



REPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE SAAD DAHLEB - BLIDA 1

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE DEPARTEMENT DES
BIOTECHNOLOGIES ET AGRO-ÉCOLOGIE

Mémoire

De fin d'études en vue de l'obtention du Master académique en Sciences de la
Nature et de la Vie

Spécialité : Phytopharmacie et Protection des Végétaux

Thème

**IMPACT DE L'APPORT DU VERMICOMPOST SUR L'EXPRESSION
MORPHO-PHYSIOLOGIQUE ET L'ETAT PHYTOSANITAIRE DU MIL
(*Pennisetum glaucum L.*)**

Par :

Mlle **MAHIEDDINE ikram**

Mlle **REZIG rihab**

Soutenu publiquement Le : 27/09/2023

Devant le jury composé de :

Mme. LEMITI.K	M.C.A.	Université de BLIDA 1	Présidente
Mme. BABA AISSA	M.A.A.	Université de BLIDA 1	Examinatrice
M. DJAZOULI Z.E.	Pr.	Université de BLIDA 1	Promoteur
Mme BRAHIMI L.	M.C.A.	Université de BLIDA 1	Co-promotrice

Année Universitaire 2022/2023

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier au premier lieu Allah de nous avoir la santé, le courage, la force et le patient de mener à bien ce modeste travail.

Au terme de ce travail, Nous tenons à exprimer nos sincères gratitude et remerciements à notre Professeur **DJAZOULI Z.E.** d'avoir bien voulu nous encadrer et nous orienter durant ce travail, et pour sa patience et son encouragement.

Nous exprimons également nos vifs remerciements et respect à notre co-promotrice **BRAHIMI L.** Pour son aide, sa dynamique, ses conseils précieux et sa disponibilité. Sincères gratitude.

Nous tenons à vivement remercier l'ensemble de jury, madame **LEMITI K**, pour l'honneur qu'elle nous fait de présider le jury de ce mémoire, et madame **BABA AISSA K**, pour l'honneur d'examiner notre travail.

Une profonde gratitude à tous nous enseignants de la faculté des sciences de nature et de vie Blida 1 en particulier les personnels du département de biotechnologie agro-écologie. Nous saurons vous remercier pour tout ce que nous avons appris avec vous.

Nous remercier également l'ensemble de personnel des laboratoires de département biotechnologie, Madame **HASSINA**, Madame **KARIMA**. Ainsi que Madame **BEKKA** de L'ESSAIA qui nous aidait à réaliser notre expérimentation.

Sans oublier Mr **YOUCEF** pour son aide et sa disponibilité. Et Mr **SHIKHI H** pour ses précieux conseils et encouragement.

Nous tenons à remercier tous nos collègues d'étude, en particulier notre promotion Phytopharmacie et Protection des Végétaux (2022 – 2023).

Enfin nous remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin au succès de notre travail.

Dédicaces

Je dédie cet humble travail à mes parents, les épaules sur lesquelles je compte. La raison de mon bonheur et de ma fierté dans cette vie.

Si je suis ici aujourd'hui, à ce niveau-là c'est grâce à vous deux. Vous m'avez donné l'occasion d'explorer le monde, d'essayer de nouvelles expériences et de faire mes preuves. Que Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie.

A mes deux frères, ma belle-sœur et mes neveux.

Je veux aussi dédier ce travail à mon âme sœur, AMIRA. Nous avons rêvé d'atteindre ce moment ensemble depuis longtemps. Maintenant nous pouvons enfin dire que nous l'avons fait !

A mes deux meilleurs amis Zineb et Selma. Votre reconnaissance est l'une des meilleures coïncidences de ma vie.

Pour mon binôme RIHAB, c'est un honneur de travailler avec vous, merci pour tous les souvenirs que nous avons faits.

Une spéciale dédicace pour ceux qui vont prendre ce travail pour quelque raison que ce soit. Que ce modeste travail éclaire votre chemin par connaissance, réponses et l'information.

-IKRAM-

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents qui m'ont beaucoup soutenue et encouragée, J'espère que grâce à ce travail, je peux percevoir la lueur de fierté dans vos yeux.

Je leur adresse mes remerciements les plus profonds et ma gratitude, pour leurs conseils, leur compréhension.

A mes frères et sœurs Ahmed, Manar, Anes, Loudjaina et Tesnim "Je vous souhaite la santé et beaucoup de succès." .

À mon oncle deuxième père Med lamine, pour son soutien moral et ses encouragements.

A mon binôme Ikram, "Vous avez toujours été un exemple de gentillesse. Merci pour tous les moments que nous avons partagés."

A ma toute belle famille « Rezig » et « Badis ». A mes chers amis Anfal, Hadil, Amira, Sadjad, Amel, Khadija, A toutes personnes qui me connaissent de loin ou de près

-RIHAB-

Tables des matières :

Synthèse bibliographique

1	Introduction :.....	1
2	Généralité sur le Mil :.....	1
3	Différentes stades croissance et développement du mil :	4
4	Intérêts et caractéristiques du mil perlé.....	5
5	Maladies et ravageurs :	6
5.1	Mildiou du mil :	6
5.2	Charbon du mil :	7
5.3	Ergot du mil :	7
6	La fertilisation.....	7
6.1	Le fumier :	8
6.2	Le compost :	8
6.3	L'Engrais vert :	9
6.4	Le vermicompostage (lombricompostage) :	9

Matériel et méthodes

1	Présentation de la région d'El Soumaa:.....	11
1.1	Situation géographique :.....	11
1.2	Facteurs abiotiques (Climat) :.....	12
2	Présentation du déroulement de l'expérimentales :.....	13
2.1	Le Semis :	13
2.2	Le repiquage des plantules :	13
2.3	Préparation des traitements (vermicompost liquide / vermicompost liquide fermenté) :.....	14
3	Dispositif expérimental et conduite de l'essai :	15
4	Paramètres Morphologiques étudiées :	16
4.1	Mesure de la croissance en longueur de la partie aérienne et souterraine :.....	16
4.2	Mesure du poids frais de la partie aérienne et souterraine :.....	16
4.3	Mesure du poids sec de la partie aérienne et souterraine :	16
5	Paramètres physiques étudiés du sol :	16
5.1	Mesurer le pH et la conductivité du sol :.....	16
6	Paramètres physiologiques étudiés	18
6.1	Quantification des chlorophylles :	18
6.2	Dosage des protéines hydrosolubles totales :	18

6.3	Dosage des composés phénoliques totaux :.....	19
6.4	Dosage des composés phénoliques totaux :.....	Erreur ! Signet non défini.
6.5	Dosage des flavonoïdes totaux (FT) :	20
6.6	Mesure de la capacité anti- oxydante non enzymatique totale (CANET) :.....	21

Résultats

1	I. Etude de l'effet des biofertilisants (sous l'effet du lombricomposte et du lombricomposte fermenté) sur les paramètres morphologiques (la longueur. poids) :.....	23
1.1	Etude de la croissance en longueur du mil :	23
1.1.1	Partie foliaire :	23
1.1.2	Longueur de la partie sous terrain :.....	24
1.2	Etude de la croissance en poids du mil :.....	25
1.2.1	Poids frais de la partie foliaire :.....	25
1.2.2	Poids frais de la partie racinaire	25
1.3	L'effet vermicomposte et vermicomposte formulé sure le poids sec du mil :	26
1.3.1	Partie aérienne :.....	26
1.3.2	Partie racinaire :.....	27
2	Effet des biofertilisants (VLC/VLCF) sur les paramètres phytochimiques du mil :.....	28
2.1	Dosage chlorophylle :	28
2.2	Etude des fluctuations des composés phénoliques totaux :.....	28
2.3	Mesure de la capacité des antioxydants enzymatiques totale :	29
2.4	Etude des fluctuations des flavonoïdes totaux :	29
2.5	Fluctuation des protéines hydrosolubles totales :	30
3	L'effet des biofertilisants sur les paramètres physico-chimiques des sols :	31
3.1	Le PH et la conductivité du sol.....	31
3.1.1	Détermination des corrélations présente entre les différents paramètres étudiés..	32

Discussion

1	Effets des biofertilisants sur les paramètres physiologiques du mil	35
2	Effets des biofertilisants sur les paramètres morphologiques du mil :.....	36
3	Effets des bio fertilisants sur les paramètres physio-chimiques du sol :.....	38

Conclusion

Liste de figures :

Figure 1 : Présentation des différents types de mil (Rachie, 1975).....	2
Figure 2 : Phases de la croissance et de développement du mil (Maiti & Bidinger , 1981).....	5
Figure 3 : Epis de millet perlé déformé par une infection interne de mildiou.....	7
Figure 4 : Epis de millet perlé déformé par une infection interne d'Egot du millet.....	8
Figure 5 : Position du lieu d'expérimentation (Google earth, 2023).....	12
Figure 6 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson de la région de Blida (2010-2018)	13
Figure 7 : Localisation des régions Blida sur le Climagramme d'EMBERGER	14
Figure 8 : semées dans les alvéoles (original 2023).....	14
Figure 9 : La transplantation des plantes (original 2023)	15
Figure 10 : Préparation de vermicompost liquide et liquide fermenté (original 2023).....	16
Figure 11 : Préparation des solutions (original 2023).....	18
Figure 12 : Mesure du pH et de conductivité (original 2023).....	18
Figure 13 : préparation d'extrait éthanolique (original 2023).....	19
Figure 14 : préparation d'extrait méthanolique (original 2023).....	20
Figure 15 : Mélange de chlorure d'aluminium (original 2023).....	22
Figure 16 : préparation de mélange de molybdate d'ammonium (original 2023).....	23
Figure 17 : Effet des traitements sur la croissance de partie foliaire de la plante <i>Pennisetum glaucum</i> L.....	26

Figure 18 : Effet des traitements sur la croissance de partie racinaire de la plante <i>Pennisetum glaucum</i> L.....	26
Figure 19 : Effet des traitements sur la croissance de poids frais de partie foliaire de la plante <i>Pennisetum glaucum</i> L.....	27
Figure 20 : Effet des traitements sur la croissance de poids sec de la partie aérienne de la plante <i>Pennisetum glaucum</i> L.....	28
Figure 21 : Effet des traitements sur la croissance de poids sec de la partie racinaire de la plante <i>Pennisetum glaucum</i> L.....	29
Figure 22 : Effet des biostimulants sur la teneur de chlorophylle dans la plante <i>Pennisetum glaucum</i> L.....	29
Figure 23 : Effet des biostimulants sur la teneur de polyphénol dans la plante <i>Pennisetum glaucum</i> L.....	30
Figure 24 : Effet des biostimulants sur la teneur des antioxydants dans la plante <i>Pennisetum glaucum</i> L.....	31
Figure 25 : l'effet des biostimulants sur la teneur des flavonoïdes dans la plante <i>Pennisetum glaucum</i> L.....	32
Figure 26 : l'effet des biostimulants sur la teneur des protéines dans la plante <i>Pennisetum glaucum</i> L.....	33
Figure 27 : Fluctuations du PH et de CE.....	34

Liste des tableaux :

Tableau 01 : <i>Classification botanique du mil (Saïdou, 2011)</i>	3
Tableau 02 : Moyennes annuelle et mensuelle des températures et précipitations de la région de Blida (2010-2018)	13
Tableau 03 : corrélation entre les différents paramètres expérimentés (original, 2023)...	35

Liste des abréviations :

C.E : conductivité électrique.

CANET : capacité anti- oxydante non enzymatique totale

CPT : composés phénoliques totaux.

D.O : densité optique

F.A.O: food and agriculture organization.

FT : flavonoïdes totaux

MVS : matière végétal sèche.

VLC : vermicompost liquide.

VLC.F : vermicompost liquide fermenté.

IMPACT DE L'APPORT DU VERMICOMPOST SUR L'EXPRESSION MORPHO-PHYSIOLOGIQUE ET L'ETAT PHYTOSANITAIRE DU MIL (*Pennisetum glaucum L.*)

Résumer :

C'est dans le cadre de la stratégie nationale en matière de sécurité alimentaire et par référence à la déclaration des Nations Unies considérant l'année 2023, comme étant une année internationale du Mil *Pennisetum glaucum L.*, que notre objectif principal est de tester l'efficacité de différents types de vermicompost sur la croissance, la physiologie et la phytochimie de cette culture.

Pour cela, Un essai est effectué au sein du laboratoire de Biotechnologie végétale de l'université Blida1, sur trois blocs aléatoires complets ayant subi des traitements à base de lombricomposte brut et fermenté, appliqués chaque 10 jour et accompagné par des prélèvements à trois répétitions des plants traité pour chaque bloc.

Les résultats obtenus révèlent que le vermicompost a un effet sur les paramètres de croissance à l'exception du poids frais racinaire, ainsi que sur les paramètres physiologiques et phytochimiques dont la chlorophylle ; les polyphénols (56.34mg/ml) et les antioxydants (695.18mg/ml). Tandis que le vermicompost fermenté présente un effet sur le poids frais racinaire, et sur la synthèse de protéines (5.14mg/ml).

