



**République algérienne démocratique et populaire**  
**Ministère de l'Enseignement supérieur et de la**  
**Recherche scientifique** **Ministère de l'Enseignement supérieur et de la**  
**Recherche scientifique**  
**Université Echahid Hamma Lakhdar EL OUED**  
**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Département D'agronomies**

---

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE**

**En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en sciences**  
**agronomiques**

**Domaine: Sciences de la nature et de la vie**

**Spécialité: Production végétale**

**THÈME**

**Perspectives et limites du biochar dans**  
**l'amélioration des propriétés des sols sablonneux et**  
**de la durabilité agricole.**

**Présenté par :**

**Hamdi Warda**

**Farah Djanat**

**Devant le jury composé de :**

**Président : Goukal Wiza                      Université d' EL-OUED**

**Examinatrice : Hedjab Naima            Université d' EL-OUED**

**Promoteur : BABAUSMAIL Mahfoud (M.C.B) Université d' EL-OUED**

**Année universitaire 2023/2024**

## *Remerciements*

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الحمد لله الذي هدانا لهذا وما كنا لنهتدي لولا أن هدانا الله

Louange à Dieu, qui nous a guidés et inspirés avec patience et persévérance pour mener à bien ce travail malgré de nombreux obstacles.

Nous adressons nos plus chaleureux remerciements et notre gratitude au professeur [Babaouismail Mahfoud](#) pour les conseils, l'orientation et les efforts qu'il nous a fournis tout au long de la rédaction de ce mémorandum.

Nous exprimons également notre sincère gratitude au professeur [Khaled Layesh](#) pour avoir posé la première pierre du début de ce travail.

Et n'oublions pas la vertu de ceux qui ont porté le message le plus sacré de la vie, qui nous ont ouvert le chemin de la science et de la connaissance depuis le début de notre parcours académique jusqu'à aujourd'hui... nos distingués professeurs.

Nous adressons également nos sincères remerciements au comité qui supervise la discussion de ces travaux, pour l'intérêt qu'ils ont porté à nos recherches en acceptant d'examiner nos travaux et de les enrichir de leurs suggestions.

Merci également aux responsables des laboratoires pédagogiques du Collège des sciences naturelles et de la vie, à nos familles et amis qui ont été la raison de notre réussite, ainsi qu'à tous ceux qui nous ont souhaité progrès et réussite.

Que Dieu accepte ce travail de notre part avec une bonne acceptation.

## *Dédicace*

A celui qui a transmis le message, transmis la confiance et conseillé la nation...au Prophète de Miséricorde et Lumière des Mondes

"Notre Maître Muhammad, que Dieu le bénisse et lui accorde la paix"

À ceux qui m'ont donné la vie et l'espoir, qui ont grandi avec une passion pour l'apprentissage et la connaissance, et qui m'ont appris à gravir les échelons de la vie avec sagesse et patience ; Par droiture, gentillesse et loyauté envers eux :

mon cher père ([Abdelmajed Hamdi](#)) et ma  
chère mère ([Hamedi Najat](#)).

À ceux à qui Dieu m'a donné la bénédiction de leur présence dans ma vie, et au lien fort de ceux qui m'ont aidé dans mon parcours de recherche : mes frères et sœurs.

À ceux qui m'ont parlé alors que nous ouvions ensemble la voie vers le succès,  
ma collègue : [Farah Djanat](#).

Enfin, à mes distingués professeurs et à tous ceux qui m'ont aidé et qui ont joué un rôle de près ou de loin dans la réalisation de cette étude, demandant à Dieu Tout-Puissant de récompenser chacun avec la meilleure récompense dans ce monde et dans l'au-delà. Puis à tout chercheur de savoir qui s'efforce avec ses connaissances de faire bénéficier l'Islam et les musulmans de toutes les connaissances et connaissances que Dieu lui a données.

**Hamdi warda**

## *Dédicace*

Louange à Dieu, par la grâce duquel les bonnes actions sont accomplies. En effet, mon Seigneur est par donneur et Reconnaisant. Je dédie le fruit de mes efforts et de ma réussite à la grande femme qui m'a appris à lutter et m'a encouragé à terminer mes études et à obtenir un diplôme. master Ma chère mère : [Daoudi Soumaya](#).

À celui qui m'a appris la patience et l'endurance et a implanté l'humilité et l'humanité dans mon cœur, m'a appris à compter sur moi-même, mon père bien-aimé : [Abd Elghani Farah](#).

A ceux avec qui j'ai partagé les moments de ma vie, mon soutien et mon réconfort, mes frères : [Ramzi](#), [Rim](#), [Youssef](#), [Abdel Bari](#).

À celui pour qui j'ai le plus grand amour et appréciation et qui n'a ménagé aucun temps ni effort pour m'aider : [mon fiancé](#)

À mes ancêtres, que Dieu prolonge leur vie, et que Dieu ait pitié de ceux qui sont morts, ainsi que de tous les proches (sang, cœur et loyauté)

À ceux qui ont éclairé mon chemin vers la connaissance et la prospérité et qui ont inculqué des valeurs et des principes dans mon âme : [mes honorables professeurs](#).

A qui nous nous sommes associés pour accomplir ce travail, mon patient collègue et compagnon de parcours universitaire : [Hamdi Warda](#).

Aux cœurs purs avec lesquels les bonnes attitudes m'ont rapproché et auprès desquels j'ai appris le sens du don et de l'espérance.

Et à tous ceux qui m'ont souhaité réussite et réussite dans mon parcours universitaire

**Farah Djanat**

## ***Résumé***

La structure du sol sableux se caractérise par une forte perméabilité, ce qui entraîne un manque de matières minérales et organiques, ce qui a un impact négatif sur les systèmes agricoles. Nos travaux visent à étudier l'effet du biochar sur les sols sableux et les plants de laitue. L'expérience a été menée dans une ferme privée de la région de Hassi Khalifa de début mars à fin avril 2024 à l'intérieur d'une maison en plastique. Le biochar a été fabriqué à partir de l'usine Phragmites selon la technologie du baril. Il a été broyé et mélangé à un sol sableux à différentes concentrations. où  $T_0=0T/ha$ ,  $T_1=2T/ha$ ,  $T_2=4T/ha$ ,  $T_3=8T/ha$ ,  $T_4=16T/ha$  : En plus de l'engrais organique (40T/ha de fumier de volaille) dans chaque traitement, nous avons planté 4 plants par carré, en effectuant une analyse physique et chimique du sol sableux et en mesurant les caractéristiques morphologiques des plants de laitue, en plus d'estimer la concentration de chlorophylle A, B, de chlorophylle totale et de caroténoïdes, en plus d'estimer les glucides et les flavonoïdes dans feuilles de laitue. Les expériences ont montré les résultats de l'effet du biochar par rapport au traitement témoin  $T_0$  en termes de propriétés physiques et chimiques du sol sableux, car il a eu un effet positif en augmentant le taux d'humidité dans chaque traitement de biochar, et il a également affecté la diminution de Le pH en  $T_2$ , alors qu'il avait un effet positif sur celui-ci, était négatif dans d'autres traitements, et il avait également un effet négatif sur l'augmentation de la conductivité électrique (EC) dans les traitements  $T_1$  et  $T_4$ . Les résultats ont montré un effet positif du biochar sur la croissance des plants de laitue en termes de poids et de longueur, en plus d'augmenter la concentration de chlorophylle A, B, de chlorophylle totale et de caroténoïdes, et d'améliorer la concentration de glucides et de flavonoïdes.

**Mots clés :** biochar, sol sablonneux , agriculture durable.

## ***Abstract***

The structure of sandy soil is characterized by high permeability, which leads to its lack of mineral and organic materials, which has a negative impact on agricultural systems. Our work aims to study the effect of biochar on sandy soil and lettuce plants. The experiment was conducted on a private farm in the Hassi Khalifa region from early March to late April 2024 inside a plastic house. Biochar was made from the Phragmites plant according to the barrel technology. It was ground and mixed with sandy soil at different concentrations, where T0=0T/ha, T1=2T/ ha,T2=4T/ha,T3=8T/ha,T4=16T/ha: In addition to the organic fertilizer (40T/ha poultry manure) in each treatment, we planted 4 seedlings per square, while carrying out a physical and chemical analysis of the sandy soil and measuring Morphological characteristics of lettuce plants, in addition to estimating the concentration of chlorophyll A, B, total chlorophyll and carotenoids, in addition to estimating carbohydrates and flavonoids in lettuce leaves. Experiments showed the results of the effect of biochar compared to the control treatment T0 in terms of the physical and chemical properties of sandy soil, as it had a positive effect by increasing the moisture rate in each biochar treatment, and it also affected the decrease in pH in T2, while it had a positive effect on It was negative in other treatments, and it also had a negative effect on the increase in electrical conductivity (EC) in treatments T1 and T4. The results showed a positive effect of biochar on the growth of lettuce plants in terms of weight and length, in addition to raising the concentration of chlorophyll A, B, total chlorophyll and carotenoids, and improving the concentration of carbohydrates and flavonoids.

**Keywords:** biochar, sandy soil, agricultural sustainability.

## الملخص

تتميز بنية التربة الرملية بالنفاذية العالية، مما أدى لافتقارها من المواد المعدنية و العضوية ،هذا ما جعلها تؤثر سلبا على النظم الزراعية . يهدف عملنا إلى دراسة تأثير الفحم الحيوي على التربة الرملية و نبات الخس . أجريت التجربة في مزرعة خاصة بمنطقة حاسي خليفة من أوائل مارس إلى أواخر أبريل 2024 داخل بيت بلاستيكي . صنع الفحم الحيوي من نبات الفراغمية وفق تقنية البرميل، تم طحنه و خلطه مع التربة الرملية بتركيزات مختلفة حيث  $T_0=0T/ha, T_1=2T/ha, T_2=4T/ha, T_3=8T/ha, T_4=16T/ha$  بالإضافة إلى السماد العضوي  $40T/ha$  (فضلات الدواجن) في كل معالجة، زرعا 4 شتلات لكل مربع، مع القيام بالتحليل الفيزيائي و الكيميائي للتربة الرملية و قياس الخصائص المورفولوجية لنبات الخس، بالإضافة إلى تقدير تركيز الكلوروفيل A,B و الكلوروفيل الكلي و الكاروتنويدات بالإضافة إلى تقدير الكربوهيدرات و الفلافنويدات في أوراق نبات الخس . أظهرت التجارب نتائج تأثير الفحم الحيوي مقارنة مع المعالجة الشاهد  $T_0$  من حيث الخصائص الفيزيائية و الكيميائية للتربة الرملية، حيث كان له تأثير ايجابي بزيادة معدل الرطوبة في كل معالجة من الفحم الحيوي ،كما أثر على انخفاض درجة الحموضة ( PH ) في  $T_2$  ، بينما كان له تأثير سلبي في العلاجات الاخرى ،كما اثر سلبا على زيادة الناقلية الكهربائية (EC) في العلاجات  $T_1$  و  $T_4$  . أظهرت النتائج التأثير الإيجابي للفحم الحيوي على نمو نبات الخس من حيث الوزن والطول، بالإضافة إلى رفع تركيز الكلوروفيل A,B و الكلوروفيل الكلي و الكاروتنويدات، كما حسن في تركيز الكربوهيدرات و الفلافنويدات.

**الكلمات المفتاحية:** الفحم الحيوي، التربة الرملية، الاستدامة الزراعية .

## LISTE DE TABLEAUX

<b>Numéro</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Tableau 01	Présente les outils, solutions et appareils utilisés dans l'étude.	<b>20</b>
Tableau 02	Analyse ANOVA pour mesurer la rétention d'eau du sol	<b>39</b>
Tableau 03	Analyse ANOVA pour mesurer la longueur total.	<b>43</b>
Tableau 04	Analyse ANOVA pour mesurer la longueur des racines.	<b>44</b>
Tableau 05	Analyse ANOVA pour mesurer de la hauteur.	<b>45</b>
Tableau 06	Analyse ANOVA pour mesurer le poids frais.	<b>46</b>
Tableau 07	Analyse ANOVA pour mesurer le poids frais de le partie aérienne.	<b>47</b>
Tableau 08	Analyse ANOVA pour Mesurer le poids fraise de la portion de racine	<b>48</b>
Tableau 09	Analyse ANOVA pour mesurer le poids sec de le partie aérienne.	<b>49</b>
Tableau 10	Analyse ANOVA pour mesurer le poids sec de le partie racine.	<b>50</b>
Tableau 11	Analyse ANOVA pour mesurer le poids sec total.	<b>50</b>

## LISTE DES FIGURES

<b>Numéro</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Figures 01</b>	<i>Terra Prêta</i>	<b>06</b>
<b>Figures 02</b>	le biochar sous le microscope électronique.	<b>08</b>
<b>Figures 03</b>	Laitue blonde du Batavia (Paris)	<b>18</b>
<b>Figures 04</b>	plantes phragmite australes	<b>19</b>
<b>Figures 05</b>	Biochar utilisé dans l'expérience	<b>22</b>
<b>Figures06</b>	Préparer le sol de plantation	<b>24</b>
<b>Figures 07</b>	du début de l'expérience de germination dans une boîte de semis.	<b>25</b>
<b>Figures 08</b>	Résultats de l'expérience de germination	<b>25</b>
<b>Figures 09</b>	Traiter et diviser le sol pour la plantation	<b>26</b>
<b>Figures 10</b>	Plants de laitue.	<b>27</b>
<b>Figures 11</b>	Plantation de plants de laitue dans des carré de traitement à l'intérieur de la serre	<b>27</b>
<b>Figures 12</b>	Un schéma de conception expliquant l'expérience	<b>28</b>
<b>Figures 13</b>	Semis de laitue 10 jours après la plantation.	<b>28</b>
<b>Figures 14</b>	Semis de laitue 15 jours après la plantation.	<b>29</b>
<b>Figures 15</b>	Semis de laitue 24 jours après la plantation.	<b>29</b>

<b>Figures 16</b>	laitue 42 jours après la plantation.	<b>30</b>
<b>Figures 17</b>	Plant de laitue après la fin de l'expérimentation sur le terrain	<b>30</b>
<b>Figures 18</b>	Expérience de rétention d'eau	<b>31</b>
<b>Figures 19</b>	Estimation des carbohydrates	<b>33</b>
<b>Figures 20</b>	Dosage de la chlorophylle et des caroténoïdes	<b>35</b>
<b>Figures 21</b>	Estimation des flavonoïdes	<b>37</b>
<b>Figures 22</b>	colonnes graphiques représentant rétention moyenne d'eau du sol dans de différents traitements au biochar T0 T1 T2 T3 T4.	<b>39</b>
<b>Figures 23</b>	les colonnes graphiques représentant les ratios moyens de mesure du PH pour les traitements T0 T1 T2 T3 T4.	<b>40</b>
<b>Figures 24</b>	les colonnes graphiques représentant les rapports de conductivité Electrique moyens dans les traitements T0 T1 T2 T3 T4.	<b>41</b>
<b>Figures 25</b>	la germination de la laitue chez le traitements T0 T1 T2 T3 T4 en conditions de laboratoire	<b>42</b>
<b>Figures 26</b>	colonnes graphiques représentant la longueur moyenne des traitements T0 T1 T2 T3 T4.	<b>43</b>
<b>Figures 27</b>	colonnes graphiques représentant la longueur moyenne des racines dans les traitements T0 T1 T2 T3 T4.	<b>44</b>
<b>Figures 28</b>	colonnes graphiques représentant hauteur moyenne somme végétative en traitements T0 T1 T2 T3 T4.	<b>45</b>
<b>Figures 29</b>	colonnes graphiques pour le poids frais moyen des traitements T0 T1 T2 T3 T4.	<b>46</b>

<b>Figures 30</b>	colonnes graphiques du poids frais moyen de la partie aérienne dans les traitements T0 T1 T2 T3 T4.	<b>47</b>
<b>Figures 31</b>	colonnes graphiques du poids frais moyen pour la somme radicale dans les traitements T0 T1 T2 T3 T4.	<b>48</b>
<b>Figures 32</b>	colonnes graphiques du poids sec moyen de la partie aérienne dans les traitements T0 T1 T2 T3 T4.	<b>49</b>
<b>Figures 33</b>	colonnes graphiques du poids sec moyen pour la somme radicale dans les traitements T0 T1 T2 T3 T4.	<b>50</b>
<b>Figures 34</b>	colonnes graphiques pour le poids sec moyen des traitements T0 T1 T2 T3 T4.	<b>51</b>
<b>Figures 35</b>	les colonnes graphiques représentent les pourcentages de chlorophylle moyenne <b>a</b> et <b>b</b> et de <b>chlorophylle totale</b> dans les traitements T0 T1 T2 T3 T4.	<b>53</b>
<b>Figures 36</b>	les colonnes graphiques représentant la concentration moyenne en caroténoïdes dans Les traitements T0 T1 T2 T3 T4	<b>54</b>
<b>Figures 37</b>	les colonnes graphiques de la concentration moyenne de carbohydrates dans les traitements T0 T1 T2 T3 T4.	<b>55</b>
<b>Figures 38</b>	Histogramme représentent la concentration moyenne en flavonoïdes dans les traitementsT0 T1 T2 T3 T4.	<b>56</b>

