicompost : Il convient de réaliser des études supplémentaires afin de déterminer les doses optimales de vermicompost à utiliser et les meilleures méthodes d'application. Cela permettrait d'optimiser l'efficacité de l'amendement et de minimiser les coûts associés à son utilisation.

Évaluer l'effet du vermicompost sur la résistance aux maladies et aux ravageurs : Il est crucial de mener des études pour évaluer comment l'utilisation du vermicompost peut influencer la résistance des plantes aux maladies et aux ravageurs. Cela permettrait de déterminer si le vermicompost peut contribuer à renforcer le système immunitaire des plantes et à réduire l'incidence des infections et des attaques de ravageurs, réduisant ainsi la dépendance aux pesticides chimiques.

Évaluer les effets à long terme du vermicompost : Les effets à long terme du vermicompost sur la santé du sol et la productivité des cultures doivent être étudiés. Il serait intéressant de suivre les parcelles traitées au vermicompost sur plusieurs saisons de culture afin de déterminer si les bénéfices observés perdurent dans le temps.

Références bibliographique

- **Abbey L., Abbey J., Leke-Aladekoba A., Iheshiulo E. M.A et Ijenyo M., 2019-** Biopesticides and Biofertilizers. In: Benjamin K. S., Alberta N.A.A et Fidel T, *Byproducts from Agriculture and Fisheries: Adding Value for Food, Feed, Pharma, and Fuels*, First Edition, pp: 479–500.
- **Abd El-Gleel Mosa F.W., Paszt S.L., Frac M et Trzciński P., 2015-**The Role of Biofertilization in Improving Apple Productivity. *Advances in Microbiology*, vol 5, pp 21-27.
- **Achsah R. S et Lakshmi Prabha M., 2013-**Potential of vermicompost produced from banana waste (*Musa paradisiaca*) on the growth parameters of *Solanum lycopersicum*. *International Journal of ChemTech Research*, vol 5(5), pp: 2141–2153.
- **Adhikary S., 2012-**Vermicompost, the story of organic gold, *Agricultural Sciences*, vol3 (7), pp: 905-917.
- **Aira M, Monroy F et Domínguez J., 2007-**Eisenia fetida (Oligochaeta: Lumbricidae) modifies the structure and physiological capabilities of microbial communities improving carbon mineralization during vermicomposting of pig manure. *Microbial Ecology*, vol 54(4), pp: 662-671.
- **Alkama N., 2010-***Adaptation de la symbiose rhizobienne chez le haricot à déficience en phosphore : Détermination de la réponse de la plante en termes d'échange gazeux et de flux minéraux échangés avec la rhizosphère*. Thèse doctorat, écosystèmes et agronomie, ENSA El-Harrach, Alger, 174 pp
- **Aloo B.N., Tripathi V., Makumba B.A et Mbega E.R., 2022-** Plant growth-promoting rhizobacterial biofertilizers for crop production: The past, present, and future. *Frontiers in Plant Science*, vol 13, pp: 1-15.
- **Amenaghawon A.N., Anyalewechi C.L et Kusuma H.S., 2021-**Fabrication Approaches for Biofertilizers. In: Inamuddin., Ahamed M.I., Boddula R et Rezakazem M., *Biofertilizers: Study and Impact*, Scrivener Publishing LLC, pp: 491-515.
- **Amooaghaie R et Golmohammadi S., 2017-**Effect of vermicompost on growth, essential oil, and health of *Thymus vulgaris*. *Compost Science and Utilization*, vol 25(3), pp: 1-12.

