



Université Mohamed Khider de Biskra

Faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de la vie

Département des sciences agronomiques

Référence / 2024

MÉMOIRE DE MASTER

Science de la Nature et de Vie

Science Agronomiques

Hydropédologie

Présenté et soutenu par : Cherif mouaki Bennani Messaouda

Le : /06/2024

Thème

Effet du compost et du biochar à base de palmes sèches sur le sol et la culture d'orge

Jury :

Boumaraf B	MCA	Université de Biskra	président
Boukhil K	MAA	Université de Biskra	examineur
Masmoudi. A	Pr	Université de Biskra	promoteur

Année universitaire 2023-2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

In The Name of ALLAH,
The Most Gracious and The Most Merciful

Remerciement

Je tiens à remercier Dieu Tout-Puissant de m'avoir donné la santé, le courage et la volonté de faire cet humble travail. Au terme de cette étude devant vous, je tiens à remercier mon promoteur, Mr. MASMOUDI A., d'avoir accepté de m'encadrer pour son suivi et ses précieux conseils, en plus du temps précieux qu'il m'a consacré.

Merci à tous les membres du jury d'avoir accepté le jugement de ce travail et d'avoir discuté de mon message.

Au terme de ce travail, je tiens à remercier tous les enseignants qui ont contribué à ma formation, et tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce travail.

Cherif mouaki Bennani Messaouda

Table des matières

Liste des tableaux	i
Liste des figures.....	ii
Liste des abréviations	iii
Introduction	1
Chapitre I : le compost et le biochar	3
I.1 Définition et caractéristique du compost et du biochar.....	3
I.1.1 Définition et caractéristiques du compost	3
I.1.1.1 Définition	3
I.1.1.2 Caractéristiques	3
I.1.2 Définition et caractéristiques de biochar	3
I.1.2.1 Définition	3
I.1.2.2 Caractéristiques	4
I.1.2.2.1 Les caractéristiques physiques	5
I.1.2.2.2 Les caractéristiques chimiques	5
I.2 Composition et processus de fabrication du compost et du biochar	5
I.2.1 Composition et processus de fabrication du compost	5
I.2.1.1 Composition du compost	5
I.2.1.2 processus de fabrication du compost	6
I.2.1.2.1. La phase mésophile	6
I.2.1.2.2. La phase thermophile	6
I.2.1.2.3. La phase de refroidissement (dite de ralentissement)	6
I.2.1.2.4. La phase de maturation	6
I.2.2 Composition et processus de fabrication du biochar	7
I.2.2.1 Composition du biochar	7
I.2.2.2 processus de fabrication du biochar	8
I.2.2.2.1 La pyrolyse	8

I.2.2.2.2 La gazéification	8
I.3 Intérêt de leur utilisation en agriculture	10
I.3.1 Intérêt de l'utilisation de composte en agriculture	11
I.3.2 Intérêt de l'utilisation de biochar en agriculture	11
Chapitre II : impact du compost et de biochar sur les paramètres de sol et sur la culture d'orge	12
II.1 Effet sur le sol	12
II.1.1 Effet de compost sur le sol	12
II.1.1.1 Effet sur les paramètres physiques du sol	12
II.1.1.2 Effet sur les paramètres chimiques du sol	13
II.1.1.3 Effet sur les paramètres biologiques du sol	13
II.1.2 Effet de biochar sur le sol	13
II.1.2.1 Effet sur les paramètres physiques du sol	13
II.1.2.2 Effet sur les paramètres chimique du sol	14
II.1.2.3 Effet sur les paramètres biologique du sol	14
II.2 Effet sur la plante	15
II.2.1 Réponse d'orge aux amendements organiques	15
II.2.2 Rendement et productivité	15
II.2.2.1 Effet de compost sur le rendement et la productivité	15
II.2.2.2 Effet de biochar sur le rendement et la productivité	15
II.2.3 Qualité nutritionnelle d'orge et sa relation avec la fertilisation	15
II.2.3.1. Effet de composte sur la qualité nutritionnelle d'orge et sa relation avec la fertilisation	15
II.2.3.1. Effet de biochar sur la qualité nutritionnelle d'orge et sa relation avec la fertilisation	16
Matériels et Méthodes	17
Matériels d'étude	17
1. Le sol	17

2. Les pots	17
3. Matériel végétal	17
4. Les amendements utilisés	18
5. L'eau d'irrigation	18
2. Méthodologie	19
2.1 Objectif de l'étude	19
2.2 Protocole expérimental	19
2.3 Dispositif expérimental	19
2.4 Perception des mélanges pour le semis	20
2.5 Semis	20
3 Paramètres étudiés	20
3.1 Paramètres morphologiques	20
3.1.1 Détermination des poids sec et frais	20
3.2 Paramètres du sol	21
3.2.1 Mesure du pH du sol	21
3.2.2 Mesure de CE	22
3.2.3 Dosage de potassium	22
3.2.4 Dosage de Na ⁺	22
3.2.5 Dosage de carbone organique total (méthode walkey et Black)	23
Résultat et discussions	24
Effet de différent amendements appliqué sur la culture d'orge	24
Effet de différent amendements appliqué sur le poids humide	24
Effet de l'application des amendements sur le poids sec	25
2- Effet de différent amendement appliqué sur propriétés chimiques du sol	27
2.1 Sur le pH	27
2.2 Sur la CE	29
2.3 Sur le sodium soluble	30

2.4 Sur le taux de matière organique	31
2.5 Sur le potassium soluble	33
Conclusion générale	35

Liste des tableaux

N°	Tableaux	Page
Tableau 01	Caractéristiques physicochimiques du sol de l'expérimentation	
Tableau 02	Caractéristiques de la variété utilisée	
Tableau 03	Caractéristiques analytiques du biochar	
Tableau 04	Caractéristiques analytiques du composte	
Tableau 05	la qualité d'eau d'irrigation	
Tableau 06	moyenne estimée de la matière fraîche	
Tableau 07	moyenne estimée de la matière sèche	
Tableau 08	Moyenne estimée de pH	
Tableau 09	Moyenne estimée de CE	
Tableau 10	Moyenne estimée de sodium	
Tableau11	Moyenne estimée de potassium	
Tableau 12	Moyenne estimée de la matière organique	

Liste des figures

N°	Figure	Page
Figure 1	Courbes théoriques d'évolution de la température et du pH au cours du compostage	
Figure 2	matières premières utilisables pour la production de biochar	
Figure 3	Procédés de transformation de la biomasse et proportions de gaz, liquide et biochar obtenues	
Figure 4	fournisseurs d'équipements de production de biochar	
Figure 1	Les mécanismes possibles pour améliorer la fertilité du sol	
Figure 6	compost palmier dattier	
Figure 7	Biochar	
Figure 8	les engrais minéraux	
Figure 9	la pesé de matière fraîche et sèche de la culture d'orge	
Figure 10	extraction des sels par l'eau distillée	
Figure 11	mesure de pH	
Figure 12	mesure de CE	
Figure 13	Dosage de K^+ puis de Na^+ par photomètre à flamme type <i>JUNWAY PFP</i>	
Figure 14	dosage de carbone total	
Figure 15	Evolution de la teneur en matière fraîche des parties aériennes pour l'ensemble des traitements	
Figure 16	Evolution de la teneur en matière sèche des parties aériennes pour l'ensemble des traitements	
Figure 17	La variation du pH en fonction des traitements	
Figure 18	La variation de la CE en fonction des traitements	
Figure 19	La variation de sodium en fonction des traitements	
Figure 20	évolution de potassium en fonction des amendements	
Figure 21	variation du taux de matière organique en fonction des traitements	

Liste des abréviations

AFNOR NF : Association française de Normalisation

C : compost

°C : degré Celsius

C+B : compost avec biochar

CE : conductivité électrique

CEC : capacité d'échange cationique

C/N : rapport carbone azote

CO₂ : hydroxyde de carbone

E : engrais minérale

E+B : Engrais avec Biochar

Ha : hectare

ISO : interiol organizme for standadization (organisation internationale de normalisation)

ITGC : l'institut technique des grandes cultures

K+: Potassium soluble

MO%: matière organique

N : azote

Na+ : Sodium soluble

pH : potentiel hydrogène

POPS : procédures Opérationnelles Permanents standardisée

T : témoin

% : pourcentage

Introduction

Introduction :

En Algérie, les sols agricoles souffrent d'une insuffisance en matière organique, un problème exacerbé par le climat qui encourage la minéralisation de la matière organique dans les sols. Les méthodes de production actuelles, y compris l'agriculture non adaptée et les pratiques de travail du sol, ne sont pas en mesure de garantir une production agricole satisfaisante sans l'apport massif de compost et d'amendements organiques, comme l'ont indiqué Zaghouane et al.(2006).

Les sols sont à la base de la production agricole et par conséquent de notre alimentation. Les pratiques agricoles influencent les propriétés des sols à court et à long terme (Larson et al., 1994). L'Agriculture intensive a de nombreux effets négatifs sur les sols comme notamment : la perte de biodiversité ; une plus grande sensibilité à l'érosion et à la perte de la matière organique (Telmane, 2002) in (Quentin2019). L'équilibre du stockage du carbone dans l'atmosphère par rapport à la biosphère est l'un des défis les plus importants auxquels nous sommes confrontés en tant qu'espèce aujourd'hui. Près de 200 ans de combustibles fossiles et de changement d'utilisation des terres ont augmenté la concentration de dioxyde de carbone atmosphérique de 50 % par rapport aux niveaux préindustriels, entraînant des températures mondiales plus chaudes et des événements météorologiques plus intenses (NOAA 2021). Dans le même temps, les pratiques agricoles conventionnelles telles que le travail du sol et la monoculture ont entraîné la perte d'énormes quantités de carbone du sol, entraînant une « dette carbone » mondiale (Sanderman et al. 2017, Zomer et al. 2017, Goldstein et al. 2020). Cette perte de carbone du sol a de graves conséquences sur la santé des sols et le rendement des cultures et sur le réchauffement climatique.

Le biochar, un amendement du sol produit en pyrolysant les résidus agricoles dans des conditions à faible teneur en oxygène, est un outil prometteur pour restaurer le carbone du sol et réduire le dioxyde de carbone atmosphérique. Ces résidus agricoles, qui représentent une forme de biomasse très disponible en Algérie sont des éléments essentiels de l'agriculture durable de par leur rôle essentiel dans le recyclage des nutriments à moindre coût. Le biochar a reçu une attention considérable de la part des scientifiques, des producteurs et des écologistes au cours des 20 dernières années comme moyen de constituer des réservoirs durables de carbone du sol et d'améliorer d'autres facettes de la santé du sol, comme la capacité de rétention d'eau, l'échange de cations, la rétention des nutriments et peut-être même la résistance aux agents pathogènes (Lehmann et al. 2006). Le biochar est également attrayant car il peut être fabriqué à relativement peu de frais avec un équipement minimal et à partir de presque toutes les matières premières organiques ce qui en fait une option accessible.

Les composts livrent au sol de la matière organique plus ou moins stabilisée suivant le degré de maturité du produit. Environ la moitié du carbone organique ainsi apporté est intégrée de manière durable dans le sol et forme ce que l'on appelle l'humus stable. Grâce à cet humus, la structure du sol et sa porosité sont améliorées. Ceci influence positivement la régulation hydrique des parcelles ayant été amendées, diminue les effets de l'érosion et améliore l'aération du sol. Du point de vue chimique, les composts apportent une quantité non négligeable d'éléments fertilisants. Particulièrement intéressants sont l'apport en calcium, qui

explique en partie les effets positifs des composts sur la valeur du pH des sols, et l'apport en oligoéléments essentiels pour l'équilibre des plantes (JACQUES et FUCHS, 2009).

Dans le présent travail, il est question de démontrer l'effet de plusieurs amendements sur la propriété chimique du sol après évaluation de leur impact dans les systèmes agricoles via la culture d'orge.

Pour faire nous somme servie de la culture d'orge que nous avons semis sur un sol représentatif de la région de Tolga amendé avec du biochar, du compost de chetma, et d'engrais chimique.

Ce travail est compartimenté en quatre chapitres scindés en deux parties :

- La première partie (synthèse bibliographique), le premier chapitre traite le compost et le biochar en agriculture alors que le deuxième, aborde l'impact du compost et de biochar sur les paramètres de sol et sur la culture d'orge.
- La deuxième partie, où le troisième chapitre aborde le matériel et méthodes, alors que le quatrième est consacré à la présentation et au traitement des résultats ainsi que leur discussion.