## **LISTE DES ABRÉVIATIONS :**

**Biochar** : Bio-charbon

**T** : traitement

**EC** : conductivité Electrique

**Chl** : chlorophylle

**P.F** : Poids frais

**V** : végétatif

**R** : Radical

**A** : Valeur d'absorption optique aux longueurs d'onde 645, 663, 470

**V** : Volume d'acétone (ml)

**W**: Poids de la matière des feuilles (g)

**M.O** : Matière organique

**CEC** : Capacité d'échange cationique

# SOMMAIR

<b>Remerciement</b>	
<b>Dédicace</b>	
<b>Résumé</b>	
<b>Liste des tableaux</b>	
<b>Liste des figures</b>	
<b>Liste des abréviation</b>	
<b>Sommair</b>	
<b>Introduction.....</b>	<b>02</b>
<b>Synthèse bibliographique</b>	
<b>CHAPITER I : Etude de biochar</b>	
1-Historique. ....	06
2-Définition de biochar.....	06
3-Procédé de production .....	07
4-Caractéristique de biochar .....	07
5-Effet agronomique, amendement au sols .....	08
5-1 L'effet du biochar sur les propriétés physiques et chimiques du sol.....	08
5-2 L'Effet du Biochar sur les Propriétés Biologiques du sol.....	09
6- L'effet du biochar sur les plantes .....	09
<b>CHAPITER II : Caractéristique agro-écologique du sol sableux</b>	
1- Les caractéristiques Physique du Sol.....	12
1-1- La structure .....	12
1-2-La texture .....	12
1-3-Porosités .....	12
2-Caractéristique Chimiques du sol .....	13

1-1-PH du sol.....	13
1-2-Les Eléments Nutritif .....	13
3- Caractéristique biologique du sol .....	13
3-1 Les bactéries .....	13
3-2Les champignons .....	14
3-3Les algues .....	14
<b>Partie Expérimental</b>	
<b>Matériel et Méthode</b>	
1-Méthodes et Matériel de recherche.....	17
1-1-Matériel végétal.....	17
1-1-1-plants de laitue.....	17
1-1-1-1Laitue <i>Lactuca sativa</i> blonde du Batavia (Paris) .....	17
1-1-2-plante du <i>phragmites australis</i> .....	18
1-1-2-1- Identification des plantes .....	18
1-1-2-2- Dommages environnementaux aux plantes .....	19
1-2-Outils ,solution et appareils utilisés.....	20
2- Méthode expérience.....	21
2-1- Lieu de l'expérience.....	21
2-2-Étapes de préparation du biochar.....	21
2-3- préparation du biochar de bios l'expérience.....	21
2-4-Étapes de culture de la laitue.....	22
2-4-1-Le calcul des doses.....	22
2-4-2- Préparation de la laitue pour la plantation.....	23
2-4-2-1 Expérience de germination.....	23
2-4-2-2- Expérience de plantation à la ferme.....	26

5-2-Expérimentez la rétention d'eau dans un sol avec différentes concentration de biochar....	31
2-6- Mesure du pH du sol et de la conductivité électrique (EC) .....	32
2-7-Estimation des propriétés biochimiques. ....	32
2-7-1-Estimation des carbohydrates. ....	32
2-7-2- Détermination de la teneur en chlorophylle et caroténoïde.....	33
2-7-3-Préparation d'extrait pour le dosage des flavonoïdes.....	35
<b>Résultat et Discussion</b>	
1- Effet du biochar sur les propriétés physiques et chimiques du sol sableux.....	39
1-1- Propriétés physiques.....	39
1-1-1- Le résultat de la mesure de la rétention d'eau du sol. ....	39
1-2-Propriétés chimiques.....	40
1-2-1- Résultat de la mesure du pH. ....	40
1-2-2- Résultat de la mesure de conductivité électrique.....	41
2- L'effet du biochar sur la germination des plants de laitue.....	42
3- L'effet du biochar sur les caractéristiques morphologiques des plants de laitue. ....	43
3-1 Mesurer la longueur totale.....	43
3-2- Mesurer la longueur des racines.....	44
3-3- Mesure de la hauteur. ....	45
3-4-Mesurer le poids frais. ....	46
3-5- Mesurer le poids frais de la partie aérienne. ....	47
3-6Mesurer le poids frais de la portion de racine. ....	48
3-7- Mesure du poids sec.....	49
4-L'effet du biochar sur les propriétés biochimiques des plants de laitue. ....	53
4-1- Mesure de la chlorophylle A, B et de la chlorophylle totale. ....	53
4-2-Mesure des caroténoïdes. ....	54
4-3- Mesurer des carbohydrates. ....	55

4-4- Mesure des flavonoïdes.....	56
<b>Conclusion.....</b>	<b>58</b>
<b>Référence bibliographique.....</b>	<b>61</b>
<b>Annexe.....</b>	<b>68</b>

---

# ***INTRODUCTION***

---

### Introduction

Le sol sableux est constitué de petites particules de roches concassées, telles que le granit, le calcaire et le quartz. Ce sont des types qui manquent de nutriments pour les plantes et leurs caractéristiques incluent également une structure lâche et une texture légère, avec une faible capacité à retenir l'eau.

Cependant, les agriculteurs peuvent l'utiliser en agriculture en ajoutant des matières organiques, car cela contribue à augmenter sa capacité à retenir l'eau et à améliorer la croissance des plantes en lui fournissant des nutriments (**Rabie 2022**).

L'un des amendements ajoutés pour améliorer les propriétés du sol est le « biochar », qui est une biomasse transformée en charbon de bois par le processus de pyrolyse et appliquée au sol pour séquestrer le carbone ou améliorer la fertilité du sol. Les liaisons carbone du charbon de bois sont très stables et ne se brisent pas facilement, ce qui fait du biochar une solution de stockage à long terme. Le carbone améliore également la structure physique du biochar et donc la fertilité du sol grâce à sa résistance à la traction.

Le biochar agrège également les particules du sol et fournit un habitat aux micro-organismes. De plus, la porosité du biochar emprisonne l'eau et les nutriments dans le sol, améliorant ainsi l'efficacité agricole et augmentant les rendements (**Mansour 2023**).

Dans ce contexte, la plante Phragmite est transformée en biochar. Le *Phragmites australis* est une plante vivace aux tiges rhizomateuses qui s'étendent sous terre de 40 à 100 cm et peuvent atteindre 200 cm, et sa longueur varie généralement de 2 à 4 mètres. une plante mondiale, présente dans les zones d'accumulation d'eaux usées ou dans les zones où le niveau de la nappe phréatique est élevé. Cette plante produit des fleurs en forme d'épi qui produisent un grand nombre de graines et se reproduisent parce que les graines sont transportées d'un endroit à un autre par le vent. puis ces graines germent lorsqu'elles tombent dans un environnement agricole très humide (**Salama 2005**).

Les phragmites exotiques peuvent avoir des conséquences graves sur l'environnement directement, principalement en raison de leur capacité à former des populations très denses. En effet, il est possible d'observer différentes conséquences sur l'environnement, les animaux et les plantes dans un environnement donné après leur invasion (**Phragmites Group 2012**).

## **Introduction**

---

### **Le problème :**

**Notre recherche se penche sur la question suivante : Quelle est l'ampleur de l'effet du biochar provenant de la plante Phragmites sur les propriétés des sols sableux, et quelles conséquences cela entraîne-t-il pour la production agricole?**

### **Le but de l'étude :**

- ✓ Tester différentes concentrations de biochar sur les propriétés d'un sol sableux.
- ✓ Contribuer à l'amélioration des rendements agricoles sur les sols sableux et au maintien de la durabilité des systèmes agricoles désertiques.
- ✓ Contribuer à la valorisation de la plante Phragmites qui pose un problème important pour l'agriculture comme plante adventice.

---

**SYNTHESE**  
**BIBLIOGRAPHIQUE**

---

---

# **Chapitre I :**

## **Etude de la biochar**

---

## 1-Histoire :

L'origine du bio-charbon proviendrait des pratiques agricoles des habitants d'Amazonie qui incorporaient de grandes quantités de charbon Au sol ainsi que des fumiers et autres engrais biologiques pour améliorer les rendements de leurs cultures(sohi,2012).

Au XIX siècle la Découverte d'un sol noir amazonien, la "*terra prêta*", très riche en carbone, qui coexiste avec des sols gris sédimentaires pauvres.

Ce sol parfois épais (1 m) est composé d'un mélange de sol en place, de petites particules de charbon de bois, de minéraux de bois et de matière organique humifiée.

Cette fertilité serait due à la présence de carbone en forte proportion (9% de carbone et plus vis-à-vis des sols gris locaux à 5% M.O. et moins), (Mustin,2013).



**Figure 01: Terra Prêta .**

## 2- Définition du biochar :

Le biochar ou charbon horticole est un charbon d'origine végétale obtenu par pyrolyse de la biomasse à haute température dans un environnement peu ou pas d'oxygène. C'est également

une forme de carbone non traité utilisée pour améliorer la fertilité des sols et atténuer les effets du changement climatique.

Le biochar est produit par carbonisation thermique de matières premières végétales telles que le bois et les déchets agricoles dans des conditions de faible teneur en oxygène.

Cette pyrolyse génère 50 % du carbone sous forme de biocharbon , qui est principalement utilisé comme amendement des sols, et 50 % sous forme de bioénergie comme des gaz de synthèse ou du pétrole qui peut être utilisé pour fournir de la chaleur.(Laurin,2015).

### 3-Procédé de production :

Une équipe de recherche égyptienne a récemment mené une étude axée sur la méthode optimale de production de biochar, dans le but de déterminer ses propriétés et ses avantages pour le sol. Les résultats ont été publiés dans le dernier numéro de la revue "Scientifiques Reports."

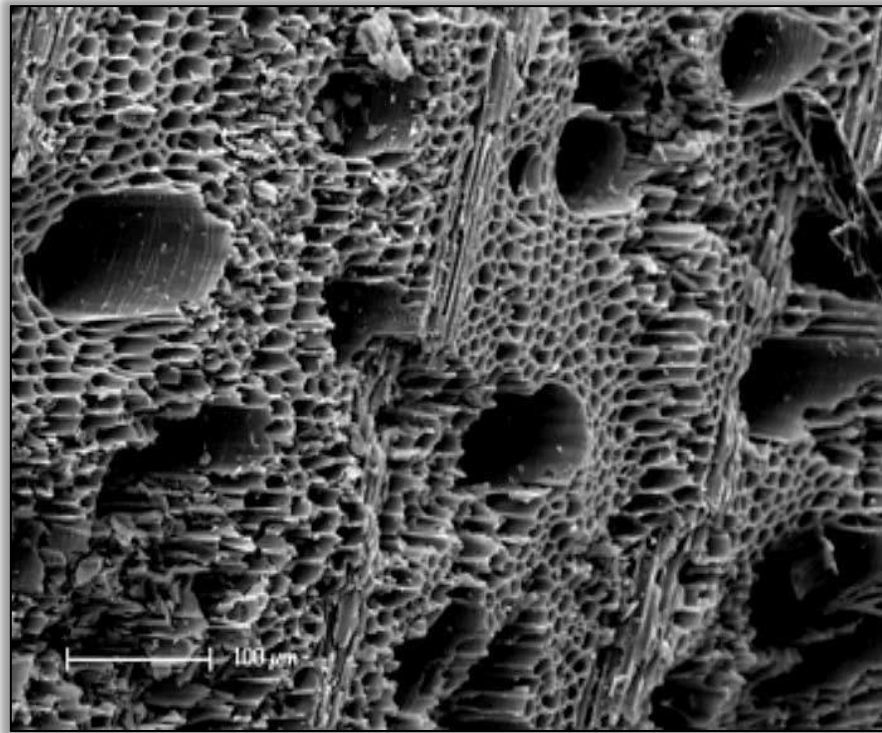
Les méthodes de production de biochar sont soumises à plusieurs étapes, à commencer par la réduction des déchets végétaux, tels que les produits de taille ou les résidus de récolte, pour augmenter l'efficacité de la combustion, en les plaçant dans des fours métalliques spéciaux, en les fermant hermétiquement et en chauffant les fours au-dessus des flammes pendant des heures jusqu'à ce que ils atteignent des températures élevées entre 400 et 700 degrés Celsius sans présence d'oxygène. Enfin, le biochar est vidé après refroidissement, puis broyé et conditionné en vue de son utilisation dans le sol. ( Ali, 2024)

### 4-Caractéristique de biochar :

-Lors de la formation du biochar, la température de pyrolyse sélectionnée affecte la porosité (Dutta et al, 2012) ont noté que le biochar produit entre 350 °C et 400 °C avait une porosité totale supérieure à celle produite à 300 °C.

-Selon une étude de (Wang et al., 2013), l'augmentation de la température de pyrolyse peut diminuer la polarité à la surface du biochar, entraînant une diminution de sa capacité de rétention dans l'eau.

-La CEC du biochar est attribuée en partie à une oxygénation accrue des groupes fonctionnels présents à la surface du biochar (Cheng et al., 2006). Les différents groupes fonctionnels qui interagissent avec le milieu sont les groupes pyrranes, phénoliques, carboxyliques, lactones et amines (Brenan et al., 2001)



**Figure 02 :** le biochar sous le microscope électronique.

## **5-Effet agronomique, amendement au sols :**

### **5-1 L'effet du biochar sur les propriétés physiques et chimiques du sol :**

Différentes matières premières, telles que : le bois dur, le biocharbon de fumier de poulet, le bois de chêne, etc., contiennent différents niveaux de pH. Les matières premières et la température utilisée dans la pyrolyse affectent également la capacité d'échange cationique, qui est importante pour la fertilité du sol, car Le plus...Plus la température de pyrolyse est basse, plus la CEC est faible et vice versa, à mesure que la température augmente Dans le sol, sa

qualité a augmenté (**Lehmann et Duthal,1973**) D'autre part, l'ajout de bio-charbon au sol affecte le PH et influence ainsi l'abondance microbienne. Généralement, sous des conditions environnementales similaires, la biomasse microbienne augmente avec une hausse du PH de 3,7 à 8,3 (**Thies et Rilling ,2009**) L'augmentation de la capacité de rétention d'eau dans le sol (jusqu'à +18%) Le bio-charbon influence profondément aussi les caractéristiques physiques d'un sol tel que : l'épaisseur, la texture, la granulométrie, la porosité, la densité et le niveau de tassement, facteurs qui influencent la disponibilité en eau et en air pour les plantes, l'ouvrabilité du sol, le niveau d'agrégation, la perméabilité, la capacité de rétention des cations, la provision d'habitat pour les microbes ainsi que sa réponse aux fluctuations des températures(**Dowin et al,2009**).

## **5-2 L'Effet du Biochar sur les Propriétés Biologiques du Sol :**

Les interactions entre les biochars et les microorganismes du sol sont complexes . D'une part , la diversité microbienne et sa taille ainsi que son activité peuvent être affectées le biochar . D'autre part , ces microorganismes sont capables de modifier les propriétés du biochar dans le sol.(**Léman et Rondon,2006**).

## **6-L'effet du biochar sur les plantes :**

Des recherches scientifiques ont confirmé que le biochar a un effet bénéfique sur la croissance des plantes. L'ajout de charbon horticole à une plante cultivée en pot ou en récipient améliore la croissance et la santé de la plante. (**Sheeta ,2022**)

Dans cette étude, les chercheurs ont combiné un pourcentage du biochar obtenu avec du sol sec du Botswana, où ils ont formé des échantillons de sol avec un pourcentage de biochar de 3 % et 5 %, en plus d'échantillons qui n'ont pas été traités avec du biochar, puis ils ont évalué les effets de l'ajout de biochar sur les propriétés physiques, structurelles, de croissance des plantes. Quant à la croissance des plantes, elles poussaient en présence de biocharbon, avec des tiges plus épaisses et des racines plus longues. Elles étaient plus lourdes que les plantes poussant dans un sol non traité avec du biocharbon. Elles absorbaient également de plus grandes quantités de potassium et de plus petites quantités de manganèse, un élément connu pour inhiber la croissance des plantes, ce qui signifie qu'en conclusion, la croissance initiale et l'absorption se sont améliorées dans les sols traités avec du biochar.

Les chercheurs ont également découvert que les niveaux d'acides organiques favorisant la croissance des plantes étaient meilleurs dans les sols traités avec du biocharbon, ce qui conforte l'idée selon laquelle la biomasse peut améliorer la fertilisation des sols ( **Al-Sharif ,2016**)

---

**Chapitre II :**  
**Caractéristique agro-écologique**  
**du sol sableux**

---

---

## 1-Les caractéristiques Physique du Sol :

### 1-1 La structure :

-La structure du sol correspond à la configuration physique du sol. Dans un sol sableux, les particules de sable ne se maintiennent pas entre-elles et ne forment donc pas d'agrégat.(Mermoud.,2006)

Structure dégradée : réduction de la perméabilité et de l'aération-

Ils ne retiennent pas l'eau et les nutriments (Jozsef.,2016).-

(Mennasser.,2009). faible disponibilité de l'eau pour la plante-

-ils ont généralement une structure monogranulaire et des propriétés physiques médiocres qui se traduisent par une faible capacité de rétention d'eau.(Andry et al,2009)

### 1-2 La texture :

La texture du sol est la proportion des particules minérales de différentes tailles qui composent le sol.(Mermoud,2006)

Les sols sableux sont « perméables » et « filtrants » : la grosseur des particules de sable et les grands espaces qui les séparent favorisent la pénétration de l'eau et de l'air mais retiennent peu l'eau. Les sols sableux s'agglomèrent difficilement en motte ce qui les rend légers et faciles d'accès aux racines mais aussi sensibles à l'érosion.(Muriel, 2007)

De la richesse du sol : un sol sableux est pauvre en éléments nutritifs et possède une faible C.E.C. (capacité d'échange cationique) (Moctar, 2012). Ils sont peu fertiles, car ils contiennent des éléments grossiers. (Bourgeois et al, 2017)

### 1-3 Porosités :

Porosité du sol, c'est-à-dire, le volume non occupé par les constituants solides du sol La porosité totale est la somme de la quantité d'eau mobile (porosité efficace) et la quantité d'eau liée aux particules (capacité de rétention).(Jmval, 2005)

Les sols sableux des tropiques présentent une large gamme de porosités et par conséquent de densité apparente (bulk density (Db) )la porosité varie de 33 % (Db= 1,78 g cm<sup>3</sup>) à 47 %

( $D_b=1,40 \text{ g cm}^{-3}$ ) sont généralement la porosité des sols sableux est généralement plus petite que celle des sols argileux et limoneux.(**Bruand et al,2006**)

## **2- Caractéristique Chimiques du sol :**

### **2-1 PH du sol :**

Le terme 'pH' signifie 'potentiel hydrogène ' et définit l'Acidité ou l'Alcalinité du sol.(**Carrifr,2003**) La réaction du sol (PH) est influencée par la nature du sol. Dont certains sels acidifient ( $\text{Ca SO}_4$  ,  $\text{kcl}$  ,  $\text{Mg SO}_4$ ) D'autres sont alcalinisants ( $\text{Na H CO}_3$  ,  $\text{Ca CO}_3$  ,  $\text{Na}_2\text{CO ESP}$ (échangeable taux de sodium ).(**Rutkowska, 2009**)

Le niveau de PH d'un sol sableux se situe entre 7,00 et 8,00.