- **Arancon N. Q., Edwards C. A et Bierman P., 2006**-Influences of vermicomposts on field strawberries: Part 2. Effects on soil microbiological and chemical properties, *Bioresource Technology*, vol 97(6), pp: 831–840.
- **Arancon N.Q., Edwards C.A., Dick R., Dick L., 2007**- Vermicompost tea production and plant growth impacts. *Biocycle*. Vol 48, pp: 51-52.
- **Asif M., Mughal A.H., Bisma R., Mehdi Z., Saima S., Ajaz M., Masood A., Malik M.A et Sidique S., 2018**-Application of different strains of biofertilizers for raising quality forest nursery. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, vol 7(10), pp: 3680–3686.
- **Azarmi R., Ziveh P.S et Satari M.R., 2008**- Effect of Vermicompost on Growth, Yield and Nutrition Status of Tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, vol 11(14), pp: 1797-802.
- **Benazzouk S., Djazouli Z.E. et Lutts S., 2018**-Assessment of the preventive effect of vermicompost on salinity resistance in tomato (*Solanum lycopersicum*cv. Ailsa Craig). *Acta Physiologiae Plantarum*, vol 40(6), pp : 11.
- **Benrebha N., Zouaoui A., Bradea M.S et Snoussi S.A., 2020**-Impact de l’application d’un biofertilisant a base de purin d’ortie (*urtica Dioica L.*) sur le developpement de la culture de laitue (*lactua Sativa L.*), *Agrobiologia*, vol10 (2), pp: 2109-2117.
- **Canado I. C., Doussinague C et Villena E., 2003**-*Technicien en agriculture*, Ed, Cultural S. A. Madrid, 519p
- **Carai A.M., Fantini N., Loi B., Colombo G., Riva A et Morazzoni P., 2009**-Potential efficacy of preparations derived from *Phaseolus vulgaris* in the control of appetite, energy intake, and carbohydrate metabolism. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy*, vol 2, pp: 145-153.
- **Castro-Guerrero N. A., Mendoza-Cozatl D.G., Isidra-Arellano M.C et Valdes-Lopez O., 2016**-Common Bean: A Legume Model on the Rise for Unraveling Responses and Adaptations to Iron, Zinc, and Phosphate Deficiencies. *Frontiers in Plant Science*, vol 7, pp: 1-7.

- **Chaichi W., Djazouli Z.E., Djemai I., Abdelkader S., Ribera I., et Nancé J., 2017-** Stimulation des défenses naturelles par l'application d'un Lombricompost. Effet sur les paramètres populationnels d'Aphis fabae Scop. (Homoptera: Aphididae) et la qualité Phytochimique de la fève. *Lebanese Science Journal*, vol 18(1), pp: 81-97.
- **Chaux C. L et Foury C. L., 1994-***Productions légumières*. Tome 3, TEC & DOC, Paris, 563 pp.
- **Chen J.H., 2006-**The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. *International Workshop on Sustained Management of the Soil-Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use*, pp: 1–11.
- **Devil M, Dhanalakshmi S, Thillai Govindarajan G.E, Tanisha B.A, Talluri Sonalika, Ruth J.E, Avinash T, Jethendra Sri C, Logeswaran k et Nithish Ramasamy M., 2020-** A Review on Phaseolus vulgaris Linn. *Pharmacognocoy*, vol12(5), pp: 1160-1164.
- **Diaw N.F., 2002-***Utilisation des inoculums de rhizobium pour la culture du haricot (Phaseolus vulgaris) au Sénégal*. Thèse doctorat. Université Cheikh Anta Diop. Dakar, 97 p.
- **Diouf A., 1997-***Caractérisation et utilisation des souches rhizobium isolées du haricot vert (Phaseolus vulgaris L.) dans la zone des Niayes au Sénégal*. Thèse doctorat, UCAD. Dakar, 96p.
- **Djeugap F.J., Mefire M.H., Nguéfack J., Nguéguim M et Fontem D.A., 2014-**Effet variétal et du traitement fongicide sur la sévérité de la maladie des taches angulaires et le rendement du haricot commun (Phaseolus vulgaris L.) à l'Ouest-Cameroun. *International journal of biological and chemical sciences*, vol8 (3), pp: 1221-1233.
- **Dominguez J., 2004-**State-of-the-art and new perspectives on vermicomposting research. In: clive A.E , *Earthworm Ecology*, Second Edition, CRC Press, pp:401-424.
- **Dominguez J., Aira M et Gomez-Brandon M., 2010-**Vermicomposting: Earthworms Enhance the Work of Microbes Jorge. In: Insam H., Frank-whittle I et Goberna M., *Microbes at Work: From Wastes to Resources*, pp: 1-329.
- **Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J. K., Rebers P. A et Smith F., 1956-**Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Analytical Chemistry*, vol 28(3), pp: 350–356.