Notre travail est couronné par une conclusion générale

Partie I : Synthèse bibliographique

Chapitre I : le compost et le biochar en agriculture

Chapitre I : le compost et le biochar en agriculture

I.1 Définition et caractéristique du compost et du biochar :

I.1.1 Définition et caractéristiques du compost :

I.1.1.1 Définition :

Le compost est une substance brun foncé et fragmentée qui sent bon. C'est en fait le résultat du recyclage de matières organiques. C'est comme l'humus contenant des organismes vivants et des minéraux pouvant servir de nourriture aux plantes. A savoir Les organismes vivant dans le compost ne sont ni des parasites ni des germes pathogènes. Ce sont des agents naturels qui décomposent des substances organiques, et seulement des déchets végétaux et animaux. Le compost est un excellent amendement du sol. Il possède une forte concentration en matières organiques et aide à rendre à la terre certaine de ses propriétés qui s'épuisent avec le temps et l'utilisation. Il peut largement remplacer les mélanges de terre et engrais disponibles dans le commerce, et être utilisé pour toutes les cultures : légumes, plantes à fleurs annuelles, herbes potagères, plantes vivaces, buissons à fleurs et fruitiers, arbres fruitiers, pelouses, dans les bacs à fleurs ou à l'occasion de plantations d'arbres ou de préparation et d'amélioration de terrains. Cette technique d'origine naturelle permet la transformation des déchets vert quotidiens, principalement ceux du jardine et de la maison en un véritable terreau et engrais pour vos cultures, plantations et même vos fleurs. Le compostage peut prendre la forme d'un simple tas de déchet, à même l'herbe ou pour les plus expérimentés dans un composteur prévu à cet effet. Acheté en commerce ou fabriqué par vos maisons bricoleuses. (Albert et Etienne, 2018).

I.1.1.2 Caractéristiques :

Le compost est caractérisé par 3 qualités majeures:

La constance de composition c'est-à-dire la stabilité et l'invariabilité du produit.

L'efficacité agronomique (dans les conditions d'emploi prescrites).

L'innocuité (à l'égard de l'Homme, des plantes, des animaux et de l'environnement), c'est-à-dire l'absence de risques sanitaires en termes de germes pathogènes, parasites et graines de mauvaises herbes, ou de divers polluants retrouvés dans les déchets solides (métaux lourds, polluants organiques de synthèse,...) (Plateforme-Re-Sources, 2015).

I.1.2 Définition et caractéristiques de biochar :

I.1.2.1 Définition :

Un biochar est défini comme un « produit solide issu de la pyrolyse (dégradation thermique sous une atmosphère appauvrie en oxygène) de matières organiques d'origine photosynthétique mais de nature variable, notamment du bois, des résidus végétaux ou des déchets animaux ou urbains. (Kohli, 2023).

I.1.2.2 Caractéristiques :

Les propriétés physiques et chimiques du biochar varient en fonction des sources de matières premières et des conditions de production (température, oxygène, pression, durée...), ce qui permet d'engendrer des biochars avec des fonctions spécifiques (la capacité d'échange de cations (CEC), la surface spécifique, le carbone organique et le pourcentage d'humidité, le pH, la distribution granulométrique). (Mackenzie et al., 2013 in DJEMAI, 2018)

I.1.2.2.1 Les caractéristiques physiques :

- **La température :** est le facteur le plus important pour les changements physiques du biochar, suivi du taux de chauffage et de pressions (Lehmann et Joseph, 2009).

- **La structure de biochar :** La structure de biochar est amorphe, contenant des structures cristallines locales de joints aromatiques composés (Graber et al., 2011).

- **Le squelette de carbone formé pendant la pyrolyse de matières organiques :** la matière se traduit par une porosité élevée de biochar, en raison de sa structure semblable à une éponge (Kumari, 2015).

- **La distribution granulométrique du biochar :** elle dépend fortement de la matière première utilisée. Dans Les biochars généraux basés sur le bois sont plus grossiers et de structure du xylème, alors le biochar obtenu Des résidus de récolte plus fins et de structure récalcitrante.

- **Surface spécifique :** Le biochar présente une grande surface spécifique, selon le matériau de base et le traitement. Obtenu à partir de la pyrolyse, les surfaces atteignent $20 \text{ m}^2/\text{g}^{-1}$ jusqu'à $3000 \text{ m}^2/\text{g}$ La quantité d'eau adsorbée dépend directement de cette dernière, donc le biochar peut adsorber de grandes quantités d'eau. Le processus d'adsorption d'eau sur la surface du biochar est régi par les groupes fonctionnels (Antal et Grønli, 2003).

- **La porosité :** Les espaces vides dans le sol se présentent sous forme de pores de différentes tailles : macropores (plus de $50 \mu\text{m}$), mésopores (2 à $50 \mu\text{m}$) et micropores (moins de $2 \mu\text{m}$). Cette structure poreuse augmente la surface spécifique du sol, ce qui a pour effet de diminuer la mobilité de l'eau qu'il contient.

La densité : La densité apparente est liée directement à la porosité. En effet, plus il y a de vides dans un biochar, plus la densité apparente sera faible. Les relevés maximaux de densité réelle pour des biochars sont entre 2 et $2,1 \text{ g.cm}^{-3}$, la densité du graphite est de $2,25 \text{ g.cm}^{-3}$. La densité réelle augmenterait en fonction de la température de pyrolyse. Mais les valeurs moyennes de densité réelle se situeraient entre $1,5$ et $1,7 \text{ g.cm}^{-3}$. Les densités apparentes par contre sont en moyenne de $0,30$ à $0,43 \text{ g.cm}^{-3}$ (Downie et al., 2009). Ce qui signifie que le biochar est un matériau très poreux avec 79 à 85% de porosité.

I.1.2.2.2 Les caractéristiques chimiques

- **Le pH** : Le pH du biochar est généralement alcalin ($\text{pH} > 7$) (Lehmann et Joseph, 2009) Il existe une faible variabilité pour le pH entre les biochars, avec des valeurs typiques supérieures à 7 Le pH du biochar dépend du type de matière première. Par exemple le pH pour le biochar de paille provenant de différentes matières premières, En vertu de la comptabilité du maïs, de l'arachide, du canola et du soja pour pH 9.4, 8,6, 6.5 et 7.7 Respectivement, sous la même température de pyrolyse (300°C). Ce pH élevé du biochar aura une capacité de calage, lorsqu'il sera incorporé dans Le sol (Chintala et al., 2014).

- **Conductivité électrique** : CE elle est élevée dans les biochars produits à haute température (700°C) Par rapport aux biochars produits à basse température (550°C).

- **La CEC** : La grande surface du biochar augmentera la capacité d'échange d'ions et la sorption des nutriments (Lehmann et Joseph, 2009). La CEC des biochars est dépendante à la fois de précurseur et de la taille des produit de sa fabrication. Les valeurs de CEC tendent à diminuer en fonction des températures de pyrolyse (Song et Guo, 2012). Ces valeurs de CEC sont variables de par le matériau d'origine et de la méthode de mesure utilisée.

I.2 Composition et processus de fabrication du compost et du biochar :

I.2.1 Composition et processus de fabrication du compost :

I.2.1.1 Composition du compost :

Pratiquement tous les déchets organiques : déchets de jardin, épluchures de légumes, restes de repas, autres déchets organiques etc. ; Leur transformation par de micro-organismes produira le compost, lui-même converti en humus lorsqu'on l'intègrera dans le sol, pour le plus grand bénéfice (Gerbeaud, 2008).

Tous les déchets organiques à différents degrés sont composables :

Les déchets de cuisine : épluchures, peaux de bananes, coquilles d'œufs, marc de café, filtres en papier, pain, laitages, croûtes de fromages, fanes de légumes, fruits et légumes abîmés, etc.

Les déchets de jardin : tontes de gazon, feuilles, fleurs fanées, mauvaises herbes, etc.

Les déchets de maison : mouchoirs en papier et essuie-tout, cendres de bois, sciures et copeaux, papier journal, cartons salis (mais non souillés par des produits polluants), plantes d'intérieur, etc.

Les déchets très ligneux ou durs : tailles, branches, os, noyaux, coquilles, etc.

I.2.1.2 processus de fabrication du compost :

Les différentes phases du processus de compostage

Au cours du processus de compostage, la température traduit l'activité de la succession de populations microbiennes. Son évolution (figure 1), permet de distinguer quatre phases (Znaïdi, 2002 in Medane et Yefsah, 2022)

I.2.1.2.1. La phase mésophile

Les micro-organismes mésophiles (bactéries et champignons) se multiplient rapidement dans des conditions de température comprises entre 20°C et 40°C, et en présence de la matière organique facilement biodégradable (sucre simple, acides aminés et alcool), ce qui engendre un dégagement important de CO₂, une diminution du rapport C/N et le pH du milieu devient acide suite à la production intense des acides organiques.

I.2.1.2.2. La phase thermophile

Durant cette phase, une intense activité microbienne (bactéries thermophiles et quelques champignons) poursuivent le processus de dégradation, d'où une partie de la matière organique est perdue par minéralisation (l'azote sous forme NH₄⁺). Cette fermentation engendre une élévation de température (de 65°C- 70°C) voire plus, ce qui provoque le dessèchement du compost suite à une intense évaporation. La majorité des pathogènes et des graines d'adventices sont détruites.

I.2.1.2.3. La phase de refroidissement (dite de ralentissement)

La température diminue graduellement. Les microorganismes mésophiles colonisent à nouveau le compost, Ils dégradent les polymères restés intacts en phase thermophile et incorporent l'azote dans les molécules complexes.

I.2.1.2.4. La phase de maturation

C'est une phase où apparaissent lentement des éléments précurseurs de l'humus. La dégradation lente des composés résistants entraîne une coloration brun foncé à noir du compost, le rend plus fin et homogène (Hsu et Lo, 1999), sa texture ressemble à celle d'un sol. Le compost est alors mature et le processus du compostage est achevé. À ce stade, le pH tend vers la neutralité.

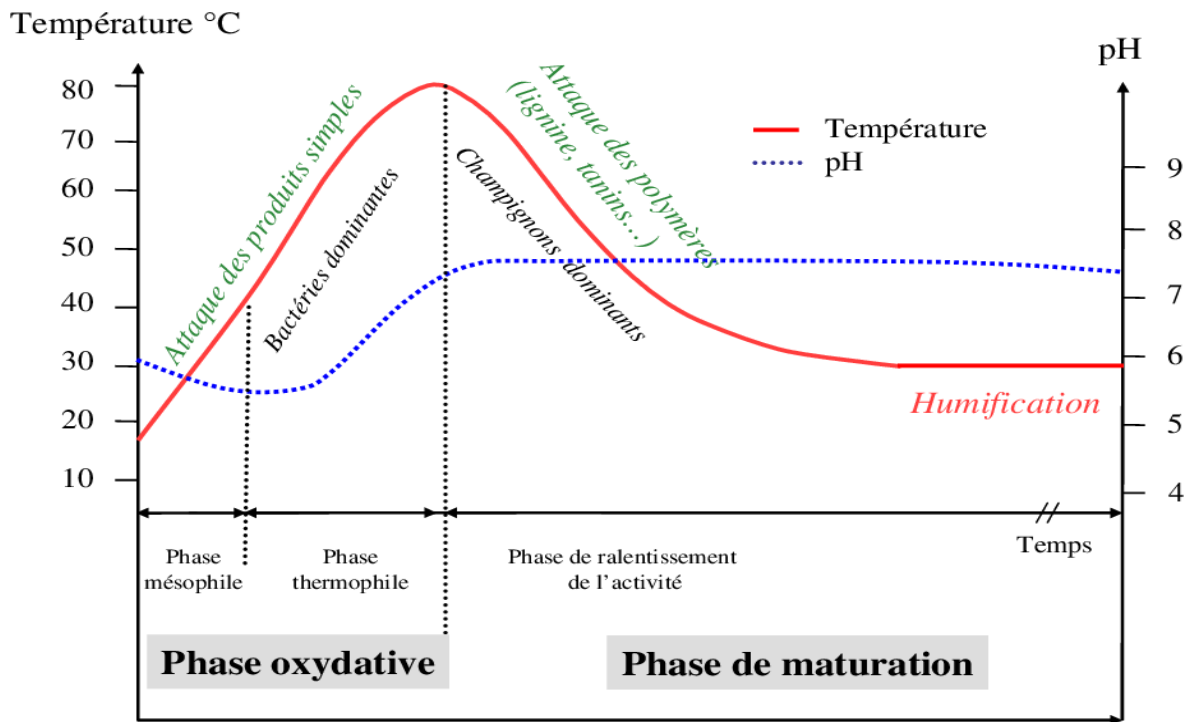


Figure 1 : Courbes théoriques d'évolution de la température et du pH au cours du compostage. Source Mustin (1987)

I.2.2 Composition et processus de fabrication du biochar

I.2.2.1 Composition du biochar

Une grande variété de substrats potentiels (Figure 2) est utilisable pour produire du biochar : résidus agricoles, résidus de l'industrie de transformation du bois, résidus verts urbains. En général, les équipements proposés nécessitent un taux de matière sèche en entrée de 70 % minimum pour éviter un séchage supplémentaire de la matière première qui réduirait mécaniquement la rentabilité du processus de production. (ARTB 2022.)