### **2.2 Les Eléments Nutritif :**

Puisque les sols sableux contiennent plus de 85% de grains de sable singuliers, donc : Il est pauvre en contenu de granulés fins, et donc sans construction. Perméabilité rapide. La matière organique diminue rapidement en raison de la sécheresse et des températures élevées de sorte que son pourcentage ne dépasse pas 0,2 %. Carence en colloïdes tels que les granules d'argile, les oxydes de fer et d'aluminium, ainsi que les colloïdes organiques. Très faible capacité d'échange, ce qui se traduit par une nette diminution de la fertilité de ces espèces de terres. Très peu d'activité vitale en raison du manque d'humidité et de nutriments.(**Bortoluzzi ,2003**).Les sols sableux sont généralement peu fertiles, mais on dispose de peu d'information sur la dynamique des éléments nutritifs du sol et des plantes(**Yanai et Nakata ,2007**).

## **-3- Caractéristique biologique du sol :**

### **3-1 Les bactéries :**

Les bactéries aident à maintenir les cycles naturels tels que : les cycles du carbone, les cycles de l'azote et les cycles du soufre, qui maintiennent les sols sableux fertiles et aérés. Genre : *Nocardiosis*, *Actinomadura*, *Microtetraspora*, *Saccharothrix*, *Streptosporangium*, *Spirillospora* et surtout ; *Planomnospora* (rare dans le monde), sont présentes en quantités importantes dans les sols sableux(**Jadvan,1990**).

### 3-2 les champignons :

étudié pour les zones sèches dans des sols sableux et a trouvé la répartition de quatre genres de champignons, dans l'ordre selon leur propagation, le premier genre *Aspergillus*, le deuxième genre est *Blastomyces*, puis *nectarial* et enfin *Fusarium*.(Fatma, 2003)

Le champignon peut aussi contracter au niveau des racines des symbioses mycorhizienne, dont les actions peuvent se révéler bénéfiques pour les végétaux.(Morel, 1989)

### 3-3 Les algues :

les algues sont des éléments importants des écosystèmes arides et semi-arides . De plus, la présence d'algues réduit l'érosion en régulant le débit d'eau dans les sols. De même, ils jouent un rôle dans la fertilité des sols, la régénération des sols, la lutte biologique contre les ravageurs agricoles, la formation de substances microbiologiques.(Ibraheem, 2007).

---

# **Partie Expérimentale**

---

---

# **Matériel et Méthode**

---

Dans cette partie nous allons présenter les protocoles expérimentaux et les méthodes utilisés pour obtenir les réponses à notre problématique à savoir : y a-t-il un effet positif du Biocharbon de phragmites sur les propriétés des sols sableux et sur la croissance des plants de laitue?

## 1-Méthodes et Matériel de recherche :

### 1-1-Matériel végétal :

Dans cette étude, nous avons choisi des plants de laitue **blonde du Batavia (Paris)** pour tester leur réponse morphologique vis-à-vis plusieurs traitements du biochar à base de *Phragmites australis*

#### 1-1-1- plants de laitue :

##### 1-1-1-1 Laitue *Lactuca sativa* blonde du Batavia (Paris) :

La laitue batavia appartient à la même espèce que la laitue pommée, elles portent le même nom *Lactuca sativa* var. capitata. Légume-feuille annuel, la batavia se distingue de la pomme par son feuillage cloqué et découpé et ses nervures épaisses qui les rendent plus croquantes que fondants. Elles forment également une pomme serrée qui peut être verte ou veinée de pourpre. La batavia est moins sensible à la montaison rapide que la laitue beurre et elle offre une culture plus facile, également, du fait qu'elle supporte mieux la chaleur.

(<https://jardinage.lemonde.fr>)

Classification scientifique :

- ✓ Famille : Astéracées
- ✓ Division : Magnoliophyta
- ✓ Classe : Magnoliopsida (Zorrig, 2011).



**Figure 03 :** Laitue blonde du Batavia (Paris) (Original 2024).

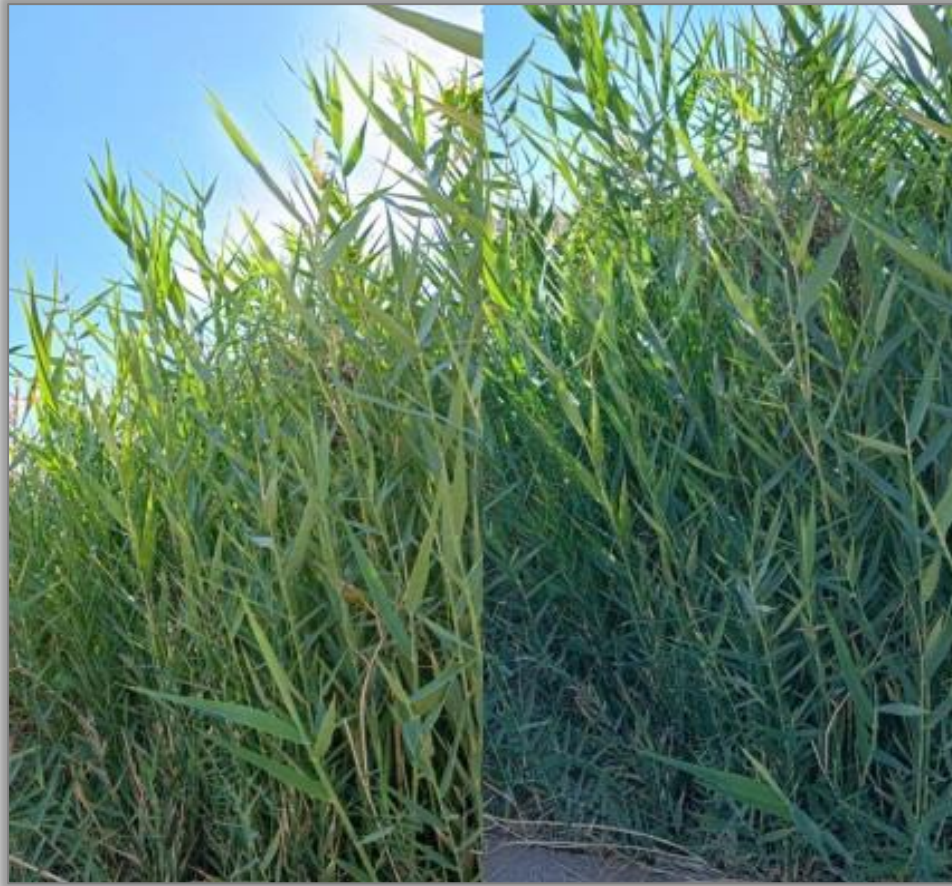
### **1-1-2- plante du *Phragmites australis* :**

#### **1-1-2-1- Identification des plantes :**

Plante herbacée vivace, avec de nombreuses branches, surtout dans sa partie inférieure où le sable s'accumule et s'accumule. La longueur de la plante est de 10 à 30 cm. Les tiges poussent en rampant puis s'élèvent légèrement lors de la floraison. la longueur ne dépasse pas 4 cm. Les tiges se terminent par des épis allongés. On le trouve largement dans les régions de l'Erg et du Sahn, et il est répandu dans la région du désert arabe. (Hliss ,2005)

Classification scientifique :

- ✓ **Famille :** Poaceae
- ✓ **Genre :** Danthonia
- ✓ **Espèce :** Danthonia forskahli .(Quezel et Sanat,1963)



**Figure 04 :** plantes *phragmite australes* (Original 2024).

#### **1-1-2-2- Dommages environnementaux aux plantes :**

La plante consomme l'espace de croissance disponible et repousse les autres plantes, y compris les sous-espèces indigènes. Cela modifie également l'hydrologie des zones humides, augmente le risque d'incendies et réduit et dégrade l'habitat faunique des zones humides, en partie à cause de ses habitudes de croissance extrêmement denses.

(<https://29.co.th>)

**1-2- Outils, solution et appareils utilisés :**

Le tableau suivant représente les outils, solutions et appareils utilisés dans les expériences.

**Tableau 01 :** Présente les outils, solutions et appareils utilisés dans l'étude.

outils	Solution et substances	appareils
<b>Biochar</b>		
Baril Source de chaleur	Plante de Phragmites	
<b>Estimation de la rétention d'eau</b>		
Papier filtre Entonnoir Bécher Eprouvette Spatule	Biochar Engrais organique (déchets de volailles) Sable Eau distillée	Balance
<b>Mesure du PH et EC</b>		
Papier filtre bécher	sable biocharbon engrais organique eau distillée	balance pH-mètre
<b>Mesure des carbohydrates</b>		
Tubes à essai en verre Porte-tube à essai Micropipette	Feuilles de laitue Eau distillée Acide trichloracétique(TCA) Finole Acide sulfurique	Spectrophotomètre Balance analytique Agitateur Centrifuger
<b>Mesure de la chlorophylle et des caroténoïdes</b>		
Honne Micropipette Spatule Tubes à essai en verre Porte-tube à essai	Feuilles de laitue Acétone Eau distillée	Spectrophotomètre Centrifuger Balance analytique
<b>Mesure des flavonoïdes</b>		
Feuille d'aluminium Micropipette Spatule Bouteilles en plastique Papier filtre Tubes à essai en verre Porte-tube à essai	Eau distillée L'acétate de sodium Nitrate d'aluminium Poudre de feuilles de laitue sèche Méthanol	Broyeur électrique Spectrophotomètre Balance Agitateur Le tuve

## 2-Méthode expérience :

### 2-1- Lieu de l'expérience :

L'expérience de germination a été réalisée dans le laboratoire de l'incubateur d'entreprises universitaires, tandis que l'expérience de culture s'est déroulée dans une ferme privée située dans la région de Hessi Khalifa (El-Oued).

### 2-2- Étapes de préparation du biochar :

-La première étape : Apportez un grand tonneau avec un couvercle hermétique

Et Percez cinq petits trous au fond du tonneau pour assurer une bonne aération.

-La deuxième étape : Placez le fût à une hauteur de 25 cm afin de permettre l'entrée du feu lors de l'allumage.

-Le troisième étape : Cassez les branches et les feuilles de la plante phragmite en morceaux de tailles variées Et Allumez un feu sous le tonneau et Attendez qu'une épaisse fumée se dégage, puis continuez à chauffer jusqu'à ce que la fumée devienne transparente. Une fois la fumée devenue transparente, fermez hermétiquement le tonneau.

-La quatrième étape : Laissez le tonneau fermé pendant environ 4 heures pour permettre la décomposition thermique complète de la phragmite.

### 2-3- Préparation du biochar de bois pour l'expérience :

A l'aide d'un seau et d'un bâton en bois, on broie le biochar issu de la pyrolyse de la plante Phragmites en veillant à bien le briser sans l'écraser complètement, afin de conserver des morceaux d'une taille adaptée à l'expérimentation. Nous obtenons du biochar avec une conductivité électrique et un pH élevé, où : **EC = 30,9 ms/cm** et

**pH = 10,20.**



**Figure 05 :**Biochar utilisé dans l'expérience

#### **2-4-Étapes de culture de la laitue :**

Des quantités de biochar et d'engrais organique ont été utilisées dans chaque traitement selon les équations suivantes :

##### **2-4 -1-Le calcul des doses :**

Pour chaque 0,18 mètre carré, nous avons utilisé 0.72 kg d'engrais organique

10000m<sup>2</sup> \_\_ 40 000 kg d'engrais organique

0,18 m<sup>2</sup> \_\_ X

$X=0,18 \times 40\ 000 / 10\ 000$

X= 0,72kg

A T1 nous avons utilisé 0,036 kg de biochar, soit:

10000 m<sup>2</sup> \_\_ 2 000 kg biochar

$$0,18 \text{ m}^2 \text{ ___ } X$$

$$X=0,18 \times 2000 / 10000$$

$$X=0,036 \text{ kg}$$

A T2 nous avons utilisé 0,072 kg biochar soit:

$$10000 \text{ m}^2 \text{ ___ } 4 \text{ 000 kg biochar}$$

$$0,18 \text{ m}^2 \text{ ___ } X$$

$$X=0,18 \times 4000 / 10000$$

$$X=0,072 \text{ kg}$$

A T1 nous avons utilisé 0,144 kg de biochar, soit:

$$10000 \text{ m}^2 \text{ ___ } 8 \text{ 000 kg biochar}$$

$$0,18 \text{ m}^2 \text{ ___ } X$$

$$X=0,18 \times 8000 / 10000$$

$$X=0,144 \text{ kg}$$

A T1 nous avons utilisé 0,288 kg biochar, soit:

$$10000 \text{ m}^2 \text{ ___ } 8 \text{ 000 kg biochar}$$

$$0,18 \text{ m}^2 \text{ ___ } X$$

$$X=0,18 \times 8000 / 10000$$

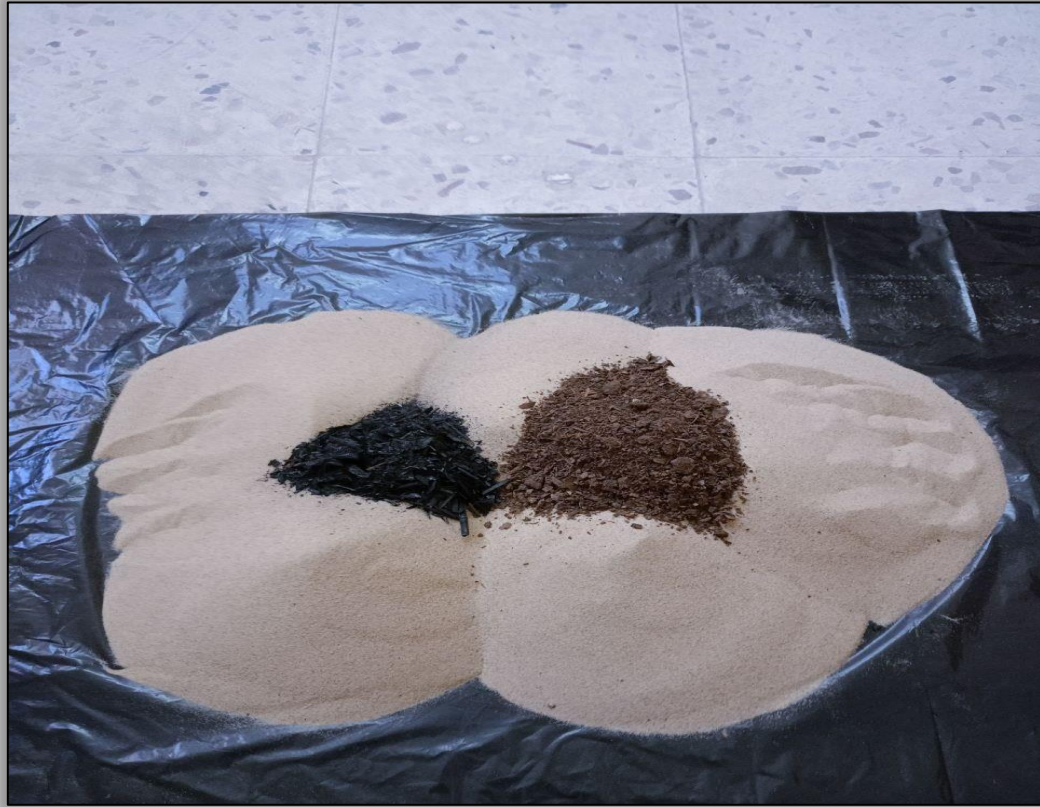
$$X=0,288 \text{ kg} .$$

## **2-4-2- Préparation de la laitue pour la plantation :**

### **2-4-2-1 - Expérience de germination :**

Nous avons commencé notre expérience de germination le 4 février 2024. Nous avons d'abord préparé la quantité nécessaire de biocharbon, que nous avons broyé en miettes pour éviter qu'il ne soit complètement homogène avec le sol. Ensuite, nous avons incorporé le biocharbon au sol selon des proportions bien définies et réparti ce mélange dans le plat de plantation.

Pour l'expérimentation, nous avons semé trois graines dans chaque carré du plat de plantation, avec chaque traitement comprenant 8 carrés. Ainsi, chaque traitement contenait un total de 24 graines. Les premiers résultats de germination ont été observés le 12 février 2024.



