



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique



Université Echahid Cheikh Larbi Tébessi -Tébessa-  
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la vie

Département : Biologie des Êtres Vivants

*MEMOIRE DE fin d'étude*

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

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

**Filière** : Biotechnologie

**Spécialité** : Biotechnologie Végétale et amélioration des  
plantes

## Thème

Etude comparative de l'effet biochar et des microplastiques  
sur la fertilité du sol et la production d'une plante  
fourragère (*Hordium vulgare*) sous stress salin et hydrique

**Présenté par :**

Metrouh Asma

**Membres de Jury :**

Mme Neffar Souad	Professeur	Univ. Tébessa	Présidente
Mme Boudjabi Sonia	Professeur	Univ. Tébessa	Promotrice
Mme Machroum Amel	M.C.B	Univ. Tébessa	Examinatrice

*Année universitaire 2022/2023*

## *Remerciements*

Avant tout, nous remercions *ALLAH*, tous puissant de m'avoir donné la Patience, la santé et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

À ma promotrice Mme BOUDJABI Sonia professeur à l'université de Tébessa. Votre compétence, votre encadrement ont toujours suscité mon profond Respect. Je vous remercie pour votre accueil et vos conseils.

Merci à tous les membres du jury Mme Neffar.S et Mme machroum .A d'avoir accepté le jugement sur ce travail et d'avoir discuté de mon mémoire.

Vous me faites un grand honneur en acceptant de juger ce travail.

Ma profonde gratitude s'oriente vers tout le personnel du Département de biologie des êtres vivants.

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail,*

*À mon père Metrouh Kamel et ma mère Aouine Nassira pour leurs sacrifices et leurs patiences, en m'ouvrant leurs bras dans les moments sombres et m'aidé matériellement et moralement pour aller de l'avant vers un avenir meilleur, que dieu les garde.*

*À mon cher frère Ousssama et mes chères sœurs. Insaf et Ikhlas et Amina, je les remercie beaucoup, car ils m'a toujours aidé, encouragé et d'être toujours à côté de moi.*

*À mon oncle Med salah et ses fils khalil, ahmed, aya et amani*

*À ma très chère amie Aya debab, qui m'a encouragée et soutenue depuis le début de ce travail.*

*À ma grande famille Metrouh et Aouine de petite à la plus grande.*

*À Tous ceux qui ont participés de près ou de loin à la réalisation de ce travail,*

*Asma*

## Résumé

La gestion du stock de matières nutritives dans les sols est une problématique qui est constamment évoquée surtout dans les régions arides et semi arides, caractérisées par une très faible couverture végétale et une difficulté dans la restitution du stock organique du sol. Parmi les stratégies possibles qui permettent d'améliorer les rendements de cultures est l'utilisation des engrais minéraux ou organiques. Récemment plusieurs études se sont orientées vers le recyclage des déchets organique (ex biochar , microplastique etc ) une stratégie environnementale à double volets .

Cette modeste étude porte sur l'évaluation de l'impact de l'amendement du biochar et les microplastiques sur les propriétés physicochimiques du sol et sur la production d'une plante agrofouillagère : *Hordium vulgare*. Trois doses de biochars ( $D_0 = 0$  g/ Kg de sol de biochar,  $D_1 = 6$  g /kg de sol et  $D_2 = 10$  g/kg de sol), et de microplastiques ( $PL_0 = 0$ g/kg de sol,  $PL_1 = 0,5$ g/kg de sol,  $PL_2 = 1$ g/kg de sol) ont été appliquées, conjuguées avec deux types de stress hydrique et salin.

Pour le stress hydrique on a pratiqué trois niveaux ( $H_0 = 100\%$ ,  $H_1 = 60\%$ , et  $H_2 = 20\%$  de la capacité au champ). Pour le stress salin deux doses la dose  $S_0 = 0$ g de NaCl /l, la dose  $S_1 = 6$  g de NaCl /l.

Les résultats montrent une alcalinité dans le sol sous l'effet de tous les traitements. Le pH varie entre (8.26) et (11.54). La conductivité électrique augmente légèrement sous l'effet du stress salin à (753  $\mu$ S/cm) cependant les microplastiques et le biochar le sol montrent une CE faible (494.28  $\mu$ S/cm)

Les teneurs des nitrates et phosphore assimilables ne varient pas en comparaison avec le témoin. Le stress salin augmente la teneur du carbone total dans le sol (1.50%) contrairement au stress hydrique (1.04%). Le biochar améliore la teneur du carbone dans le sol (1.44%) en comparaison avec les microplastiques (1.17%).

La réponse de la plante au biochar et microplastique était plus déterminante surtout avec la chlorophylle (3.88 $\mu$ g/g MF). Toutefois, en termes de surface des feuilles et aussi nombre de tiges on n'a pas détecté un effet améliorant des deux biosolides utilisées, cependant le stress salin a induit une diminution dans la surface des feuilles et une augmentation dans leur réserve en eau.

**Mots clés :** Biochar, *Hordium vulgare* , fertilité du sol, stress hydrique, stress salin, microplastiques.

## Abstract

The management of the nutrient stock in soils is an issue that is constantly raised, especially in arid and semi-arid regions, characterized by very low vegetation cover and a difficulty in restoring the organic soil stock. Among the possible strategies for improving crop yields is the use of mineral or organic fertilizers. Recently several studies have focused on the recycling of organic waste (ex biochar, microplastics etc) a double-pronged environmental strategy.

This modest study focuses on the evaluation of the impact of biochar amendment and microplastics on the physicochemical properties of the soil and on the production of a forage plant: *Hordium vulgare*. Three doses of biochar (OD = 0 g/kg biochar soil, D1 6 g/kg soil and D2 10 g/kg soil) and microplastics (PL0 = 0g/kg soil, PL1=0.5g/kg soil, PL2= 1g/kg soil) were applied, conjugated with two types of water and saline stress.

For water stress, three levels were used (H0 = 100%, H1 = 60%, and H2 = 20% of field capacity). For saline stress two doses The dose SO= 0g NaCl/l, the dose S1= 6 g NaCl/l.

The results show alkalinity in the soil under the effect of all treatments. The pH varies between (8.26) and (11.54). Electrical conductivity increases slightly under the effect of saline stress at (753  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) however microplastics and soil biochar show a low EC (494.28  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

The levels of available nitrates and phosphorus do not vary in comparison with the control. Saline stress increases the total carbon content in the soil (1.50%) unlike water stress (1.04%). Biochar improves the carbon content in the soil (1.44%) compared to microplastics (1.17%).

The response of the plant to biochar and microplastics was more decisive especially with chlorophyll (3.88 $\mu\text{g}/\text{g}$  MF). However, in terms of leaf surface area and also number of tallows an effect was not detected improving the two biosolids used, however the saline stress induced a decrease in the leaf surface and an increase in their water reserve.

Keywords: Biochar, *Hordium vulgare*, soil fertility, water stress, saline stress, microplastics.

## ملخص:

تعد ادارة مخزون المغذيات في التربة مسألة تثار باستمرار ، لا سيما في المناطق القاحلة و الشبه قاحلة ، التي تتميز بغطاء نباتي شبه منعدم وصعوبة في استعادة خصوبة التربة . و من بين الاستراتيجيات الممكنة لتحسين انتاج المحاصيل استخدام الاسمدة المعدنية و العضوية.

ركزت العديد من الدراسات مؤخرا على رسكلة ( recyclage ) النفايات العضوية كالفحم (الحما)، البلاستيك . و هي استراتيجية بيئية ذات منفعتين : تحسين الخصائص الفيزيوكيميائية للتربة و تحسين الغطاء النباتي من جهة و الحفاظ على نظافة البيئة و التخلص من النفايات من جهة اخرى.

تعتمد هذه الدراسة على تقييم تأثير جرعات الفحم و البلاستيك المضافة الى التربة على الخصائص الفيزيوكيميائية للتربة و على انتاج نبات العلف ( الشعير ).

و قد تم تطبيق ثلاث جرعات من الفحم  $D0= 0g/kg$ ,  $D1= 6g/kg$ ,  $D2= 10g/kg$

و البلاستيك  $p10= 0g/kg$ ,  $p11= 0.5g/kg$ ,  $p12= 1g/kg$  بالاضافة الى تطبيق نوعين من الاجهاد المائي و الملحي في آن واحد بالنسبة للاجهاد المائي تم تطبيق ثلاث مستويات  $H0= 100%$  ,  $H2=20%$  ,  $H1=60%$  من السعة الميدانية . و الجرعات  $S0=0g/l$  و  $S1=6g/l$  من ال NaCl بالنسبة للاجهاد الملحي.