Mots clés : *Pennisetum glaucum*, vermicompost, physiologiques, phytochimiques.

تأثير توريد السماد الدودي على المظهر الفسيولوجي والحالة الصحية النباتية للدخن (*Pennisetum glaucum* L)

ملخص:

كجزء من الاستراتيجية الوطنية للأمن الغذائي وبالإشارة إلى إعلان الأمم المتحدة اعتبار عام 2023 سنة دولية لنبات الدخن (*Pennisetum glaucum* L)، فإن هدفنا الرئيسي هو اختبار فعالية أنواع مختلفة من السماد الدودي على النمو وعلم وظائف الأعضاء. والكيمياء النباتية لهذا النبات.

ولهذا الغرض، يتم إجراء اختبار داخل مختبر التكنولوجيا الحيوية النباتية بجامعة البليدة 1، على ثلاث كتل عشوائية كاملة خضعت لمعالجات تعتمد على السماد الدودي والسماد الدودي المخمر، ويتم تطبيقها كل 10 أيام وتراقبها عينات في ثلاثة تكرارات للنباتات المعالجة لكل كتلة.

أظهرت النتائج أن السماد الدودي له تأثير على معايير النمو باستثناء الوزن الطازج للجذور، وكذلك على المعايير الفيزيولوجية والكيميائية النباتية بما في ذلك الكلوروفيل؛ البوليفينول (56.34مغ/مل) ومضادات الأكسدة (695.18مغ/مل). في حين أن السماد الدودي المخمر له تأثير على الوزن الطازج للجذور وتخليق البروتين (5.14مغ/مل).

كلمات المفتاح:

نبات الدخن "*Pennisetum glaucum*". السماد الدودي. الكيمياء النباتية. المعايير الفيزيولوجية.

IMPACT OF THE SUPPLY OF VERMICOMPOST ON THE MORPHO-PHYSIOLOGICAL EXPRESSION AND THE PHYTOSANITARY STATUS OF MILLET (*Pennisetum glaucum L.*)

Abstract:

As part of the national food security strategy and with reference to the United Nations declaration considering the year 2023 as an international year of Mil *Pennisetum glaucum L.*, hence our main objective is to test the effectiveness of different types of vermicompost on growth, physiology and phytochemistry of this crop.

Three complete random blocks were tested in the Plant Biotechnology laboratory of Blida1 University for this purpose, having undergone treatments based on vermicompost and fermented vermicompost, applied every 10 days and accompanied by samples at three repetitions of the plants treated for each block.

The results obtained reveal that vermicompost has an effect on growth parameters with the exception of root fresh weight, as well as on physiological and phytochemical parameters including chlorophyll; polyphenols (56.34mg/ml) and antioxidants (695.18mg/ml). While fermented vermicompost has an effect on root fresh weight and protein synthesis (5.14mg/ml).

Keywords:

Millet "*Pennisetum glaucum L.*"; vermicompost; physiological and phytochemical parameters.

Introduction générale

Les céréales tiennent de loin, la première place quant à l'occupation des terres agricoles, parce qu'elles servent d'aliments de base pour une grande proportion de la population mondiale. En Algérie, tout comme en Afrique du Nord, ces cultures représentent la principale spéculation et draine plusieurs activités de transformation ; en semoulerie, en boulangerie et en industrie alimentaire. Elles constituent également la base de l'alimentation et occupent une place privilégiée dans les habitudes alimentaires des populations aussi bien dans les milieux ruraux qu'urbains. En effet, la consommation individuelle est évaluée en 219 Kg/ an en Algérie (Boulal et *al.*, 2007).

La production de céréales en Algérie est marquée par une forte irrégularité, elle-même conditionnée par les aléas climatiques. Les rendements céréaliers demeurent faibles et très irréguliers : 13,5 q/ha pour le blé (dure et tendre) en moyenne sur 2001-2010, et 13,2 pour l'orge, ce qui se situe loin derrière la productivité des pays méditerranéens de l'Europe et s'explique à la fois par des causes naturelles (sol et climat), techniques (semences, pratiques culturales) et humaine (organisation et formation des producteurs) (Jean-Louis et Benabderrazik, 2014).

La production totale des céréales est très variable d'une année à une autre sous l'effet des facteurs du climat, en particulier le manque d'eau. La production totale des céréales est loin de couvrir la demande qui est de plus en plus importante elle est d'ordre de 6.5 MT (Badrani, 2004). Ceci constitue une obligation intégrant notre pays parmi ceux dépendants des marchés mondiaux. Il faut noter dans ce contexte que la facture d'importation de ces produits coûte annuellement, 355 millions de dollars (anonyme, 2007). L'Etat souhaite développer la production afin de mieux satisfaire les besoins, de réduire les importations et de limiter la dépendance économique vis-à-vis de l'étranger.

Parmi les solutions, le mil est considéré comme meilleure alternative aux céréales les plus consommées en Algérie. Il est bien adapté aux zones de culture caractérisées par la

sécheresse, la faible fertilité du sol et les températures élevées et il se comporte bien dans les sols fortement salins ou à faible pH. (Rahal-Bouziane, 2016).

Dans le contexte de la préservation de l'environnement et de l'amélioration de la production agricole, l'agriculture durable doit prendre en compte les interactions complexes entre le sol, l'eau, les plantes, les animaux et le climat, tous soumis à l'influence des pratiques culturales. Dans cette optique, de nombreuses méthodes alternatives et complémentaires sont en développement afin de réduire l'utilisation d'insecticides de synthèse, dont les effets néfastes sur l'environnement et la santé humaine sont bien connus. Les méthodes actuellement à l'étude visent à promouvoir l'utilisation de molécules bioactives ayant des effets fertilisants, pesticides et stimulants sur les systèmes de défense des plantes. Cette approche consiste à renforcer les moyens de défense des plantes plutôt que de lutter directement contre les agresseurs (Fravel et *al.* 1999).

Le lombricompostage, grâce à une approche intégrée pour estimer les besoins, permet d'assurer une nutrition adéquate et équilibrée en tenant compte des spécificités de la parcelle et du système de culture. De plus, il permet de réduire les pertes et de repousser les ravageurs tout en éliminant les maladies. L'objectif est de maintenir et d'améliorer la fertilité du sol sans nuire à l'environnement, tout en garantissant une production de haute qualité, tant en termes de quantité ou de qualité.

Dans ce cadre, nous avons formulé certaines hypothèses pour évaluer les avantages potentiels du lombricompostage dans l'agriculture durable et sa capacité à améliorer la croissance et la santé des cultures, ainsi que leur contenu métabolique.

1. Quel est l'impact de l'utilisation de différents types de vermicompost sur les paramètres morphologiques et physiologiques des plants de mil ?
2. Les différents types de vermicompost ont-ils une influence sur le contenu métabolique des plants de mil ?
3. Est-ce que c'est possible d'améliorer la productivité du mil grâce au lombricompost ?

Synthèse bibliographique

I. Synthèse bibliographique

I.1 Introduction :

Les systèmes agroalimentaires mondiaux sont confrontés à des défis pour nourrir une population mondiale toujours croissante. Pour cela, la FAO a organisé le 06/12/2022 un événement pour promouvoir une céréale résiliente qui est non seulement peu d'entretien et résistant au climat, tolérante aux conditions de croissance difficiles, mais aussi riche en nutriments et adaptée aux personnes souffrant d'intolérance au gluten. C'est le mil (Hafida., 2016).

Le mil, *Pennisetum glaucum*, est la céréale la plus tolérante à la sécheresse. Il est cultivé dans les régions où la pluviosité se situe entre 150 et 800 millimètres (Hafida., 2016), C'est une plante annuelle peut remplacer le blé et l'orge dans les régimes alimentaires. Cette culture occupe 10 millions d'hectares en Inde qui partage un tiers de la zone de production mondiale. Il est cultivé sur plus de 31.2 millions d'hectares dans les régions tropicales arides et semi arides de l'Asie, de l'Afrique et de l'Amérique latine comme aliment de base en grain.

I.1.1 Généralité sur le Mil :

En tant que céréale de base, elle représente la source d'énergie et de micronutriments la plus courante, en particulier le fer (Fe) et le zinc (Zn) pour des millions de producteurs de bétail les plus pauvres du monde (Bantilan, Deb, & Parthasarathy, 2004), Et apporte 80-90% des calories à des millions de personnes dans les régions semi-arides (Burton, Wallace, & Rachie, 1972).

Les mils ont une résistance aux ravageurs et aux maladies, une saison de croissance courte, et sont productifs dans des conditions de sécheresse, comparativement aux principales céréales. Ils sont uniques parmi les céréales en raison de leur richesse en calcium, fibres alimentaires, polyphénols et protéines. De plus, comme elles ne contiennent pas de gluten, elles peuvent être recommandées aux patients cœliaques (Devi & Vijayabharathi, 2017).



Millet de barnyard



Millet foxtail



Le kodo



Le petit millet



Millet perlé



Millet à proso

Figure 1 : Présentation des différents types de mil (Rachie, 1975).

Être tolérant à la sécheresse, riche en des quantités plus élevées d'acides aminés essentiels et de meilleure qualité des protéines par rapport aux autres céréales, les scientifiques espèrent accroître leur utilisation comme céréales pour l'alimentation d'humains et d'animaux (Govindaraj , Selvi , et *al*, 2011).

Tableau 1 : Classification botanique du mil (Saïdou, 2011).

Critère botanique	Classification
Règne	Plantae
Division	Magnoliophyta
Classe	Liliopsida (Monocotylédones)
Ordre	Cyperales
Famille	Poaceae (Gramineae)
Sous-famille	Panicoideae
Tribu	Paniceae
Sous-tribu	Panicineae
Section	Pénicillariae
Genre	<i>Pennisetum</i>
Nom binomial	<i>Pennisetum glaucum</i> (L.)

En Algérie, cas particulier des oasis de la région d'Adrar (Touat, Gourara et Tidikelt), le grain du mil a joué un rôle prépondérant dans l'alimentation des populations de cette région, notamment avant l'introduction du pain industriel. Dans ces oasis toujours, le mil représente l'une des principales espèces fourragères. Plusieurs cultivars existent depuis très longtemps et sont considérés par les agriculteurs comme étant propres à la région (Rahal Bouziane, Bouaboub, M ; et *al*, 2005).

I.1.2 Différents stades croissance et développement du mil :

a) **Phase végétative** : ce déroule de 30 à 50 jours. Elle commence par la germination de la graine et l'apparition des jeunes plantes, et continue jusqu'à la formation de la panicule (Maiti et Bidinger , 1981).

b) **Phase reproductive** : Cette phase comprend l'épiaison, la floraison et la fructification. Elle est marquée par le développement total des feuilles et par la sénescence des feuilles à la base de la tige principale (Loumrem, 2004). L'élongation de la tige se produit par l'élongation séquentielle des entre-noeuds en commençant à la base. Les talles émergent et subissent l'initiation, le développement des feuilles suivant le même principe que celui de la tige principale. La feuille paniculaire se renfle au niveau de la gaine 6 à 10 jours avant la floraison. La panicule commence à fleurir dès son apparition complète. Un jour après l'émergence complète des stigmates, les anthères commencent leur apparition à partir du haut de l'épi (Loumrem, 2004); (Maiti & Bidinger , 1981).

c) **Phase de maturation** : Cette phase commence par la pollinisation des fleurons de la panicule principale et continue jusqu'à la maturité de la plante. Au cours de cette période, le grain passe successivement par le stade 'laiteux', le stade 'pâteux', le stade 'demi-dur', le stade 'dur' et enfin le stade de 'sur maturité' marquant la fin de la dessiccation du grain (Loumrem, 2004).