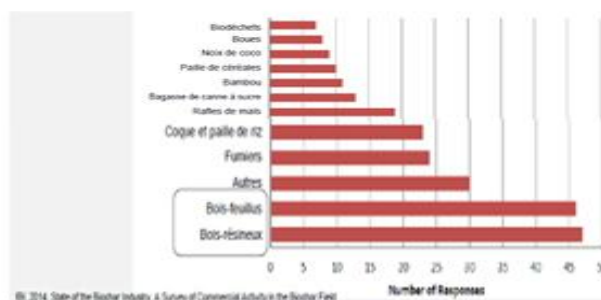


Figure 2 : matières premières utilisables pour la production de biochar

I.2.2.2 processus de fabrication du biochar

Que ce soit par pyrolyse ou gazéification : la production de biochar nécessite de chauffer de la biomasse dans un environnement où l'oxygène est absent ou en très faible quantité afin que les substances générées sous l'effet de la hausse de température (substances gazeuses, liquides et solides) ne s'enflamment pas spontanément et puissent ainsi être valorisées ultérieurement.

I.2.2.2.1 La pyrolyse :

La pyrolyse de la biomasse : consiste à la chauffer à des températures généralement comprises entre 350 et 650 °C en l'absence d'oxygène, (ou en présence d'une très faible quantité d'oxygène ou d'air, destinée à apporter, par combustion très partielle, l'énergie nécessaire au processus de pyrolyse). Il en résulte la production d'un gaz combustible, d'un liquide (huile ou mélange d'hydrocarbures), et d'un sous-produit désigné « biochar » qui contient la fraction minérale de la biomasse, ainsi que le « carbone fixe » c'est-à-dire le carbone présent dans la biomasse qui ne s'est pas transformé en gaz ou liquide. La proportion entre gaz, liquide et solide dépend de nombreux paramètres (la composition initiale de la biomasse, la température et la pression de transformation, le temps de séjour).

La pyrolyse « flash » : consiste à chauffer rapidement la biomasse à des températures de l'ordre de 500 à 650 °C. Elle permet de maximiser la production de gaz, et minimiser la production de Biochar. Ce gaz est ensuite refroidi afin que les chaînes carbonées les plus longues ($4 < N < 30$) soient condensées en une huile, les chaînes les plus courtes ($1 < N < 3$) restent à l'état gazeux. Inversement, une pyrolyse lente à température plus basse (entre 350 et 400 °C) favorisera la production de Biochar.

I.2.2.2.2 La gazéification :

La gazéification (ou pyro-gazéification) de la biomasse consiste à la chauffer à des températures comprises généralement entre 900 et 1 200 °C en présence d'une faible quantité d'oxygène (qui peut être apportée par l'air, de l'air enrichi en dioxygène, du dioxygène pur, du gaz carbonique ou de la vapeur d'eau). La biomasse est convertie en grande partie en un gaz que l'on appelle gaz de synthèse (également désigné « syngas » ou « syngaz »). La fraction solide résiduelle est constituée de la fraction minérale de la biomasse et d'une faible quantité de carbone fixe non converti : le biochar.

Quand la réaction de gazéification est réalisée à pression atmosphérique, le gaz de synthèse est en général constitué principalement de [CO] et [H₂] et quelques pourcents de [CH₄]. Selon les procédés, il contient également une proportion plus ou moins importante de dioxyde de carbone et d'azote.

Il contient également une faible quantité de chaînes hydrocarbonées longues appelées goudrons, dont il est nécessaire de débarrasser le gaz pour certaines applications telles que l'utilisation en moteurs à gaz ou la conversion chimique du « syngaz » en méthane ou mélange d'hydrocarbure. Par purification de ce gaz de synthèse il est également possible de produire de l'hydrogène vert. Les différents procédés de transformation de la biomasse et les

proportions relatives de gaz, liquide et biochar obtenues pour chacun de ces procédés est illustrée sur la Figure 3.

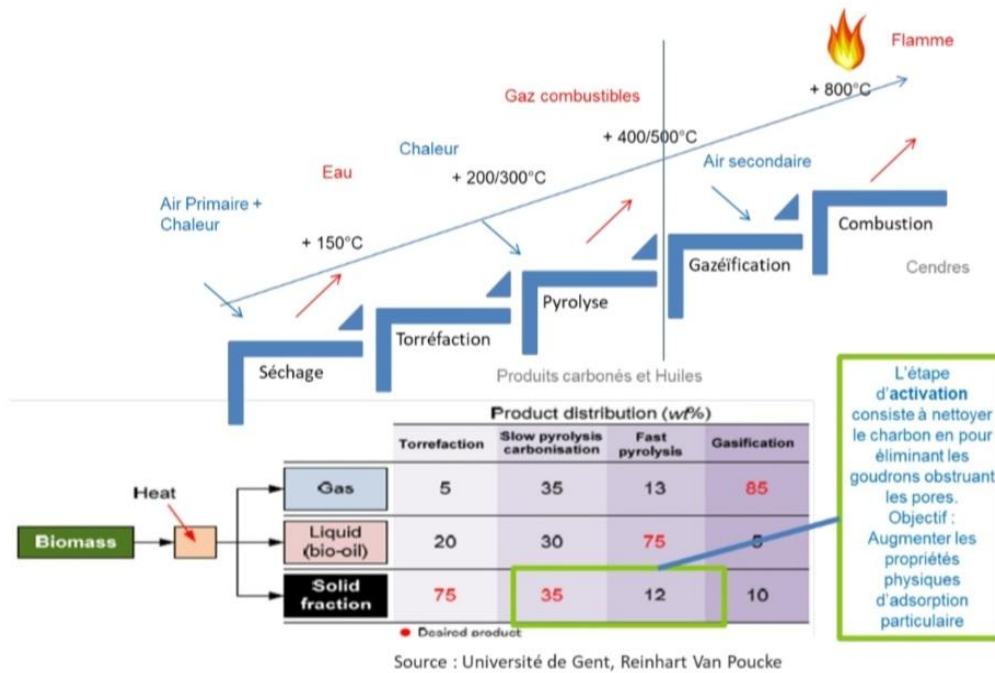


Figure 3 : Procédés de transformation de la biomasse et proportions de gaz, liquide et biochar obtenues (Source : Université de Gent, Reinhart Van Poucke).

Différents équipementiers comme PYREG en Allemagne Proposent des matériels de pyrolyse ou de pyro-gazéification de la biomasse (Figure 4).



Figure 4 : fournisseurs d'équipements de production de biochar

I.3 Intérêt de leur utilisation en agriculture :

I.3.1 Intérêt de l'utilisation de compost en agriculture

Intérêts communs dans tous les composts est (Paillet et Jacquet 2019) :

- apport de matière organique,
- effet positif potentiel sur la rétention en eau,
- apport d'éléments fertilisants.

I.3.2 Intérêt de l'utilisation de biochar en agriculture

Ces dernières années, un intérêt croissant a porté sur la combinaison de l'application des biochars avec les phytotechnologies. En effet, les biochars permettent (Paz-Ferreiro et al. 2014b ; Janus 2017.):

- i) d'améliorer les propriétés physico-chimiques des sols amendés, favorisant leur colonisation par les végétaux.
- ii) d'augmenter la biomasse.
- iii) de modifier les communautés microbiennes des sols, permettant le développement de microorganismes responsables de la production d'antibiotiques qui peuvent protéger les plantes contre les pathogènes.

**Chapitre II : impact du compost et de biochar sur les
paramètres de sol et sur la culture d'orge**

Chapitre II : impact du compost et de biochar sur les paramètres de sol et sur la culture d'orge

II.1 Effet sur le sol

II.1.1 Effet du compost sur le sol

II.1.1.1 Effet sur les paramètres physiques du sol

Le compost améliore la structure du sol par augmentation des agrégats. Il améliore aussi la perméabilité à l'air et à l'eau et la rétention d'eau. Comme, il réduit l'effet du gel et l'érosion d'une façon remarquable.

Le compost de couleur foncée, augmente l'absorption des rayons solaires (Eddy Mercier, 2019 in Sehad et Seid, 2023).

II.1.1.2 Effet sur les paramètres chimiques du sol

En se minéralisant, le compost fournit des substances nutritives progressivement assimilables par les plantes. A la maturité, il évite l'acidification du sol ou corrige l'acidité d'un sol par effet tampon (Eddy Mercier, 2019 in sehad et seid 2023).

II.1.1.3 Effet sur les paramètres biologiques du sol

La présence de divers micro-organismes dans le compost, augmente l'activité biologique du sol qui fixe l'azote de l'air et le rend assimilable par les plantes. L'activité microbienne limite le développement d'organismes pathogènes et permet un meilleur développement racinaire (Eddy Mercier, 2019 in sehad et seid 2023).

II.1.2 Effet de biochar sur le sol

II.1.2.1 Effet sur les paramètres physiques du sol :

- **Amélioration de la rétention d'eau des sols et de leur :** La capacité de rétention d'eau : est une caractéristique du biochar qui prend toute son importance avec les effets du changement climatique. La quantité d'eau retenue est variable selon les caractéristiques du biochar, on l'estime à environ 3 fois le poids de biochar.

Le biochar, en formant des micro-agrégats, va également améliorer la structure du sol.

II.1.2.2 Effet sur les paramètres chimiques du sol :

- **Diminution du lessivage des nutriments :** un des avantages de l'application de biochar sur les sols est la réduction du lessivage des nutriments. Une propriété physicochimique associée à cette réduction est la capacité d'échange cationique (CEC), qui correspond à sa capacité à retenir les cations par adsorption. .

- **Stockage non réversible de carbone dans le sol :** L'application de biochar sur les sols a été proposée comme stratégie pour réduire la concentration de CO₂ dans l'atmosphère, car il est un puits de carbone à long terme. Son caractère récalcitrant, c'est-à-dire sa résistance à la

dégradation due au carbone présent dans sa structure, lui confère la capacité de rester dans les sols pendant des centaines ou des milliers d'années et de réduire la vitesse à laquelle le carbone fixé par la photosynthèse retourne dans l'atmosphère. Parmi les stratégies possibles pour séquestrer le CO₂ de l'atmosphère, le biochar se démarque par le fait qu'il utilise des processus naturels et représente actuellement une des alternatives les plus prometteuses.

II.1.2.3 Effet sur les paramètres biologiques du sol :

- Aide au développement de la microflore des sols et accroissement de leur activité biologique : Le biochar peut influencer sur l'activité microbienne du sol en raison de changements dans le carbone labile et des propriétés du sol. L'activité des microbes du sol peut affecter de manière significative la décomposition de la matière organique du sol et le cycle des nutriments. La biomasse microbienne du sol et les activités enzymatiques ont des impacts majeurs sur l'état des éléments nutritifs du sol et la productivité des cultures. De plus la structure poreuse du biochar peut constituer un refuge pour la biomasse microbienne (ARTB 2022,).