تظهر النتائج مدى قاعدية التربة تحت تأثير جميع الجرعات . حيث تتراوح درجة ال pH بين (8,26) و (11,54) , اما بالنسبة للناقلية الكهربائية فإنها تزداد بشكل طفيف تحت تأثير الاجهاد الملحي عند القيمة  $753 \text{ uS / cm}$  , على عكس البلاستيك و الفحم حيث تنخفض الى القيمة  $494.28 \text{ uS / cm}$

لا تختلف مستويات النترات و الفوسفور الناتجة مقارنة مع الشاهد . يزيد الاجهاد الملحي من اجمالي محتوى الكربون في التربة (1,50%) على عكس الاجهاد المائي(1,04%) , يحسن الفحم من محتوى الكربون بنسبة (1,44%) مقارنة بالبلاستيك. (1,17%) كانت استجابة النبات للفحم و البلاستيك اكثر وضوحا خاصة مع الكلوروفيل . و مع ذلك فيما يتعلق بمساحة سطح الاوراق و عدد الاشطاءات لم يتم تسجيل اي تطور عند استعمال الفحم و البلاستيك ، و لكن الاجهاد الملحي ادى الى انخفاض في سطح الاوراق و زيادة في احتياطي المياه .

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

- D0: Sans Biochars c'est le témoin
- D1: 6g/kg de biochars
- D2: 10g/kg de biochars
- H0: irrigation à 100 % ( pas de stress)
- H1: irrigation à 60 % stress hydrique 1
- H2: irrigation à 20 % stress hydrique 2
- S0 : il n'y pas une stress salin
- S1 : 6g de sel stress salin 1
- PL0 = Témoin sans microplastique,
- PL1 = 0.5g /Kg de sol
- PL2= 1g /Kg de sol
- PE = Polyéthylène
- MPs = microplastiques
- NPs = nanoplastiques

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Figure 1</b>	Effet du stress salin sur la teneur du carbone totale du sol	<b>11</b>
<b>Figure 2</b>	Effet du stress hydrique sur la teneur du carbone total du sol	<b>12</b>
<b>Figure 3</b>	Effet des microplastiques sur la teneur du carbone total du sol	<b>13</b>
<b>Figure 4</b>	Effet du biochar sur la teneur du carbone total	<b>13</b>
<b>Figure 5</b>	Effet stress salin sur la teneur du phosphore assimilable du sol	<b>14</b>
<b>Figure 6</b>	Effet du stress hydrique sur la teneur du phosphore assimilable du sol	<b>14</b>
<b>Figure 7</b>	Effet du biochar sur la teneur du phosphore assimilable du sol	<b>15</b>
<b>Figure 8</b>	Effet des microplastiques sur la teneur du phosphore assimilable du sol	<b>15</b>
<b>Figure 9</b>	Effet du stress salin sur le PH	<b>16</b>
<b>Figure 10</b>	Effet du stress hydrique sur le PH	<b>17</b>
<b>Figure 11</b>	Effet du biochar sur le PH	<b>17</b>
<b>Figure 12</b>	Effet des microplastiques sur le PH	<b>18</b>
<b>Figure 13</b>	Effet du biochar sur la conductivité électrique	<b>19</b>
<b>Figure 14</b>	Effet du stress salin sur la conductivité électrique	<b>19</b>
<b>Figure 15</b>	Effet du stress hydrique sur la conductivité électrique	<b>20</b>
<b>Figure 16</b>	Effet des microplastiques sur la conductivité électrique	<b>20</b>
<b>Figure 17</b>	Effet du stress salin sur le calcaire actif	<b>21</b>
<b>Figure 18</b>	Effet des microplastiques sur le calcaire actif	<b>22</b>
<b>Figure 19</b>	Effet du stress hydrique sur le calcaire actif	<b>22</b>
<b>Figure 20</b>	Effet du biochar sur le calcaire actif	<b>23</b>
<b>Figure 21</b>	Effet des niveaux du stress salin sur la teneur des nitrates	<b>23</b>
<b>Figure 22</b>	Effet des niveaux du stress hydrique sur la teneur des nitrates	<b>24</b>
<b>Figure 23</b>	Effet des doses de biochar sur la teneur des nitrates	<b>24</b>
<b>Figure 24</b>	Effet des doses des microplastiques sur la teneur des nitrates	<b>25</b>
<b>Figure 25</b>	Effet du stress Salin sur la surface des feuilles	<b>26</b>
<b>Figure 26</b>	Effet du stress hydrique sur la surface des feuilles	<b>27</b>
<b>Figure 27</b>	Effet des microplastiques sur la surface des feuilles	<b>27</b>
<b>Figure 28</b>	Effet du biochar la surface des feuilles	<b>28</b>
<b>Figure 29</b>	Effet du stress salin sur la teneur relative en eau des feuilles	<b>29</b>
<b>Figure 30</b>	Effet du stress hydrique sur la teneur relative en eau des feuilles	<b>29</b>
<b>Figure 31</b>	Effet des microplastiques sur la teneur relative en eau des feuilles	<b>30</b>



<b>Figure 32</b>	Effet du biochar sur la teneur relative en eau des feuilles	<b>30</b>
<b>Figure 33</b>	Effet du stress salin sur le nombre de talle	<b>31</b>
<b>Figure 34 .a</b>	Effet du stress hydrique sur le nombre de talle	<b>32</b>
<b>Figure 34.b</b>	Effet des microplastiques sur le nombre de talle	<b>32</b>
<b>Figure 34.c</b>	Effet du biochar sur le nombre de talle	<b>33</b>
<b>Figure 35</b>	Effet du stress salin sur la chlorophylle total	<b>34</b>
<b>Figure 36</b>	Effet du stress hydrique sur la chlorophylle total	<b>34</b>
<b>Figure 37</b>	Effet des microplastiques sur la chlorophylle total	<b>35</b>
<b>Figure 38</b>	Effet du biochar sur la chlorophylle total	<b>35</b>
<b>Figure 39</b>	Effet du stress salin sur la chlorophylle a	<b>36</b>
<b>Figure 40</b>	Effet des microplastiques sur la chlorophylle a	<b>37</b>
<b>Figure 41</b>	Effet du stress hydrique sur la chlorophylle a	<b>37</b>
<b>Figure 42</b>	Effet du biochar sur la chlorophylle a	<b>38</b>
<b>Figure 43</b>	Effet du stress salin sur la chlorophylle b	<b>39</b>
<b>Figure 44</b>	Effet du stress hydrique sur la chlorophylle b	<b>39</b>
<b>Figure 45</b>	Effet des microplastiques sur la chlorophylle b	<b>40</b>
<b>Figure 46</b>	Effet du biochar sur la chlorophylle b	<b>40</b>

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau 1</b>	Les caractéristiques du sol et du biochar utilisés.	<b>06</b>

## Sommaire

Titres	pages
• Remerciment	
• Dédicace	
• Résumé	
• Liste des abréviations	
• Liste des figures	
• Liste des tableaux	
• Sommaire	
<b>I. INTRODUCTION</b>	<b>01</b>
<b>II. MATERIEL ET METHODES</b>	<b>05-09</b>
2.1. Localisation de l'essai	05
2.2. Dispositif expérimental	05
2.3. Description de l'expérimentation	05
2.4. Les paramètres calculés du sol	06
2.4.1. Les paramètres physiques	06
2.4.2. Les paramètres chimiques	06
2.5. Les paramètres de la plante	08
2.5.1 Les variables de production (la surface foliaire et nombre de talles)	08
2.5.2. Les paramètres physiologiques (La teneur des feuilles en pigments chlorophylliens et en eau)	08
3. L'étude statistique	09
4. Résultats	11-40
4.1. Les paramètre du sol	11-25
4.2. Les paramètres de la plante	26-40
5. Discussions	42-46
5.1. Les paramètre du sol	42-44
5.2. Les paramètres de la plante	44-46
CONCLUSION Et Perspectives	48
<b>Références Bibliographique</b>	
<b>Annexes</b>	

# Introduction

### I. INTRODUCTION

La dégradation des sols est une problématique complexe. Dans tous les pays méditerranéens plusieurs formes de dégradations sont très peu et mal évaluées. Parmi les causes de dégradation la sévérité du climat qui entraîne une perte dans la couverture végétale et par la suite une difficulté dans la restitution de la matière organique à partir des résidus végétaux. Sans oublier l'effet de la salinisation et l'érosion. Face à cette effet une prise de conscience de la gravité de ce problème a poussé les agriculteurs à prendre en charge ce problème afin de limiter son effet qui, dans certaines régions est devenu irréversible. L'utilisation de matières organiques dans l'agriculture en tant que fertilisant agricole n'est évidemment pas nouvelle. Au XIXe siècle, les résidus organiques urbains constituaient une véritable ressource productive pour l'agriculture. C'est au tournant du XXe siècle qu'ils deviennent des « déchets », exogènes au monde agricole et délaissés par les agriculteurs au profit des engrais chimiques (Barles, 2005). Cependant, le recours à la fertilisation minérale est une stratégie qui devient pratiquement très difficiles à pratiquer à cause du cout élevé des fertilisants. De nos jours les chercheurs de l'environnement essayent de sensibiliser les agriculteurs à utiliser les résidus de déchets, soit les déchets des végétaux ou autres. Une technique écologique et fortement intéressante. En effet, le recyclage des déchets par épandage est une stratégie à double tranche, elle permet de corriger la fertilité des sols d'une part et de sauvegarder notre environnement d'autre part. Il faut dire aussi que l'une des contraintes majeures des systèmes de production agricole dans les régions arides et semi arides de notre pays (l'Algérie) est l'état dégradé des sols. Cette situation encourage à focaliser toutes les énergies dans la recherche de nouvelles technologies qui permettent de bien gérer la fertilité des sols dans ces régions. Rechercher les solutions adéquates devient une nécessité primordiale.