**Figure 06** : Préparer le sol de plantation.



**Figure 07** : du début de l'expérience de germination dans une boîte de semis.



**Figure 08** : Résultats de l'expérience de germination

#### 2-4-2-2- Expérience de plantation à la ferme :

"Notre expérience de plantation à la ferme a débuté le 4 mars 2024 à l'intérieur de la serre . Nous avons entrepris de labourer le sol manuellement à l'aide d'un râteau de jardin, travaillant à une profondeur de 20 cm pour assurer une bonne aération du sol. En suivant le protocole du carré latin, nous avons divisé le terrain en carrés pour garantir une répartition équilibrée des conditions expérimentales. Parallèlement, un système d'irrigation goutte à goutte a été méticuleusement installé pour assurer un apport en eau précis et efficace.

Le 5 mars 2024, nous avons procédé à la plantation des jeunes plants, lesquels mesuraient 9cm de hauteur et étaient dotés de 4 folioles. Avec soin, nous avons disposé 4 plants dans chaque carré, veillant à respecter un espacement adéquat pour favoriser leur développement. Cette méthode de plantation méthodique vise à optimiser les conditions de croissance et à permettre une comparaison précise des résultats.



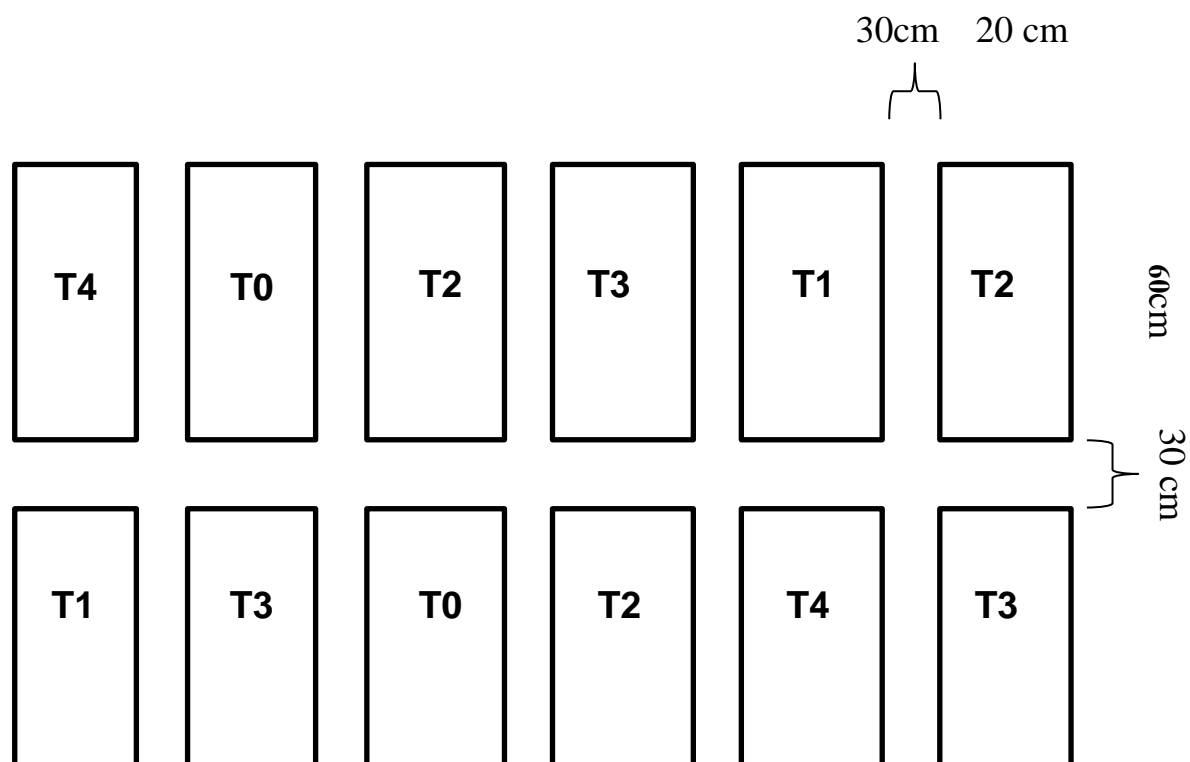
**Figure 09 :** Traiter et diviser le sol pour la plantation



**Figure 10 :** Plants de laitue.



**Figure 11 :** Plantation de plants de laitue dans des carré de traitement à l'intérieur de la serre



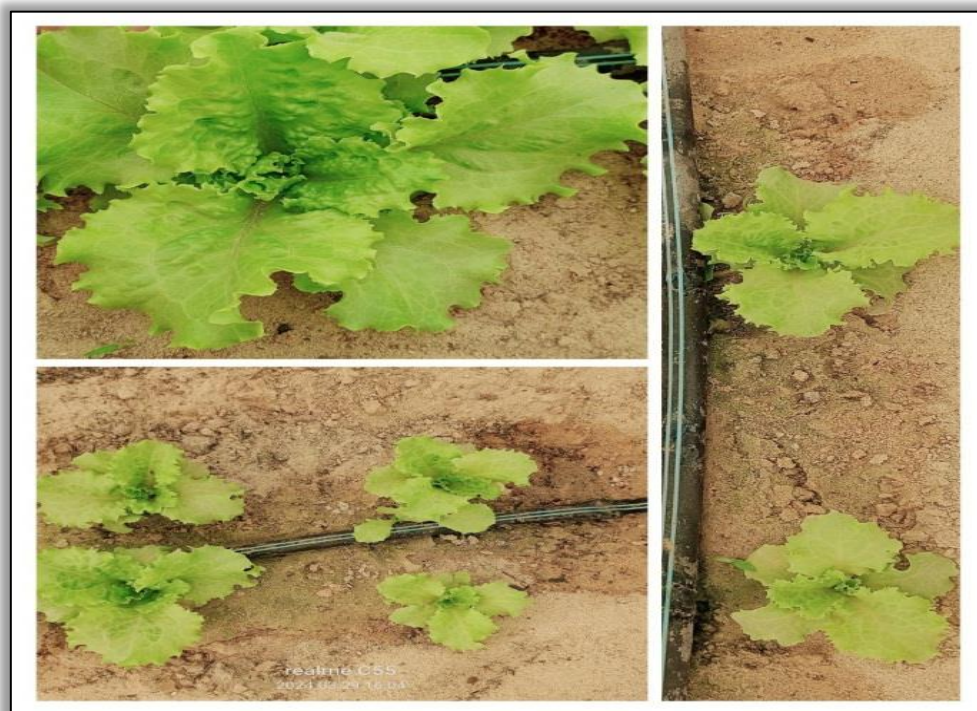
**Figure 12** : Un schéma de conception expliquant l'expérience



**Figure 13** : Semis de laitue 10 jours après la plantation.



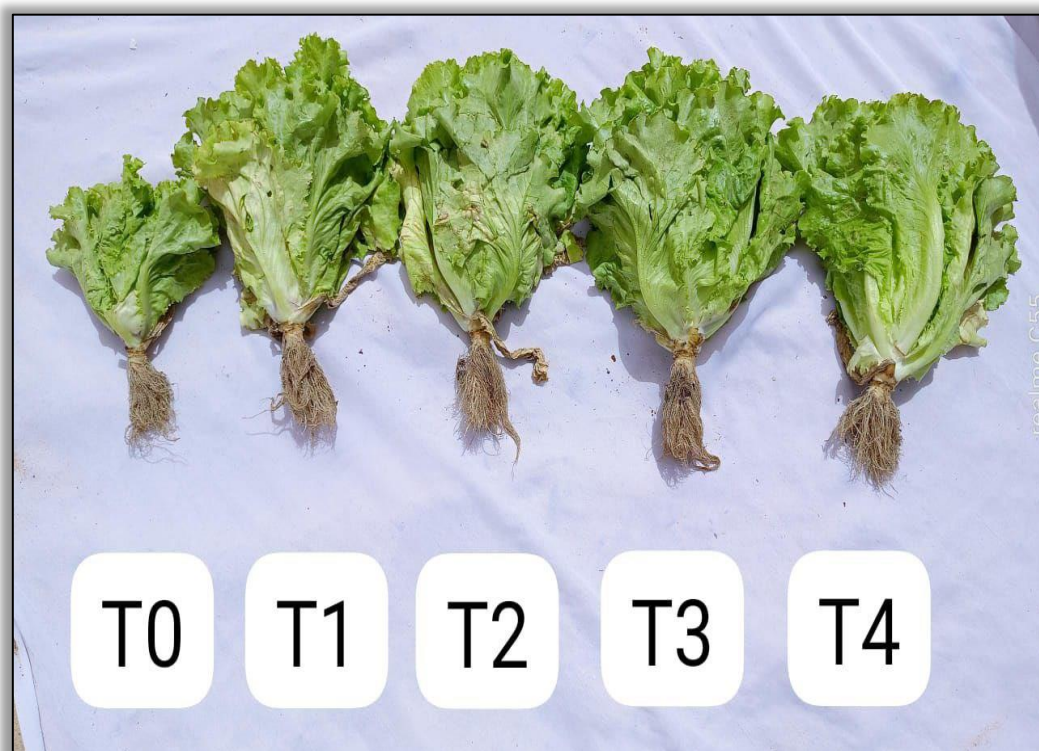
**Figure 14** : Semis de laitue 15 jours après la plantation.



**Figure 15** : Semis de laitue 24 jours après la plantation.



**Figure 16:** laitue 42 jours après la plantation.



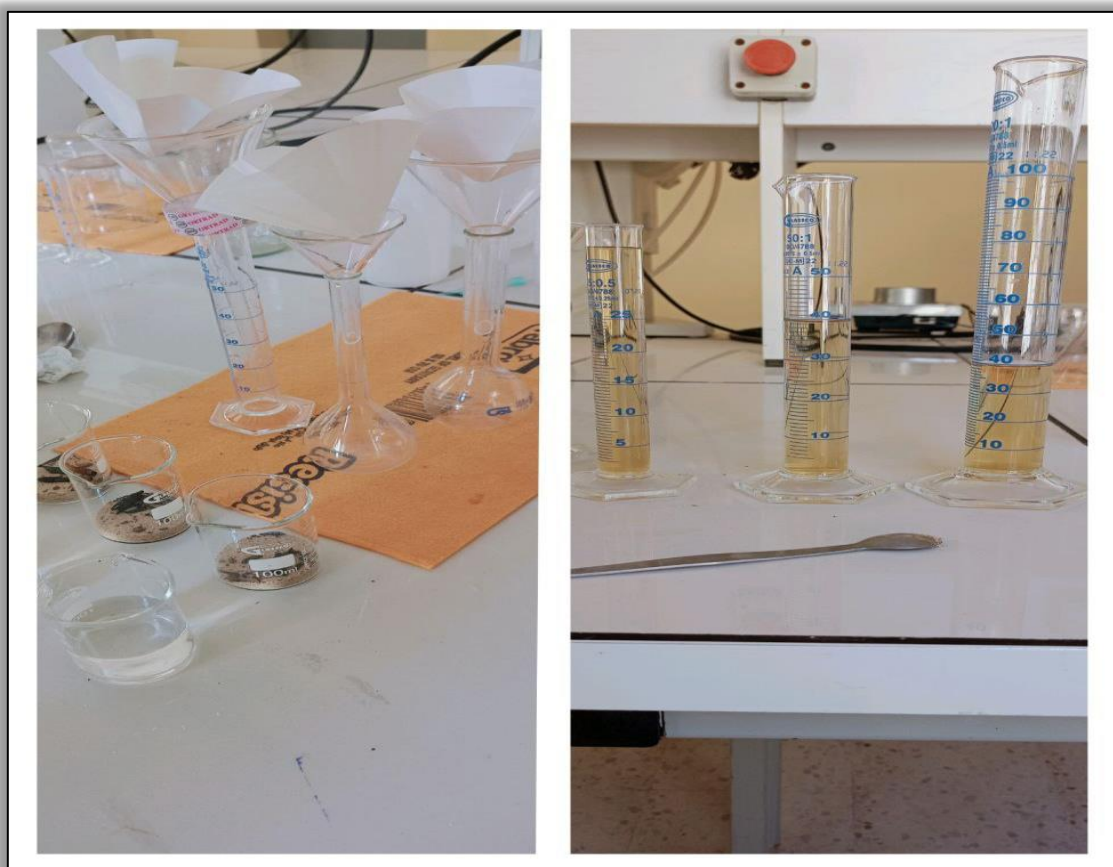
**Figure 17 :** Plant de laitue après la fin de l'expérimentation sur le terrain.

## 2-5- Expérimentez la rétention d'eau dans un sol avec différentes concentrations de biochar :

Préparez cinq mélanges de sol, chaque mélange contenant 1 kg de sable, 40 g d'engrais organique et du biochar à différentes concentrations ( T0= 0 g, T1= 2 g,T2= 4 g, T3= 8 g,T4= 16 g).

Procédure expérimentale:

Pour chaque traitement, prélever 25 g du mélange de sol préparé. Ajouter 50 ml d'eau distillée dans le bécher contenant le mélange de terre et mélanger délicatement pour humidifier complètement la terre. Préparez un entonnoir avec du papier filtre, puis versez le mélange terre et eau dans l'entonnoir préparé avec le papier filtre. Placer l'entonnoir sur une éprouvette graduée pour récupérer l'eau filtrée, pendant 10 minutes Enregistrez le volume d'eau filtrée pour chaque traitement.



**Figure 18** : Expérience de rétention d'eau.

## 2-6- Mesure du pH du sol et de la conductivité électrique (EC) :

Nous prenons 150 grammes de terre agricole, puis y ajoutons 50 ml d'eau distillée et laissons tremper pendant 24 heures. Nous le filtrons avec du papier filtre, puis mesurons le pH et l'EC extraits à l'aide d'un pH-mètre.

## 2-7- Estimation des propriétés biochimiques :

### 2-7-1- Estimation des carbohydrates (plantes fraîches) :

Les métabolites primaires sont extraits des feuilles selon la méthode Shibko en suivant les étapes suivantes:

1-Prélevez 0,1 g de la partie médiane de chaque feuille, coupez-la en petits morceaux et placez-les dans un tube à essai.

2-Ajoutez 20 ml de trichloracétique (TCA), puis mélangez à l'aide d'un agitateur magnétique pendant 5 minutes.

3-Séparez le mélange à l'aide d'une centrifugeuse pendant 10 minutes à 3000 tr/min pour obtenir le précipité 1 et le surnageant 1, avec lesquels on estime les sucres dissous (glucides).

Estimation des sucres solubles

Selon la méthode de (**Dubois et al 1956**) , avec quelques modifications dans les quantités utilisées :

4-Prenez 0,25 ml de surnageant 1 et ajoutez-y 0,25 ml de phénol à 5%.

5-Ajoutez ensuite 1,25 ml d'acide sulfurique.

6-Agitez le mélange pendant 15 minutes.

7- Mesurez l'absorbance à 490 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

La concentration en sucres est calculée selon l'équation :

**Concentration de sucres =  $1,24+97,44 \times$  ( lecture à 490 nm ) micro g/100 mlg de matière végétale**



**Figure 19 :** Estimation des carbohydrates.

### **2-7-2- Détermination de la teneur en chlorophylle et caroténoïdes :**

Pour déterminer la teneur en chlorophylle et en caroténoïdes, suivez la méthode décrite par (Arnon ,1949), avec les adaptations de (Shiragave et al. 2015) utilisant une solution d'acétone. Les étapes sont les suivantes :

1-Lavez les feuilles des plantes de chaque traitement : T0, T1, T2, T3, et T4

Pesez 100 mg de feuilles tendres.

2- Coupez les feuilles en petits morceaux.

3- Broyez-les dans un mortier avec 2 ml d'acétone et 3 ml d'eau distillée.

4-Après broyage complet, placez la solution dans des éprouvettes à l'abri de la lumière. mesures précises de la teneur en chlorophylle et en caroténoïdes.

5-Mettre ces tubes à la centrifugeuse pendant 10 minutes pour obtenir un liquide clair

6-Utilisation d'un spectrophotomètre pour mesurer l'absorption optique à la longueur d'onde de 645, 663 et 470 nanomètres avec une cellule en verre de 1 cm d'épaisseur.