- **Durak A., Altuntaş Ö., Kutsal İ. K., Işık R et Karaat F. E., 2017**-The Effects of Vermicompost on Yield and Some Growth Parameters of Lettuce. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, vol 5(12), pp: 1566-1570.
- **Eswaran N et Mariselvin S., 2016**-Efficacy of Vermicompost on growth and yield parameters of *Lycopersicon esculentum*(Tomato). *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol 6(1), pp: 95–108.
- **Faessel L., Gomy C., Nassr N., Tostivint C., Hipper C et Dechanteloup A., 2014**-*Produits de stimulation en agriculture visant à améliorer les fonctionnalités biologiques des sols et des plantes – Étude des connaissances disponibles et recommandations stratégiques*, Rapport final, Étude commanditée par le Centre d'Études et de Prospective du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt (MAAF), 156p.
- FAO STAT., 2021**-Value of Agricultural Production. Disponible sur : <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QV>. (Consulté le : 15/04/2023).
- **FAO., 2005**-Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole. *Documents de Travail Sur Les Terres et Les Eaux* - FAO, 1–48.
- FAO., 2006**-Plant Nutrition for Food Security: A Guide for Integrated Nutrient Management. Disponible sur : <https://www.fao.org/publications/card/ru/c/8ff6bf78-8d65-5bcf-97d8-8e192582b045/>. (Consulté le : 23/04/2023).
- **Giri B., Prasad R., Wu Q.S et Varma A., 2019**-*Biofertilizers for sustainable agriculture and environment*. *Soil biology*, vol 55, pp: 1- 544.
- **Gómez-Brandón M et Domínguez J., 2014**-Recycling of solid organic wastes through vermicomposting: Microbial community changes throughout the process and use of vermicompost as a soil amendment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol 44(12), pp:1289–1312.
- **Gómez-Brandón M., Aira M., Lores M et Domínguez J., 2011**-Epigeic Earthworms exert a bottleneck effect on microbial communities through gut associated processes. *PLoS ONE*, vol 6(9), e24786.
- **Goust J. et Seignobos., 1998**- *Le haricot vert*, Edit,Arles, Actes Sud, Paris. 92P.

- **Graves R.E., Hattermer G.M et Stettler D., 2000**-Composting, *Environmental engineering national engineering handbook*, USDA, Part 637
- **Guermache L et Djazouli Z.E., 2021**-Effets de la fertilisation à base de la biomasse vermicompostée sur les performances agronomique du haricot vert (*Phaseolus vulgaris L.*) En culture irriguée, *agrobiologia*, vol 11(1), pp: 2394-2405.
- **Guermache L., 2021**-*Influence de la nature des biofertilisants sur la physiologie et la santé des plantes cultivées : une approche comparative entre le compost et le vermicompost*, Thèse doctorat, Sciences Agronomiques, Univ. Saad Dahleb Blida, Algérie, 165p.
- **Haboudane D., Miller J.R., Tremblay N., Zarco- Tejada P.J et Dextraze L., 2002**- Integrated narrowband vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote Sens Environ*, vol 81 (2), pp: 416-426.
- **Jasti T., Anirudh S.V.K., Majeti R.L., Kolluru C.V et Srivastava K.R., 2021**- Influence of Growth Pattern of Cyanobacterial Species on Biofertilizer Production In: Inamuddin., Ahamed M.I., Boddula R et Rezakazem M., *Biofertilizers: Study and Impact*, Scrivener Publishing LLC pp: 371–392.
- **Kaur P et Purewal S S., 2019**-Biofertilizers and Their Role in Sustainable Agriculture. In: Giri B., Prasad R., Wu Q.S et Varma A., *Biofertilizers for sustainable griculture and environment*.soil biology, pp:285-300.
- **Kroll R., 2000**-*Les cultures maraîchères*, Paris, Maisonneuve et Larose, 219 pp.
- **Kumawat N., Kumar R., Khandkar U.R., Yadav R.K., Saurabh K., Mishra J.S., Dotaniya M.L et Hans H., 2019**-Silicon (Si)- and Zinc (Zn)-Solubilizing Microorganisms: Role in Sustainable Agriculture. In: Giri B., Prasad R., Wu Q.S et Varma A., *Biofertilizers for sustainable griculture and environment*.soil biology , vol 55, pp: 109-135.
- **Liu W.Y.Y et Poobathy R., 2021**-Biofertilizer Utilization in Forestry In: Inamuddin., Ahamed M.I., Boddula R et Rezakazem M., *Biofertilizers: Study and Impact*, Scrivener Publishing LLC, pp: 1-37.
- **Lores, M, Gómez-Brandón M, Pérez-Díaz, D et Domínguez J., 2006**-Using FAME profiles for the characterization of animal wastes and vermicomposts. *Soil Biology and Biochemistry*, vol 38(9) pp: 2993–2996.