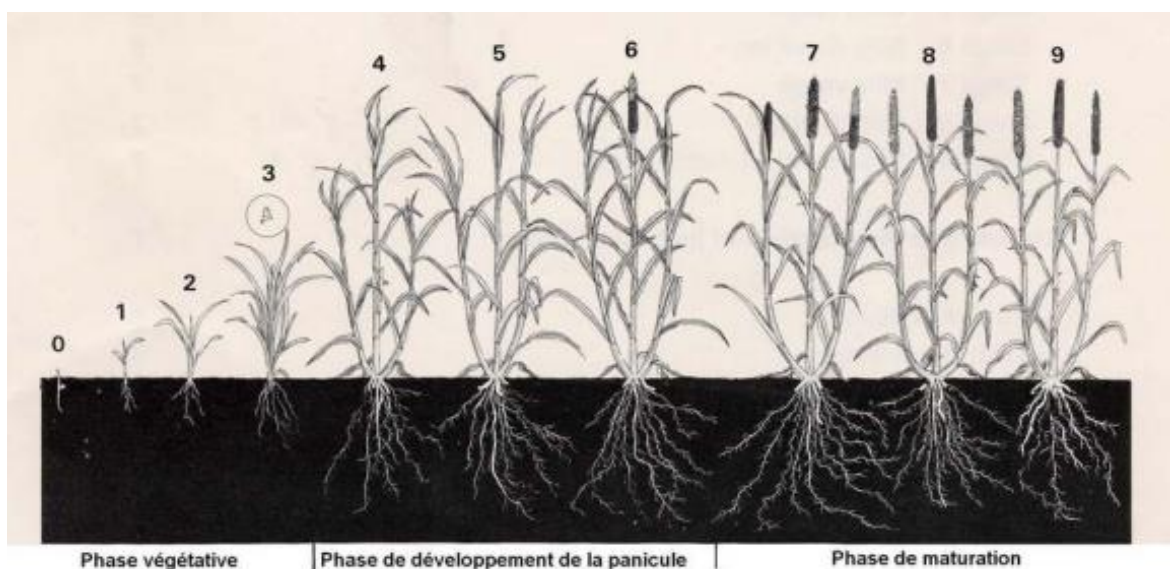


Figure 2 : Phases de la croissance et de développement du mil (Maiti et Bidinger , 1981).

I.1.3 Exigences de mils :

On note que le mil est une plante peu exigeante, qui tolère des températures élevées mais qui se développent au lieu plutôt léger :

Température : le mil est tolérant la sécheresse. Les températures les plus favorables pour cette culture se situent entre 27 et 30 °C. Le mil exige pour son développement une somme de température de 2050 à 2550 °C. (Loumrem, 2004).

Sol : Généralement cultivé sur des sols légers et sablo-argileux bien drainés avec un pH faible et un faible niveau de fertilité (Lelaalhe et Tidjani , 2021)

I.2 Intérêts et caractéristiques du mil perlé

Pennisetum glaucum (L.), est une culture vivrière importante et est source d'énergie vitale pour les millions de pauvres vivant dans les zones tropicales semi-arides. C'est le grain, d'une valeur nutritionnelle supérieure à celle du riz et du blé, qui constitue le principal produit de la culture (Hafida., 2016). Il produit des grains nutritifs qui sont une source riche en protéines, calcium, phosphore, fer et zinc par comparaison aux autres cultures de céréales. Les mils contiennent généralement des quantités plus élevées en acides aminés essentiels en particulier: méthionine, cystéine et matières grasses que le maïs, le riz, le blé et le sorgho (Govindaraj, et al, 2011) .

Le mil perlé est la sixième céréale la plus importante au monde en termes de production agricole mondiale (Lemgharbi, et al., 2017). D'après FAOSTAT, 2016 en 2013 la culture de mil couvrait plus de 33,11 millions d'hectares dans le monde. L'Afrique est le premier producteur de cette céréale, elle assure 40% de la production mondiale du mil (Saïdou, 2011), avec une superficie de 21,12 millions d'hectares cultivés pour une production de 15 millions de tonnes, puis l'Inde où la production du mil atteint 10,9 millions de tonnes sur une superficie de 9,2 millions d'hectares (Hamadou, et al, 2017).

I.3 Maladies et ravageurs :

L'un des facteurs de la faible productivité du mil est les pertes dues à différentes maladies dont les plus importantes sont les maladies fongiques (mildiou, charbon et l'ergot), les déprédateurs de tous ordres : insectes (chenilles mineuses de la chandelle, foreurs de tiges, diptères ravageurs, coléoptères), les adventices (*Striga*, *Dicotyledoneslea*, *Q. erythropis*, *Passer luteus*), rongeurs nuisibles (*Arvicunthisniloticus*, *Mastomissp*), des insectes des stocks (*Triboliumcastaneum*, *Rhiwperta dominical*), des iules (*Peridontopyge rubescens*, *P. conani*) (LELAALHE et TIDJANI , 2021).

I.3.1 Mildiou du mil :

La maladie la plus grave du mil en Inde et en Afrique de l'Ouest est le mildiou causé par le champignon *Sclerosporagraminicola* (Sacc.). Elle attaque la plante du semis à l'âge adulte, en s'attaquant aux feuilles, à la tige et à l'épi. La maladie se distingue par la transformation partielle ou totale de l'épi en organes feuillus ou par la mort de la plante (Wilson, et *al.*, 2008); (Ati , et *al*, 2015).



Figure 3 : Epis de millet perlé déformé par une infection interne de mildiou.

I.3.2 Charbon du mil :

Le charbon, causé par *Tolyposporium penicilluriae*, Elle provoque des pertes directes de grains en les remplaçant par des plaies charbonneuses, qui sont des structures remplies de téliospores. Ces pertes de rendement peuvent atteindre jusqu'à 30% (Thakur et King , 1988).

I.3.3 Ergot du mil :

La maladie de l'ergot provoqué par *Claviceps fusiformis*. La plante est attaquée dès sa floraison et se distingue par un écoulement d'exsudats visqueux, au goût sucré mais toxique, provenant des ovaires. A la place des graines, des sclérotés se forment sur la bougie (Mbaye, 1993).



Figure 4 : Epis de millet perlé déformé par une infection interne d'Egot du millet.

I.4 La fertilisation

Pour se développer, les plants ont besoin d'eau, de lumière, de carbone, d'oxygène et d'éléments minéraux. A chaque stade de son développement, elle doit trouver ces éléments nécessaires, sous une forme assimilable.

La Fertilisation est l'ensemble des techniques agricoles consistant à apporter à un milieu de culture, tel que le sol, les éléments minéraux nécessaires au développement de la plante ; de

créer ou de maintenir dans le sol un milieu physique et chimique apte à la nutrition des plantes cultivées et d'améliorer la qualité et la quantité des produits récoltés (Schvartz, et *al*, 2005).

Cependant les biofertilisants sont définis comme des préparations contenant des cellules vivantes ou des cellules latentes de souches de micro-organismes efficaces qui aident à l'absorption des éléments minéraux par les plantes cultivées suite à leurs interactions dans la rhizosphère lorsqu'ils sont appliqués sur les semences ou dans le sol. Ils accélèrent certains processus microbiens dans le sol impliqués dans l'augmentation de la disponibilité des nutriments dans une forme facilement assimilable par les plantes (Belaiche, 2017). Il existe différentes formes d'apport organique au sol parmi lesquelles :

I.4.1 Le fumier :

Le fumier est le mélange des déjections animales et de litière. Il est riche en éléments nutritifs et représente la base de la fertilisation en agrobiologie (Petit et Jobin, 2005). Le fumier joue un rôle important dans la durabilité de la fertilité du sol soit par l'apport des éléments nutritifs, soit par l'amélioration de ces propriétés physico-chimiques du sol (Hiraoka, et *al*, 2005).

I.4.2 Le compost :

Le compost est une matière brunâtre qui ressemble à du terreau, il provient de la décomposition contrôlée des matières organiques par des millions d'organismes vivants, depuis les bactéries microscopiques jusqu'aux vers de terre (Smeesters, et *al*, 2001). C'est une source importante de matière organique produite par la dégradation ou la décomposition de la matière organique fraîche par les micro-organismes, d'insectes et de vers de terre dans des conditions bien définies (Petit et Jobin, 2005).

I.4.3 L'Engrais vert :

C'est une culture de végétation rapide enfouie sur place et destinée avant tout à améliorer le sol. Ce type d'engrais a un effet important sur la protection du sol, en le considère comme une source de matières organiques jeunes ; source d'éléments nutritifs pour les plantes essentiellement en azote (Soltner, 2003)

I.4.4 Le vermicompostage (lombricompostage) :

Vermicompostage est décrit comme bioxydation et stabilisation de la matière organique impliquée par l'action conjointe des vers de terre et des micro-organismes mésophiles (Barik, et *al*, 2011). Le processus est simple, les déchets organiques traversent l'intestin du ver de terre, une transformation significative mais pas entièrement comprise à lieu. Le vermicompost produit par cette activité est riche en macro et micronutriments, vitamines, hormones de croissance, enzymes telles que proteases, amylases, lipase, cellulase et chitinase et microflore immobilisée. En bref, les vers de terre par une sorte d'alchimie biologique sont capables de transformer les ordures en « or » (Adhikary, 2012).

Matériel et méthodes

II. Matériel et méthodes :

Objectif :

Notre travail a pour objectif d'évaluer l'effet bio fertilisant de deux types de vermicompost (vermicompost simple et vermicompost fermenté) sur l'expression morpho-physiologique et l'état phytosanitaire du mil (*Pennisetum glaucum*).

II.1 Présentation de la région d'El Soumaa:

II.1.1 Situation géographique :

L'expérimentation s'est déroulée très exactement a la région de Soumaa est située au centre de la wilaya de Blida à environ 44 km au sud-ouest d'Alger et à environ 35 km au nord-est de Médéa, dans la partie centrale de la Mitidja. Elle est limitée au sud par les vergers d'agrumes et de néfliers de boufarik ($36^{\circ}35' N ; 2^{\circ} 59'$). Au N-E par les montagnes de Soumaa ($36^{\circ} 30' N : 2^{\circ} 50' E$) et les premières pentes de l'Atlas Blidien.



Figure 5 : Position du lieu d'expérimentation (Google earth, 2023).

II.1.2 Facteurs abiotiques (Climat) :

a) Températures et précipitations :

Notre expérimentation est principalement influencée par les conditions climatiques. Dans la région de Blida, les températures les plus élevées sont enregistrées aux mois de juillet et août (Tableau 2) avec respectivement (35.06°C et 35.22 °C). Le mois de Janvier est le mois le plus frais (7.11 °C).

Tableau 2 : Moyennes annuelle et mensuelle des températures et précipitations de la région de Blida (2010-2018) (A.N.R.H, 2020).

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	AU	S	O	N	D
m (°C)	7,47	7,11	9,17	10,74	13,55	15,16	20,67	21,04	18,25	14,51	11,58	7,87
M (°C)	16,71	15,92	19,12	22,01	25,6	30,75	35,06	35,22	30,45	25,88	20,15	17,44
T=(M+m)/2	12,09	11,51	14,44	16,37	19,57	22,95	27,86	28,13	24,35	20,09	15,86	12,65
P (mm)	115.17	93.41	91.72	76.45	57.32	15.56	0.2	9.93	18.5	52.85	103.06	88.76

m : température minimale de chaque mois (°C).

M : température maximale de chaque mois (°C).

T : température moyenne (°C).

La région de Blida est caractérisé par une saison sèche de 4 mois (débutera de la fin Mai jusqu'à la mi-Octobre) et une saison humide hivernal qui s'installe sur 8 mois (entre la mi-octobre et la fin Mai). (Fig. 6)

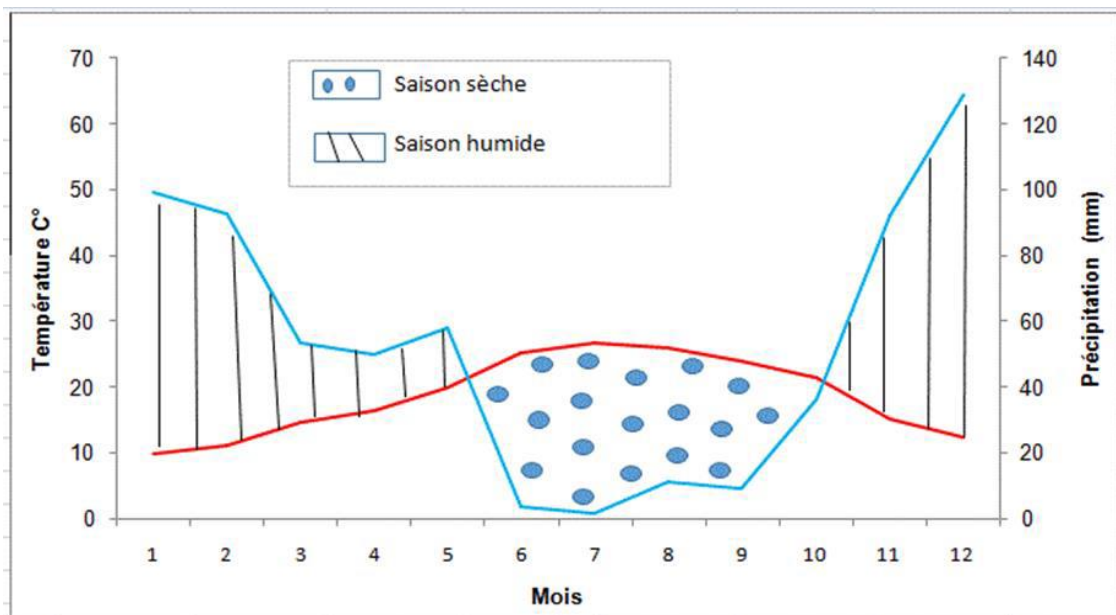


Figure 6 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson de la région de Blida (2010-2018)
(A.N.R.H, 2020).