Récemment beaucoup d'intérêt est porté sur le biochar comme un bon fertilisant du sol. La technique du biochar correspond à l'utilisation de matière organique obtenue par pyrolyse comme fertilisant pour le sol. Ce carbone pyrogénique (CPy), ou biochar, est préparé par chauffage de la une matière organique dans un milieu privée d'oxygène, à des températures comprises entre de 300 et 900 °C. L'apport de matière pyrogénique au sol n'est pas une technique nouvelle. On retrouve des traces de son utilisation dans divers textes anciens, notamment au Japon, sous le nom de « fumier de feu »(Abiven, 2011), en horticulture, ou dans divers contextes agricoles. Plusieurs études ont mis en évidence un effet positif du biochar sur les propriétés du sol, et donc sur les rendements. Ce biosolide fonctionnerait

comme une sorte d'éponge, retenant à la fois les nutriments, la matière organique et l'eau. En utilisant le biochar, la plupart des études menées se sont concentrées dans des zones à faible productivité. Dans ces zones, des augmentations de rendement ont été observées (Glaser et al., 2002). Récemment, Crane-Droesch et al (2010), ont recensé les données publiées sur ces augmentations de rendement dans le monde entier. Si l'on peut observer une augmentation de rendement (de l'ordre de 40 % de plus par rapport à un témoin sans apport, à une dose de 10 T/ha), cet effet semble lié aux doses apportées, aux types de sols et aux propriétés physico-chimiques des biochars. Comme pour le biochar, ces dernières années parmi les matières auxquelles les chercheurs s'orientent dans leurs recyclages par épandage sont les microplastiques ou communément appelés plastiques.

Les plastiques sont des matières qui présentent un grand spectre d'utilisation. Ces matières sont exploitées dans les industries des emballages, les serres plastiques etc (Guesmia et Benmadani, 2022.). L'accumulation de ces matières dans l'environnement conduit à former un amas de déchet solide qui affecte négativement l'équilibre des écosystèmes. L'élimination de ces déchets plastiques par leurs rejets dans la nature conduit à leurs transformations et leurs décompositions au fil du temps en microplastiques (Bajt, 2021). Les débris de ces particules de plastique sont classés par taille. Les microplastiques (MPs) sont le plus souvent définis comme faisant moins de 5 mm, tandis que les plus petits, les nanoplastiques (NPs), sont caractérisés avec une taille allant de 1 nm à 1  $\mu$ m (Gigault et al., 2018).

Les microplastiques sont considérés comme une menace pour l'environnement car ils sont difficiles à dégrader. Ils sont actuellement générés à un rythme proche de 400 millions de tonne par an, à rajouter aussi que leur quantité s'accumule et s'accroît rapidement dans l'environnement (Pruneau et al., 2022).

Les microplastiques sont des contaminants qui ont été identifiés récemment dans les organismes vivants et dans la plupart des milieux naturels dans le monde entier. Une présence qui pose un problème de santé car d'une part, certains microplastiques sont toxiques, et d'autre part, ils transportent d'autres contaminants et des microbes pathogènes. C'est également un problème de changement climatique car la plupart des plastiques proviennent du pétrole, et donc leur dégradation augmente la teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère (Talvitie et al., 2017)

Face à l'inquiétude croissante quant à l'impact de ces déchets, les chercheurs de l'environnement ont accordé une attention accrue à la pollution des microplastiques dans le sol en tant que polluants persistants, car ils ont un impact significatif sur l'écologie des sols, la production agricole et la santé globale de l'environnement. Les microplastiques peuvent influencer les propriétés bio-physicochimiques du sol et la mobilité d'autres contaminants dans le sol, avec des implications potentiellement importantes sur la fonctionnalité de l'écosystème du sol. Aussi, ils peuvent influencer le biote du sol à différents niveaux trophiques, et même menacer la santé humaine par le biais des chaînes alimentaires (Fournier et al., 2022). Certaines études ont signalé au contraire un apport positif de ces éléments sur la fertilité du sol (Zhuang et al., 2023).

L'objectif de cette étude menée dans la faculté des sciences exactes et sciences de la nature de l'Université de Tébessa était de déterminer les effets du biochar, et microplastiques (PE) comme amendement du sol en association avec un stress hydrique et salin. La méthodologie consiste à mettre en relief l'évolution de la fertilité du sol sous l'effet de l'amendement de trois doses de biochar et aussi trois niveaux de microplastiques en association avec deux types de stress salin et hydrique.

Etudier aussi le comportement physiologique et morphologique de la plante (*Hordium vulgare*) suite à ces traitements. Nous mettons l'hypothèse que les biochars et microplastiques vont agir positivement sur la fertilité du sol, on s'attend à une amélioration linéaire avec les doses appliquées et qui sera plus déterminante surtout dans les pots ou les deux fertilisants sont soumis au stress. On s'attendra également à ce que cette amélioration se répercute positivement sur la plante d'Orge. Le stress hydrique et salin auront un effet limitant sur l'évolution des paramètres de fertilité du sol et aussi sur la croissance de la plante utilisée.

Le présent mémoire est composé de :

Introduction, matériels et méthodes, Résultats, Discussion, conclusion.

Matériel

et

Méthodes



## II.MATERIEL ET METHODES

### 2.1. Localisation de l'essai

L'expérimentation est menée sous serre dans la faculté des sciences exactes et sciences de la nature (Université, Cheikh Larbi Tébessi, Tébessa) durant l'année 2022-2023. L'objectif fixé était de démontrer l'effet des microplastiques et du biochar sur l'évolution des paramètres de fertilité du sol dans des conditions de stress hydrique et salin. Etudier aussi l'effet de cet amendement sur la productivité d'une plante fourragère l'orge.

### 2.2. Dispositif expérimental

L'expérimentation a été faite dans 54 pots en plastiques semblables de 3Kg de contenance. Dans l'expérimentation cinq répétition sont pris pour chaque paramètre dosé ou calculé.

Quatre facteurs ont été pris en considération :

- 1<sup>ème</sup> facteur : le stress salin établi en deux niveaux,  $S_0 = 0$ gde NaCl/l,  $S_1$  pour la dose 6g de NaCl/ l.
- 2<sup>er</sup> facteur : le régime hydrique établis sur les plantes qui comporte les niveaux hydriques suivants,  $H_0 = 100$  %,  $H_1 = 60$  %, et  $H_2 = 20\%$  de la capacité au champ.
- 3<sup>ème</sup> facteur : Amendement (Biochar) appliqué en 3 doses : Pour le biochar les doses sont ( $D_0 =$  sans biochars c'est le témoin,  $D_1 = 6$ g de biochar/Kg de sol,  $D_2 = 10$ g de biochar/Kg de sol.
- 4<sup>ème</sup> Facteur représente l'amendement microplastiques PE (polyéthylène), les doses sont :  $PL_0 =$  Témoin sans microplastique, Dose  $PL_1 = 0.5$ g /Kg de sol et la dose  $PL_2 = 1$ g /Kg de sol)

### 2.3. Description de l'expérimentation

Les pots ont été remplis avec du sol ramené dans une région agricole située à Tébessa Le sol et le biochars ont été soumis à une analyse chimique préalable pour déterminer les caractéristiques chimiques et physiques qui figurent dans le Tableau 1. Le biochar a été bien broyée en une poudre très fine( $\varnothing = 1$ mm) avant qu'il ne soit amendé dans les pots. Le microplastique est obtenu par broyage des bouchons de plastiques en polyéthylène rassemblés et broyés très finement un  $\varnothing < 1$ mm .