II.2 Effet sur la plante

II.2.1 Réponse d'orge aux amendements organiques :

➤ Influence sur la nutrition minérale et la qualité de l'orge

- Teneurs accrues en protéines, minéraux, vitamines (Jarecki et al., 2021)

- Meilleure efficacité d'utilisation des nutriments (Cherr et al., 2006) : Exemples : +10% protéines avec fumier composté (Mohajer et al., 2013)

Effets des amendements organiques sur le rendement de l'orge

- Augmentation des rendements grains et paille grâce à l'apport de nutriments (azote, phosphore, etc.) (Cherr et al., 2006; Ramadan et al., 2019) : Exemples : +25% rendement grain avec 20 t/ha compost (Shah et al., 2013).

II.2.2 Rendement et productivité :

II.2.2.1 Effet de compost sur le rendement et la productivité :

L'utilisation du compost :

Amélioration de la croissance des végétaux et racines : Il a été démontré que les végétaux se développant dans un milieu de croissance contenant du compost sont plus forts et ont un meilleur rendement.

Amélioration du rythme de diffusion des nutriments : Le compost rend au sol ses nutriments prolongeant ainsi leur présence dans le sol pour nourrir les végétaux pendant une plus longue période.

Élimination des maladies chez les végétaux : Il a été démontré que certains composts améliorent la résistance des végétaux vis-à-vis de certaines maladies (Larbi, 2006). L'effet

phytosanitaire décrit la faculté fongicide du compost. D'une manière générale le compost contient des substances donnant plus de vigueur aux végétaux et augmentant ainsi leur résistance vis-à-vis de certains organismes pathogènes.

II.2.2.2 Effet de biochar sur le rendement et la productivité :

L'amendement en bio-charbon peut avoir un effet bénéfique sur la croissance des plantes (Sadoun et Aouinet, 2018). A partir de deux expériences qui ont été conduites dans une serre de l'Université Laval au Québec, Canada. Les résultats obtenus ont confirmé que l'ajout de bio-charbon a altéré différemment les propriétés physiques et chimiques du substrat, mais sans affecter les rendements des cultures (Vicky, 2018 ;). Les travaux de recherche ont démontré que l'augmentation des rendements n'était pas occasionnée par une amélioration de la nutrition de la plante, mais plutôt par une meilleure activité microbienne dans le substrat amendé avec le biocharbon d'érable produit à 700 °C. (Vicky, 2018 ; DJEHICHE et GUERGOURI, 2020) .

Le biochar favorise l'augmentation de la teneur en eau et la diminution de sa mobilité a pour effet une réduction du stress hydrique des plantes, ce qui doit influencer les rendements des productions agricoles.

II.2.3 Qualité nutritionnelle d'orge et sa relation avec la fertilisation

II.2.3.1.Effet de compost sur la qualité nutritionnelle d'orge et sa relation avec la fertilisation :

L'utilisation des composts comme amendements en agriculture peut corriger les carences en éléments nutritifs des plantes, assurer une nutrition adéquate, aider les plantes à tolérer des situations de stress, maintenir des conditions optimales de fertilité du sol et améliorer la qualité des cultures(El Kadiri Boutchich et al., 2016).

L'apport des composts a favorisé la germination et la croissance en hauteur des tiges et des racines, l'augmentation des teneurs en sucres solubles et en chlorophylle, l'amélioration des taux de matière fraîche et sèche, ainsi que les teneurs relatives en eau. Ceci est dû notamment à une meilleure nutrition en éléments minéraux comparativement avec l'essai témoin(El Kadiri Boutchich et al., 2016).

II.2.3.1. Effet de biochar sur la qualité nutritionnelle d'orge et sa relation avec la fertilisation :

Le biochar est une ressource renouvelable et prometteuse pour la gestion de la fertilité des sols, sa structure hautement poreuse et moléculaire peut contenir des quantités de matières extractibles substances humiques et fluviqes (Lin et al. 2012) et montre un haut degré de chimie et la stabilité microbienne. De plus, leur charge d'ammonium, de nitrate et du phosphate pourrait également être proposé comme engrais à libération lente pour améliorer la fertilité du sol (Spokas et al. 2011)

De nombreuses études et recherches ont rapporté que l'application et la combinaison de biochar avec les sols pourrait améliorer la qualité des sols (la structure, la porosité, la densité apparente et l'agrégation et la rétention d'eau) (Baiamonte et al. 2015), ce qui entraîne l'augmentation de la production agricole et promotion de la croissance des plantes (Lehmann et al. 2006).

Il influence la qualité nutritionnelle d'orge par plusieurs manières :

Augmentation de la disponibilité des nutriments pour les plantes par l'amélioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol (Lehmann et Joseph, 2009).

Augmentation de l'absorption des nutriments par les plantes grâce à une meilleure rétention d'eau et une porosité accrue du sol (Głąb et al., 2016).

Amélioration de la qualité des grains en augmentant les teneurs en protéines, en minéraux et en antioxydants (Asai et al., 2009 ; Tammeorg et al., 2014).

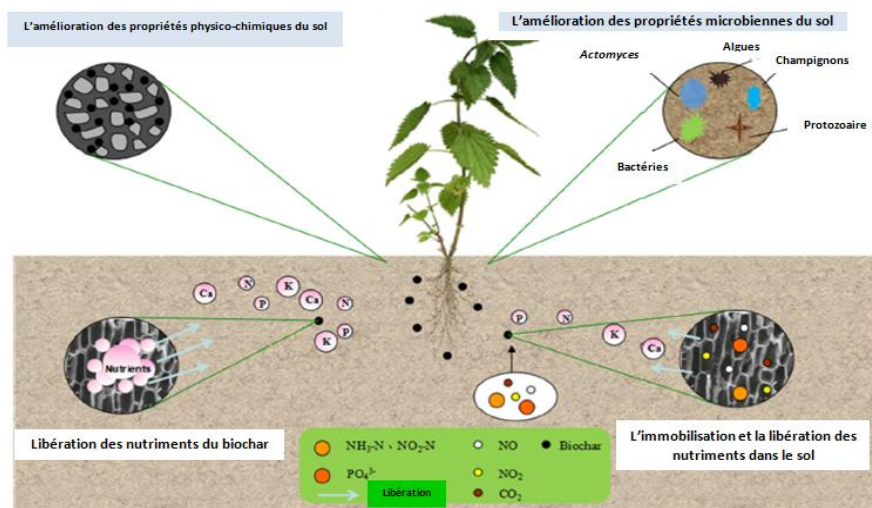


Figure 2 : Les mécanismes possibles pour améliorer la fertilité du sol.

Partie II : Partie expérimentale

Chapitre III : Matériel et Méthodes

III.1 Objectif de l'étude :

Le but de cette étude est de déterminer l'effet d'application des amendements sur quelque caractéristique chimique du sol et sur la croissance de la culture d'orge.

III.2 Matériels d'étude :

III.2.1. Le sol :

Le sol utilisé est celui de la région de Tolga. Ces caractéristiques chimiques sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 01: Caractéristiques physicochimiques du sol de l'expérimentation

pH	7,2
Conductivité électrique à 25°C dS/m	3
Na ⁺ meq/l	19.80
Cl meq/l	22.40
CaCO ₃ (%)	11.07%
Matière organique (%)	1.05%
C (%)	0.61%
CEC meq/100g	22.87
N (%)	0.087
HCO ₃ ⁻	3.5

III.2.2. Les pots :

L'expérimentation a été réalisée dans 15 pots en plastique d'une hauteur de 15 cm et d'un diamètre de 16.5 cm en haut et 9 cm en bas, divisé dans trois blocs.

III.2.3. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué d'une culture d'orge variété Saïda. C'est une variété précoce à haut rendement adaptée aux conditions climatiques de la région Elle est très commerciale avec une longue durée de stockage et de conservation.

Tableau 02 : Caractéristiques de la variété utilisée :

Pédigrée	Caractéristiques	Origine	Provenance
Saïda183	Sélection dans la population locale	Epi à six rangs, résistante au froid et à la sécheresse, sensible aux maladies, et à la verse, semi-précoce.	Lignée pure. Origine : locale. ITGC (ferme de démonstration et de production de semences de Saïda)

Source : (ZEGHOUANE et al. 2006)

III.2.4. Les amendements utilisés :

Les amendements utilisés dans cette expérimentation sont :

Le Biochar : biochar de Tunisie

Tableau 03 : Caractéristiques analytiques du biochar

pH	8.42
CE	0,96 mS/cm
Na⁺	2,60 meq/l
CO₃	1,5 meq/l
HCO₃⁻	2,25 meq/l
K⁺	0,60 meq/l
MO	59,9 %
C	34,82 %

Le compost : Compost industriel de chétma

Tableau 04 : Caractéristiques analytiques du compost

Compost	pH	CEdS/m	MO%	N%	K‰	P‰	C/N
Compost industriel chétma	7.96	8.33	34.5	1.61	17.93	8.43	12

Les engrais : Urée, TSP, K₂SO₄

Les traitements : les traitements utilisés sont

T : Témoin

C : Compost

E : Engrais minérale

C+B : Compost + Biochar

E+B : Engrais + Biochar



Figure 06 : compost



Figure 07 : biochar



Urée



TSP



K_2SO_4

Figure 08 : les engrais minéraux

III.2.5. L'eau d'irrigation :

L'eau d'irrigation utilisée dans l'expérimentation est celui de de la commune de TOLGA qui est caractérisée par :

Tableau 05 : la qualité d'eau d'irrigation.

pH	7.28
CE dS/m	3
Température °C	24
Durté totale (TH) mg/l	1228
TDS mg/l	1445
TAC mg/l $CaCO_3$	179
Ca^{++} mg/l	234
Na^+ mg/l	168
Mg^{++} mg/l	80
K^+ mg/l	20
HCO_3^- mg/l	182
Cl^- mg/l	137

III.3 Méthodologie :

III.3.1 Protocole expérimental

L'essai a été réalisé en pots, elle comporte 5 traitements mélangés avec 1.5 kg de sol avec 3 répétitions, On a effectué un tamisage du sol pour homogénéiser les particules de ce dernier, puis tous les pots sont remplis pour chaque traitement et pour le témoin (T) aussi.

T : témoins 1.5Kg de sol/pot

C : Compost 50g/pot (27 T/ha).

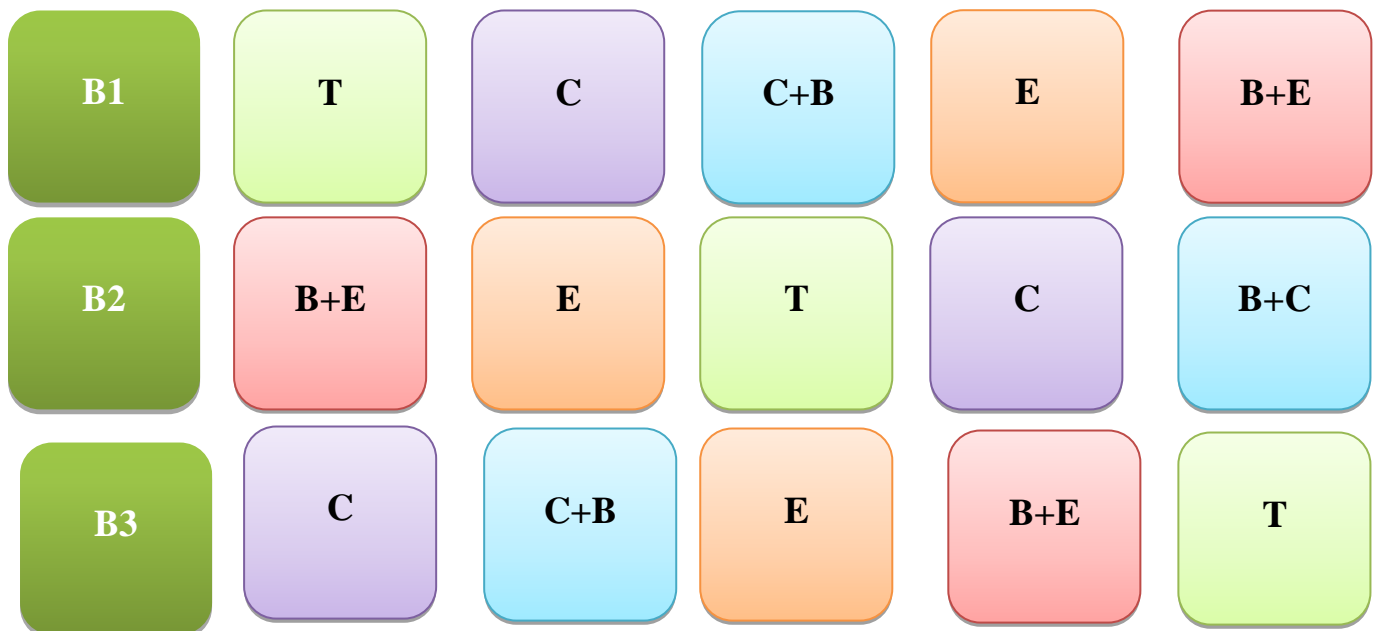
E : Engrais minéral : urée 0.45g/pot ; TSP 0.3g/pot ; K_2SO_4 0.35g/pot.