II.2 Présentation du déroulement de l'expérimentation :

La germination a été réalisée durant la période 15/05/2023 - 16/07/2023 dans une serre de 60m² de surface en polycarbonate de l'Université de Blida1, sous des conditions semi-contrôlées, d'exposition nord-sud. L'éclairage est celui du jour, la température varie au cours de la journée et d'une saison à l'autre et elle est mesurée par un thermomètre placé au milieu de la serre. L'aération est assurée par plusieurs fenêtres placées latéralement de part et d'autre de la serre sur une longueur de 10 mètre.

II.2.1 Présentation de semis :

C'est la première opération effectuée, elle a été réalisée au mois de mai. Les 75 grains de mil sont semés dans des alvéoles contenant la tourbe noire et arroser en abondance. Les arrosages ont été effectués selon les besoins des plantes.



Figure 7 : semées dans les alvéoles (original 2023).

II.2.2 Le repiquage des plantules :

Au stade quatre feuilles, les plants ont été transplantés dans des sachets noirs en plastique pour trois semaines pour que les plants prennent un aspect vigoureux ; et finalement, les

plants ont été transplantés dans leur place définitive ; dans des pots en plastique de 20cm de hauteur, et de 17 cm de diamètre ; 1/4 de chaque pot est rempli dans une mince couche de gravier et 2/4 dans une quantité de terreau. Avec une irrigation en eau selon besoins.



Figure 8 : La transplantation des plantes (original 2023).

II.2.3 Préparation des traitements (jus de vermicompost/ jus de vermicompost fermenté) :

Le jus vermicompost brut (VLC) est un liquide dérivé principalement de la décomposition des déchets d'un ver de terre *Eisina foetida*. En plus de l'eau chargée de nutriments minéraux et d'oligo-éléments similaires présents dans les déchets, ils contiennent du mucus intestinal à haute teneur en protéines, des polysaccharides, des substances organiques et minérales, des acides aminés et une coexistence microbienne (bactéries, champignons élémentaires et micro-champignons).

Le vermicompost fermenté (VLC.F) est un liquide issu de la fermentation d'un substrat lignocellulosique (paille de blé) saturé en vermicompost brut.

On a dilué 10ml de vermicompost dans 100ml d'eau distillée pour préparer chaque traitement.

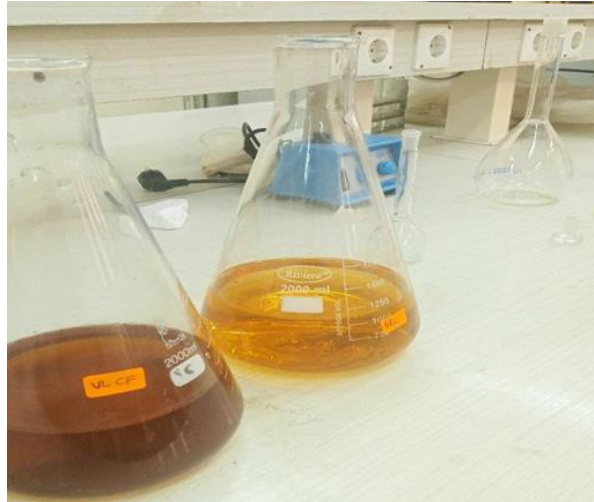


Figure 9 : Préparation de jus de vermicompost et jus de vermicompost fermenté (original 2023).

II.3 Dispositif expérimental et conduite de l'essai :

L'essai est réalisé en bloc aléatoire complet, le dispositif composé de 3 blocs contenant 25 plants pour chaque, ayant 3 répétitions pour chaque prélèvement comme suit :

Bloc1 : Témoin(T).

Bloc2 : vermicompost liquide brut (VLC).

Bloc 3 : vermicompost liquide fermenté (VLC F).

Les blocs sont distants de 30cm les uns des autres. Les plantules sont irriguées régulièrement selon leur besoin en eau du robinet. A partir du stade quatre feuilles, nous avons procédé à l'apport par application foliaire des différents traitements. Ces derniers ont été lacés le 17/05/2023.

Le bloc témoin reçu une application foliaire à l'eau courante. L'apport des traitements est renouvelé chaque 10 jour durant toute la période d'étude. Avant chaque apport de trois plants sont prélevés de chaque blocs afin d'estimer les paramètres morfo-physiologique.

II.4 Paramètres Morphologiques étudiées :

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

La croissance en longueur de la partie aérienne et racinaire est évaluée après avoir pris trois échantillons aléatoires de chaque bloc, lavé soigneusement les plantes avant de les mesurer. La longueur de la partie aérienne et des racines sont mesurée à l'aide d'une règle graduée (cm).

II.4.2 Mesure du poids frais de la partie aérienne et souterraine :

La biomasse fraîche de la partie aérienne et souterraine exprimée en gramme a été effectuée juste après l'arrachage des plantes par pesée les deux parties séparément avec une balance de précision.

II.4.3 Mesure du poids sec de la partie aérienne et souterraine :

La biomasse sèche de la partie aérienne et souterraine exprimée en gramme a été effectuée après un séchage de plants dans un étuve à 50°C pendant 24h par pesée les deux parties séparément avec une balance de précision.

II.5 Paramètres physiques étudiés du sol :

II.5.1 Mesurer le pH et la conductivité du sol :

Préparation de l'échantillon : Prélever un échantillon représentatif de sol dans des boîtes de Pétri et le mettre dans un étuve.

Préparation des solutions : Dans un flacon, mélanger 20 g de sol séché et tamisé avec 50 ml d'eau distillée. Le mélange doit ensuite être placé dans un agitateur pendant 30 minutes et filtré avec du papier filtre.



a



b

Figure 10 : Préparation des solutions (original 2023).

Pour pH, Tremper l'électrode du pH-mètre dans la solution préparée et lire le numéro qui s'affiche. Pour la conductivité, immerger l'électrode du conductimètre dans la solution et Enregistrer la valeur de conductivité qui s'affiche. Elle est généralement exprimée en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).



a



b

Figure 11 : Mesure du pH et de conductivité (original 2023).

II.6 Paramètres physiologiques étudiés

II.6.1 Quantification des chlorophylles :

La chlorophylle est mesurée dans les trois échantillons (avant l'arrachage) de chaque bloc avec six répétitions à l'aide d'un chlorophylles-mètre, également connu sous le nom de fluorimètre de chlorophylle, est un instrument utilisé pour mesurer la concentration de chlorophylle dans les plantes. Le fonctionnement de cet appareil repose sur le principe de la fluorescence de la chlorophylle. Lorsque la chlorophylle est exposée à une lumière intense, elle émet de la fluorescence, qui peut être détectée et mesurée. L'instrument envoie une lumière intense sur l'échantillon végétal et mesure la quantité de fluorescence émise. La quantité de fluorescence est directement liée à la concentration de chlorophylle présente dans la plante.

II.6.2 Dosage des protéines hydrosolubles totales :

Les protéines totales ont été extraites à partir de 100 mg de matériel foliaire frais broyés à basse température dans 1 ml de tampon Tris - HCl à (pH = 8.1) contenant 10 % de sucrose et 0.05 % de β - mercaptoéthanol.



a



b

Figure 12 : préparation de l'extrait éthanolique (original 2023).

L'extrait est ensuite centrifugé pendant 20 minutes à 15000 tours / min à 4 ° C. La quantité de protéines présentes dans le surnageant a été dosée suivant la méthode de Bradford (1976). A 100 µL d'extrait de surnageant protéique sont ajoutés 3 mL du réactif de Bradford. La DO est lu, ensuite, à 595 nm.

II.6.3 Dosage des composés phénoliques totaux :

Pour le dosage des composés phénoliques une extraction méthanolique de matière végétale doit être effectuée selon la méthode suivante :

- Broyage d'environ 400 mg de MVS à 50 ° C dans 50 ml de méthanol à 80 %.
- Macération pendant 24 h à l'obscurité.
- Centrifugation à 6000 tours / minutes.



a



b

Figure 13 : préparation de l'extrait méthanolique (original 2023).

La teneur en composés phénoliques totaux (CPT) est déterminée selon la méthode spectrophotométrique de Singleton et al. (1999) rapportée par Paras et Hardeep (2010), en utilisant le réactif de Folin - Ciocalteu qui est constitué d'acide phosphotungstique

(H3PW12O40) et d'acide phosphomolybdique (H₂PMo₁₂O₄₀). Ces acides peuvent être réduits par les composés phénoliques, en milieu alcalin, en oxydes bleus de tungstène (W₁₂O₄₂) et de molybdène (Mo₁₂O₄₂). L'intensité de la couleur est proportionnelle à la teneur en composés phénoliques totaux. A 200 µL d'extrait méthanolique préparé, on ajoute 1,5 ml de réactif de Folin - Ciocalteu dilué 10 fois. Après 5 min d'incubation à 25 ° C, 1,5 ml de carbonate de sodium à 60 g / L sont ajoutés. L'absorbance est lue à 725 nm par un spectrophotomètre UV - visible (Shimadzu, mini - 1240, Chine) après incubation à l'obscurité et à la température ambiante pendant 90 min. L'acide gallique est utilisé comme standard et les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique par g de matière sèche.

II.6.4 Dosage des flavonoïdes totaux (FT) :

La teneur en flavonoïdes totaux (FT) est déterminée selon la méthode de Lamaison et Carnat (1990) décrite par Djeridane et al. (2006), où 1 ml d'extrait est mélangé avec 1 ml de chlorure d'aluminium méthanolique à 2 %. Les ions Al³⁺ du chlorure d'aluminium (AlCl₃) se fixent sur les atomes d'oxygène présents sur les atomes de carbone 4 et 5 d'un flavonoïde.



Figure 14 : Mélange de chlorure d'aluminium (original 2023).

Le complexe jaunâtre formé absorbe à 430 nm. L'intensité de la couleur de ce complexe est proportionnelle à la teneur en flavonoïdes. L'incubation est faite à la température ambiante pendant 15 min. L'absorbance est lue à 430 nm. Les résultats sont exprimés en mg équivalent de quercitine par g de matière sèche.

II.6.5 Mesure de la capacité anti- oxydante non enzymatique totale (CANET) :

La capacité anti - oxydante non enzymatique totale (CANET) d'extrait de feuilles a été estimée par la méthode de Prieto et al, (1999). Un échantillon de 20 mg de feuille est broyé dans 1 ml de méthanol pur. Ensuite, les extraits sont été mis à macérer à 4 ° C pendant 1 h, sous agitation. Dans des tubes Eppendorf, 300 µl d'extrait d'échantillon sont mélangés à 3 ml de réactif au molybdate d'ammonium.

Les tubes sont, ensuite incubés au bain - Marie à 95 ° C pendant 90 min. Après refroidissement du mélange à température ambiante, l'absorbance (D.O) de la solution est mesurée à 695 nm. La CANET est exprimé en mg équivalents d'acide ascorbique par g de MVF. A cet effet, une courbe d'étalonnage d'acide ascorbique à 300 µg.ml⁻¹ est tracée.

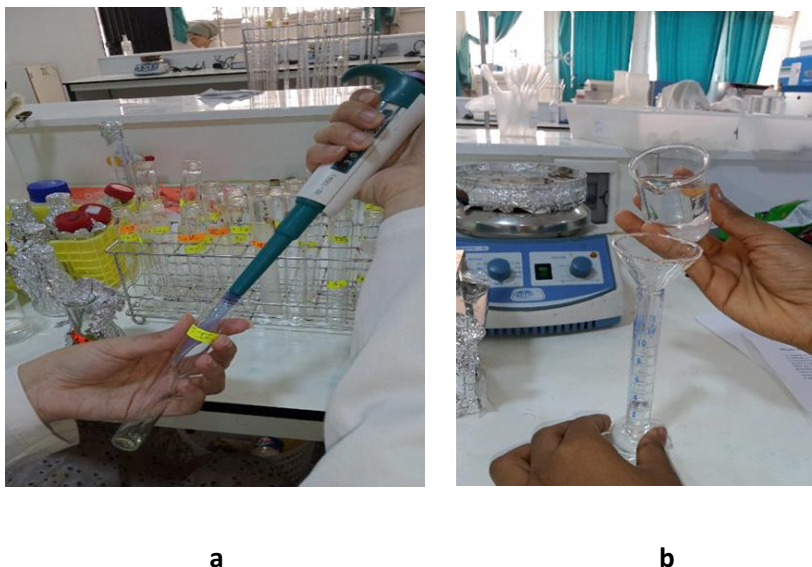


Figure 15 : préparation de mélange de molybdate d'ammonium (original 2023).

Résultats

III. Les Résultats

Nous avons tenté dans cette partie d'exposer les résultats obtenus suite à l'apport de différents fertilisants d'origine nature aux plants de millet. Le suivit c'est dérouler le long de la période printano-estivale. Après une période hivernale consacré à la préparation du jus de lombricomposte.