**Tableau 1** : Les caractéristiques du sol et du biochar utilisés.

Les paramètres testés	SOL	BIOCHAR
<b>pH</b>	7,52 ± 0,67	8,96 ± 0,73
<b>CE <math>\mu\text{S/cm}</math></b>	188 ± 1,41	1320 ± 192.87
<b>Calcaire actif %</b>	19,15 ± 0,212	4.66 ± 0.45
<b>Calcaire Total %</b>	-	14.34 ± 1.87
<b>Carbone total %</b>	0,82 ± 0,106	7.88 ± 0.25

Le semis des grains de l'orge (*Hordium vulgare*) est établi à la date du 23 février 2023 dans chaque pot on a mis 07 grains, une fois arrosés, les pots sont placés dans la serre de la faculté ; l'apport des doses de biochar a été fait la même date. Les grains de l'orge (*Hordium vulgare*) sont rapportés de l'OAIC de Tébessa. L'apport des microplastiques est apporté le 12 Mars 2023.

Le suivi de l'irrigation a été mené en prenant en compte la capacité aux champs du sol (déterminée au début de l'expérimentation). L'application du stress hydrique et le stress salin selon les niveaux déjà cités a été établie après une période de 30 jours, période qui correspond à la phase (4) feuilles des plantes.

#### 2.4. Les paramètres calculés du sol

##### ✓ Les paramètres physiques

Le pH et la conductivité du sol sont estimés sur un filtrat obtenu après agitation de 20g de sol dans 50ml d'eau distillée du sol pour une durée de 10 mn. (Pielain et Mathieu, 2003).

##### ✓ Les paramètres chimiques

L'évaluation du calcaire actif est faite sur un filtrat de sol obtenu par agitation de 2g de sol dans l'oxalate d'ammonium pendant deux heures. Après refroidissement on établit une titration avec le permanganate de potassium (0.2 N) jusqu'à l'obtention d'une couleur rose très persistante. On refait les mêmes étapes pour le témoin sans sol.

Le calcaire actif est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Calcaire actif \%} = V - V' \times 0.05 \times 100 / 0.2$$

V = volume de titration du témoin

V ' = volume de titration de l'échantillon

Pour calculer le carbone organique chaque échantillon est oxydé avec le bichromate de potassium (en milieu acide). L'excès de bichromate non réduit par le carbone organique est alors titré par une solution réductrice de sels de Mohr (le sulfate ferreux). Ce titrage se fait en présence d'un indicateur coloré, la diphenylamine qui vire au vert foncé; lorsque l'excès de bichromate est réduit (**Walkley et Black, 1934**) *in* (**Pielain et Mathieu, 2003**)

Le taux de carbone est calculé selon la formule :

$$C\% = X - X' \times 0.3 \times 100 / \text{prise d'essai}$$

X = Le volume de titration du témoin en ml.

X' = Le volume de titration de l'échantillon en ml .

P = La prise d'essai (Poids du sol).

L'évaluation des nitrates est faite selon le protocole de (Slawyk, et Rodier, 1986). Chaque échantillon (10g) de sol est agité dans 100 ml d'eau distillée pendant 1h. Après à 10 ml du filtrat on ajoute 1 ml de salicylate de sodium. On passe le contenu pour évaporation à sec dans l'étuve portée à 75-80°C. Après refroidissement, on reprend le résidu par 2ml d'acide sulfurique et 15 ml d'une solution d'hydroxyde de sodium et tartrate double de sodium et de potassium. Une couleur jaune se développe.

La lecture des échantillons est faite à la longueur d'onde 415 nm. La teneur des nitrates est déduite par l'équation d'étalonnage suivante :  $Y = 0,1729 X - 0,1545$ , ( $R^2 = 0,9861$ ).

Concernant le phosphore assimilable, Une extraction du phosphore assimilable est faite par une agitation de 5 g de sol dans 100ml de bicarbonate de sodium (0.5M), à 5ml du filtrat est ajouté 5 ml de molybdate d'ammonium et 1ml de SnCl. La lecture de l'absorbance des échantillons est faite au spectroscope UV – VIS 1250 à une longueur d'onde 660nm.

La teneur en phosphore est déduite à partir de la courbe d'étalonnage :

$$Y = 0,2391 X - 0,3244 , (R^2 = 0,8104) .$$

## 2.5. Les paramètres de la plante

### ✓ Les variables de production (la surface foliaire et nombre de talles)

Le prélèvement de la surface foliaire est fait au stade plein épiaison (24.4.2023). Ce paramètre est calculé selon la formule suivante : Longueur x largeur x 0.75 (**Breda, 1999**). Après avoir calculer la surface des feuilles, on a compté le nombre de talle des plantes. Pour ce faire on a choisi cinq plantes (chaque plante représente une répétition)

### ✓ Les paramètres physiologiques (La teneur des feuilles en pigments chlorophylliens et en eau)

L'extraction de la chlorophylle a et b est réalisé selon la méthode de Burnison (1980), qui consiste à faire une macération des feuilles (100 mg) puis les mettre dans des tubes à essais avec 10 ml d'un mélange d'acétone et d'éthanol (75 % et 25%) de volume et de 80% et 40% de concentration, on laisse les tubes à l'obscurité (pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière) dans une température ambiante pendant 48h (Figure 23), ensuite , on passe à la lecture des densités optiques des solutions avec un spectrophotomètre, à deux longueurs d'ondes : (645 pour la chlorophylle a et de 663 nm pour la chlorophylle b).

La détermination des teneurs en chlorophylle a et b est réalisé selon les formules :

- **Chl a ( $\mu\text{g}/100 \text{ mg MF}$ ) =  $12,7 \times \text{DO (663)} - 2,59 \times \text{DO (645)} \times V / (1000 \times W)$ .**
- **Chl b ( $\mu\text{g}/100 \text{ mg MF}$ ) =  $22,9 \times \text{DO (645)} - 4,68 \times \text{DO (663)} \times V / (1000 \times W)$ .**
- **Chl (a+b) ( $\mu\text{g}/100 \text{ mg MF}$ ) = Chl a + Chl b**

V : volume solution extraite. W: le poids de matière fraîche de l'échantillon.

Pour la teneur relative en eau des feuilles la technique consiste à déterminer le poids frais de trois feuilles prise à partie de chaque pot. Les feuilles sont mises dans de l'eau distillée pendant 24 h pour avoir le poids à la turgescence, (**Barrs, 1968**), par la suite séchées pour avoir le poids sec la TRE est calculée selon la formule suivante :

- $\text{TRE} = \text{PF-PS} / \text{PT-PS} \times 100$
- PS= poids sec, PF= poids frais, PT= poids à la turgescence

### **3. L'étude statistique**

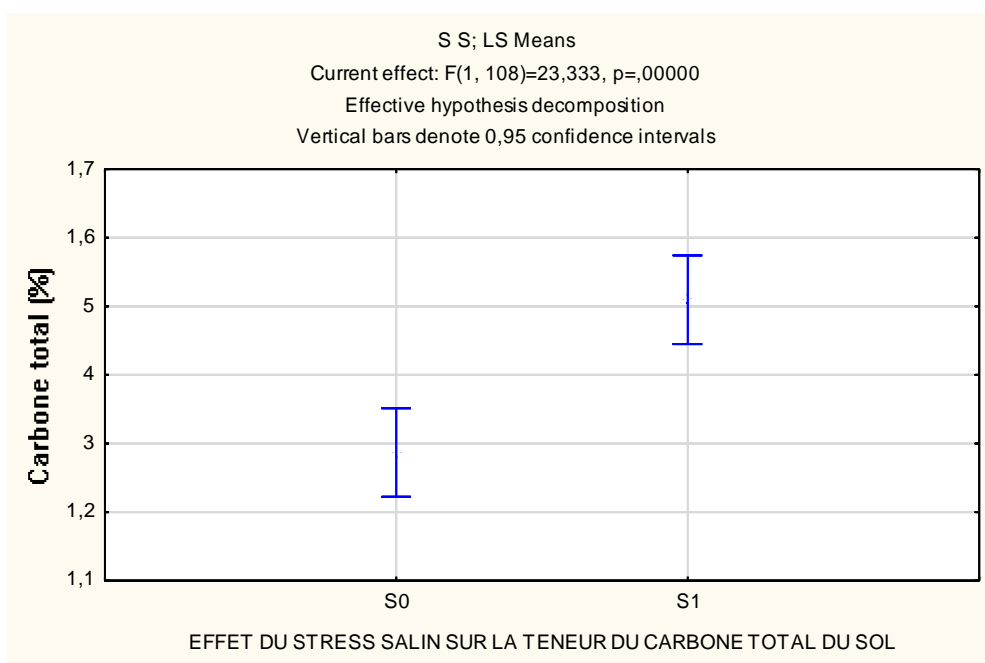
Les résultats obtenus sont soumis à une Anova à quatre facteurs, le test est fait au niveau  $\alpha = 0.05$ ; le premier facteur testé, est l'effet stress salin, le deuxième le stress hydrique et le troisième représente l'effet amendement biochar alors que le dernier facteur sont les microplastiques. Le logiciel utilisé pour l'étude statistique est STATISTICA( version 13.0)