C+B : Compost 50g/pot et Biochar 18g /pot (10T/ha) (mélangé une semaine avant les incorporé au sol).

E+B : Engrais : urée 0.45g/pot ; TSP 0.3g/pot ; K_2SO_4 0.35g/pot et Biochar 18g/pot (10T/ha) (dissoudre avec l'eau distillée puis mélangé avec le Biochar 18g une semaine avant les incorporé au sol).

III.3.2 Dispositif expérimental :

Le dispositif expérimental utilisé est de type blocs aléatoires complets avec trois blocs, chacun contenant cinq pots (témoin, compost, engrais, biochar, biochar+engrais, compost+biocher). Au total, quinze:



III.3.3 Semis :

Le semis de la semence de d'orge Saïda a été effectué le 01-03-2024 avec une dose de 10 grains par pot.

III.4 Paramètres étudiés :

III.4.1 Paramètres de la plante

III.4.1.1 Détermination de la matière fraîche et sèche:

La matière fraîche (MF) de la partie aérienne a été pesée immédiatement après la récolte. Tandis que, la matière sèche (MS) a été déterminée après dessiccation à l'étuve à 105 °C, pendant 24 h.



Figure 09 : la pesé de matière fraîche et sèche de la culture d'orge (photo originale).

III.4.2 Paramètres du sol :

Les analyses effectuées après la récolte :

pH.

Conductivité électrique.

Potassium soluble.

Sodium soluble.

Matière organique.

Les étapes de l'extraction des sels solubles par l'eau sous rapport sol/solution 1/5 pour mesurer leur concentration globale : conductivité, pH, K, Na.



Figure 10 :Extraction des sels par l'eau distillée

III.4.2.1 Mesure du pH du sol :

La détermination du potentiel hydrogène ou pH, est effectuée sur des suspensions aqueuses selon la norme AFNOR NF 10-390 de novembre 1994, selon le rapport solide/liquide de 1/5.



Figure 11: mesure de pH

III.4.2.2 Mesure de CE

la détermination de la conductivité électrique a été effectuée sur des échantillon de sol extrait avec de l'eau selon la norme ISO 11265 de 01 octobre 1994, selon le rapport solide/liquide 1/5.



Figure 12 : mesure de CE

III.4.2.3 Dosage de potassium :

La détermination de K^+ a été effectuée par l'extraction par l'eau selon la procédure N°POPS26 selon le rapport sol/solution 1/5.

III.4.2.4 Dosage de Na^+ :

La détermination de Na^+ a été effectuée par l'extraction par l'eau selon la procédure N°POPS26 selon le rapport sol/solution 1/5.

La détermination de potassium et sodium a été effectuée avec un même appareil Photomètre à flamme type *JUNWAY PFP*.



Figure 13: dosage de K^+ et Na^+ par photomètre à flamme type *JUNWAY PFP* (photo originale).

III.4.2.5 Dosage de carbone organique total (méthode walkey et Black) :

La teneur en carbone organique total du sol est déterminée par la méthode walkey et Black, basée sur un titrage par sulfate de fer d'ammonium. Les bichromates vont être fixés avec les molécules de carbone ce qui reste des bichromates va être oxydé par le sulfate de fer d'ammonium.



Figure 14: dosage de carbone total

III.5 Analyses statistiques :

Les données recueillies pour l'ensemble des caractères étudiés ont été soumises à une analyse de la variance (ANOVA) avec le logiciel XLSTAT 2010. et la comparaison des moyennes est faite par le test de Fisher LSD à 5%.

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV. Résultats et discussions :

IV.1 Effet de différents amendements appliqués sur la culture d'orge :

IV.1.1 Effet de différents amendements appliqués sur la matière fraîche :

Les résultats de la figure 15 montrent que l'effet des amendements sur la production de biomasse fraîche aérienne révèle que la variété d'orge Saida réagit favorablement à l'ensemble des apports testés. Cependant, les réponses diffèrent selon la nature des amendements. L'apport combiné de compost et de biochar entraîne une augmentation significative de la masse moyenne aérienne fraîche, atteignant 16g, laissant présager que ce traitement permet d'améliorer de manière satisfaisante la productivité du sol sableux utilisé. Ces résultats corroborent les observations rapportées dans la littérature scientifique, selon laquelle l'incorporation de matières organiques stables et riches en nutriments, telles que le compost et le biochar, contribue à rehausser la fertilité et le rendement des sols pauvres en éléments nutritifs et en matière organique. Selon Les travaux de Van Hung et al. (2018) au Vietnam ont révélé que l'orge cultivée sur un sol sableux amendé avec un mélange de compost et de biochar a produit 37% de biomasse fraîche aérienne en plus que le témoin. Tout en ajoutant que Yadav et al. (2019) ont indiqué que, l'application du biochar avec des engrais inorganiques augmentait la biomasse.

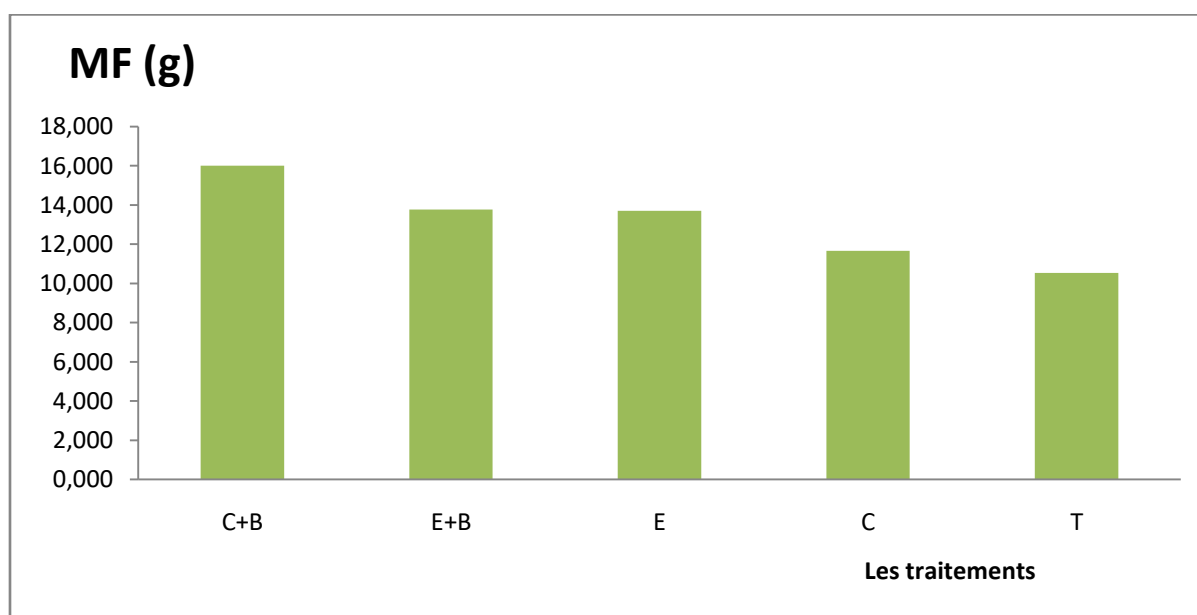


Figure 15 : La matière fraîche des parties aériennes pour l'ensemble des traitements

Tableaux 06: moyenne estimée de la matière fraîche

Modalité	Moyenne estimée(matière fraîche)	Groupes
C+B	16,000	A
E+B	13,767	B
E	13,700	B
C	11,667	C
T	10,533	D

L'analyse statistique des données du Tableau 6 a été réalisée à l'aide du test de Fisher afin d'évaluer l'effet des différents traitements. Quatre groupes ont été constitués : le groupe A (C+B), le groupe B (E.E+B), le groupe C (C) et le groupe D (T). Les résultats de l'analyse de variance ont révélé une différence significative entre les traitements pour les valeurs de matière fraîche de l'orge ($Pr > F < 0,0001$). Cela indique que les traitements appliqués ont eu un impact significatif sur la biomasse aérienne d'orge.

I.V.1.2 Effet des différents amendements appliqués sur la matière sèche :

Les résultats de la figure 16 montrant que les différents apports d'amendements ont eu un effet significatif sur les teneurs en biomasse sèche de la culture d'orge. En comparaison avec le traitement témoin, des accroissements notables ont été observés pour l'ensemble des traitements. Cependant, les réponses ont varié selon le type d'apport. L'apport combiné de compost et de biochar s'est avéré particulièrement bénéfique, entraînant une augmentation remarquable de la masse moyenne aérienne sèche, atteignant 8,1 g pour la culture d'orge. Ces résultats suggèrent que l'application conjointe de ces deux amendements organiques pourrait constituer une stratégie prometteuse pour améliorer la productivité végétale en termes de biomasse. Ces résultats sont conformes à ceux de Mounirou(2022) qui a déclaré que l'interaction biochar et fermier composté ont augmenté de manière très significative le taux de matière fraîche et sèche.

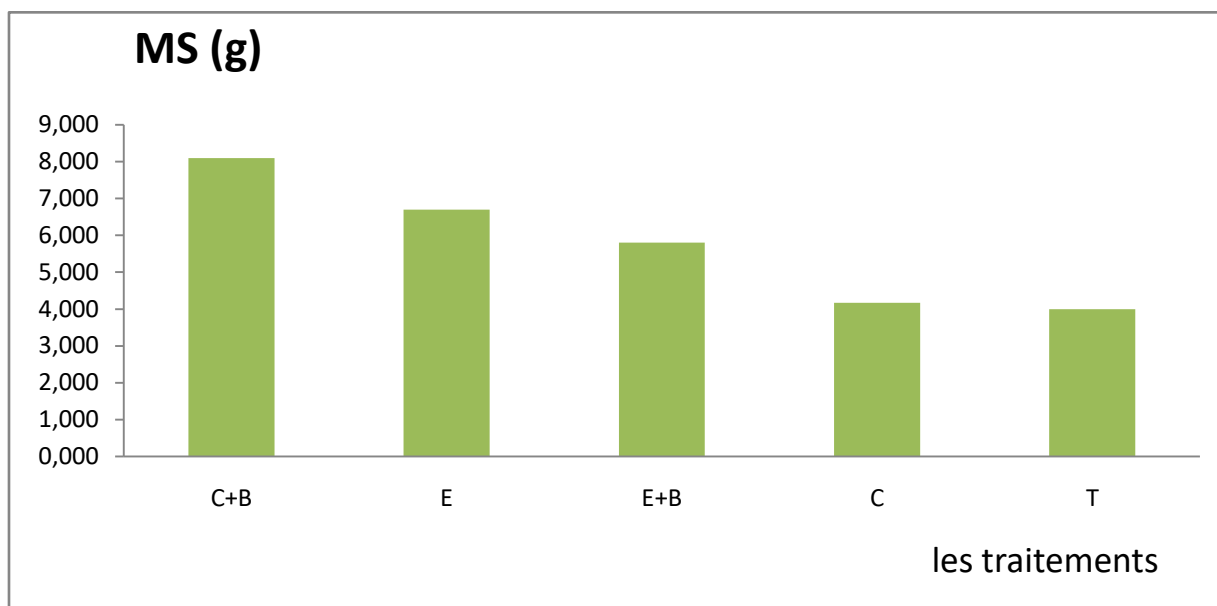


Figure 16 : La matière sèche des parties aériennes pour l'ensemble des traitements

Tableaux 07 : moyenne estimée de la matière sèche :

Modalité	Moyenne estimée(matière sèche)	Groupes
C+B	8,100	A
E	6,700	B
E+B	5,800	C
C	4,167	D
T	4,000	D

L'analyse statistique des données du Tableau 7 a été réalisée à l'aide du test de Fisher afin d'évaluer l'effet des différents traitements. Quatre groupes ont été constitués : le groupe A (C+B.), le groupe B (E), le groupe C (E+B) et le groupe D (C.T). Les résultats de l'analyse de variance ont révélé une différence significative entre les traitements pour les valeurs de matière sèche ($Pr > F < 0,0001$). Cela indique que les traitements appliqués ont eu un impact significatif sur la matière sèche.