Utilisez les équations suivantes pour calculer la teneur en chlorhydrate

$$\text{Chl.a (mg/g.fw)} = [(12,7 \times A_{663}) - (2,69 \times A_{645})] \times V / 1000 \times W$$

$$\text{ChL.b (mg/g.fw)} = [(22,9 \times A_{645}) - (4,68 \times A_{663})] \times V / 1000 \times W$$

$$\text{Chlorophyll total (mg/g.fw)} = [A_{645}(20,2) + A_{663}(8,02)] \times V / 1000 \times W$$

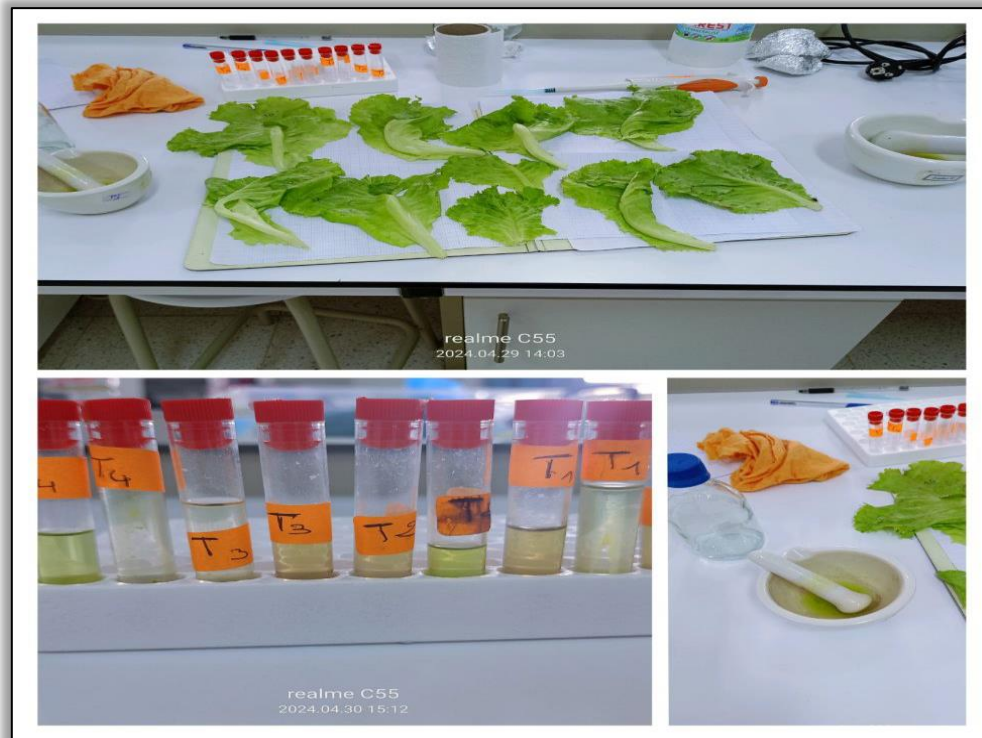
Equation de calcul des caroténoïde décrite par (Al-Taie et Sultan,2010) est la suivante:

$$\text{Carotenoid (mg/g)} = [(A_{470} \times 250 \text{ ml} / 2300 \times 100) \times 100 \text{ mg/1g}]$$

A : Valeur d'absorption optique aux longueurs d'onde 645, 663, 470

V : Volume d'acétone (ml)

W: Poids de la matière des feuilles (g)



**Figure 20** : Dosage de la chlorophylle et des caroténoïdes

### 2-7-3- Préparation d'extrait pour le dosage des flavonoïdes :

Préparation de l'extrait et identification des flavonoïdes :

Méthode de référence : **(Matkowski et Piotrowski ,2006)** .

1-On a dissous 3 g de matière sèche dans 30 ml de méthanol et Bien agiter le mélange .

2-Laisser tremper 72 heures à température ambiante et Nous avons filtré le mélange dans un petit bécher .

3-La fève est placée dans l'incubateur à une température de 45 degrés Celsius pour être séchée jusqu'à l'obtention d'un extrait méthanolique pur de nature visqueuse.

Dosage des flavonoïdes :

Les flavonoïdes, en tant que composés phénoliques, réagissent avec le nitrate d'aluminium ( $AlCl_3$ ) pour former un composé jaune.

Méthode de référence :( **Salatino et Whiskey ,1999** ) , étapes décrites par (**Khoirakbam et Balwinder ,2012**) .

4-On a mélangé 2 ml d'extrait méthanolique avec 0,1 ml de nitrate d'aluminium à 10% ( $\text{AlCl}_3$ ).

5- Ajouter 0,1 ml d'acétate de sodium ou de potassium.

6- Puis nous avons ajouté 2,8 ml d'eau distillée.

Nous avons laissé reposer le mélange 30 minutes à l'obscurité.

7- Mesurer l'intensité de l'absorption optique à une longueur d'onde de 415 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

Calculez la concentration en flavonoïdes:

Utilisez l'équation linéaire de la courbe standard de Christine :  $Y=0.009x+0.085$



Figure 21 : Estimation des flavonoïdes.

---

---

## **Résultat et Discussion**

---

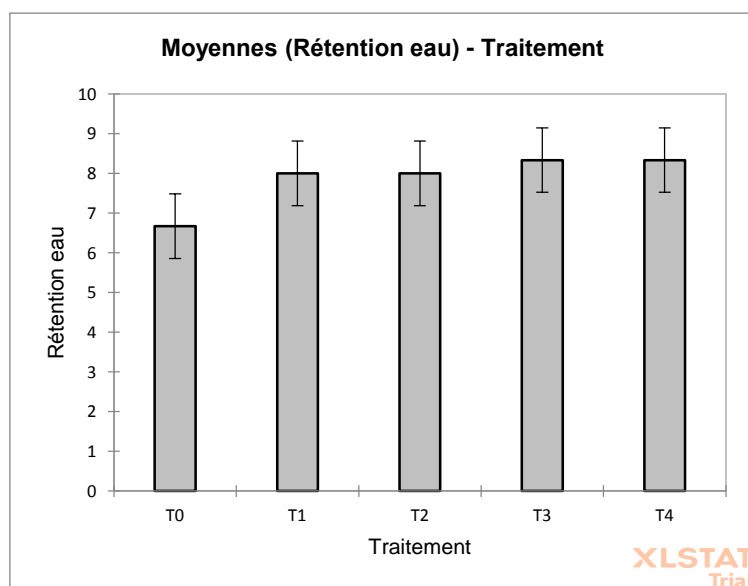
**1-Effet du biochar sur les propriétés physiques et chimiques du sol sableux :**

**1-1-Propriétés physiques :**

**1-1-1-Les résultat de la mesure de la rétention d'eau du sol :**

**Tableau02 :** Analyse ANOVA pour mesurer la rétention d'eau du sol.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Codes de signification des p-valeurs
Modèle	4,000	5,733	1,433	3,583	<b>0,046</b>	*
Erreur	10,000	4,000	0,400			
Total corrigé	14,000	9,733				



**Figure 22 :** colonnes graphiques représentant rétention moyenne d'eau du sol dans de différents traitements au biochar T0 T1 T2 T3 T4.

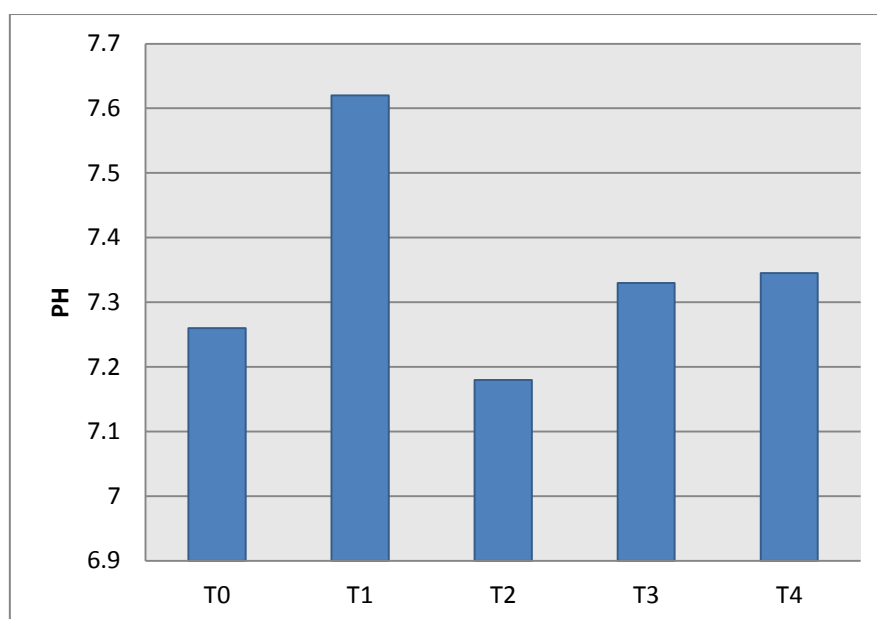
La figure 22 représente des graphiques de la rétention moyenne d'eau du sol dans différents traitements au biochar. On note que la rétention moyenne d'eau du sol a été enregistrée à T1 T2 T3 T4, et ces valeurs étaient élevées (de 8,8 à 9), et étaient supérieures à la valeur témoin de T0 = 7,5. Selon l'analyse statistique ANOVA, il existe des différences statistiquement significatives.

Les résultats de notre étude montrent que le biochar a un effet positif sur l'humidité du sol car il en augmente les niveaux. Selon (Herath et al., 2013), l'amélioration de l'humidité du sol

due à l'ajout de biochar est principalement attribuée aux changements de l'humidité du sol. densité apparente du sol. Le biochar retenait plus d'eau que les autres sources de carbone, probablement en raison de sa structure poreuse et de sa surface extrêmement élevée. Cette structure modifie les propriétés physiques du sol, créant une structure semblable à un récif corallien.

## 1-2- Propriétés chimiques :

### 1-2-1 Résultat de la mesure du PH :



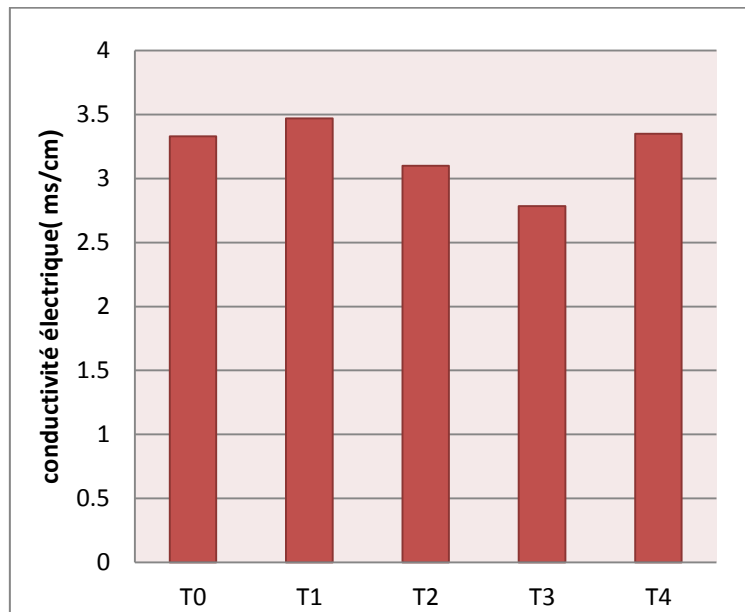
**Figure 23 :** les colonnes graphiques représentant les ratios moyens de mesure du PH pour les traitements T0 T1 T2 T3 T4.

La figure 23 représente des graphiques à barres de l'acidité moyenne du sol dans différents traitements au biochar. On note que la valeur la plus élevée de l'acidité moyenne du sol a été enregistrée à T1 = 7,62 > T3 = 7,33 > T4 = 7,345, par rapport au témoin T0 = 7,26, tandis que la valeur la plus basse du pH a été enregistrée à T2 = 7,18. Nous concluons que le biochar affecte l'acidité du sol.

Le résultat obtenu à T2 a également confirmé que le biochar Il n'est pas du tout inerte dans le sol et peut s'oxyder, notamment dans le sol Surface, par activité chimique et microbienne (Cheng et al., 2006, 2008). Oxydation lente du biochar dans le sol Ils peuvent produire des groupes fonctionnels carboxyliques (Brodowski et al., 2005 )(Cheng et al., 2006). Biochar dans un sol contenant de la matière organique Les applications matérielles feront progresser

l'oxydation du biocharbon (Novak et al, 2010)(Luo et al, 2011). et en même temps, L'oxydation de la matière organique du sol, qui peut également Produire des substances acides, car leur présence est préférée biochar (Liang et al., 2010 )(Zavaloni et al., 2011). le La formation de groupes fonctionnels acides peut être neutralisée Alcalinité et éventuellement baisse du pH du sol.

### 1-2-2- Résultat de la mesure de conductivité électrique :



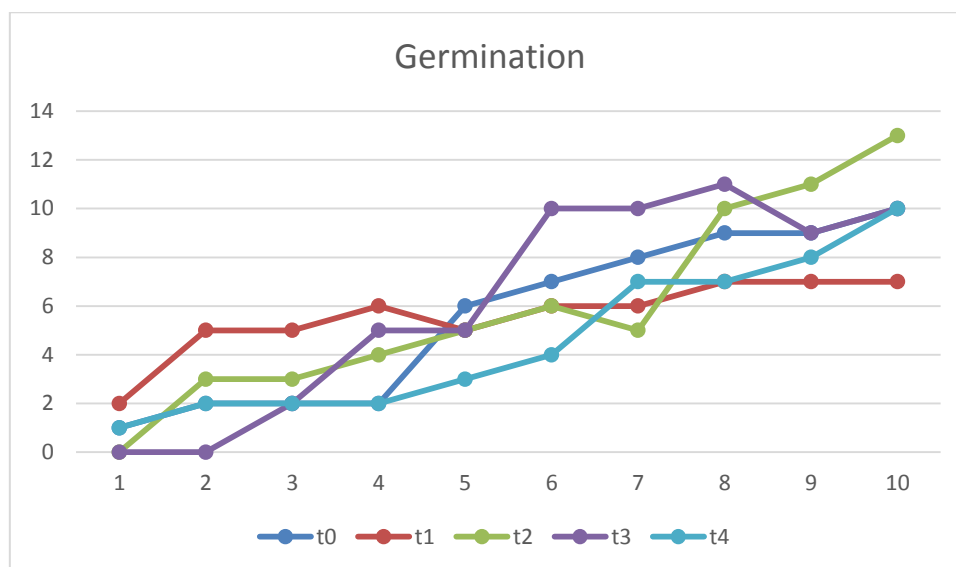
**Figure 24 :** les colonnes graphiques représentant les rapports de conductivité

Electrique moyens dans les traitements T0 T1 T2 T3 T4.

La figure 24 représente des graphiques de l'acidité moyenne du sol dans différents traitements au biochar. On note que les valeurs moyennes les plus élevées pour la conductivité électrique étaient à T1 = 3,47( ms/cm) et T4 = 3,35( ms/cm), par rapport au contrôle T0 = 3,33, tandis que les valeurs moyennes les plus basses pour EC ont été enregistrées à T2 = 3,1( ms/cm) et T3 = 2,785( ms/cm).

Il a été observé que l'ajout de biochar entraînait une augmentation de la EC du sol. Nos résultats montrent que le biocharbon augmente la conductivité électrique du sol, ce qui concorde avec de nombreuses études antérieures (Li et al.,2018) (Mohawesh et al.,2021) (Sun et al.,2022). Ceci est confirmé par nos résultats obtenus aux paramètres T1 et T4.

## 2- l'effet du biochar sur la germination des plantes de laitue :



**Figure 25** : la germination de la laitue chez le traitements T0 T1 T2 T3 T4 en conditions de laboratoire.

D'après la figure 25 nous remarquons que, la valeur la plus élevée de développement germinatif a été enregistrée en T1 du jour 1 au jour 4( estimée à 6 plantes) par rapport au témoin T0 et aux autres traitements T4 T2T3, et la germination a diminué au jour 4. Nous avons également remarqué une évolution de la germination pour le traitement t3 du jour 2 au jour 8 (estimée à 11 plantes) et une baisse au jour 9. Quant aux traitements t2 et t4, il y a eu une augmentation continue du jour 1 au jour 10, et le développement de germination le plus élevé a finalement été enregistré en facteur T2(estimée à 13 plantes).

Le déclin du développement germinatif dans les deux traitements T1 et T3 est dû à la mort des plants de laitue.

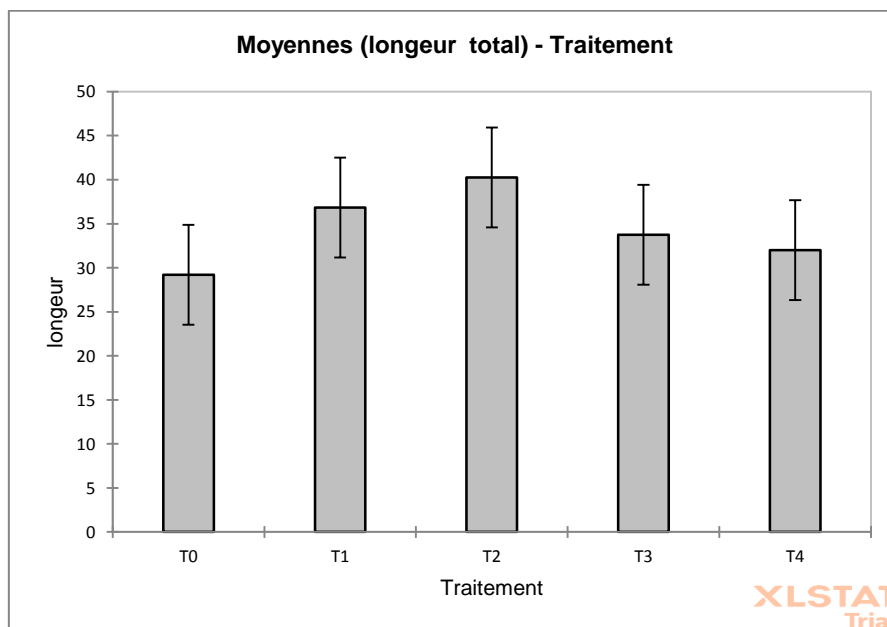
le biocharbon a un certain degré d'adsorption et contient une certaine quantité d'éléments minéraux du sol qui peuvent fournir des nutriments pour la germination des graines. De même (Agboola et Moses , 2015) ont rapporté que la capacité de absorption du biocharbon pour les produits allélochimiques peut augmenter lors de la germination des plantes. Cette étude était en accord avec (Alie et al ,2014) qui rapportaient que l'application de biocharbon augmentait le paramètre de germination des graines de pois.