Des mesures morphologiques (longueur de la partie aérienne et sous terrain. poids frais et sec) ainsi que des mesures phytochimiques (Chlorophylle. Flavonoïdes totaux. Capacité des antioxydants enzymatiques totaux. Protéines hydrosolubles. Phénoliques totaux) on fait l'objet de cette étude. En plus des mesures physiques du sol support (PH. conductivité).

III.1 Etude de l'effet des biofertilisants (sous l'effet du lombricomposte et du lombricomposte fermenté) sur les paramètres morphologiques (la longueur. poids) :

III.1.1 Etude de la croissance en longueur du mil :

a) Partie foliaire :

La présentation graphique en courbes et histogramme des relèves foliaires prise le long des trois mois d'étude sont exprimé dans la figure ci-dessous.

Les graphes présentent les résultats temporels de la croissance en longueur aérienne du mil sous l'effet de VLC et VLC.F. Elle montre un croisement continue de la longueur de partie aérienne et le bloc VLC et bloc VLC.F présentent les résultats les plus importantes par rapport au témoin qui présente la valeur la plus basse

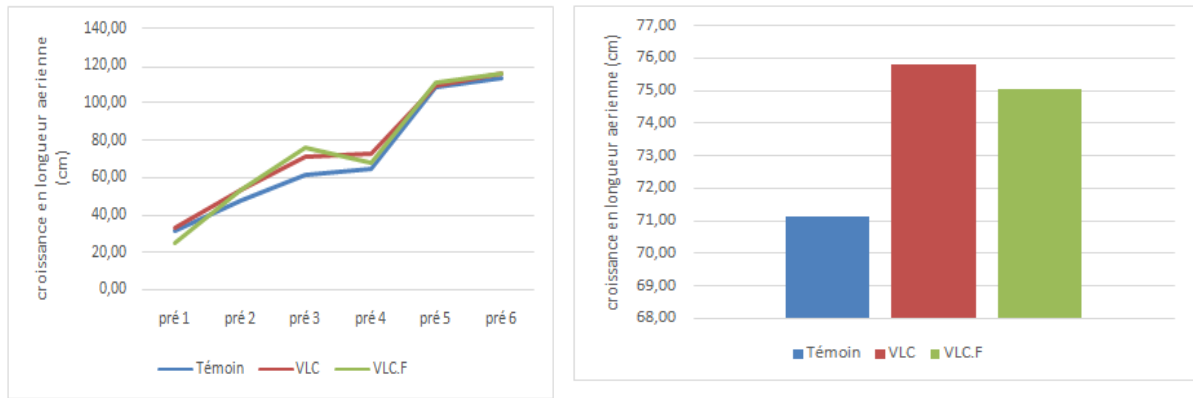


Figure 16 : Effet des traitements sur la croissance de partie foliaire de la plante *pennisetum glaucum L.*

(P : prélèvement. T : témoin. VLC : vermicomposte, VLC fermenté : vermicomposte)

b) Longueur de la partie sous terrain :

Les graphes présentent les résultats temporels de la croissance en longueur racinaire du mil sous l'effet de VLC et VLC.F. Elle montre une gradation temporelle positive chez les trois blocs Témoin, VLC, VLC.F. La croissance la plus importante présente chez le bloc VLC par rapport au bloc VLC .F qu'été presque stable au cours de du cycle de développement. Par contre le bloc témoin présente les résultats les plus faibles et une diminution en croissance des racines.

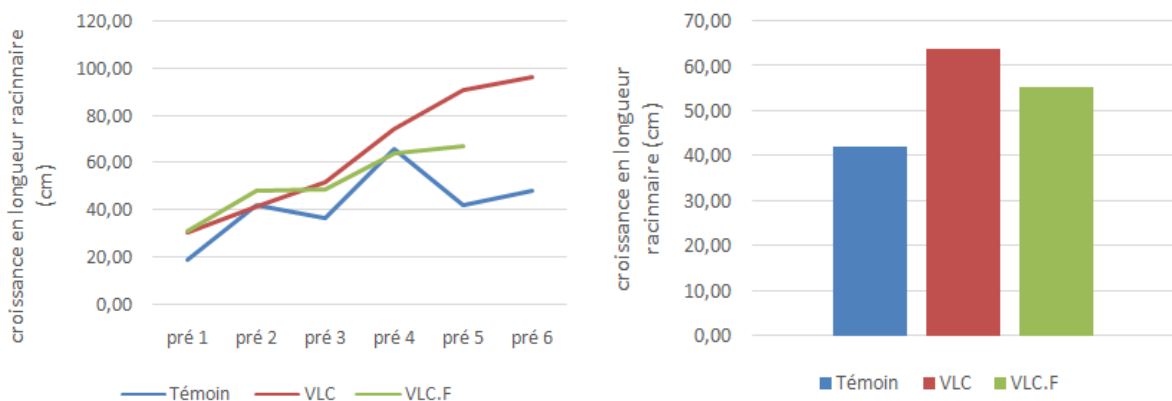


Figure 17 : Effet des traitements sur la croissance de partie racinaire de la plante *pennisetum glaucum L.*

(P : prélèvement. T : témoin. VLC : vermicomposte, VLC fermenté : vermicomposte)

III.1.2 Etude de la croissance en poids du mil :

a) Poids frais de la partie foliaire :

La présentation graphique en courbes et histogramme des relèves foliaires en poids prise le long des trois mois d'étude sont représenté ci-dessous :

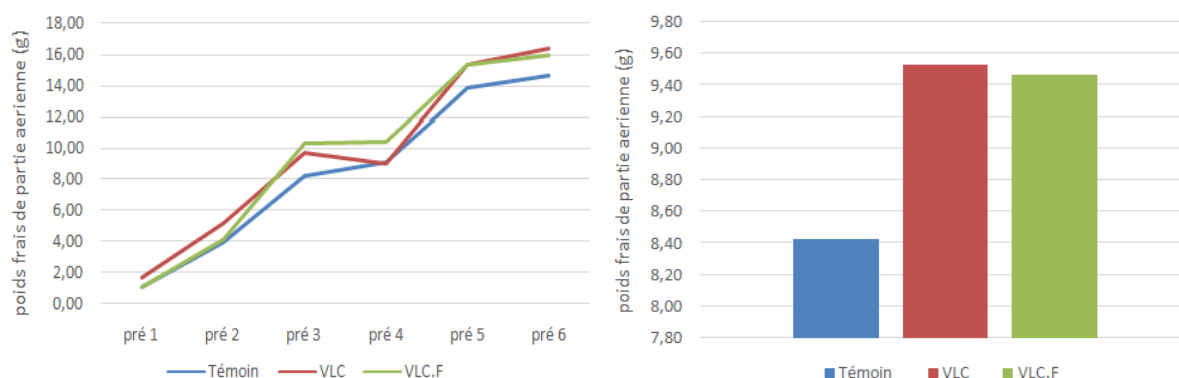


Figure 18 : Effet des traitements sur la croissance de poids frais de partie foliaire de la plante *pennisetum glaucum L.*

(P : prélèvement. T : témoin. VLC : vermicomposte, VLC fermenté : vermicomposte)

Les profils temporels de la biomasse fraîche montrent un croisement continu du poids de la partie aérienne des plantes du mil soumis aux différents traitements. Le bloc VLC et VLC.F affichent presque la même variation temporelle de la biomasse fraîche avec des résultats plus importants que le bloc témoin qui présente les résultats les plus faibles.

b) Poids frais de la partie racinaire

La présentation graphique en courbes et histogramme des relèves racinaire en poids prise le long des trois mois d'étude exprime une tendance finale croissante en faveur du VLC formulé méthanologique comparé au deux autres traitements appliqués.

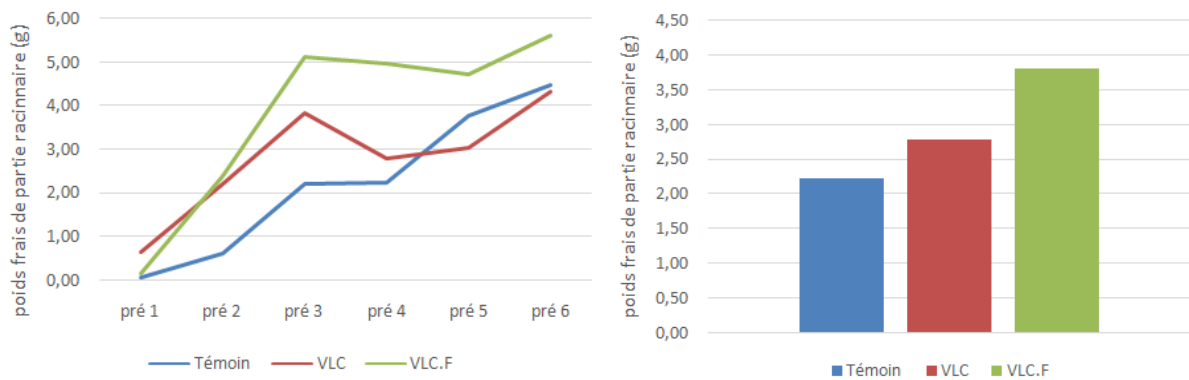


Figure 19 : Effet des traitements sur la croissance de poids frais de partie racinaire de la plante *pennisetum glaucum L.*

(P : prélèvement. T : témoin. VLC : vermicomposte, VLC fermenté : vermicomposte)

Le résultat obtenu montre un accroissement continu de la biomasse fraîche de racines du mil. Le bloc VLC.F présente les résultats les plus remarquables avec des valeurs importantes. Tandis que le bloc VLC et bloc témoins montrent des résultats faibles.

III.1.3 L'effet vermicomposte et vermicomposte formulé sur le poids sec du mil :

a) Partie aérienne :

La présentation graphique en courbes et histogramme des relevés en poids sec du plan entier prise le long des trois mois d'étude exprime une tendance finale croissante en faveur du deuxième traitement comparé deux autres traitements appliqués.

Les résultats montrent que les plants soumis aux différents traitements affichent presque la même variation temporelle de la biomasse sèche de partie aérienne du mil.

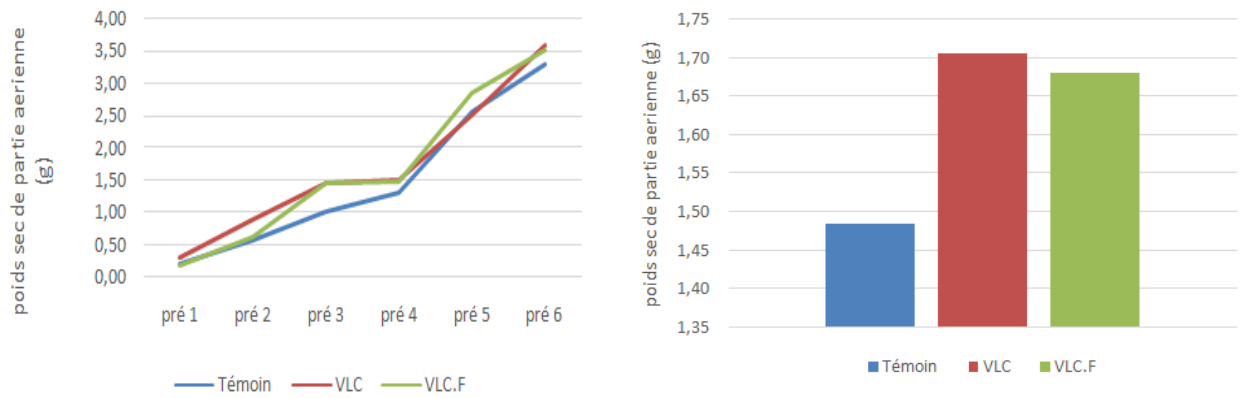


Figure 20 : Effet des traitements sur la croissance de poids sec de la partie aérienne de la plante *pennisetum glaucum L.*

(P : prélèvement. T : témoin. VLC : vermicomposte, VLC fermenté : vermicomposte)

b) Partie racinaire :

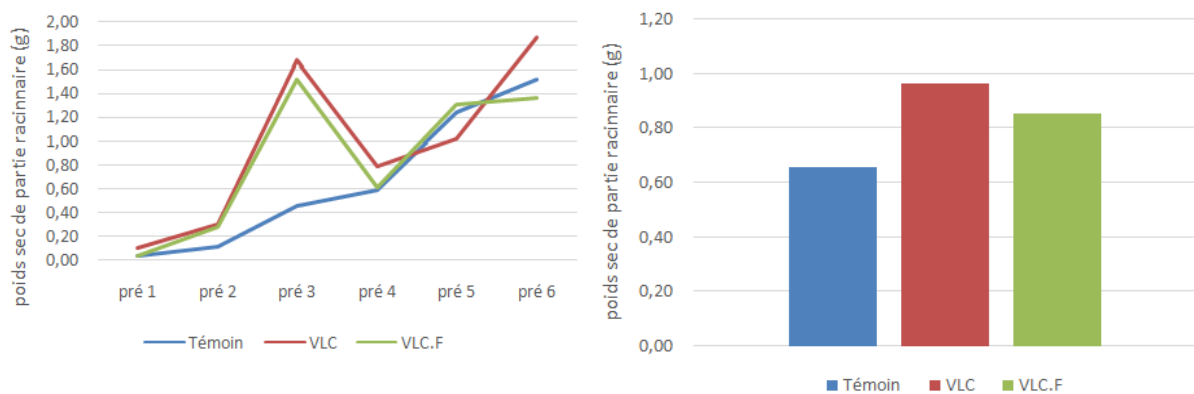


Figure 21 : Effet des traitements sur la croissance de poids sec de la partie racinaire de la plante *pennisetum glaucum L.*

(P : prélèvement. T : témoin. VLC : vermicomposte, VLC fermenté : vermicomposte)

Le résultat obtenu affiche une gradation temporelle positive de biomasse sèche de racines. Le bloc VLC et bloc VLC.F signalent les valeurs les plus importants, tandis que bloc témoins présente des valeurs basses.