I.V.2 Effet de différents amendements appliqués sur les propriétés chimiques du sol :

I.V2.1 Sur le pH :

Les résultats de la figure 17 montrent un pH moyen de 7,2 pour les pots non traités. Cependant, avec l'apport de biochar, le pH augmente jusqu'à 7,73 pour les pots recevant le compost+biochar et 7,8 pour ceux recevant les engrais+biochar, les classant comme légèrement alcalins selon l'échelle d'interprétation du pH. En revanche, une diminution du pH

à 6,8 est observée pour les pots traités avec le compost seul, restant dans la gamme de neutralité tout comme les pots non traités. Ces résultats montrent que l'apport de compost+biochar et d'engrais+biochar, impliquant la présence de biochar, a entraîné une augmentation du pH dans les pots, passant de 7,2 à 7,73 pour le compost+biochar et à 7,8 pour l'engrais+biochar. Conformément à la littérature, les biochar ont tendance à augmenter le pH des sols (Sohi et coll., 2009).

À partir de ces résultats, et en se référant aux normes proposées par l'échelle d'interprétation du pH dans l'extrait 1/5, les pots traités avec le biochar sont légèrement alcalins, tandis que le reste des traitements, y compris les non traités, présentent une neutralité.

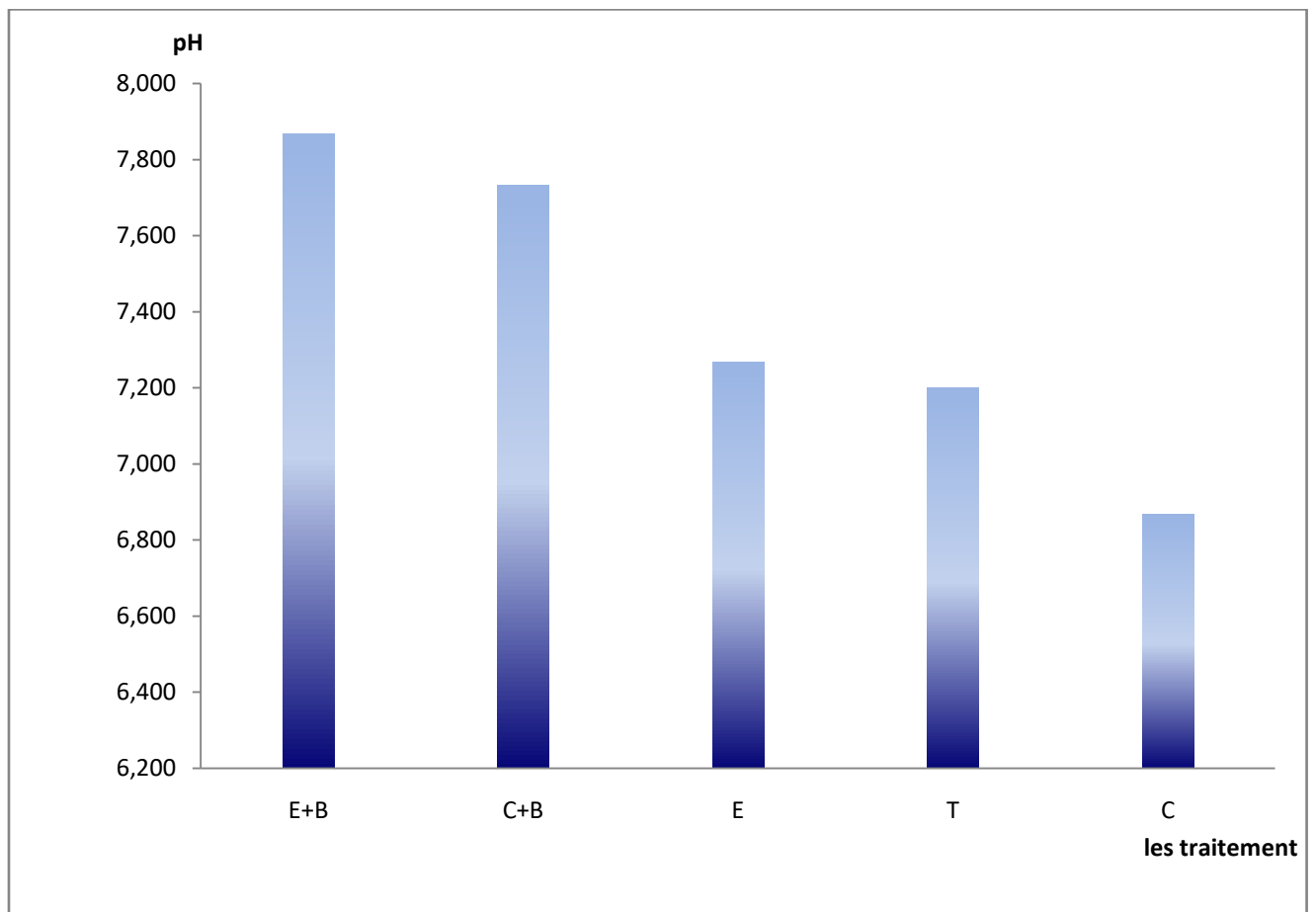


Figure 17 : La variation du pH en fonction des traitements

Tableau 08: Moyenne estimée de pH

Modalité	Moyenne estimée (pH)	Groupes		
E+B	7,867	A		
C+B	7,733	A		
E	7,267		B	
T	7,200		B	
C	6,867			C

L'analyse statistique des données du Tableau 8 a été réalisée à l'aide du test de Fisher afin d'évaluer l'effet des différents traitements. Trois groupes ont été constitués : le groupe A (E+B.C+B), le groupe B (E.T) et le groupe C (C). Les résultats de l'analyse de variance ont révélé une différence significative entre les traitements ($Pr > F < 0,0001$). Cela indique que les traitements appliqués ont eu un impact significatif sur le pH.

I.V2.2 Sur la CE :

Les résultats présentés à la figure 18 révèlent que tous les amendements utilisés dans cette expérience ont entraîné une augmentation de la conductivité électrique (CE) dans les différents pots par rapport au témoin non traité qui affichait une CE moyenne de 2,23 dS/m. Les valeurs les plus élevées ont été observées pour les pots traités avec des engrais minéraux, atteignant 4,13 dS/m pour les engrais minéraux seuls et 4,23 dS/m pour la combinaison engrais+biochar. Une légère hausse a également été constatée dans les pots recevant les amendements organiques, avec 2,43 dS/m pour le compost et 3,06 dS/m pour le compost+biochar. Cette augmentation de la CE pour l'ensemble des traitements indique une concentration plus importante de sels solubles dans la solution du sol, conformément aux explications de Duchaufour et al. (1979) selon lesquelles une forte activité racinaire contribue inévitablement à l'augmentation des sels minéraux. Il est à noter que l'apport des engrais minéraux entraîne une augmentation des sels dans le sol suite à leur nature minérale. Le compost est aussi très salé.

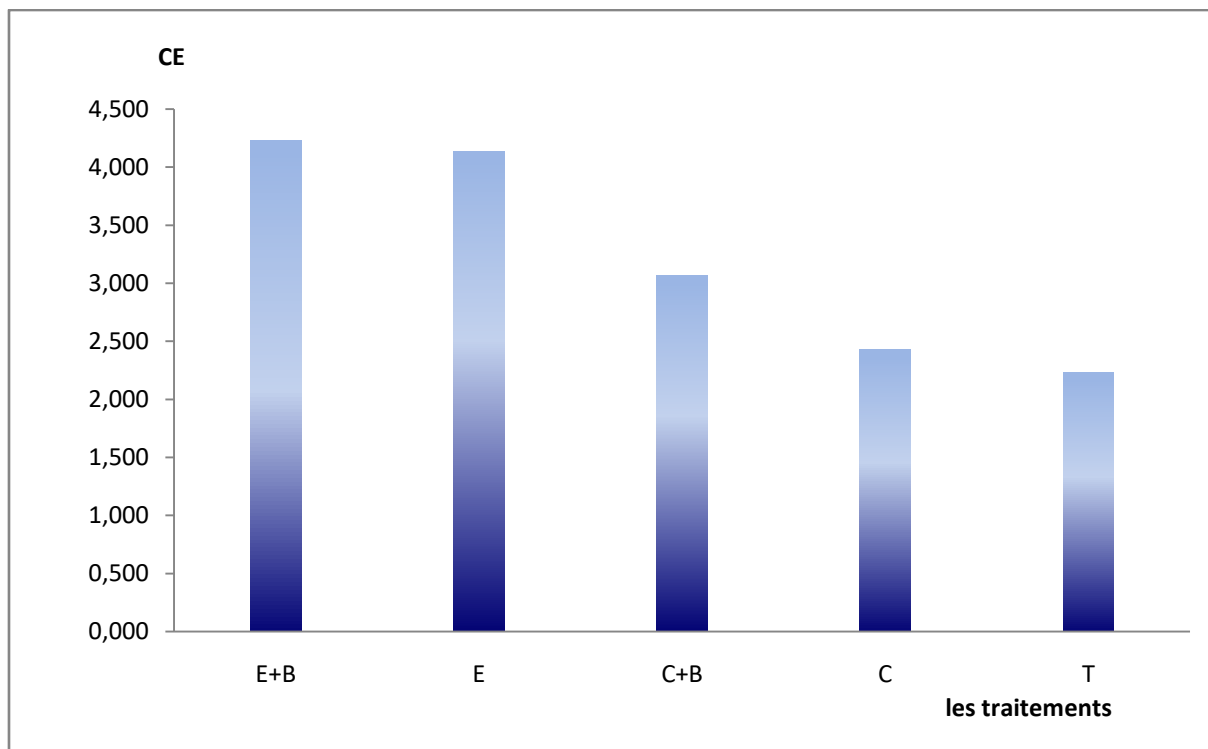


Figure 18 : La variation de la CE en fonction des traitements

Tableau 09: Moyenne estimée de CE

Modalité	Moyenne estimée (CE) dS/m	Groupes		
E+B	4,233	A		
E	4,133	A		
C+B	3,067		B	
C	2,433			C
T	2,233			C

L'analyse statistique des données du Tableau 9 a été réalisée à l'aide du test de Fisher dans le but d'évaluer l'effet des différents traitements. Trois groupes ont été constitués : le groupe A (E+B.E), le groupe B (C+B) et le groupe C (C.T). Les résultats de l'analyse de la variance ont révélé une différence significative entre les traitements ($Pr > F < 0,0001$). Cela indique que les traitements appliqués ont eu un impact significatif sur la CE.

I.V2.3 Sur le sodium soluble :

Les résultats de la figure 19 indiquent que l'apport d'amendements organiques, minéraux et organo-minéraux a entraîné une augmentation du taux de sodium soluble dans tous les pots par rapport aux pots non traités où le taux était de 19 ppm. Pour les pots avec compost, le taux

était de 20 ppm, tout comme pour les pots traités avec les engrais seuls. Une valeur légèrement supérieure de 21,34 ppm a été observée dans les pots avec la combinaison engrais + biochar. Cependant, le taux le plus élevé de 39 ppm a été détecté dans les pots traités avec le mélange compost+biochar, indiquant une augmentation du taux de sodium soluble, particulièrement dans ces pots. Selon la littérature, notamment l'étude d'Ali et al. (2017), l'application de biochar seul ou combiné avec du compost ne réduit pas nécessairement de manière significative la concentration de sodium dans la solution du sol. Ce résultat pouvant être attribué aux caractéristiques spécifiques du compost utilisé.