### 3-L'effet du biochar sur les caractéristiques morphologiques des plantes de laitue :

#### 3-1-Mesurer la longueur des total :

**Tableau03** : Analyse ANOVA pour mesurer la longueur total.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Codes de Signification des p-valeurs
Model	4.000	440.195	110.049	2.431	0.074	.
Erreur	25.000	1131.583	45.263			
Total corrigé	29.000	1571.779				



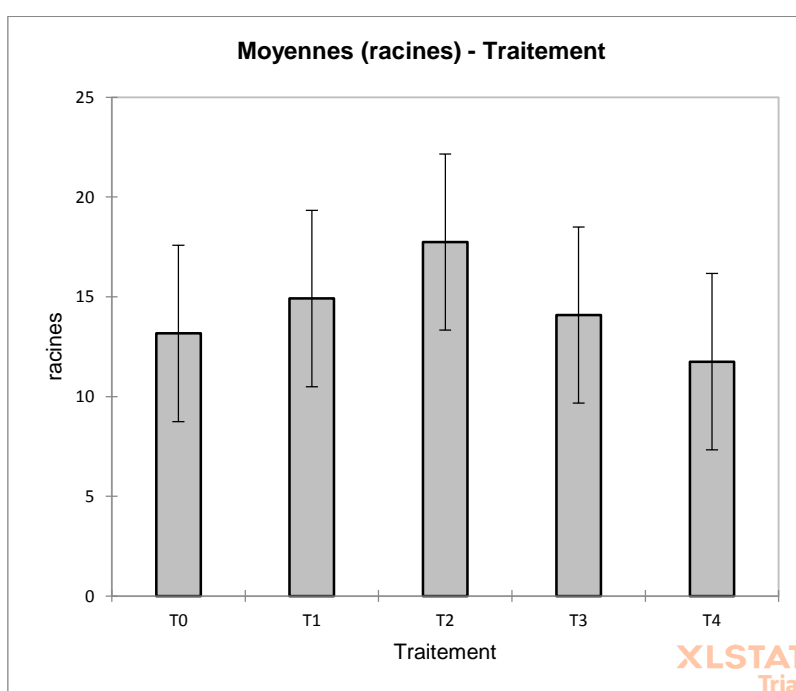
**Figure 26** : colonnes graphiques représentant la longueur moyenne des traitements T0 T1 T2 T3 T4.

La figure 26 représente des graphiques de la longueur totale moyenne des plantes dans différents traitements au biochar. On note que la plus grande longueur de plante a été enregistrée à T2 = 45,9 cm et T1 = 42,4 cm, ce qui était supérieur à la hauteur enregistrée à T0 = 34,8 cm au contrôle. Quant aux traitements T3 et T4, ils étaient proches. Selon l'analyse ANOVA, il n'y a pas de différences statistiquement.

**3-2-Mesurer la longueur des racine :**

**Tableau04 :** Analyse ANOVA pour mesurer la longueur des racines.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Codes de signification des p-valeurs
Modèle	4,000	120,667	30,167	1,094	0,381	°
Erreur	25,000	689,500	27,580			
Total corrigé	29,000	810,167				



**Figure 27 :** colonnes graphiques représentant la longueur moyenne des racines dans les traitements T0 T1 T2 T3 T4.

La figure 27 représente des graphiques à barres de la longueur moyenne des racines dans différents traitements au biochar. Nous notons que la longueur de racine la plus élevée a été enregistrée à T2 = 22 cm, et la longueur de racine la plus faible a été enregistrée à T4 = 15,5, alors que T1 et T3 étaient proches, par rapport au témoin T0 selon l'analyse ANOVA, il n'y a pas de différences statistiquement significatives.

3-3-Mesurer de la hauteur :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Codes de signification des p-valeurs
Modèle	4,000	154,829	38,707	1,278	0,305	°
Erreur	25,000	757,450	30,298			
Total corrigé	29,000	912,279				

Tableau05 : Analyse ANOVA pour mesurer de la hauteur.

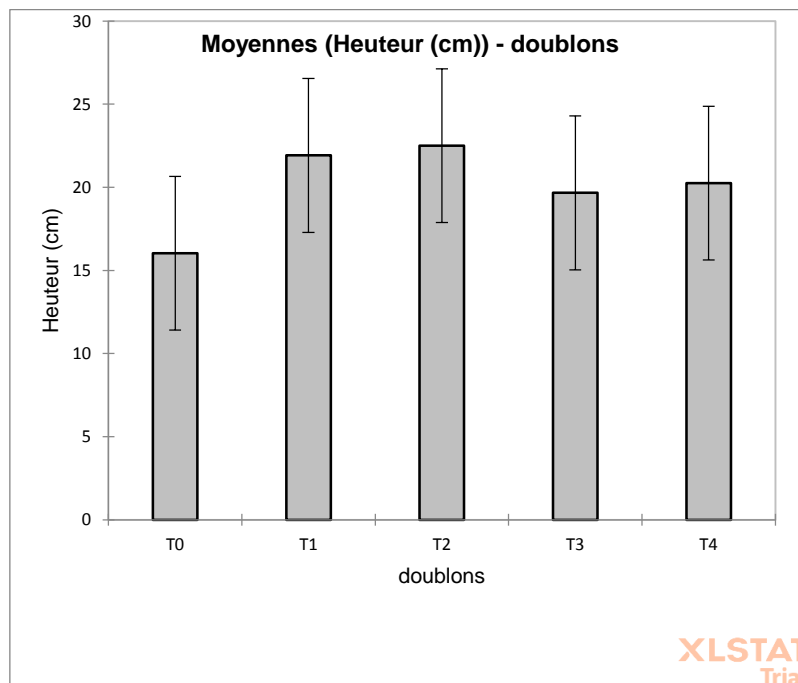


Figure 28 : colonnes graphiques représentant hauteur moyenne somme végétative en traitements T0 T1 T2 T3 T4.

La figure 28 représente des graphiques de la hauteur moyenne (partie végétative) dans différents traitements au biochar. On note que la hauteur la plus élevée a été enregistrée à T1=26,5(cm) T2=27(cm) T3=24,2(cm) T4=24,8(cm), et ces valeurs étaient proches les unes des autres, par rapport au témoin T0 où la hauteur était 20,6 (cm). Nous concluons que le Biochar affecte l'augmentation de la hauteur des plantes.

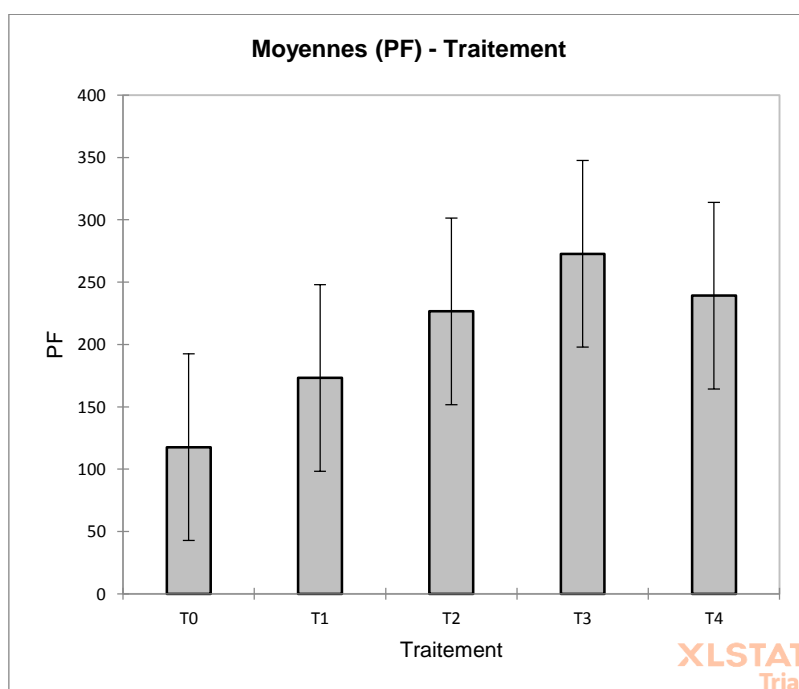
Selon l'analyse ANOVA, il n'y a pas de différences statistiquement significatives. Selon (Jaborova., 2021), le traitement au biochar a considérablement augmenté la longueur des pousses de 77%.

Hauteur de la plante, nombre de nœuds et canopée, influence de l'amendement au biochar (0, 1 et 3 %) sur la hauteur des plants de tomates au fil du temps, avec des résultats normalisés à la hauteur lors de la première mesure (jour 35) (Graber et al., 2010 )

**3-4- Mesurer le poids fraise :**

**Tableau06 :** Analyse ANOVA pour mesurer le poids frais.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Codes de signification des p-valeurs
Modèle	4,000	89113,800	22278,450	2,813	<b>0,047</b>	*
Erreur	25,000	197993,667	7919,747			
Total corrigé	29,000	287107,467				



**Figure 29 :** colonnes graphiques pour le poids frais moyen des traitements T0 T1 T2 T3 T4.

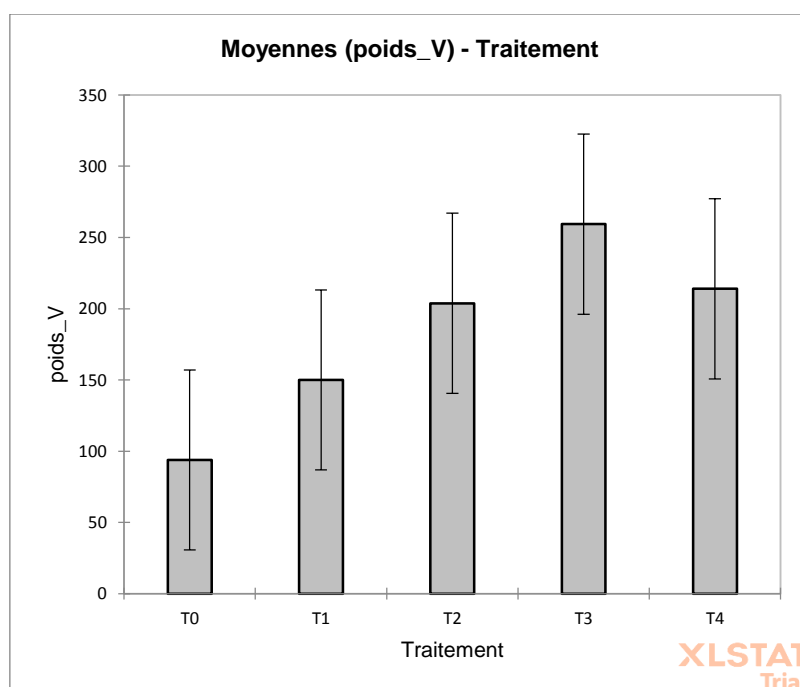
La figure 29 représente. des graphiques du poids frais moyen des plants de laitue dans différents traitements au biochar. Nous notons que les poids les plus élevés ont été enregistrés à T3=322,5g>T4=277,166g>T2=267g>T1=213,166g par rapport au. contrôle T0=157g, avec des différences statistiquement significatives selon l'analyse ANOVA.

Nous concluons que le poids des pousses fraîches de plants de laitue est positivement affecté par les traitements au biochar. Par ailleurs, des études antérieures ont également démontré que le biochar favorise l'augmentation de la biomasse végétale, avec des améliorations notables du poids sec des racines et des pousses, ce qui est cohérent avec nos observations. (Jaborova et al., 2021)

### 3-5-Mesurer le poids frais de la partie aérienne :

**Tableau07** : Analyse ANOVA pour mesurer le poids frais de la partie aérienne.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Codes de signification des p-valeurs
Modèle	4,000	97525,800	24381,450	4,320	<b>0,009</b>	**
Erreur	25,000	141099,000	5643,960			
Total corrigé	29,000	238624,800				



**Figure 30** : colonnes graphiques du poids frais moyen de la partie aérienne dans les traitements T0 T1 T2 T3 T4.

La figure 30 montre des graphiques du poids frais moyen de la partie aérienne des plants de laitue. On remarque que les poids les plus élevés ont été enregistrés lors du traitement du biochar T3 = 322,5 g > T4 = 277,166 g > T2 = 267 g > T1 = 213,166 g par rapport au témoin T0 = 157 g, avec des différences statistiquement significatives selon l'analyse ANOVA.

Nous concluons que le poids des légumes frais est positivement affecté par des traitements optimaux au biochar.. Ces résultats sont en accord avec l'étude menée par

( Carter et al.,2013), qui a rapporté une augmentation de la biomasse finale, de la biomasse racinaire, de la hauteur de la plante et du nombre de feuilles chez la laitue (*Lactuca sativa*) et le chou (*Brassica chinensis*).

### 3-6-Mesurer le poids fraise de la portion de racine:

**Tableau08** : Analyse ANOVA pour Mesurer le poids fraise de la portion de racine.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Codes de signification des p-valeurs
Modèle	4,000	906,667	226,667	2,891	<b>0,043</b>	*
Erreur	25,000	1960,000	78,400			
Total corrigé	29,000	2866,667				



**Figure 31** : colonnes graphiques du poids frais moyen pour la somme radicale dans les traitements T0 T1 T2 T3 T4.

La figure 31 qui montre des graphiques pour le poids moyen des racines fraîches des plants de laitue. Nous constatons que le poids le plus élevé a été enregistré à T4=32,611g>T3=32,445g>T1=30,611g>T2=30,278g par rapport au témoin

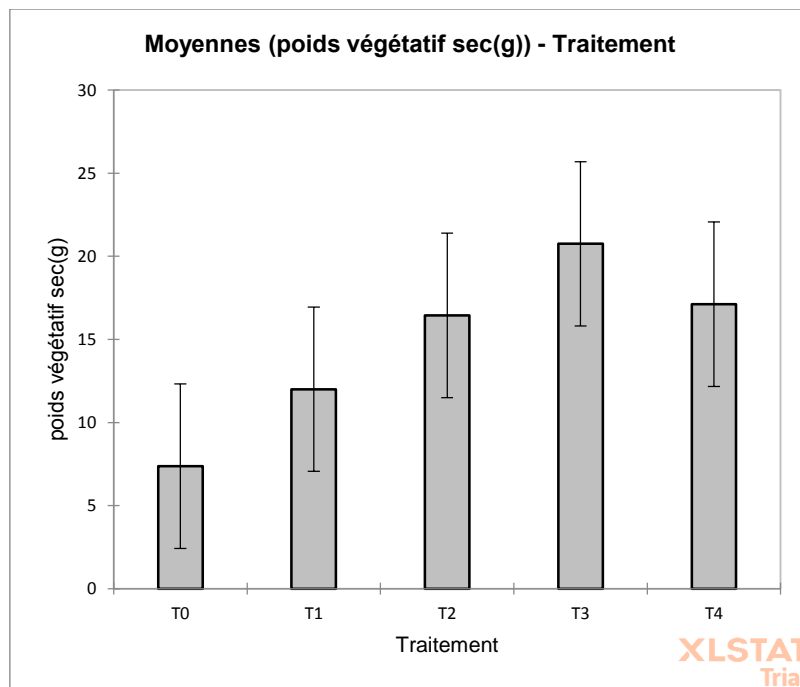
T0 =17,945g , avec des différences significatives Statistiques selon l'analyse ANOVA.