# Résultats

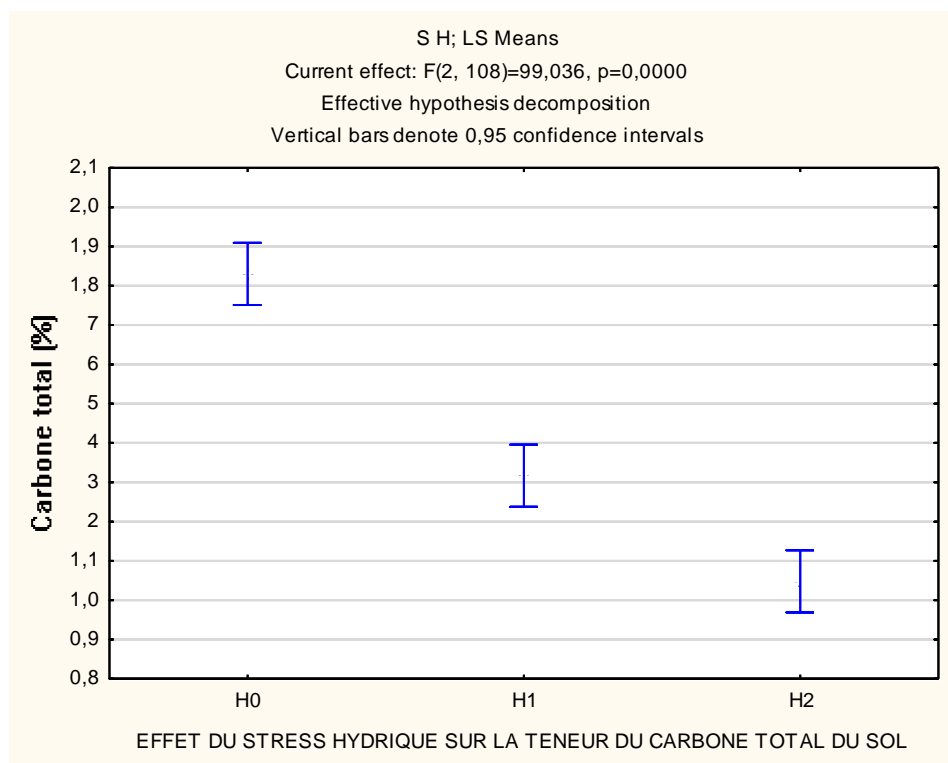
## RESULTATS

### 1. Les paramètres du sol :

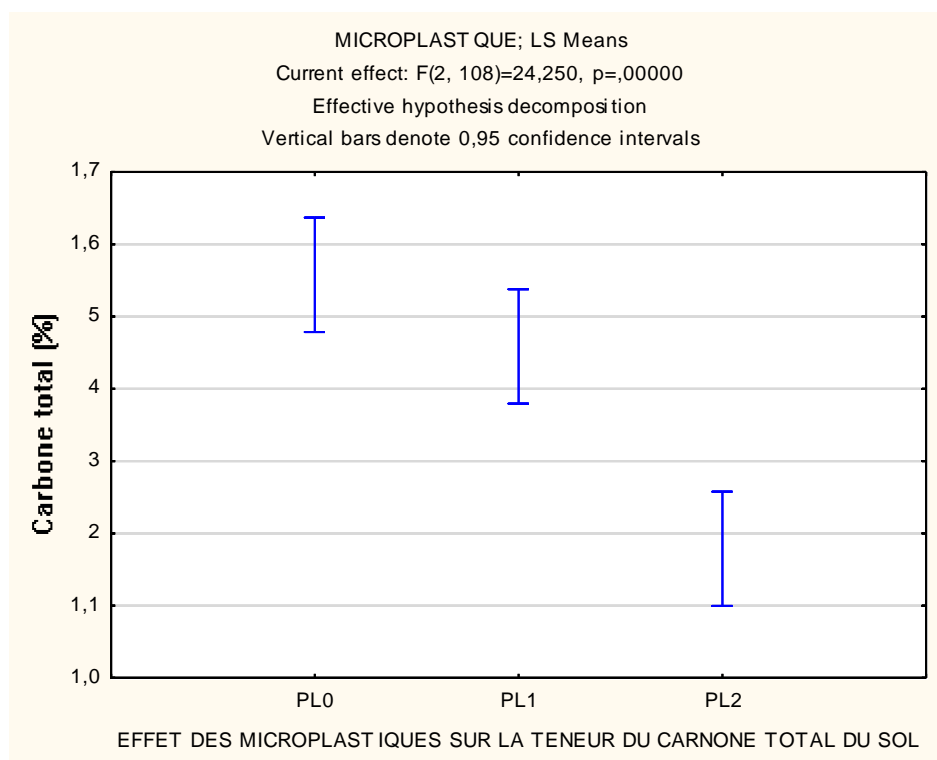
La teneur du carbone augmente significativement ( $P < 0.0001$ ) sous l'effet du stress salin de la valeur 1.28 % pour le niveau stress salin S0 à 1.50% pour S1(Fig.1). Concernant le déficit hydrique on observe une tendance significative ( $P < 0.0001$ ) et inverse ; les teneurs du carbone total varient entre la valeur 1.83% et 1.04% respectivement pour le stress hydrique H0, H2(Fig.2). L'application des microplastiques (PE) contrairement au biochar ( $P = 0.05$ ) montre un effet significatif ( $P < 0.0001$ ). Il semble que l'apport des microplastiques diminue la teneur du carbone dans le sol, les valeurs décelées sont 1.55% pour PL0 et 1.17% pour PL2(Fig.3). Cependant, la teneur du carbone après apport du biochar varie légèrement de 1.31 % pour D0 à 1.44% pour D2(Fig.4).