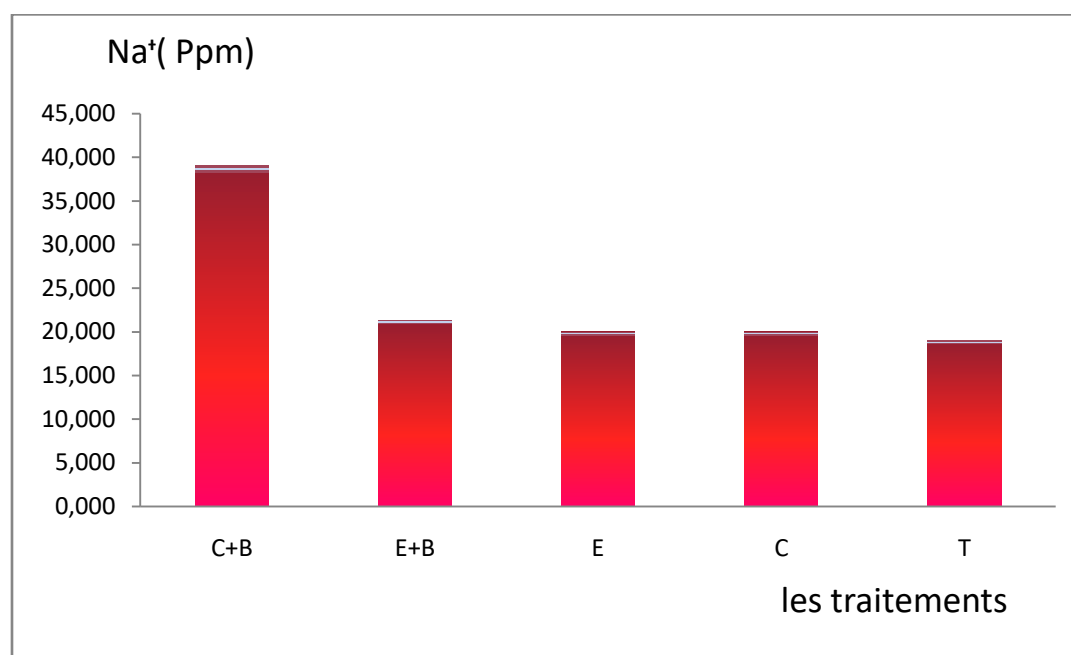


Figure 19 : La variation de sodium en fonction des traitements

Tableau 10 : Moyenne estimée de sodium

Modalité	Moyenne estimée (Na) meq/l	Groupes		
C+B	39,007	A		
E+B	21,340		B	
E	20,007			C
C	20,007			C
T	19,007			C

L'analyse statistique des données du Tableau 10 a été réalisée au moyen du test de Fisher afin d'évaluer l'effet des différents traitements. Trois groupes ont été formés : le groupe A (C+B), le groupe B (E+B) et le groupe C (E. C.T). Les résultats de l'analyse de la variance ont révélé une différence significative entre les traitements ($Pr > F < 0,0001$). Cela suggère que les traitements appliqués ont eu un impact significatif sur les niveaux de sodium soluble.

I.V2.4 Sur le potassium soluble :

Les résultats de la figure 21 indiquent que l'apport d'amendements organiques, minéraux et organo-minéraux a entraîné une augmentation du taux de potassium soluble dans tous les pots par rapport aux pots non traités (0,10 ppm). Les valeurs les plus élevées ont été observées pour les pots traités avec les engrais minéraux seuls (0,22 ppm) et la combinaison engrais + biochar (0,24 ppm). Les pots avec compost ont montré un taux de 0,13 ppm, tandis que le mélange compost+biochar a atteint 0,16 ppm. Cette augmentation du potassium soluble est cohérente avec la littérature, les engrais minéraux riches en potassium comme le chlorure, le sulfate ou le nitrate de potassium étant couramment utilisés pour rehausser les taux de potassium assimilable dans les sols. Après leur application, ces engrais se dissolvent progressivement dans la solution du sol, libérant des ions potassium (K^+) facilement assimilables par les plantes sur une période de 6 à 12 mois (Gale et al., 2006 ; Havlin et al., 2014).

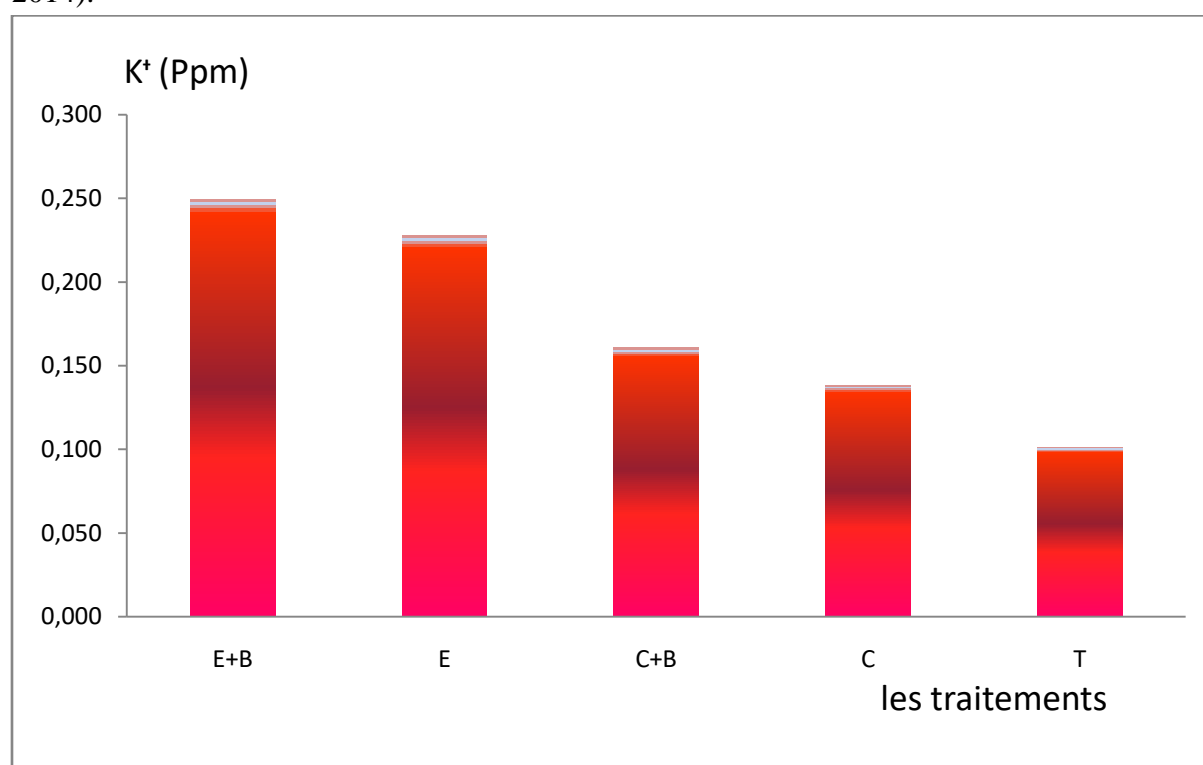


Figure 21 : Evolution de potassium en fonction du traitement.

Tableau12: Moyenne estimée de potassium

Modalité	Moyenne estimée (K) meq/l	Groupes		
E+B	0,249	A		
E	0,228	A	B	
C+B	0,161		B	C
C	0,138			C
T	0,101			C

L'analyse statistique des données du Tableau 12 a été réalisée au moyen du test de Fisher afin d'évaluer l'effet des différents traitements. Trois groupes ont été formés : le groupe A (E+B.E), le groupe B (E. C+B) et le groupe C (C+B. C.T). Les résultats de l'analyse de la variance ont révélé une différence significative entre les traitements ($Pr > F < 0,006$). Cela suggère que les traitements appliqués ont eu un impact significatif sur les niveaux de potassium soluble dans les pots.

I.V2.5 Sur le taux de matière organique :

La figure (20) met en lumière l'impact positif des amendements organiques et organo-minéraux sur l'augmentation des teneurs en matière organique du sol par rapport aux pots non traités (0,87%) et à ceux ayant reçu uniquement des engrais minéraux (1.43 %). Le traitement combinant le compost et le biochar s'est révélé le plus efficace, atteignant un taux de 4,43%, suivi du mélange engrais+biochar avec 3.90 %. L'apport de compost seul a permis d'obtenir un taux appréciable de 2.97 %. Cet enrichissement conséquent du pool de carbone organique vient confirmer les effets bénéfiques remarquables des amendements organiques sur la fertilité des sols, en accord avec les conclusions d'études antérieures portant sur l'amendement par le compost (Pinanoti, 1998 ; Parone et al., 1999). De plus, cette observation corrobore les travaux de plusieurs auteurs démontrant que l'effet du biochar sur l'augmentation des taux de matière organique varie selon le type de sol et les conditions environnementales, avec des hausses plus prononcées dans les sols initialement pauvres ou sableux (Liu et al., 2012).

Cependant, en se référant aux normes d'interprétation des analyses de sol, les pots traités avec le compost+biochar et engrais + biochar sont classés comme très riche en matière organique et ce qui sont traité le compost sont riche tandis que le reste des pots sont pauvre en matière organique.

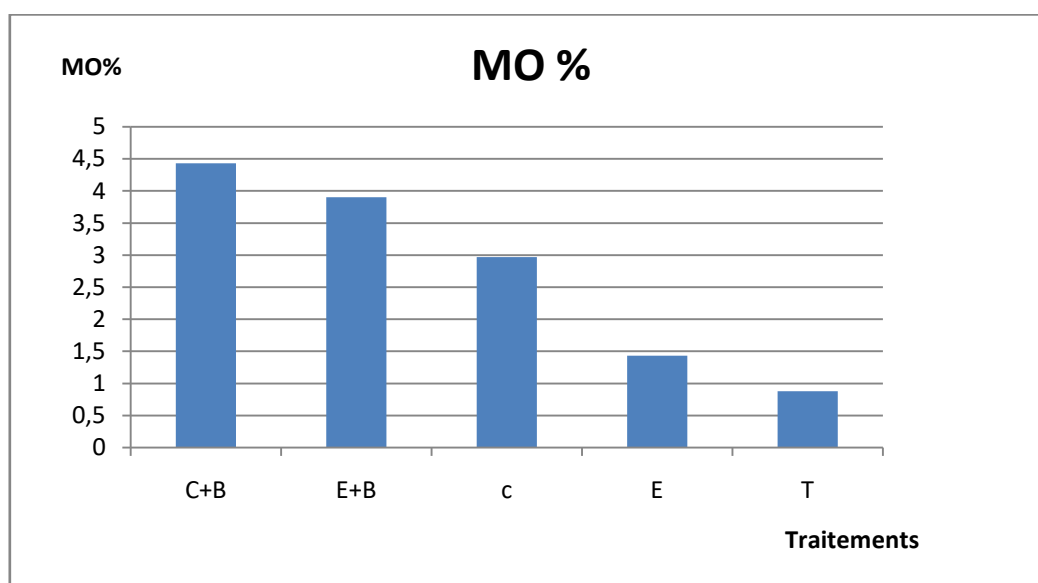


Figure 20 : Variation du taux de matière organique en fonction des traitements

Tableau 11: Moyenne estimée de la matière organique

Modalité	Moyenne estimée(MO) %	Groupes		
C+B	4,430	A		
E+B	3.901	A		
C	2.970		B	
E	1.432			C
T	0,879			C

L'analyse statistique des données du Tableau 11 a été réalisée à l'aide du test de Fisher dans le but d'évaluer l'effet des différents traitements. Trois groupes ont été constitués : le groupe A (C+B, E+B), le groupe B (C) et le groupe C (E.T). Les résultats de l'analyse de la variance ont révélé une différence significative entre les traitements ($Pr > F < 0,0001$). Cela indique que les traitements appliqués ont eu un impact significatif sur les niveaux de matière organique présents dans les pots.

Conclusion

Conclusion :

Cette étude a permis d'évaluer l'impact de diverses stratégies d'amendement sur les propriétés chimiques du sol de la région de Tolga ainsi que sur la productivité d'une culture d'orge (variété Saida). Les résultats obtenus mettent en évidence les avantages significatifs des amendements organiques, en particulier lorsqu'ils sont combinés avec du biochar, par rapport aux amendements purement minéraux ou engrais chimiques.

En effet, l'apport conjoint de compost et de biochar s'est avéré particulièrement bénéfique pour la culture d'orge, entraînant des augmentations remarquables de la biomasse végétale fraîche (16g) et sèche (8,1g), dépassant significativement les autres traitements. Ces observations corroborent les travaux antérieurs soulignant les gains de productivité obtenus sur sols pauvres en matière organique amendés avec des mélanges compost+biochar.