Nous concluons que le biochar améliore la biomasse des racines

**3-7- Mesurer le poids sec :**

**Tableau09 :** Analyse ANOVA pour mesurer le poids sec de le partie aérienne.

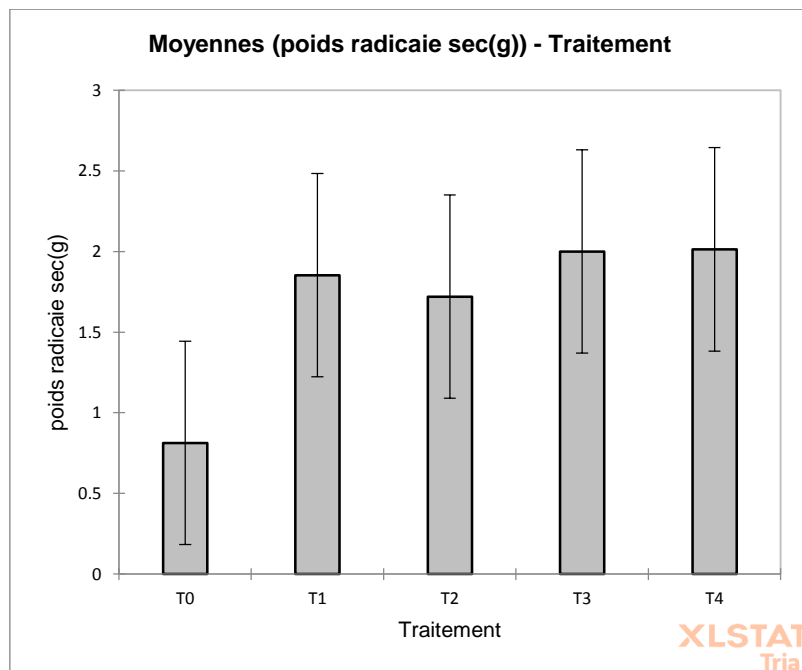
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Codes de signification des p-valeurs
Modèle	4,000	638,458	159,615	4,618	<b>0,006</b>	<b>**</b>
Erreur	25,000	864,036	34,561			
Total corrigé	29,000	1502,495				



**Figure 32 :** colonnes graphiques du poids sec moyen de la partie aérienne dans les traitements T0 T1 T2 T3 T4.

**Tableau 10 :** Analyse ANOVA pour mesurer le poids sec de la partie racine.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Codes de signification des p-valeurs
Modèle	4,000	5,978	1,494	2,658	0,056	.
Erreur	25,000	14,054	0,562			
Total corrigé	29,000	20,032				



**Figure 33 :** colonnes graphiques du poids sec moyen pour la somme radicale dans les traitements T0 T1 T2 T3 T4.

**Tableau 11 :** Analyse ANOVA pour mesurer le poids sec total.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Codes de signification des p-valeurs
Modèle	4,000	749,728	187,432	4,862	<b>0,005</b>	<b>**</b>
Erreur	25,000	963,769	38,551			
Total corrigé	29,000	1713,497				

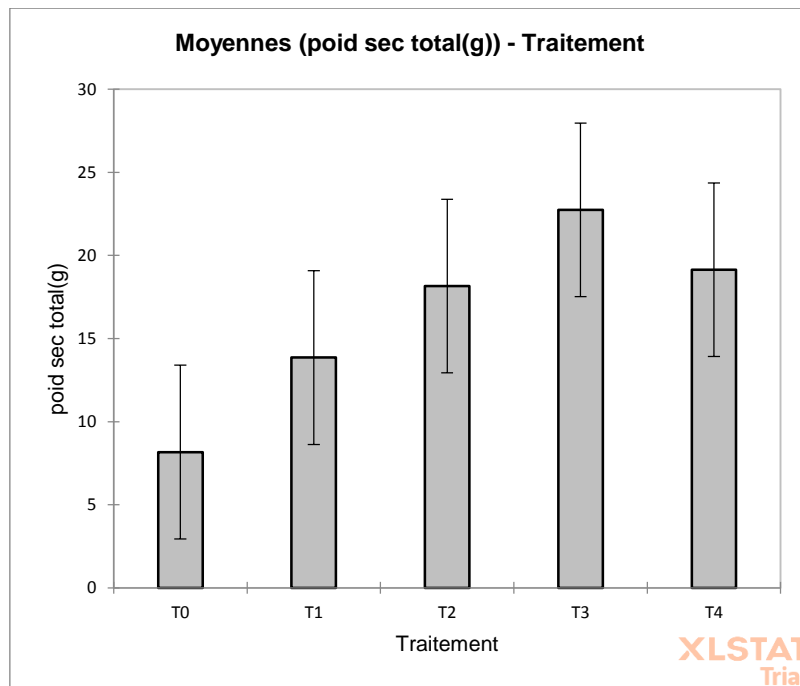


Figure 34: colonnes graphiques pour le poids sec moyen des traitements T0 T1 T2 T3 T4.

les figures 32,33,34 qui représentent des graphiques du poids sec total moyen, du poids sec des racines et du poids sec végétatif (des plants de laitue), nous remarquons que les poids les plus élevés des plants de laitue ont été enregistrés à

$T3=27,960 \text{ g} > T4. =24,354 \text{ g} > T2=23,380 \text{ g} > T1=19,074 \text{ g}$  par rapport au contrôle  $T0=13,392\text{g}$

Avec des différences statistiquement significatives, selon l'analyse ANOVA.

D'après la figure 33 il est clair que le poids moyen des racines sèches augmente avec les traitements au biochar ( $T4 > T3 > T1 > T2$ ) par rapport au contrôle  $T0=1,44 \text{ g}$ , et il n'y a pas de différences statistiques selon l'analyse ANOVA.

Comme le montre la figure 32 les valeurs les plus élevées de l'augmentation moyenne du poids végétatif sec dans les traitements au biochar, où :  $T3 = 20,747 \text{ g}$ ,

$T4 = 17,120 \text{ g}$ ,  $T2 = 16 440 \text{ g}$ ,  $T1 = 12 \text{ g}$ , par rapport au témoin.  $T0 = 7,373 \text{ g}$ , bien qu'il existe des différences statistiquement significatives selon l'analyse ANOVA.

Nous concluons que le biochar affecte positivement le développement de la masse sèche des plants de laitue, en termes de poids des racines et du poids des pousses.

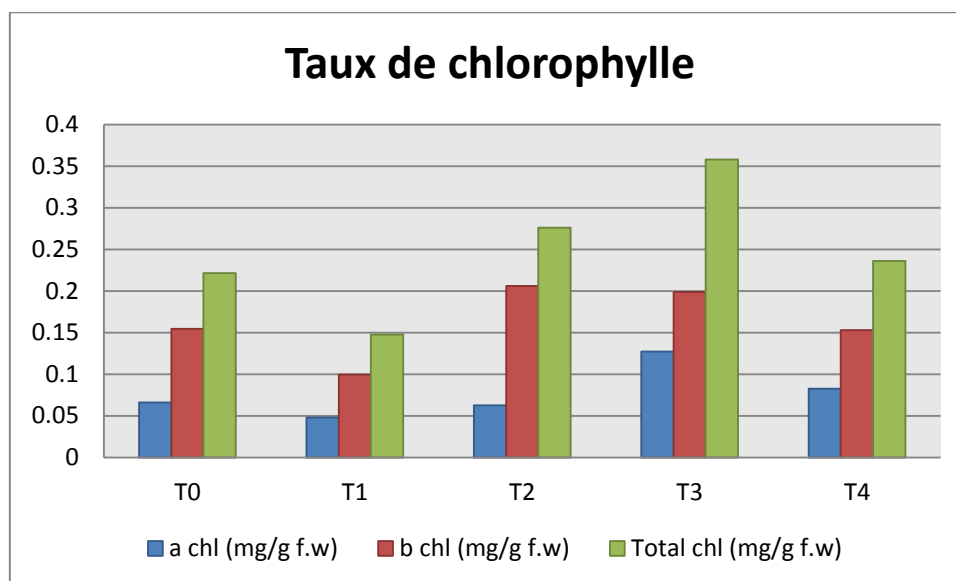
En comparant l'augmentation du poids sec des racines avec le poids sec végétatif, nous constatons qu'il est possible que le développement notable de la partie végétative de la laitue dans les traitements au biochar T3 et T2 ait eu un impact négatif sur le développement des racines. Nous constatons également que le développement notable de la masse sèche des racines à T1 et T4 a affecté négativement le développement de la masse sèche des pousses, entraînant un déséquilibre en termes de croissance.

Après séchage des plantes et des racines à une température de 60°C, les résultats ont indiqué que tous les traitements contenant du biochar avaient un poids sec de plante plus élevé que le traitement témoin. Fait intéressant, les résultats de cette étude révèlent que l'ajout de biochar était de 5 %. a conduit à une croissance plus élevée du chou chinois par rapport à l'ajout de 10 % de biochar, (**Kritsana et al.,2024**) et c'est ce que nos résultats ont montré au T4.

Les résultats mettent en évidence que le traitement au biochar a donné lieu au poids humide le plus élevé pour les racines et les pousses, ainsi qu'au poids sec le plus élevé. De plus, une amélioration significative de 52 % du poids sec des racines a été observée grâce à ce traitement. Il est également remarquable que le biochar a considérablement amélioré le processus d'imagerie, entraînant une augmentation de 38 % du poids frais et de 39 % du poids sec des pousses (**Jaborova et al., 2021**).

4-l'effet du biochar sur les propriétés biochimiques des plants de laitue :

3-1-Mesure de la chlorophylle A,B et de la chlorophylle totale :

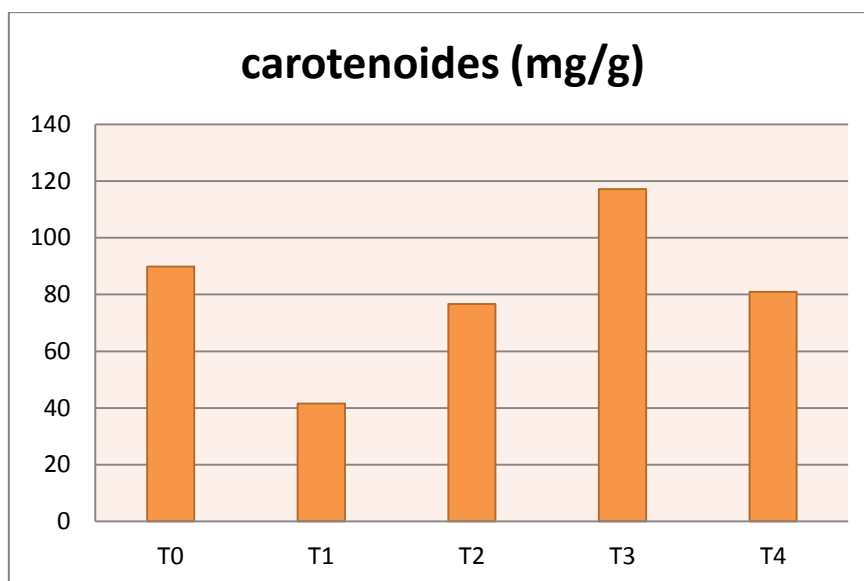


**Figure 35** : les colonnes graphiques représentent les pourcentages de chlorophylle moyenne **a** et **b** et de **chlorophylle totale** dans les traitements T0 T1 T2 T3 T4.

Dans le figure 35 on constate que par rapport au témoin T0 qui correspond aux taux suivants pour la chlorophylle **a=0.066(mg/g fw)** et **b=0.154(mg/g fw)** ,**chl total=0.221(mg/g fw)**, les valeurs les plus élevées ont été enregistrées chez le traitement T3 pour la chlorophylle **a=0.127(mg/g fw)** et **b=0.198(mg/g fw)** , **chl totale=0.358(mg/g fw)**. En revanche, dans l'essai T1, il y avait une relation inverse par rapport à la concentration de biochar utilisée, où les résultats de la chlorophylle **a=0.048(mg/g fw)** et **b=0.099(mg/g fw)**, **chl totale=0.147(mg/g fw)** étaient plus faibles par rapport au témoin T0. Quant aux essais T2 et T4, leurs résultats étaient similaires à ceux du témoin T0. Ces résultats concordent avec les observations (**Rana et al ,2021**) où il a été constaté un effet du biocharbon sur le contenu en chlorophylle des plantes de frisie.

plusieurs études ont montré que l'application de biochar augmentait la photosynthèse des plantes, la teneur en chlorophylle et le taux de transpiration(**Trupiano et al, 2017**)(**Agegnehu et al, 2015**)(**Speratti et al, 2018**).

## 3-2-Mesure des caroténoïdes :



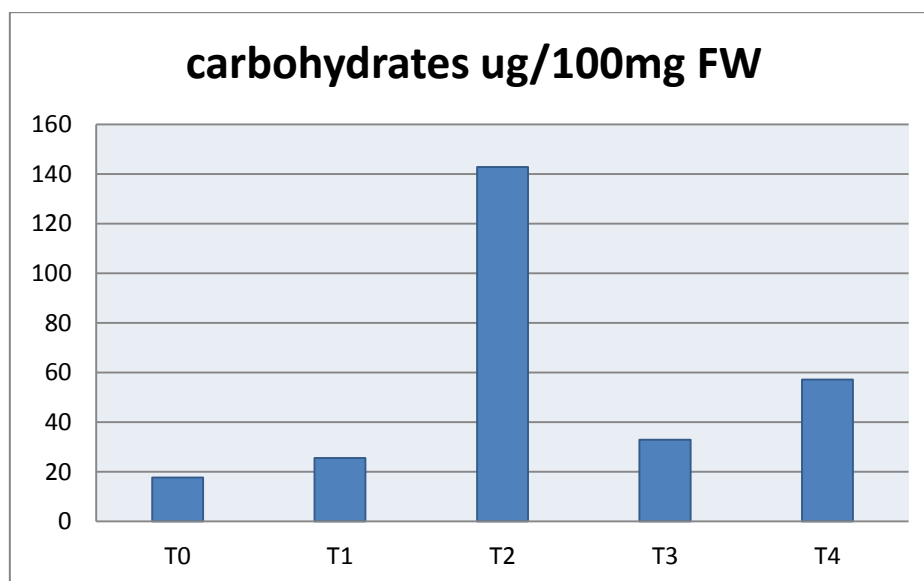
**Figure 36** : les colonnes graphiques représentant la concentration moyenne en caroténoïdes dans Les traitements T0 T1 T2 T3 T4

Dans le figure 36, nous constatons qu'en comparaison avec le témoin T0=89.89(mg/g), la valeur la plus basse des caroténoïdes a été enregistrée chez T1=41.57(mg/g). Il y avait une relation inverse proportionnelle avec la concentration de biocharbon actif utilisée, tandis que T3a enregistré la valeur la plus élevée de 117.115(mg/g). Quant à T2 et T4, les résultats étaient similaires à ceux du témoin T0. Nous concluons que le pourcentage de caroténoïdes dans la laitue est positivement affecté par un traitement optimal au biocharbon actif et diminue à mesure que la concentration diminue ou augmente.

Le traitement au biochar a considérablement augmenté la teneur en chlorophylle a, chlorophylle b, chlorophylle totale, caroténoïde, de la feuille sur le contrôle. De nombreux chercheurs ont découvert que l'application de biocharbon augmentait la photosynthèse, teneur en chlorophylle et taux de transpiration chez différentes plantes (**Trupiano et al, 2017**)(**Agegnehu et al, 2015**)(**Speratti et al, 2018**) (**Petrucelli et al, 2015**).

(**Sarma et al, 2017**) ont trouvé une forte effet positif de l'amendement du biochar sur le taux de photosynthèse du gombo.

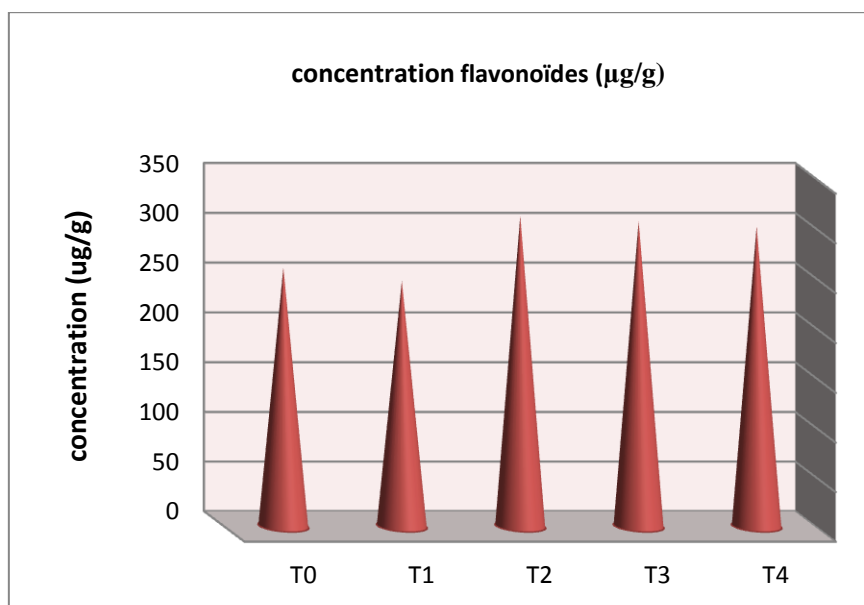
### 3-3-Mesurer des carbohydrates :



**Figure 37** : les colonnes graphiques de la concentration moyenne de carbohydrates dans les traitements T0 T1 T2 T3 T4.

À partir du figure 37 qui montre les résultats de la concentration en carbohydrates dans les traitements T0, T1, T2, T3 et T4, on remarque une augmentation variable des valeurs de la concentration en carbohydrates us les traitements T1, T2, T3 et T4 par rapport au témoin T0 à un taux de 1.4(  $\mu\text{g}/100\text{mg fw}$ ). De plus, nous avons enregistré dans le traitement T2=2.665( $\mu\text{g}/100\text{mg fw}$ ) la valeur la plus élevée de concentration en carbohydrates aux autres traitements. Par conséquent, nous concluons que le biochar a un effet sur l'augmentation de la concentration en carbohydrates laitue.

## 3-4-Mesure des flavonoïdes :



**Figure 38:** Histogramme représentant la concentration moyenne en flavonoïdes dans les traitements T0 T1 T2 T3 T4.

La figure 38. représente des graphiques de la concentration moyenne de flavonoïdes dans différents traitements au biochar. Nous notons que les concentrations les plus élevées de flavonoïdes ont été enregistrées à T2 = 312,495, T3 = 307,16 et T4 = 302,165. Ces valeurs étaient proches les unes des autres et étaient supérieures à la concentration enregistrée au contrôle t0, où sa valeur était de 260,60. Quant à la concentration la plus faible en flavonoïdes, elle a été enregistrée à T1=247,11.

Nous concluons que la concentration en flavonoïdes est affectée par une augmentation des traitements optimaux au biochar, alors qu'elle est affectée par une diminution des autres.

---

# **Conclusion**

---

### Conclusion

Le sol sableux se caractérise par une structure granulaire avec une perméabilité élevée de 88% et manque de matière organique. Dans notre contexte, nous nous sommes intéressés à l'efficacité du biochar pour améliorer les propriétés des sols sableux, en plus de son effet bénéfique sur les plantes.

Dans cette étude, le biochar produit à partir de la plante Phragmites a été mélangé à du compost dans différentes proportions et incorporé dans un sol sableux. Le modèle végétal choisi était la laitue.

Les expérimentations ont été menées dans l'incubateur universitaire d'entreprises d'el-oued, et dans la zone de Hassi Khalifa dans el-Oued.