- **Maçik M., Gryta A et Fraç M., 2020**-Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms. In: Sparks D, *Advances in Agronomy*, pp: 31-87.
- **Mahmood A., Turgay O.C., Farooq M et Hayat R., 2016**-Seed biopriming with plant growth promoting rhizobacteria. *FEMS Microbiology Ecology*, vol 92, pp: 1–14.
- **Mansouri L.M., 2020**-*Etude des effets des facteurs biotiques et abiotiques sur la nodulation chez le haricot (Phaseolus vulgaris L.)*. Doctorat, Ecologie et environnement, Université Mustapha Ben Boulaid-Batna 2, 93p.
- **Naidu B.P., Walker M. et Munford S., 1992**-Foliar application of glycinebetaine increases grain yield of buckwheat under cold stress affected field conditions, *32nd Annual General Meeting of Australian Society of Plant Physiologists*, Melbourne.
- **Pandey V et Chandra K., 2016**-Agriculturally important microorganisms as bio-fertilizers: Commercialization and regulatory requirements in Asia. In: *Agriculturally Important Micoorganisms*, Singh H.B., Sarma B.K et Keswani C ., Springer, Singaporex, pp. 133–145.
- **Pirsaheb M., Khosravi Tet Sharafi K., 2013**-Domestic scale vermicomposting for solid waste management. *International Journal Of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, vol 2(4), pp: 1-5.
- **Ramos M.L.G, Parsons R, Sprent I.J et James E.K., 2003**-Effect of water stress on nitrogen fixation and nodule structure of common bean. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Vol 32 (3), pp: 339- 347.
- **Richardson A.E., 2001**-Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Aust J Plant Physiol*, vol 28, pp: 897–906.
- **Rostami R., 2011**- Vermicomposting. In: *Integrated Waste Management*,Kumar S, vol II(1), intechopen, pp: 131-142.
- **Saranraj P et Stella D., 2012**- Vermicomposting and its importance in improvement of soil nutrients and agricultural crops. *Novus Natural Science Research*, vol 1(1), pp: 14-23.
- **Shahid B., Khane AH., Ul islam G., Arshad abbasif W., 2021**-Efficiency of cow dung based vermicompost on seed germination and plant growth parameters of *Tagetes erectus* (Marigold), *Heliyon*, vol 7(1), pp11.

- **Sharma R., Nehra S et Kumar D., 2021**-N₂ Fixation in Biofertilizers. In : Inamuddin., Ahamed M.I., Boddula R et Rezakazem M., *Biofertilizers: Study and Impact*, Scrivener Publishing LLC, pp: 105-120.
- **Sierra J., Loranger-merciris G et Solvar F., Badri N et Arquet R., 2011**- Le vermicompostage en Guadeloupe. *INRA*, pp: 1–5.
- **Silawat N., Chouhan S., Sairkar P., Garg R.K., Vijay N et Mehrotra N, N., 2010**- Estimation of bacterial diversity in soil and vermicompost using sole source carbon utilization (SSCU) profile. *African Journal of Microbiology Research*, vol 4(4), pp: 255–266.
- **Singh N. B, Khare A. K, Bhargava, D. S et Bhattavharya S., 2005**-Effect of initial substrate pH on vermicomposting using *Perionyx excavatus* (PERRIER , 1872). *Applied Ecology and Environmental Research*, vol 4(1), pp: 85-97.
- **Singh S., Khwairakpam M et Tripathi C. N., 2013**-A comparative study between composting and vermicomposting for recycling food wastes. *International Journal of Environment and Waste Management*, vol 12(3), pp: 231-242.
- **Singh T.N., Aspinall D., Paleg L.G. et Bogges S.F., 1973**-Stress metabolism. II.Changes in proline concentration in excised plant tissues. *Aust. J. Biol. Sci.*, vol 26, pp: 57-63.
- **Thomas L et Singh I., 2019**-Microbial Biofertilizers: Types and Applications. In: Giri B., Prasad R., Wu Q.S et Varma A., *Biofertilizers for sustainable griculture and environment*.soil biology , vol 55, pp:1-19.
- **Uma B et Malathi M., 2009**-Vermicompost as a soil supplement to improve growth and yield of *Amaranthus* species. *Research Journal of Agriculture and Biological Science*, vol 5(6), pp: 1054–1060.
- **Vessey J.K., 2003**-Plant growth-promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*, vol 255, pp: 571–586.
- **Zarei M., Jahandideh Mahjen Abadi V.A et Moridi A., 2018**- Comparison of vermiwash and vermicompost tea properties produced from diferent organic beds under greenhouse conditions, *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agricultur*, vol 7, pp: 25–