Sur le plan des propriétés chimiques du sol, le traitement combinant compost et biochar s'est révélé particulièrement avantageux. Ce traitement a engendré un enrichissement en matière organique, avec des teneurs atteignant jusqu'à 4.43%. Cette augmentation apporte des bénéfices durables en termes de fertilité et de structure physique du sol. Bien qu'une légère hausse du taux de sodium soluble ait été observée, cet effet semble étroitement lié aux caractéristiques intrinsèques du compost utilisé. Cet impact modéré sur la salinité ne remet donc pas en cause les avantages notables de cet amendement organo-minéral sur les principaux paramètres chimiques influençant la productivité des cultures.

En revanche, les engrais chimiques se sont montrés nettement moins performants. Bien qu'ils aient permis d'augmenter les taux de potassium soluble et donc la disponibilité de cet élément nutritif majeur pour les plantes, leur impact est resté très limité sur d'autres paramètres chimiques clés pour la fertilité des sols. En effet, ces apports n'ont engendré aucune amélioration significative du pH ni de la teneur en matière organique, deux facteurs primordiaux pour un sol sain et productif. Ces résultats contrastent avec les bénéfices marqués obtenus par les amendements organo-minéraux et mettent en évidence les lacunes inhérentes des engrais chimiques pour une restauration durable des propriétés physicochimiques des sols. Leur action se limite à un apport ponctuel en nutriments facilement solubles, sans apporter les composés humiques stables et la restructuration physique essentiels à un enrichissement pérenne de la fertilité des terres.

Ainsi, cette étude démontre que les amendements organiques comme le compost et le biochar représentent des alternatives prometteuses et durables pour l'amélioration des propriétés chimiques et de la productivité de sol. Leur capacité à augmenter la teneur en matière organique, à favoriser l'activité biologique du sol les rend particulièrement adaptés à la culture dans ces conditions pédologiques spécifiques.

Cependant, il est essentiel de souligner que l'efficacité des amendements dépend des caractéristiques intrinsèques du sol et des matériaux utilisés. Des études complémentaires sont nécessaires pour explorer davantage les interactions complexes entre les différents amendements, le sol et les besoins nutritionnels des cultures, afin de proposer des solutions durables et adaptées pour une gestion optimale des sols.

Références bibliographiques

Références bibliographique :

Agegnehu, G., Ghizaw, A., Sinking, E.N. (2016). The role of biochar in agriculture and environment, 119, 156-170.

ARTB. (2022). Intérêt de l'utilisation du biochar en agriculture..16P,

Asai, H., Samson, B.K., Stephan, H.M., Songyikhansuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., Horie, T. (2009). Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research*, 111(1-2), 81-84.

Baiamonte, G., De Pasquale, C., Marsala, V., Cimò, G., Alonzo, G., Crescimanno, G., Conte, P. (2015). Structure alteration of a sandy-clay soil by biochar amendments. *Journal of Soils and Sediments*, 15,816-824.

Celik, I., (2004). Effects of compost, farm manure and fertilizer on soil water holding capacity. *Compost Science & Utilization*, 12(2), 120-126.

Chan, K. Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., Joseph, S. (2008). Using poultry litter biochars as soil amendments. *Soil Research*, 46(5), 437-444.

Cherr, C. M.,(2006). Green revolution impacts grain nutrient concentrations. *Journal of Crop Improvement*, 17(1), 97-122.

Crews, T. E., Peoples, M. B. (2005). Can the synchrony of nitrogen supply and crop demand be enhanced in legume and fertilizer-based agroecosystems? A review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 72(2), 101-120.

Diacono, M., Montemurro, F. (2010). Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agronomy for sustainable development*, 30(2), 401-422.

DJEHICHE., GUERGOURI.(2020). Synthèse sur l' effet des fertilisants chimiques et organiques sur la production du blé dur et la durabilité des sols. Mémoire Master Université des Frères Mentouri Constantine. 89P.

Djemai. (2018). effet du biochar sur quelques proprietes physico chimiques des sols sales.(Mémoire master université ibn khaldountiaret. 61P.

El Kadiri Boutchich, R., Lhissou, R., El Gharous, M., Msatfa, N., Ouknair, (2016) Effets de différents composts matures à base de boues d'épuration et des substrats organiques sur les propriétés morphologiques et physiologiques de deux variétés de blé. *J. Mater. Environ. Sci.* 7 (12) 5810-5827

Isabelle C. (2023). Que mettre sur le compost 15P

Janus.(2017). Intérêt d'un amendement organo-minéral pour remédier des sols de friches industrielles multi-contaminés en milieu urbain. thèse de doctorat Université LILLE 1.,150 p.

Jarecki, W., Póltorak, A., Cybulska, K., Bobrecka-Jamro, D., Zamiar, J., Jarecki, W.J.(2021).SpringBarley Grain QualityafterApplication of Organic and Mineral Fertilizers.Agriculture, 11(7), 593.

Kohli, A. (2023). Effets de composts autoproduits et d'un biochar sur le transfert d'éléments trace dans des légumes de jardins familiaux modérément contaminés (Thèse de doctorat, Université de Lorraine, France).

Kuzyakov,(2014).Soil Biology and Biochemistry, 70, 229-236.pdf.Titre

Lal, R. (2020). Soil organic matter content and crop yield. Journal of Soil and Water Conservation, 75(2), 27A-32A.

Lehmann., Johannes., John Gaunt.,Marco Rondon(2006). “Bio-Char Sequestration in Terrestrial Ecosystems - A Review.”*Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11403–27. <https://doi.org/10.1007/s11027-005-9006-5>.

Lehmann, J., Joseph(2009). Biochar for environmental management: science and technology. Routledge.13-45.

Lehmann (2011).Biochar effects on soil biota—a review. Soil Biology and Biochemistry, 43(9), 1812-1836.

Lin (2012).Water extractable organic carbon in untreated and chemical treated biochars.Chemosphere 87:151-157.doi:10.1016/Chemosphere.2.111.12.007

Liu C.H., Y. Liu (2012).Influences of organic manure addition on the maturity and quality of pineapple fruits ripened in winter
ScientiaAgriculturaSinica,45(11): 2107-2138

Medane., Yefsah. (2022). Contribution à l'étude de la qualité du compost de boues d'épuration urbaines: Effet de son application sur quelques paramètres chimiques et microbiologiques d'un Sol agricole. (Mémoiremaster Université de MouloudMameri, Tizi-Ouzou).48P

Mohajer, A(2013). Effect of different organic fertilizers on quantity and quality of barley forage production. Annals of Biological Research, 4(3), 84-90.

Oldfield, E (2019). Agricultural sustainability in an energy-constrained world.Environmental Research Letters, 14(12), 125010.

Ramadan, B(2019). Effects of organic amendments on barley performance and soil fertility.Agronomy, 9(5), 228.

Rahman, M. S (2021).Effects of organic amendments on soil chemical properties: A review.Scientific Reports, 11, 21660.

Shah, G. M (2013).Effect of organic manures and chemical fertilizers on grain yield of barley. *Sarhad J. Agric*, 29(2), 177-184.

Sharma, P., Garg, V. K. (2017).Nutrient recovery from municipal solid waste using bio-composts. *Sustainable Environment Research*, 27(5), 219-235.

Schulz, H., Glaser, B. (2012). Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(3), 410-422.

Spokas, K.A., Novak, J.M., Stewart, C.E., Cantrell, K.B., Uchimiya, M., DuSaire, M.G., & Ro, K.S. (2011).Qualitative analysis of volatile organic compounds emitted by biochar samples from different feedstock materials. *Chemosphere*, 85(5), (869-882).

Tammeorg, P., Simojoki, A., Mäkelä, P., Stoddard, F. L., Alakukku, L., Helenius, J. (2014).Biochar application to a fertile sandy clay loam in boreal conditions: effects on soil properties and yield formation of wheat, turnip rape and faba bean. *Geoderma*, 236, 310-320.

Weng, Z. Claudia, H.P., Julie H., (2017). The role of abiotic factors modulating the plant-microbe-soil interactions: toward sustainable agriculture. *Plantes et Sol*, 413(1-2), 45-62.

Annexes

Annexe 1 : répartition des classes des pH de sols selon les normes DIAEA/SEEN

Classe du sol	Valeur du pH
acide	< 6
Faiblement acide	6 – 6.5
Neutre	6.5 – 7.3
Faiblement basique	7.3 – 7.8
Moyennement basique	7.8 – 8.5
Tendance alcaline	8.5 - 9
Très alcalin	> 9

Annexe 2 : normes d'interprétation de matière organique slon Emerson (1991)

< 0.70 —————> extrêmement faible

0.70- 1.00 —————> très faible

1.00 - 1.70 —————> faible

1.70 – 3.00 —————> modéré

3.00 – 5.15 —————> élevé

> 5.15 —————> très élevé

Résumé

Cette étude a évalué différentes stratégies d'amendement sur un sol de la région de Tolga, dans le but d'améliorer ses propriétés chimiques et sa productivité pour la culture d'orge variété Saida. Les traitements testés incluaient des amendements organiques, minéraux et organo-minéraux. Les résultats ont démontré les avantages significatifs des amendements organiques, en particulier du mélange compost+biochar, sur les paramètres chimiques et la productivité végétale, en comparaison aux amendements purement minéraux. Ce traitement a permis un enrichissement relatif en matière organique apportant des bénéfices durables pour la fertilité et la structure du sol. Sur le plan productif, les gains les plus remarquables ont été obtenus avec le compost+biochar, avec une biomasse fraîche de 16g et une biomasse sèche de 8,1g pour l'orge, dépassant significativement les autres amendements et corroborant les études antérieures sur les effets bénéfiques de tels mélanges en sols pauvres en matière organique. Bien qu'une légère augmentation du sodium soluble ait été observée, probablement liée aux caractéristiques spécifiques des matériaux, cet effet mineur n'a pas remis en cause les avantages de cet amendement organo-minéral. Cette étude démontre ainsi le potentiel prometteur des ressources organiques comme le compost et le biochar pour une gestion durable de la fertilité de sol et l'amélioration de leur productivité. Cependant, leur efficacité optimale dépendant des interactions complexes sol-matériaux.

Mot clé :

Compost, biochar, engrais minéraux, matière organique, biomasse, orge.

ملخص

قيمت هذه الدراسة استراتيجيات مختلفة لتحسين التربة في منطقة طولقة، بهدف تحسين خصائصها الكيميائية وإنتاجيتها لزراعة الشعير من صنف سعيدة. شملت المعالجات المختبرة إضافات عضوية ومعدنية وعضوية-معدنية مختلطة. أظهرت النتائج فوائد كبيرة للإضافات العضوية، خاصة مزيج السماد العضوي والفحم الحيوي، على المؤشرات الكيميائية وإنتاجية النبات، مقارنة بالإضافات المعدنية البحتة. سمحت هذه المعالجة بإثراء نسبي للمادة العضوية، مما أدى إلى فوائد مستدامة لخصوبة التربة وبنيتها. من ناحية الإنتاجية، تم تحقيق أفضل النتائج مع مزيج السماد العضوي والفحم الحيوي، حيث بلغت الكتلة الحيوية الطازجة 16 جرامًا والكتلة الجافة 8.1 جرام للشعير، متفوقة بشكل ملحوظ على الإضافات الأخرى. هذا يؤكد الدراسات السابقة حول الآثار المفيدة لهذه المزائج في التربة الفقيرة بالمواد العضوية. على الرغم من لوحظت زيادة طفيفة في الصوديوم القابل للذوبان، والتي قد تكون مرتبطة بخصائص المواد المستخدمة، إلا أن هذا التأثير الثانوي لم يقلل من فوائد هذه الإضافات العضوية-المعدنية. تُظهر هذه الدراسة الإمكانيات الواعدة للموارد العضوية مثل السماد العضوي والفحم الحيوي في الإدارة المستدامة لخصوبة التربة وتحسين إنتاجيتها. ومع ذلك، تعتمد فعاليتها المثلى على التفاعلات المعقدة بين التربة والمواد المضافة، مما يتطلب مزيدًا من البحث والتكيف حسب الظروف المحلية.

كلمات مفتاحية

الشعير، الكتلة الحيوية، الأسمدة المعدنية، المادة العضوية، السماد العضوي، الفحم الحيوي