III.2 Effet des biofertilisants (VLC/VLCF) sur les paramètres phytochimiques du mil :

III.2.1 Dosage chlorophylle :

Les résultats temporels de l'accumulation de chlorophylle montrent que les plants soumis aux traitements de VLC et VLC.F présentes une quantité importante de chlorophylle total par rapport au les plantes de bloc témoin.

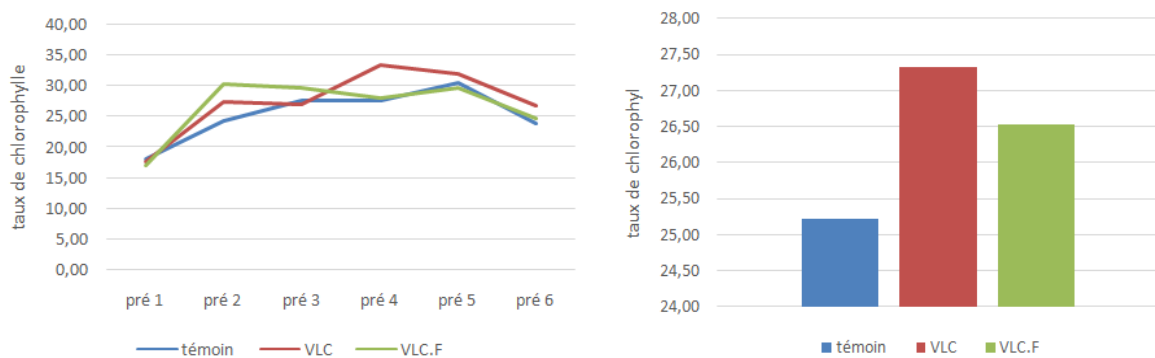


Figure 22 : Effet des biostimulants sur la teneur de chlorophylle dans la plante *pennisetum glaucum L.*

(P : prélèvement. T : témoin. VLC : vermicomposte, VLC fermenté : vermicomposte)

III.2.2 Etude des fluctuations des composés phénoliques totaux :

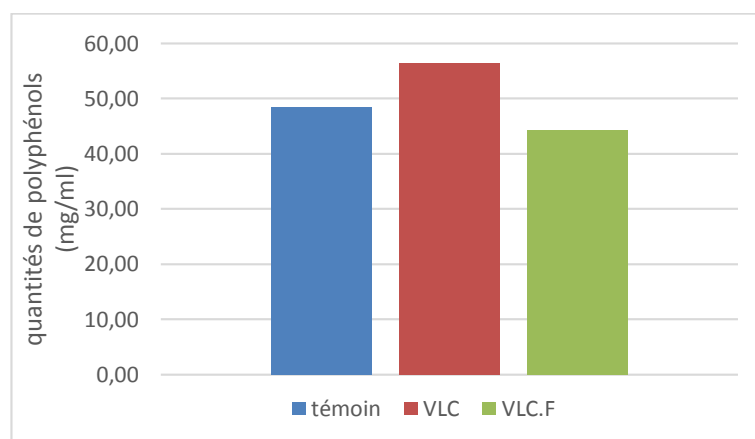


Figure 23 : Effet des biostimulants sur la teneur de polyphénol dans la plante *pennisetum glaucum L.*

(P : prélèvement. T : témoin. VLC : vermicomposte, VLC fermenté : vermicomposte)

Les graphes présentent les résultats d'effet de traitements VLC et VLC.F sur la synthèse des polyphénols. Elle montre que le bloc VLC et bloc témoin présente les résultats les plus importants. Tandis que les résultats de bloc VLC.F été les moins importants

III.2.3 Mesure de la capacité des antioxydants enzymatiques totale :

Les graphes présentent les résultats d'effet de traitements VLC et VLC.F sur la synthèse des antioxydants. Le bloc VLC affiche les valeurs plus élevées par rapport au bloc VLC.F qui montre des valeurs moine importants. Les résultats les plus faibles ont-ils marquées au niveau de bloc témoin.

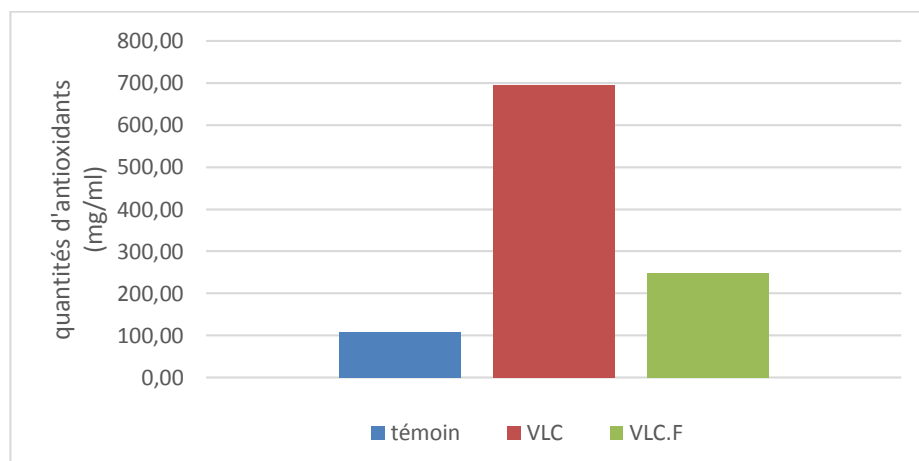


Figure 24 : Effet des biostimulants sur la teneur des antioxydants dans la plante *pennisetum glaucum L.*

(P : prélèvement. T : témoin. VLC : vermicomposte, VLC fermenté : vermicomposte)

III.2.4 Etude des fluctuations des flavonoïdes totaux :

Les graphes présentent les résultats temporels de l'effet de traitements VLC et VLC.F sur la synthèse des flavonoïdes .Elle montre un développement irrégulier de quantité de flavonoïdes et le bloc VLC et le bloc VLC.F présentent des résultats très faibles par rapport au témoin.

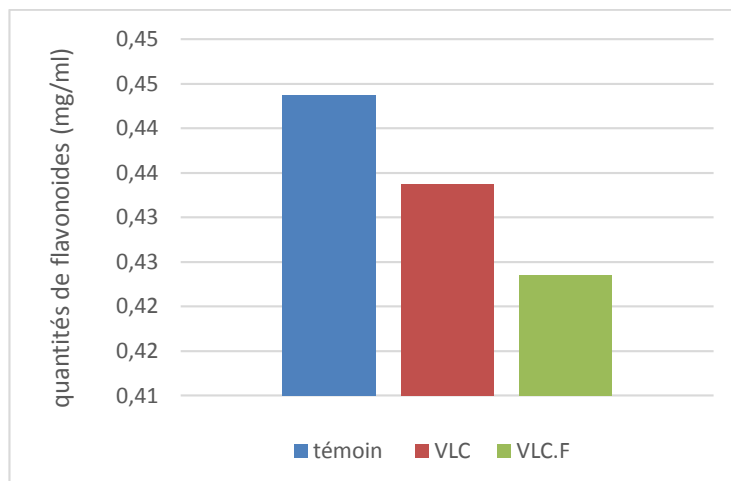


Figure 25 : l'effet des biostimulants sur la teneur des flavonoïdes dans la plante *pennisetum glaucum L.*

(P : prélèvement. T : témoin. VLC : vermicomposte, VLC fermenté : vermicomposte)

III.2.5 Fluctuation des protéines hydrosolubles totales :

Les graphes présentent les résultats temporels de l'effet de traitements VLC et VLC.F sur la synthèse des protéines. Et le bloc VLC.F présente les résultats les plus importantes par rapport au témoin et le bloc VLC qui présente la valeur la plus basse.

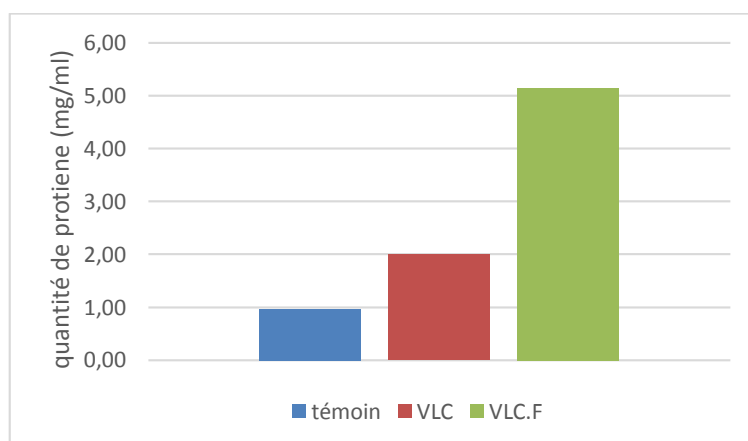


Figure 26 : l'effet des biostimulants sur la teneur des protéines dans la plante *pennisetum glaucum L.*

(P : prélèvement. T : témoin. VLC : vermicomposte, VLC fermenté : vermicomposte)

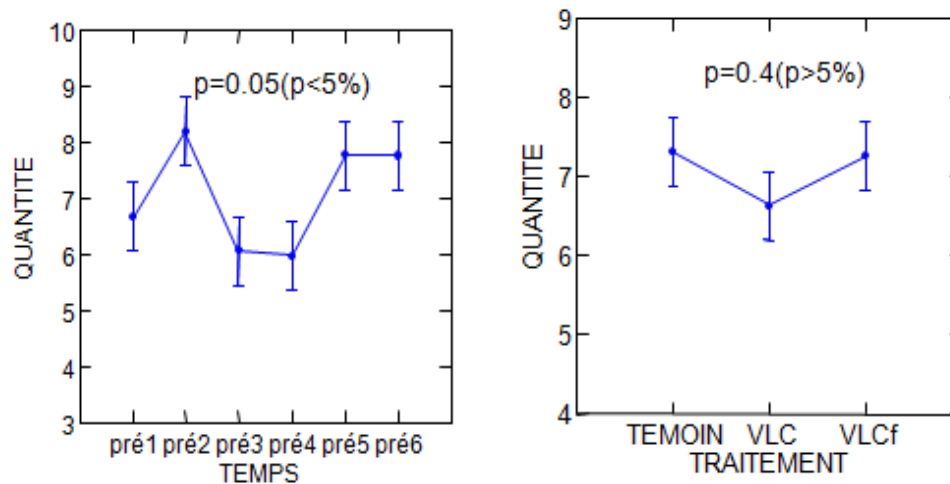
III.3 L'effet des biofertilisants sur les paramètres physico-chimiques des sols :

III.3.1 Le PH et la conductivité du sol

Les résultats montrent une stabilité de pH dans le bloc témoin et bloc VLC.F. Par contre le bloc VLC présente une diminution importante avec des valeurs plus faibles.

Les profils temporels montrent une fluctuation de conductivité de sol dans les trois blocs témoin, VLC, VLC.F. Et le bloc VLC présente la valeur la plus faible par rapport au témoin et VLC.F.

La confrontation des résultats au modèle général linéaire montre une variation significative du potentiel hydrogène et de la conductivité dans le temps, alors que les traitements n'exercent aucun effet significatif sur ces fluctuations.



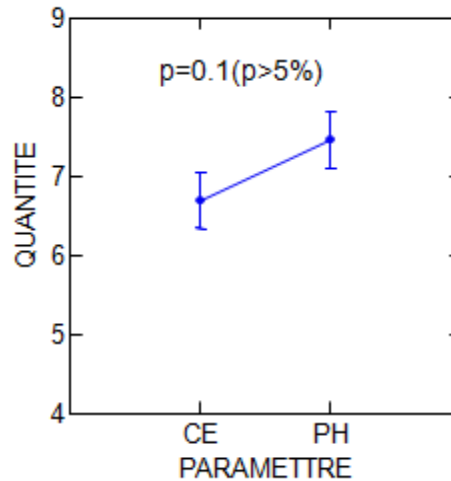


Figure 27 : Fluctuations du PH et de CE.