Les résultats de cette étude indiquent que le biochar affecte les propriétés physiques du sol, en augmentant la rétention d'eau du sol. Ainsi, plus il y a de biochar dans le sol sableux, plus le taux de rétention d'eau du sol est élevé, dans les deux traitements T1 T2 T3 T4, par rapport à T0. Cela affecte également la nature chimique du sol, en augmentant le PH au facteur T1, car l'augmentation de la quantité de biochar aux paramètres T2 T3 T4 a un effet sur la modification du PH du sol. Le biochar a également eu un effet sur l'augmentation de la conductivité électrique (EC) du sol dans les plantes T1 et T4, par rapport au témoin T0.

-Quant à l'effet du biochar sur la germination des plants de laitue, nous avons constaté une amélioration de la germination aux traitements T2, T3 et T4, alors qu'elle diminuait à T1, par rapport au témoin T0.

-Quant à l'effet du biochar sur les caractéristiques morphologiques des plants de laitue, nous avons constaté un effet positif sur la partie végétative, ainsi que sur la partie racinaire, aux traitements T1, T2 et T3. Cela a également affecté l'augmentation du poids sec et frais (poids végétatif, racinaire et total) des plants de laitue aux traitements T1 T2 T3 T4, par rapport au témoin T0.

Le biochar a également affecté les propriétés chimiques de la plante, de sorte que nous avons constaté une augmentation du pourcentage de chlorophylle et d'hydrates de carbone dans les traitements T1, T2,T3 et T4, et le traitement T3 l'a également affecté en augmentant la concentration de caroténoïdes, par rapport aux autres traitements.

## Conclusion

---

Dans cette étude, nous concluons que le biochar est un agent qui contribue à améliorer les propriétés des sols sableux, à économiser l'eau et à augmenter et améliorer le rendement des plants de laitue.

- Nous recommandons une étude plus approfondie de l'utilisation du biocharbon et de son impact à long terme sur les propriétés et les systèmes des sols sableux, ainsi que sur la durabilité agricole.
- Mettre en valeur l'effet du biochar sur les arbres fruitiers.
- Les avantages et les impacts du biochar devraient également être évalués en termes d'amélioration et de maintien de la fertilité des sols, de la productivité des cultures et des retombées économiques pour les utilisateurs à long terme.

---

---

# **Référence bibliographique**

---

### Référence bibliographique:

#### Références en anglais :

**01-**ARNON D . I ., 1949 - Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase In *Beta vulgaris* . Plant physiol . 24: 1-5

**02-**Agegnehu, G.; Bass, A.M.; Nelson, P.N.; Muirhead, B.; Wright, G.; Bird, M.I. Biochar and biochar-compost as soil amendments: Effects on peanut yield, soil properties and greenhouse gas emissions in tropical North Queensland, Australia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2015, 213, 72–85.

**03-**Alie, K. Abibatu, M. Mary, P. Mansaray, and A. Sawyerr“ ‘Effects of biochar derived from maize stover and rice straw on the germination of their seeds, ” *American Journal of Agriculture and Forestry*, vol. 2, no. 6, pp. 246–249, 2014.

**04-** Andry et al 2009. Water retention , hydraulic conductivity of hydrophilic water Quality.

**05-**Agboola.K and . Moses,S. A Effect of Biochar and Cowdung on Nodulation, Growth and Yield of Soybean(*Glycine max* L .Merrill), Department of Soil and Environmental Management ‘Kogi State University, Anyigba, Kogi State, Nigeria, 2015.

**06-**Bruand.A, Hartmann.C, Lesturgez.G; 2006, Physical properties of tropical sandy soils: A large range of behaviours. HAL Id: hal-00079666 <https://hal-insu.archivesouvertes.fr/hal-00079666>

**07-**Bourgeois.M,Coquillart.E,Cournarie.M,Fassino.C;2017.Supagro.  
[http://www.supagro.fr/ress-pepites/sol/co/2\\_1\\_TextureSol.html](http://www.supagro.fr/ress-pepites/sol/co/2_1_TextureSol.html)

**08-**Bruand.A, Hartmann.C, Lesturgez.G; 2006, Physical properties of tropical sandy soils: A large range of behaviours. HAL Id: hal-00079666  
<https://hal-insu.archivesouvertes.fr/hal-00079666>.

**09-**Carter, S.; Shackley, S.; Sohi, S.; Suy, T.B.; Haefele, S. The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). *Agronomy* 2013, 3, 404–418

**10-**Cheng C.-H., J. Lehmann, J.E. Thies, S.D. Burton and M.H. Engelhard. 2006. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. *Org. Geochem.* 37: 1477–1488.

## Référence bibliographique

---

- 11-Cheng, C.H., J. Lehmann and M.H. Engelhard, 2008.** Natural oxidation of black carbon in soils: Changes in molecular form and surface charge along a climosequence. *Geochim. Cosmochim. Ac.*, 72: 1598–1610
- 12-Downie, A., Crosky, A. et Munroe, P. (2009).** Chapter 2. Physical properties of biochar. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, London. Pp. 13-32.
- 13-DUBOIS M . K ., GILLES K . A., HAMILTON J . K., REBERS P . A ., Smith F., 1956 -** Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal.chem .* 28:350-356.
- 14-Dutta, B., Raghavan, G.S.V., Ngadi, M., 2012.** Surface characterization and classification of slow and fast pyrolyzed biochar using novel methods of pycnometry and hyperspectral imaging. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 32, 105–120
- 15-Fatma F .Migahed 2003.** Distribution of fungi in the sandy soil of Egyptian beaches.
- 16-Graber, E. R., Y. M. Harel, M. Kolton, E. Cytryn, A. Silber, D. R. David, L. Tsechansky, M. Borenshtein, and Y. Elad. 2010.** —Biochar Impact on Development and Productivity of Pepper and Tomato Grown in Fertigated Soilless Media. *Plant and Soil* 337: 481–96.
- 17-Herath HMSK, Camps-Arbestain M, Hedley M (2013)** Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: an Alfisol and an Andisol. *Geoderma* 209–210:188–197. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.06.016>.
- 18-Ibraheem IBM (2007).** Cyanobacteria as alternative biological conditioners for bioremediation of barren soil. *Egyptian J. Phycol.*, 8:99-116
- 19-Jozsef trber arnyos 2016 .**Change in physical properties of sandy soil after longterm compost treatment = *International agrophysics*.
- 20-Jabborova, D.; Annapurna, K.; Paul, S.; Kumar, S.; Saad, H.A.; Desouky, S ;Ibrahim, M.F.M.; Elkelish, A.** Beneficial Features of Biochar and Arbuscular Mycorrhiza for Improving Spinach Plant Growth, Root Morphological Traits ,Physiological Properties, and Soil Enzymatic Activities. *J. Fungi* 2021, 7, 571 .<https://doi.org/10.3390/jof7070571>.
- 21-Jandvan elsas. 1990** Methods for the introduction of bacteria into soil: A review *Biology and fertility of soil*.

## Référence bibliographique

---

- 22**-KHWAIRAKPAM B ., BALWINDER S., 2012- Effect of cooking methods on the Nutritional composition and antioxidant activity of potato tubers .international journal of Food and nutritional sciences , Ludhiana , p6
- 23**-Kritsana Jatuwong [1],2 Worawoot Aiduang 1,2, Tanongkiat Kiatsiroat 3, Wassana Kamopas 4 and Saisamorn Lumyong 2,5,6\*•Effects of Biochar and Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Soil Health in Chinese Kale (*Brassica oleracea* var. *alboglabra* L.) Cultivation *Microbiol. Res.* 2024, 15, 404–421. <https://doi.org/10.3390/microbiolres15010027>
- 24**-Li, C.; Xiong, Y.; Qu, Z.; Xu, X.; Huang, Q.; Huang, G. Impact of biochar addition on soil properties and water-fertilizer productivity of tomato in semi-arid region of Inner Mongolia, China. *Geoderma* 2018, 331, 100–108.
- 25**-Lehmann J, Rondon M, 2006. Bio-char soil management in highly weathered soils in the humid tropics. In Uphoff N (ed.), *Biological approaches to sustainable soil systems*. CRC Press, Boca Raton, FL, p. 517-530.
- 26**-Liu, J., Schulz, H., Brandl, S., Miehtke, H., Huwe, B., Glaser, B., 2012. Short- term effect of biochar and compost on soil fertility and water status of a Dystric Cambisol in NE Germany under field conditions. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 175, 698– 707. <http://dx.doi.org/10.1002/jpln.201100172>.
- 27**-Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R. et Karlen, D. (2010). Biochar impact on nutrient Leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma*. 158: 436-442.
- 28**-Luo, Y., M. Durenkamp, M. De Nobili, Q. Lin and P.C. Brookes, 2011. Short term soil priming effects and the mineralisation of biochar following its incorporation to soils of different ph. *Soil Biol. Biochem.*, 43: 2304–2314.
- 29**-Liang W, X Wu, S Zhang, Y Xing and R Wang 2011. Effect of organic amendments on soil water storage in the aeolian sandy land of northeast China. *Proceedings of the Electrical and Control E Engineering (ICECE), International Conference on 16th – 18th Sept. 2011.* pp: 1538-1540.
- 30**-Moctar.M ;2012 ; SCRIBD 2012[<https://ar.scribd.com/document/313228039/PEDO4-2012>]
- 31**-Mohawesh, O.; Albalasmeh, A.; Gharaibeh, M.; Deb, S.; Simpson, C.; Singh, S.; Al-Soub, B.; Hanandeh, A.E. Potential use of biochar as an amendment to improve soil fertility and tomato and bell pepper growth performance under arid conditions. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 2021, 21, 2946–2956.

## Référence bibliographique

---

- 32-MATKOWSKI A ., PIOTROWSKA P., 2006-** Antioxidant and free radical scavenging activities of some medicinal plants from the Lamiaceae. *Fitoterapia*. 77: 346-353
- 33-Novak, J.M., W.J. Busscher, D.W. Watts, D.A. Laird, M.A. Ahmedna and M.A.S. Niandou, 2010.** Short-term CO<sub>2</sub> mineralization after additions of biochar and switchgrass to a typic kandiudult. *Geoderma*, 154: 281–288.
- 34-Petrucelli, R.; Bonetti, A.; Traversi, M.L.; Faraloni, C.; Valagussa, M.; Pozzi, A.** Influence of biochar application on nutritional quality of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Crop Pasture Sci.* 2015, 66, 747–755.
- 35-Rutkowska B.Szulc W. , Labetowicz J. 2009 ,** Influence of soil fertilization on concentration of microelements in soil solution of sandy soil , *Journal of Elementology*.
- 36-Sohi, S. P. (2012).** Carbon storage with benefits. *Science* 338: 1034-1035.80.
- 37-SHIRAGAVE P., RAMTEKE A ., PATIL S., 2015-** Plant responses to vehicular pollution: specific effect on photosynthetic pigments of plants at divider of NH-4 highway Nipani Area, Karnataka State, Scholars Research Library , India, p4.
- 38-Speratti, A.B.; Johnson, M.S.; Sousa, H.M.; Dalmagro, H.J.; Couto, E.G.** Biochars from local agricultural waste residues contribute to soil quality and plant growth in a Cerrado region (Brazil) Arenosol. *GCB Bioenergy* 2018, 10, 272–286.
- 39-SALATINO A .,WOISKY R .., 1998-**Analysis of propolis : some parameters and Procedures for chemical quality control . *J Apic Rse.* 37: 99-105.
- 40-Sun, Z.; Hu, Y.; Shi, L.; Li, G.; Han, J.; Pang, Z.; Liu, S.; Chen, Y.; Jia, B.** Effects of biochar on soil chemical properties: A global meta-analysis of agricultural soil. *Plant Soil Environ.* 2022, 68, 272–289 .
- 41-Sarma, B.; Borkotoki, B.; Narzari, R.; Kataki, R.; Gogoi, N.** Organic amendments: Effect on carbon mineralization and crop productivity in acidic soil. *J. Clean. Prod.* 2017, 152, 157–166.
- 42-Thies, J.E. et Rillig, M. (2009).** Characteristics of biochar: biological properties. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, London. Pp. 85-105.
- 43-Trupiano, D.; Coccozza, C.; Baronti, S.; Amendola, C.; Vaccari, F.P.; Lustrato, G.; Di Lonardo, S.; Fantasma, F.; Tognetti, R.; Scippa,G.S.** The effects of biochar and its

## Référence bibliographique

---

combination with compost on lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth, soil properties, and soil Microbial activity and abundance. *Int. J. Argon.* 2017, 2017.

44-Wang, D.; Zhang, W.; Zhou, D. 2013, Antagonistic effects of humic acid and iron oxyhydroxide grain-coating on biochar nanoparticle transport in saturated sand. *Environ Sci Technol*, 47, (10), 5154-5161

45-Yanai.J et Nakata.S ; 2007. Evaluation of Nutrient Availability of Sandy Soil in Northeast Thailand.

46-Zavalloni, C., G. Alberti, S. Biasiol, G.D. Vedove, F. Fornasier, J. Liu and A. Peressotti, 2011. Microbial mineralization of biochar and wheat straw mixture in soil: A short-term study. *Appl. Soil Ecol.*, 50: 45–51

### Références en français :

47-Al-Sharif Hassan, «Biochar...un ajout prometteur pour améliorer la fertilisation des plantes» , 10/01/20162

<https://www.syr-res.com/article/11538.html>

48-Al-Taie A. Sultan S. 2010 L'effet de la fertilisation azotée et phosphatée sur le contenu chimique de la plante aromatique *Dracaena fragrans* Tikrit Journal Tikrit University Journal of Science Iraq, Volume 11, Numéro 3, 14 p.

49-Ali Muhammad Al-Sayed , «La manière optimale de produire du biochar à partir des déchets agricoles» , 25/02/2024-9

50-Bortoluzzi EC (2003) Nature des constituants, propriétés chimiques et physiques des sols. Influence de la gestion de sols sableux au Sud du Brésil .These Institut National Agronomique, Grignon (INA PG). Paris

51-Carrifr.A ;2003.QUE SE PASSE-T-IL DANS LE SOL ? . 02/04/2003.[https://www.agrireseau.net/.../QUE%20SE%20PASSEIL%20DANS%20SOL%20\(AC\)](https://www.agrireseau.net/.../QUE%20SE%20PASSEIL%20DANS%20SOL%20(AC))

52-Groupe Phragmites (2012). Le roseau envahisseur : la dynamique, l'impact et le contrôle d'une invasion d'envergure. *Le Naturaliste canadien*, Été 2012.

53-Hliss. Y., 2005, Encyclopédie Botanique de la Région du Souf, Plantes Communes du Désert 3 Dans la région d'Al-Erq-Al-Kabir Al-Sharqi. Presse Al-Walid, Al-Oued, Algérie.

54-Rabei Afnan, 2022 Caractéristiques du sol sableux, 21/12/2022-4.

<https://mawdoo3.com>

## Référence bibliographique

---

- 55**-Jmvallee,2005 ; ACCES-EDUTERRE, Etude de la porosité et de la perméabilité. [24/03/2005] <https://eduterre.ens-lyon.fr/nappe/html/scenarii/TP>
- 56**-Laurin-Lanctôt S, 2015. Effet de l'amendement en biochar des sols biologiques pour une culture de tomates sous serre :Rétention en nutriments,activité biologique et régie de fertilisation.Mémoire, Maîtrise ès sciences (M.Sc).
- 57**-Lehmann J, DUTHIL J, 1973. Elément d'écologie et d'agronomie. Tome 2. Ed. Bailliére. 392p
- 58**-Mermoud. A, 2006 ; Cours de physique du sol, Propriétés de base du sol et de la phase liquide, école polytechnique. FEDERALE DE LAUSANNE.
- 59**-Mennasser as , Halitim and Duchuffour and Hunin , 2009. Essais d'optimisation De fertilisation organique dans les conditions salins cas de Ouargla. Mémoir ing. Univ Ouargla. Pp 1-10.
- 60**-Muriel.F;2007 ; Gestion des matières organiques dans les sols cultivés en Région wallonne : avantages agronomiques, avantages environnementaux et séquestration du carbone. Université Libre de Bruxelles IGEAT,93p.Mém Master en Sciences et Gestion de l'Environnement.
- 61**-MOREL, 1989. Les sols cultivés. Tech et Doc .Lavoisier, paris, 272p
- 62**-Mansour Fahmy Sobhi, 2023. « Le biocharbon et ses avantages agricoles, économiques et environnementaux. » Al-Falah Al-Youm, 25/07/2023.  
<https://alfallahalyoum.news>
- 63**-Rana Samie Qasim. Docteur Mazen Nasourah. Sawsan Haifa, 2021. Effet de l'ajout d'eau-Tourbe et biochar dans la croissance, la floraison et la production des bulbes de la plante freesia .vol.4 -No.21, magazine hybride Hama League Freesia
- 64**-Salama Mahmoud, 2005. Bénéficier des plantes de la jungle dans l'alimentation animale Al-Hiwar Al-Mutamaddin, 06/08/2005-6.  
<https://m.ahewar.org/s.asp?aid=42565&r=0>
- 65**-Sheeta Ahmed, 2022, Qu'est-ce que le charbon horticole et comment l'utilisez-vous? (Biochar , agronome)
- 66**-Quezel P., Santa S., 1963. Nouvelle flore de l'Algerie et des regions désertique Méridionales, Tome II, Ed du CNRS, Paris.

## Référence bibliographique

---

**67-** Zorrig, (2011). Recherche et caractérisation de déterminants contrôlant l'accumulation de cadmium chez la laitue "Lactuca sativa". Thèse doctorat en agronomie. pp 250.

### Sites web :

**68-** <https://29.co.th>

**69-** <https://jardinage.lemonde.fr>

---

---

# **ANNEXE**

---



Spectrophotometer



PH mètre



Agitateur



Balance Analytique



Centrifuger



Balance



Le tuve