**Figure 1** : Effet du stress salin sur la teneur du carbone totale du sol

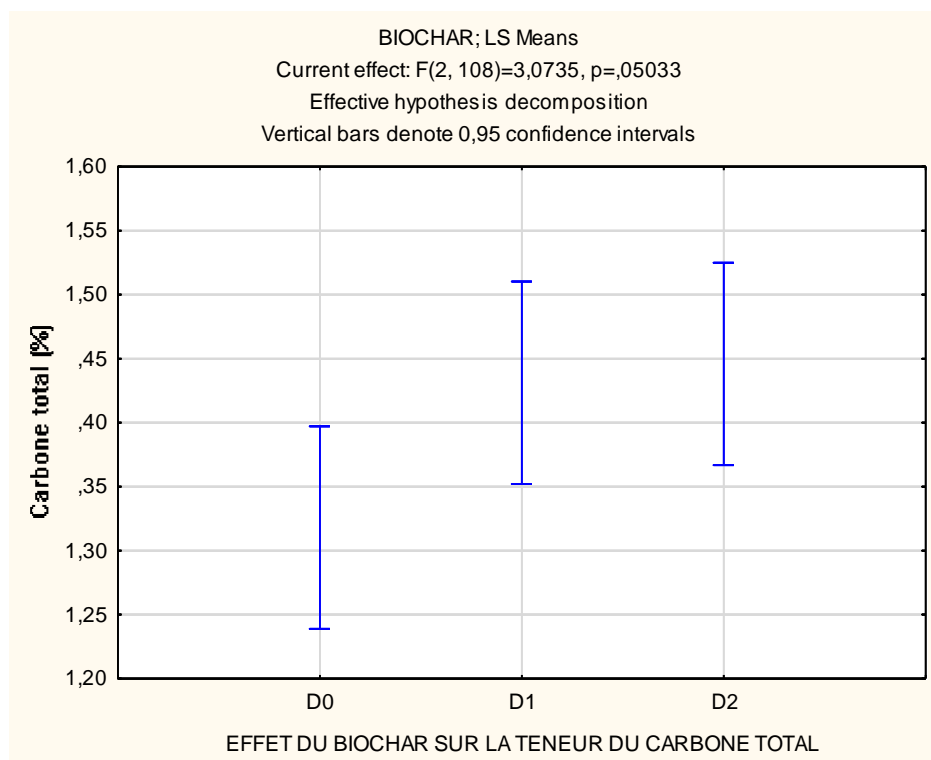


**Figure 2 :** Effet du stress hydrique sur la teneur du carbone total du sol



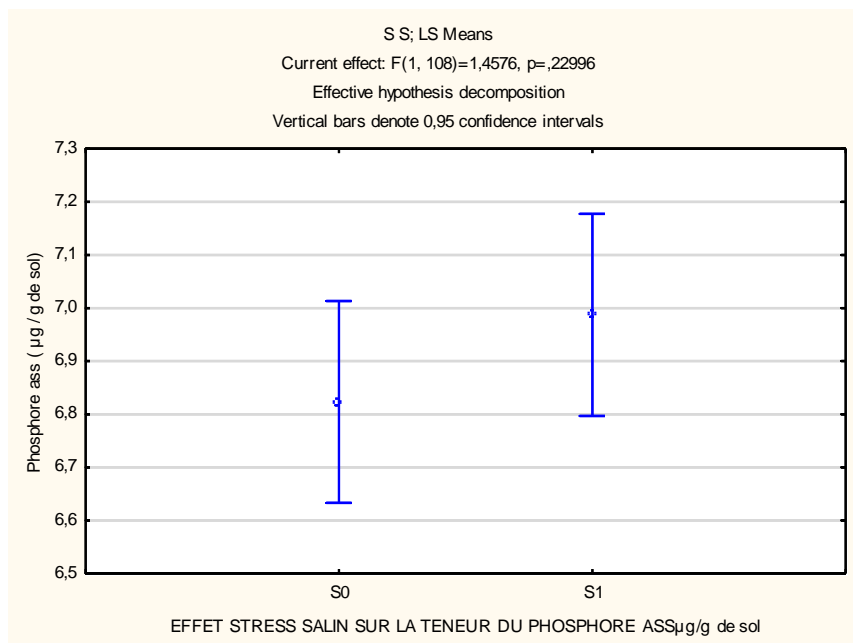
**Figure 3 :** Effet des micriplastiques sur la teneur du carbone total du sol



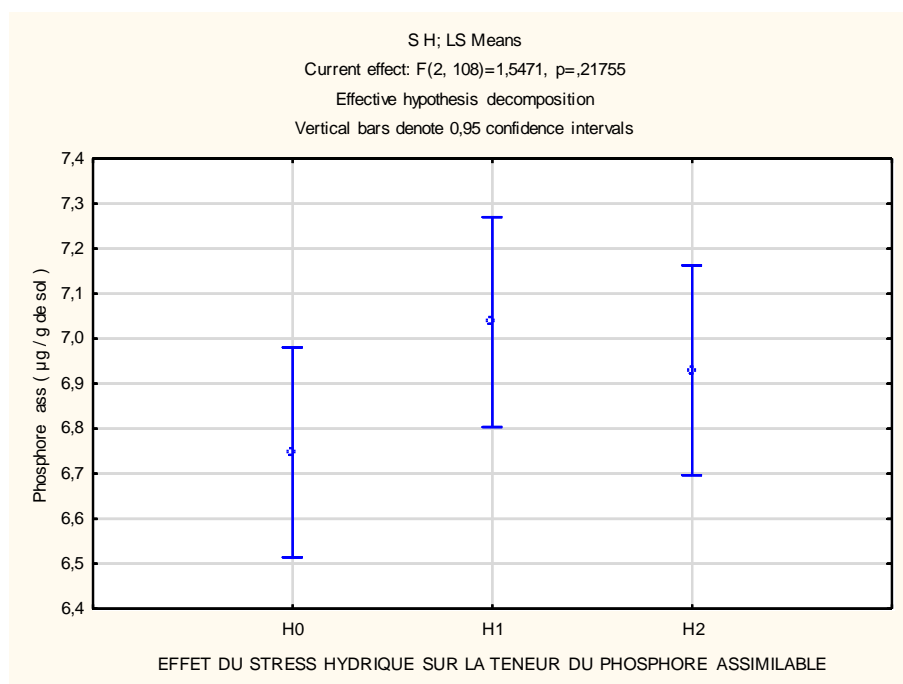


**Figure 4 :** Effet du biochar sur la teneur du carbone total

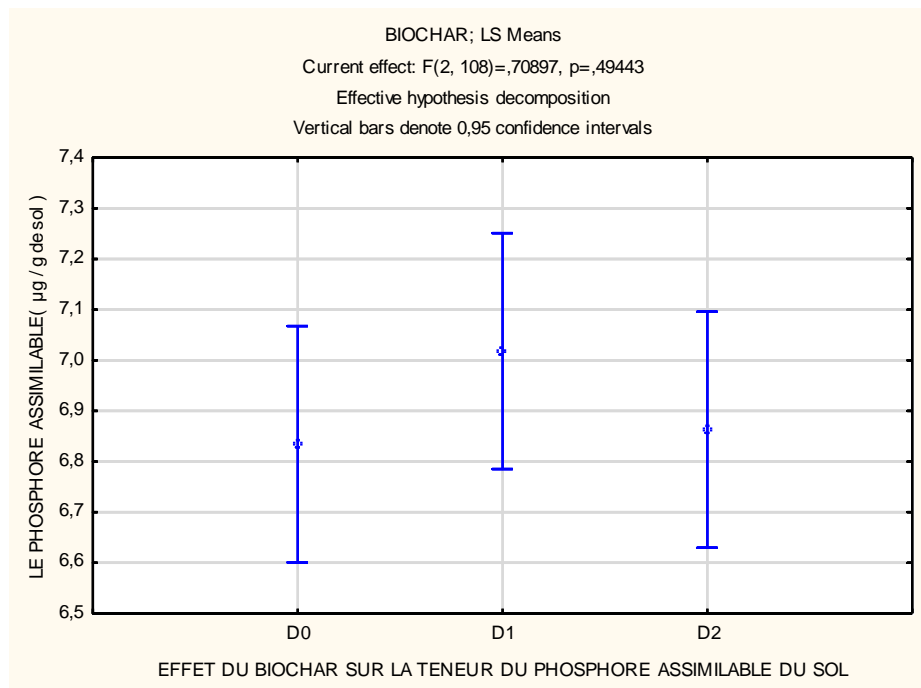
Les teneurs du phosphore assimilable testées dans le sol ne montrent aucune variation significative pour l'effet stress salin ( $P=0.229$ ) et stress hydrique ( $P=0.217$ ). Les teneurs sont très faibles et comprises entre 6.83 et 7.03  $\mu\text{g/gde sol}$  (Fig.5 et Fig.6 ). L'apport du biochar aussi de son côté indique un effet non significatif ( $P=0.494$ ) désignant aussi une très faible teneur 7.018  $\mu\text{g/gde sol}$ (Fig.7 ). La même tendance non significative ( $P=0.736$ ) est observée avec les microplastiques dont les teneurs sont aussi très faibles et varient entre 6.83 et 6.9603  $\mu\text{g/gde sol}$ (Fig.8 ).



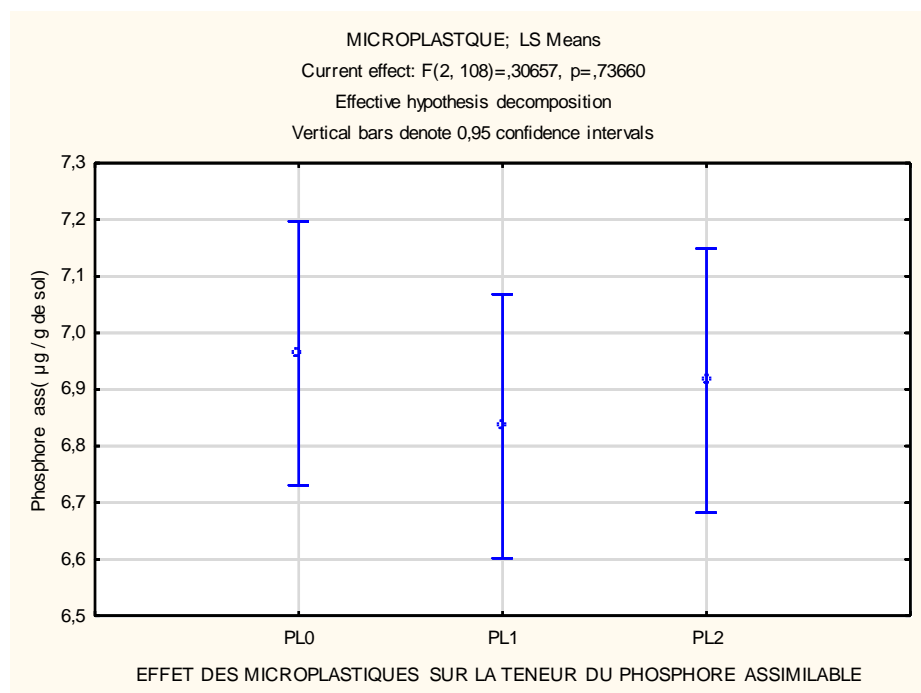
**Figure 5 :** Effet stress salin sur la teneur du phosphore assimilable du sol