(PH : potentiel hydrogène. CE : conductivité, VLC : vermicomposte, VLCf : vermicomposte fermenté,)

III.4 Détermination des corrélations présente entre les différents paramètres étudiés

La comparaison des résultats obtenus par une corrélation via le logiciel systat, révèle l'existence de liens entre les différents paramètres étudiés.

Nous constatons une corrélation négative entre les flavonoïdes et le PH de la solution du sol. Cependant plusieurs corrélations positives se sont exprimé à travers le tableau ci-dessus notamment la corrélation du poids frais avec le poids sec, chlorophylle, et la longueur des plants. Aussi une corrélation positive marginalement significative s'affiche pour la Canet avec les polyphénols.

Tableau 3 : corrélation entre les différents paramètres expérimentés (original,2023).

	Poids frais	poids sec	Longeur	Chlorophyle	PH	CE	polyphénols	flavonoides	canet	proteines
Poids frais		4,40E-07	7,04E-05	0,0020397	0,95007	0,12147	0,60104	0,23601	0,11462	0,96496
poids sec	0,96413		0,00025	0,0077047	0,93793	0,10983	0,86834	0,31329	0,03176	0,86785
Longeur	0,8988	0,86791		6,26E-05	0,34399	0,25956	0,38796	0,94115	0,34794	0,93305
Chlorophyle	0,79408	0,72444	0,90124		0,19807	0,7094	0,13839	0,89854	0,65946	0,90217
PH	0,020299	-0,02524	-0,29967	-0,39963		0,81098	0,367	0,031002	0,32595	0,94682
CE	-0,47182	-0,48521	-0,35356	-0,12038	0,07742		0,27766	0,43262	0,25922	0,52765
polyphénol	-0,16831	-0,05371	-0,27447	-0,4538	0,28628	-0,34126		0,93712	0,082208	0,27169
flavonoide	-0,37034	-0,31831	0,02393	0,041322	-0,62144	0,25032	-0,02557		0,28266	0,9844
canet	0,47959	0,61926	0,29734	0,14214	0,31051	-0,3538	0,52129	-0,33794		0,8292
proteines	0,014243	0,053905	-0,02723	-0,039838	-0,02162	-0,20263	-0,34527	0,0063414	-0,069855	

Discussion

IV. Discussion

Le développement de la fertilisation constitue l'un des éléments clés de la révolution agricole. Toutefois, dans la plupart des pays du tiers monde, le niveau de fertilisation demeure nettement insuffisant. C'est particulièrement préoccupant en Algérie, où l'utilisation excessive d'engrais chimiques et la réduction de la période de jachère sont responsables de la dégradation des sols et de l'environnement. Par conséquent, il est impératif d'élaborer des stratégies agricoles plus durables.

La fertilisation joue un rôle crucial dans l'amélioration des rendements agricoles. Cependant, il est essentiel de l'évaluer correctement afin de l'optimiser du point de vue économique. Dans cette perspective, la présente étude vise à mettre en évidence l'impact des différents types de vermicompost sur les caractéristiques de croissance et de production, ainsi que sur les paramètres physiologiques du mils.

Les résultats de cette étude permettront d'évaluer l'effet des divers types de vermicompost sur les phases du cycle végétatif du mil. Cette démarche s'inscrit dans une volonté de promouvoir des pratiques agricoles plus durables et respectueuses de l'environnement.

IV.1 Effets des biofertilisants sur les paramètres physiologiques du mil :

Nos résultats affichent que les traitements par VLC et VLC.F ont un effet remarquable sur la synthèse chlorophyllienne en comparaison au témoin. Les résultats obtenus nous permettent d'avancer l'hypothèse que le VLC est riche en élément minéraux et organique qui permet une production plus importante de l'activité photosynthétique. L'hypothèse avancée, rejoint celle de (Bañón, Alonso-Fernández, & Quigley, 2012), qui indiquent que la teneur plus élevée en pigments foliaires observée dans les plantes traitées avec le compost était probablement due à un état nutritionnel amélioré des plantes. Plus précisément, ce résultat pourrait être dû à la

plus grande disponibilité de l'azote, connu pour faire partie intégrante des molécules de chlorophylle (outre les acides aminés, les acides nucléiques, les phosphatides, les alcaloïdes).

Concernant l'effet des traitements sur la synthèse des polyphénols et antioxydants, les taux les plus importants sont enregistrés sous bloc de VLC. Les résultats également signalent que les plants traités par VLCF exposent un Impact significatif sur la synthèse des protéines solubles.

Par visualisation des fluctuations des métabolites primaires et secondaires sous l'effet de différents types de vermicompost, nous estimons que la composition de différents types de vermicompost agit sur l'enrichissement du contenu métabolique. On se basant sur l'hypothèse avancée, nous pouvons l'accorder avec les travaux de plusieurs chercheurs dont ils signalent que l'effet stimulateur du vermicompost sur la production des métabolites secondaires peuvent être liés à l'amélioration de la nutrition minérale ou l'amélioration de l'activité photosynthétique (R. Amooaghaie, 2017). Le vermicompost contient des substances bénéfiques pour la croissance des plantes, le rendement et la qualité nutritionnelle, notamment les acides humiques, l'acide fulvique, d'autres acides organiques, des auxines et des cytokinines (Khan , Meghvansi , & Gupta , 2015). De plus, le lombricompost enrichit la couche assimilable du sol, augmentant ainsi la réserve de matière organique du sol. Comparé au sol environnant, le lombricompost est cinq fois plus riche en azote disponible pour les plantes, sept fois plus riche en phosphate soluble, onze fois plus riche en potasse et deux fois plus riche en magnésium (Anonyme, 2017).

IV.2 Effets des biofertilisants sur les paramètres morphologiques du mil :

Les résultats concernant la croissance en longueur de la partie aérienne et souterraine des plants du mil affichent nettement une gradation temporelle positive sous l'effet du VLC et de VLC.F. En revanche, le traitement de VLC et celui de VLC.F enregistrent un effet similaire dans lequel un effet significatif positif sur l'évolution du poids frais de la partie aérienne et du poids sec des parties aériennes et souterraines.

Les résultats concernant le poids frais des racines affichent nettement une gradation temporelle positive sous l'effet du VLC et du VLC.F par comparaison au témoin, mais le traitement VLC.F donne l'effet le plus fort avec des valeurs importantes.

L'hypothèse formulée à partir de ces observations est la suivante : Les biofertilisants riches en azote et en hormones stimulent la multiplication du parenchyme, ce qui conduit à une augmentation de la croissance de la phytomasse des plantes. Selon El Hassani (1986), la production de phytomasse, notamment l'origine des futurs organes de la plante tels que les feuilles, les tiges et les racines, débute dans la zone de croissance active caractérisée par une division cellulaire intense au niveau des méristèmes apicaux. Le stade final de cette activité méristématique est l'initiation des primordia de feuilles et d'autres organes, qui sont des précurseurs de ces organes.

Ces conclusions rejoignent celles de (Danso, 1978), qui indiquent que parmi les éléments nutritifs apportés aux cultures, l'azote est souvent le plus crucial, contribuant parfois jusqu'à 75 % de l'augmentation observée des rendements. En effet, l'azote joue un rôle essentiel dans le développement et la croissance de toutes les parties de la plante, notamment les feuilles, les tiges et les racines. Il est un composant clé des acides aminés, qui forment les protéines, et il est essentiel à la constitution des cellules et à la photosynthèse (formation de la chlorophylle). L'azote est le principal facteur de croissance des plantes et influe sur la qualité en influençant le taux de protéines dans les végétaux. De plus, il exerce des effets positifs sur les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol, ainsi que sur l'absorption des éléments nutritifs (R. Amooaghaie, 2017).

L'augmentation des paramètres de croissance pourrait également s'expliquer par l'amélioration de l'efficacité de la photosynthèse. De plus, l'azote stimule la croissance de la surface foliaire, des parties aériennes, du poids sec et frais, ce qui se traduit par une augmentation de la productivité (Atiyeh, 2000).

En résumé, cette hypothèse met en avant le rôle crucial de vermicompost dans la stimulation de la croissance des plantes, en influençant la division cellulaire, la photosynthèse, et d'autres aspects de leur développement.

IV.3 Effets des bio fertilisants sur les paramètres physio-chimiques du sol :

Les résultats montrent une stabilité de pH du sol dans le bloc VLC.F et le bloc VLC présente une diminution importante de pH, avec une gradation négative de conductivité de sol dans les trois blocs témoin, VLC, VLC.F. Le pH des différents blocs, présente une diminution. Cette baisse de pH du sol était due à la production de NH_4^+ , du CO_2 et des acides organiques au cours de la minéralisation des matières organiques par les communautés microbiennes (V & Akova, 2013).

Les résultats concernant la CE du sol affichent nettement une gradation temporelle négative sous l'effet de deux traitements testés. Cependant, cette réduction est temporaire et les valeurs enregistrées deviennent similaires à celles signalées au niveau du témoin.

Conclusion et perspectives

V. Conclusion et perspectives

Notre travail s'inscrit dans le contexte de la fertilisation des plantes en utilisant des méthodes respectueuses de l'environnement et de la santé humaine. Cela se fait en exploitant des produits naturels tels que le vermicompost et vermicompost fermenté, que nous appliquons dans notre cas par pulvérisation foliaire sur les plants de mil.

Le présent travail est mené dans le but d'évaluer l'effet de ces biofertilisants sur les paramètres morpho-physiologiques du mil. Nos résultats montrent une efficacité de ces bio-produits sur l'aspect morpho-physiologique, phytochimique de la plante et physico-chimique du sol.

Le traitement VLC présente un meilleur effet sur la longueur des parties aériennes et souterraines et le poids frais de parties aériennes, le poids sec de parties aériennes et souterraines, ainsi sur les paramètres phytochimiques dont la chlorophylle, les polyphénols et antioxydants. Alors que le traitement de VLC.F a un effet sur le poids sec de parties aériennes et souterraines. Sur le poids frais de parties aériennes et souterraines, ainsi sur la synthèse de protéine. Tandis que, aucun effet sur le pH, la conductivité et la production de flavonoïdes n'a été enregistré par aucun de ces deux traitements.

L'ensemble de ces résultats nous permet de supposer que la présence de vermicompost stimule favorablement et d'une manière précoce la défense naturelle de mil ce qui aide la plante à résister aux facteurs biotiques et abiotiques par les métabolismes de la plante.

Par ailleurs, les résultats relatifs aux paramètres physiologiques exposent une importante accumulation en chlorophylle totale sous l'effet de VLC, contrairement au VLC.F.

En terme de perspectives, il serait utile d'exploiter tous les résultats obtenus pour élaborer des recommandations visant à encourager et à développer l'utilisation d'extraits de vermicompost et même de divers types de vermicompost en milieu agricole, pour améliorer la productivité de cette culture et pour atténuer les problèmes des cultures céréalière dans Algérie et dans le monde entier.

Références

- Schvartz, D., Decroux, J., & Muller, J. (2005). *Guide de la fertilisation raisonnée: grandes cultures et prairies*. Paris: France Agricole.
- Adhikary, S. (2012). vermicompost, l'histoire du l'Or organique . *Agricultural Sciences*, 3(7), 905-917. Récupéré sur <http://dx.doi.org/10.4236/as.2012.37110>
- Anderson, E., & Martin, H. (1949). World production and consumption of millet and sorghum. *Economic Botany*, 3(3), 265-288.
- Andrea, A., & Casey, J. (2002). Le millet perlé et la subsistance du Kintampo. *African Archaeological*, 19, 147- 173.
- Andrews , D., & Kumar , K. (1992). Millet perlé pour l'alimentation humaine et animale et le fourrage. *Advances in Agronomy*, 48, 89-139.
- Ati , H., Aba, D., Ishiyaku, M., & Katung, M. (2015). Évaluation sur le terrain de certains génotypes de Pearl Mil pour la résistance et le rendement du mildiou (*Sclerospora graminicola*). *Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)*, 8(6), 01-06.
- Aziza, M. (2006). La lutte contre les effets néfastes des changements climatiques. *Bulletin des énergies renouvelables*, 9, 10-11.
- AZOUZI , D., & LAKSACI , L. (2014). *Effet d'un traitement thermique sur les polyphenols du millet et leur pouvoir antioxydant*. Mém, ADRAR. Algérie.
- Bañón, R., Alonso-Fernández, A., & Quigley, D. T. (2012). Unusual shallow inshore records of Cornish blackfish *Schedophilus medusophagus* (Stromateoidei: Centrolophidae) from Galician waters (NW Spain). 53(2), pp. 271-277.
- Bantilan , M., Deb , U., & Parthasarathy , R. (2004). *Scénario de production mondiale de sorgho*. Patancheru.
- Barik, T., Gulati, J., Garnayak, L., & Bastia, D. (2011). Production de vermicompost d'apres déchets d'agriculture . 31(3), 172–183.
- Belaiche, Z. (2017). *capacité du vermicompost à atténuer les effets d'un stress salin chez le haricot (phaseolus vulgaris L.)*. Mém, Univ. Saad dahleb. blida. Algérie.
- Bessaoud, O., Pellissier, J., Rolland, J., & Khechimi, W. (2019). *Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie*. Récupéré sur <https://hal.science/hal-02137632>
- Boulal, H., Zoghouane, O., el Mourid, M., & Rezgui, S. (2007). *guide pratique*.