**Figure 6 :** Effet du stress hydrique sur la teneur du phosphore assimilable du sol

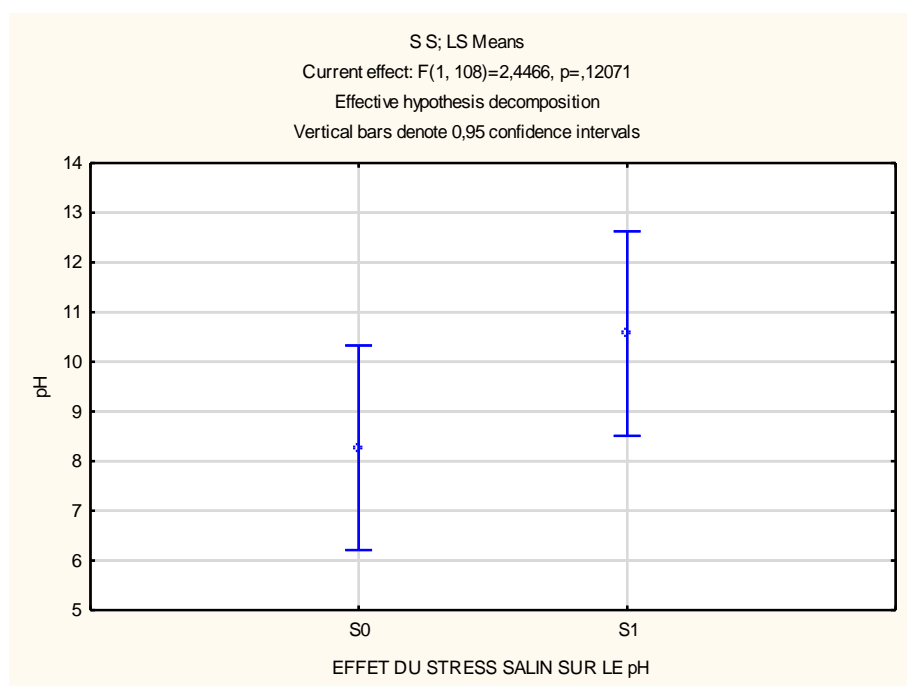


**Figure 7 :** Effet du biochar sur la teneur du phosphore assimilable du sol

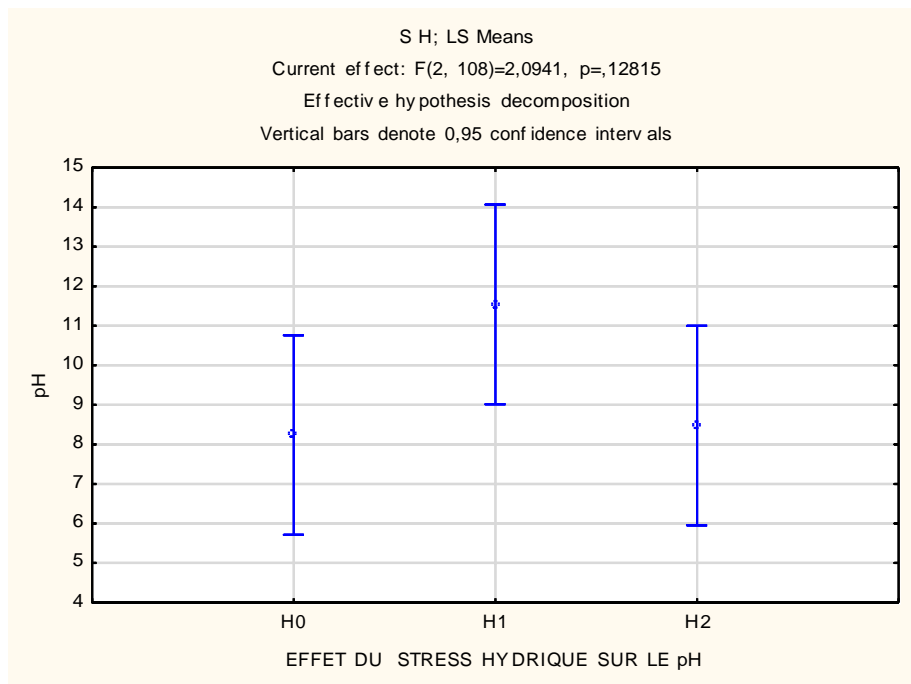


**Figure 8 :** Effet des microplastiques sur la teneur du phosphore assimilable du sol

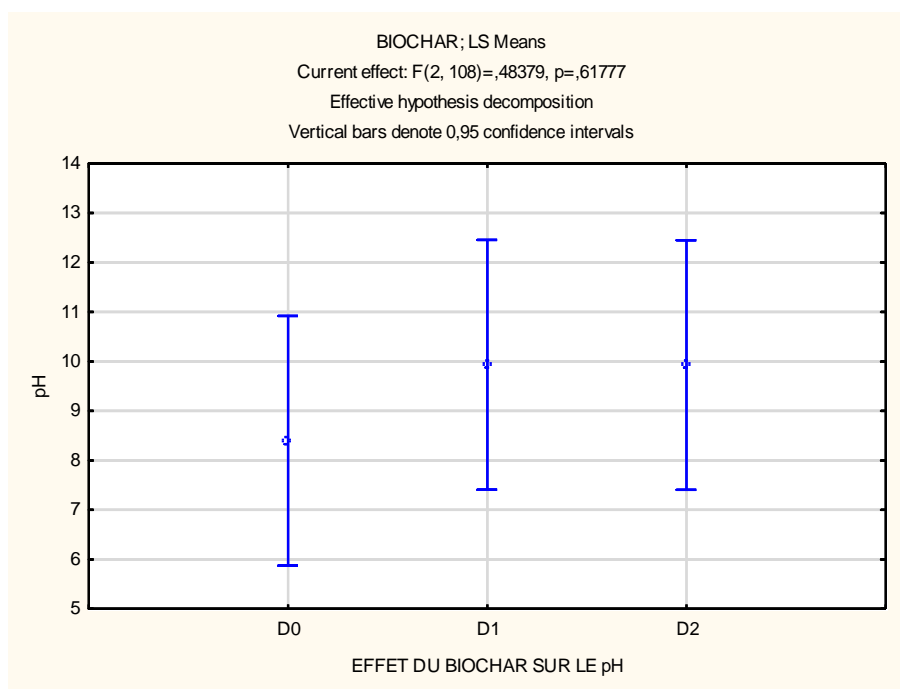
L'évolution du pH sous l'effet du stress salin ( $P=0.001$ ) et stress hydrique ( $P=0.002$ ) est significative. Les résultats obtenus montrent une tendance vers l'alcalinité avec le stress salin. En effet, le pH augmente de 8.26 pour S0 à 10.56 pour le niveau stress salin S1. Avec le stress hydrique on détient les moyennes respectives de 8.23 pour H0 et 11.50 pour le niveau hydrique H2 (Fig.9 et Fig.10). Il semble selon les résultats obtenus que l'apport des microplastiques et du biochar comme amendement organique aussi laisse voir une augmentation dans le pH du sol. Avec le biochar l'augmentation est significative ( $P=0.001$ ), le pH varie de 8.39 à 9.92 entre la dose D0 et D2 (Fig.11) ; contrairement avec le Polyéthylène (PE) l'effet est non significatif ; cependant, on décèle un pH de 11.5 pour la dose PL1 et 8.48 avec PL0 (Fig.12)