- Bouzou, I. (2009). *Evaluation de l'effet du compost enrichi avec des urines hygiénisées sur la culture du mil*. Mém, Niamey.
- Burton, G., Wallace, A., & Rachie, K. (1972). Composition chimique et valeur nutritive du millet perlé (*Pennisetum typhoides* (Burm.)). *Stapf and E.C. Crop Sci*, 12, 187-188.
- Canellas, L., Olivares, F., Okorokova, A., & Facanha, R. (2002). Les acides humiques isolés du compost de vers de terre améliorent l'allongement des racines, l'émergence des racines latérales et l'activité H⁺-ATPase de la membrane plasmique dans les racines de maïs. *Journal of Plant Physiology*, 130, 1951-1957.
- Christain, D. (2017). De la domestication du mil aux récoltes de grains excédentaires : données archéologiques associées. *Bulletin Mensuel de la Société Linneenne de Lyon*, 86(1-2), 3-18.
- Danso, G. D. (1978). *Nitrogen research for perennial crops* (Vol. 2).
- Devi, P., Vijayabharathi, R., Sathyabama, S., Malleshi, N., & Priyadarisini, V. (2017). Avantages pour la santé des polyphénols et des fibres alimentaires de l'éleusine (*Eleusine coracana* L.). *J. Food Sci. Technol*, 51, 1021-1040. doi:DOI: 10.1007/s13197-011-0584-9
- Edwards, C. (2004). *Écologie des vers de terre* (éd. CRC Press). FL, London, New York, Washington.
- Ekta, S., & Sarita. (2016). Implications fonctionnelles potentielles du mil des doigts (*Eleusine coracana*) sur les avantages nutritionnels, la transformation, la santé et les maladies. 2(1), 151-155.
- FAO. (1995). *Sorgho et mil dans l'alimentation humaine*.
- Feillet, P. (2000). *LE GRAIN DE BLÉ, Composition et utilisation*. (Inra, Éd.)
- FRITAS, S. (2012). *Etude bioécologique du complexe des insectes liés aux cultures céréalières dans la région de Batna*. Algérie.
- Fuller, D., Macdonald, K., & Vernet, R. (2007). *Premier millet perlé domestiqué à Dhar Nema (Mauritanie): preuve de déchets de traitement des cultures comme trempe céramique*. (F. o. Change, Éd.) Groningen: R. Cappers.
- Govindaraj, M., Selvi, B., & Sudhir Kumar, I. (2011). Études de la diversité génétique chez le mil perlé indigène [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] Accessions basées sur les caractères de qualité biométrique et nutritionnelle. *Indian J. Plant Genet*, 24(2), pp. 186-193.
- Hadhoud, Y., & Haffad, M. (2020). *Qualité nutritionnelle et sensorielle des biscuits préparés à base de millet*. Univ. Saad Dahleb. Blida.
- Hafida., R.-B. (2016). Quelques cultures stratégiques pour l'Algérie face aux changements climatiques: l'orge (*Hordeum vulgare* L.) et le mil [*Pennisetum glaucum* (L.) R.BR]. *Algerian journal of arid environment*, 6(1), 15-31.

- Hamadou, M., Idrissa, S., Mahamadou, C., Oumarou, S., & Valentin, K. (2017). Potentialités fourragères du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 34(2), 5424-5447. Récupéré sur <http://www.m.elewa.org/JAPS>
- Hiraoka, H., Misra, R., & Roy, R. (2005). *Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole*. Rome.
- IBPGR, & ICRISAT. (1993). *DESCRIPTEURS DU SORGHO [Sorghum bicolor(L) M o e n c h]*. Rome.
- KADRI , A., HALILOU , H., & KARIMOU , I. (2019). Culture du mil [*Pennisetum glaucum* (L) R. Br] et ses contraintes à la production. *International journal of biotechnology and chemical sciences*, 13(1), 503-524.
- Khan , M., Meghvansi , M., & Gupta , R. (2015). La pulvérisation foliaire avec vermiwash modifie la dépendance mychorizienne arbusculaire et la stoechiométrie nutritionnelle du bhut jolokia (*capsicum assamicum*). *plosonne .org*, 9(3), pp. 1-8.
- LATHAM, M. (2001). *La malnutrition dans les pays en développement, Organisation des Nations Unis pour l'Alimentation et l'Agriculture*. ROME: FAO.
- LELAALHE , M., & TIDJANI , O. (2021). *Céréales d'été dans le Sahara Algérien ; situation actuelle et perspectives*. Mém. Master, Univ. KASDI MERBAH, OUARGLA. Algérie.
- Lemgharbi , M., Belhadi , B., Souilah , R., Terbag , L., Djabali, D., & Nadjemi, B. (2016). Biodiversité du Millet perlé [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] dans le Sud algérien (Région du Hoggar). *American Journal of Plant Sciences*, 7, 1673-1684. Récupéré sur <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2016.712158>
- Lemgharbi, M., Belhadi, B., Souilah, R., Terbag, L., Djabali, D., & Nadjemi, B. (2017). Digestion de l'amidon dans la farine de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) de la zone aride d'Algérie. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 90, 126 - 131.
- Loumrem, M. (2004). *Etude de la variabilité des populations de mil (Pennisetum glaucum (L.) R. Br.) cultivées dans les régions arides tunisiennes et sélection de variétés plus performantes*. PHD, Faculté d'agronomie de Gent.
- Maiti , R., & Bidinger , F. (1981). *Croissance et développement de la plante perlière*. Patancheru: Research Bulletin N°6.
- Marchais, L., & Tostain, S. (1993). Evaluation de la diversité génétique des Mils (*Pennisetum glaucum*, (L.) R. BR.) au moyen de marqueurs enzymatiques et relation entre formes sauvages et cultivées. (L. m. l'agriculture, Éd.) Montpellier.
- Martel, E., De Nay, D., Siljak-Yakovlev, S., Brown, S., & Sarr, A. (1997). Genome Size Variation and Basic Chromosome Number in Pearl Millet and Fourteen Related *Pennisetum* Species. *Journal of Heredity*, 88, 139-143.
- MARTIN , C., & BRATHWAITE , R. (2012). compost et thé de compost : principes et perspectives en tant que substrats et stratégies de gestion des maladies transmises par le sol dans la production de légumes hors sol. *biological agriculture & horticulture*, 28, 1-33.

- Mbaye, D. (1993). *Contraintes phytosanitaires du mil dans le sahel : Etat des connaissances et perspectives*. (S. H, Éd.) Paris : ORSTOM.
- McDonough , C., Rooney, L., & Serna-saldivar , S. (2000). *le mil*. (M. Dekker, Éd.) New York: Handbook of Cereal Science and Technology. Kulp K, Ponte Jr.
- MOKRANE, H., BIBI, R., AMOURA, H., BRIJS, K., BELHANECHÉ-BENSEMRA, N., & NADJEMI, B. (2019). LE MIL PERLE ALGERIEN *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.: *Algerian journal of arid environment*, 9(1), 57-70.
- Moumouni, K. (2014). *Construction d'une carte génétique pour le mil, Pennisetum glaucum* (L.) R.Br, *par une approche de génotypage par séquençage (GBS)*. Mém, Université de Laval de Québec, Québec.
- NANI, A. (2011). *Etude de quelques effets métaboliques du millet Pennisetum glaucum chez les rats diabétiques*. Mém, Univ. Abou Bekr Belkaïd-Tlemcen. Algérie.
- Nasri, F., & Elhamdi, H. (2021). *Préparation et caractérisation physico-chimiques d'une émulsion O/W à base d'huile de grains de millet*. Mém, Université Ahmed Draïa Adrar.
- Neumann, K. (2005). *Le romantisme de l'agriculture : culture des plantes et domestication en Afrique*. (A. Stahl, Éd.) Oxford: African Archaeology A Critical Introduction.
- Pantulu, J. (1960). Accessory chromosomes in *Pennisetum typhoides*. *Current Sciences*, 29, 28-29.
- Pathak, R., Gupta, A., Shukla, R., & Baunthiyal, M. (2018). Identification de nouveaux composés de type médicament à partir de mils en tant qu'inhibiteurs de la xanthine oxydoréductase pour le traitement de l'hyperuricémie : une étude d'amarrage moléculaire et de simulation. *Computational Biology and Chemistry*, 76, 32– 41.
- Pernes , J., Berthaud , J., Bezançon , G., Charrier , A., Combes, D., LeBlanc, J., . . . Second, G. (1984). *Le mil*. (G. d. plantes, Éd.) Monographies.
- Petit , J., & Jobin, P. (2005). *La fertilisation*. La Fédération d'agriculture biologique du Québec.
- Powel, J., & Burton, G. (1966). Chromosomes miniatures à fragments centrés dans du millet perlé traité par mutagène. *Pennisetum typhoïde*. *Crop Sciences*, 6, 590-593.
- R. Amooaghaie, S. G. (2017). Effect of Vermicompost on Growth, Essential Oil, and Health of *Thymus Vulgaris*. 25(2), pp. 1-12.
- R.M, A. (2000). Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of green house tomatoes. *Bioresource Technology*, 75, pp. 175-180.
- Rachie, R. (1975). *LES MILLETS IMPORTANCE, UTILISATION ET PERSPECTIVES*. INTERNATIONAL CROPS RESEARCH INSTITUTE FOR THE SEMI-ARID TROPICS.
- Radhouane, L. (2015). L'histoire évolutive de *Pennisetum Glaucum*. *NYAME AKUMA*, 80, 115-123.

- Rahal Bouziane, H., Mossab Bouaboub, K., Blama, A., & Hamdi, S. (2005). Les ressources fourragères des oasis du Touat, Gourara et Tidikelt: historique, inventaire et utilisation. *Séminaire International sur l'amélioration des productions végétales*, 292-294. (C. d. l'INA, Éd.)
- Rousset, N. (2007). *Le commerce international comme stratégie d'adaptation à la rareté des ressources hydriques; utilité et application du concept de commerce d'eau virtuelle en Afrique du Nord*. Note de travail, université de Grenoble, CNRS, Paris.
- Saïdou, A. (2011). *Etude moléculaire, évolution et caractérisation de gènes impliqués dans l'adaptation du mil [Pennisetum glaucum (L.) R. Br.] aux changements climatiques*. Montpellier: Thèse de doctorat, Montpellier SupAgro.
- smeesters, E., Chuinard, G., & Gagnon, S. (2001). *Méthodes alternatives à la lutte chimique*. Québec.
- Sokol-Letowska, A., Osmianski, J., & Wojdylo, A. (2006). Activité antioxydante du composé phénolique de l'aubépine, du pin et de la scutellaire. *pine and skull*, 103(3), 853–859.
- Soltner, D. (2003). *Les Bases de la production végétale* (éd. Sciences et Techniques Agricoles).
- Thakur, R., & King, S. (1988). *Maladie du charbon du mil perlé*. India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.
- Tostain, S. (1998). *Le mil, une longue histoire, hypothèses sur sa domestication et ses migrations*. (P. e. d'Afrique, Éd.) Paris.
- V, A., & Akova, V. (2013). The effect of organic amendments on soil chemical characteristics. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19(5), pp. 958-971.
- Vadez, V., Hash, T., Bidinger, F., & Kholova, J. (2012). phenotyping pearl millet for adaptation to drought. *plant physiology*, 3, pp. 1-12.
- Watson, L., & Dallwitz, M. (1992). *The Grass Genera of the World*. CAB International.
- Wilson, J., Sanogo, M., Nutsugah, S., Angarawai, I., Fofana, A., Traore, A., . . . Muuka, F. (2008). Évaluation du mil perlé pour le rendement et la résistance au mildiou dans sept pays d'Afrique subsaharienne. *African Journal of Agricultural Research*, 3(5), 371-378. Récupéré sur <http://digitalcommons.unl.edu/intormilpubs/33>.
- Zhang, T. (2015). Le ver de terre *Eisenia fetida* peut aider à dessaler un sol salin côtier à Tianjin, dans le nord de la Chine. *PLoS ONE*, 10(12). Récupéré sur <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144709>