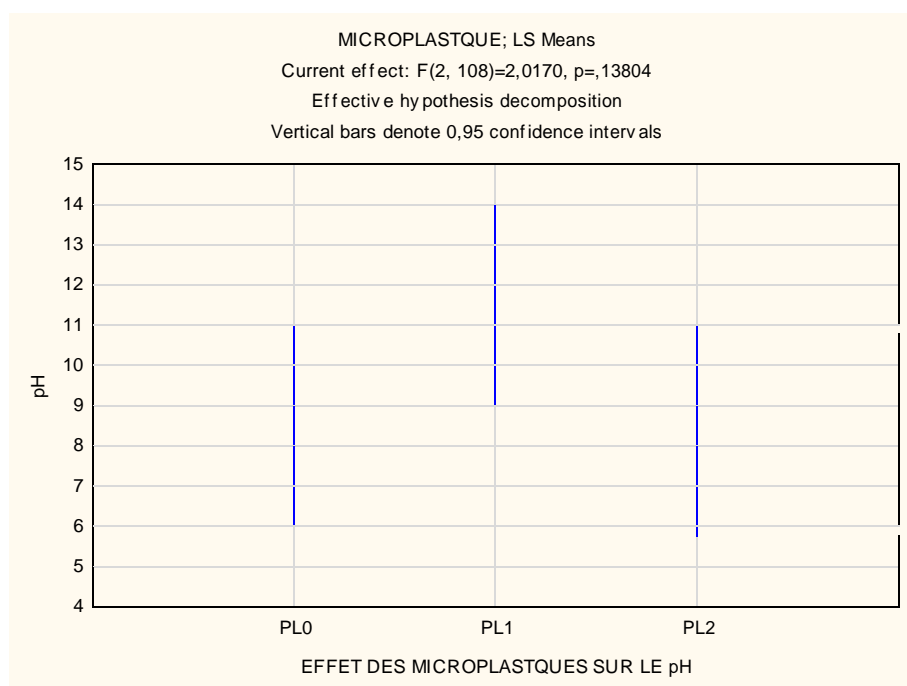
**Figure 9 :** Effet du stress salin sur le PH



**Figure 10 : Effet du stress hydrique sur le PH**

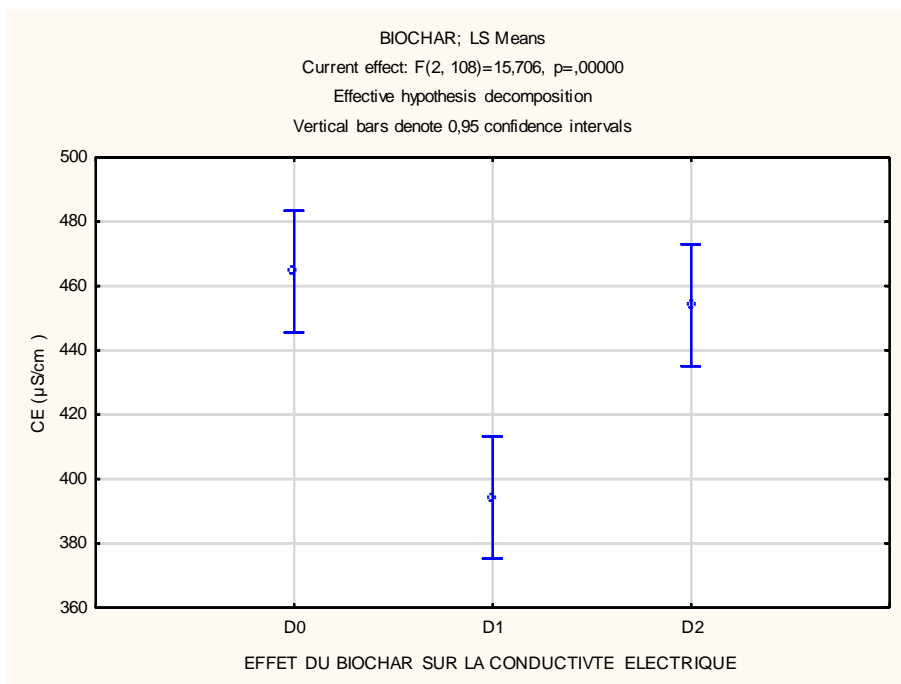


**Figure 11 : Effet du biochar sur le PH**

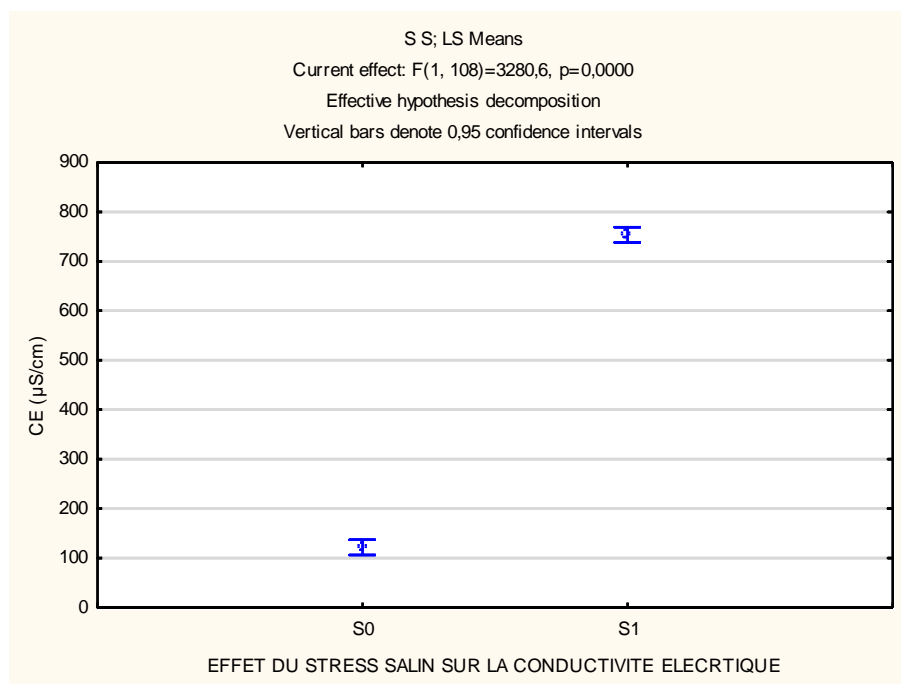


**Figure 12 :**Effet des microplastiques sur le PH

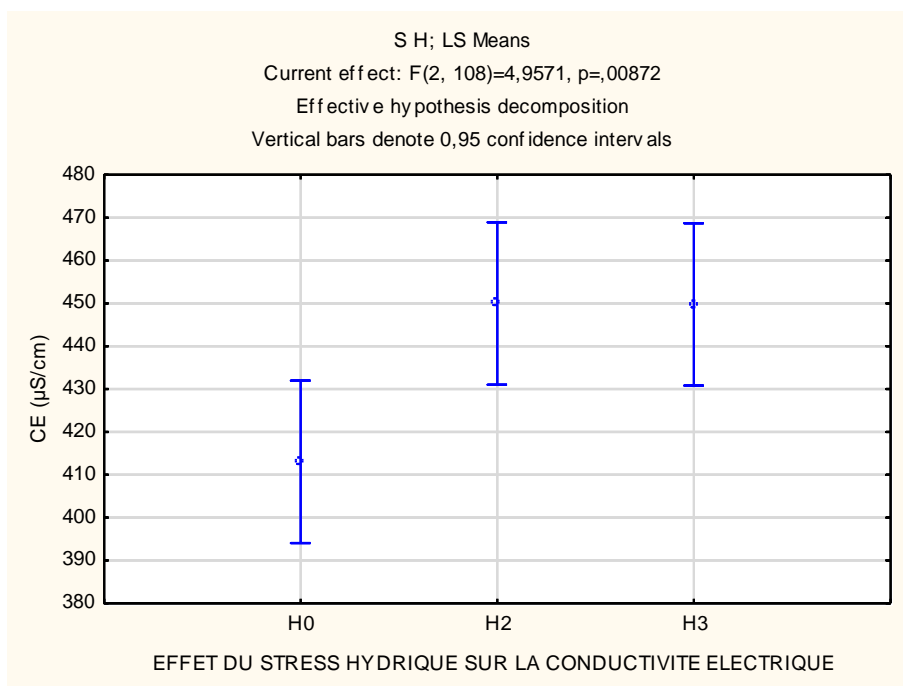
Il ressort de l'étude statistique pour la conductivité électrique (CE) une augmentation significative ( $P < 0.0001$ ) sous l'effet du stress salin et aussi stress hydrique ( $P = 0.008$ ) ; même chose avec le PE ( $P = 0.003$ ). Contrairement à ces observations l'amendement du biochar annonce une diminution significative ( $P < 0.0001$ ) dans la CE laissant voir un fléchissement de la valeur  $464.48 \mu\text{S}/\text{cm}$  pour D0 à  $394.26 \mu\text{S}/\text{cm}$  pour D1(Fig.13). Avec le stress salin la plus haute CE est égale à  $753.66 \mu\text{S}/\text{cm}$ , obtenue avec le niveau S1. Pour le stress hydrique la plus haute valeur  $499.97 \mu\text{S}/\text{cm}$  (Fig.14 et Fig 15). L'apport du micro plastique élève la conductivité électrique du sol de la valeur  $416.32 \mu\text{S}/\text{cm}$  pour PL0 à  $462.14 \mu\text{S}/\text{cm}$  pour PL1(Fig.16).



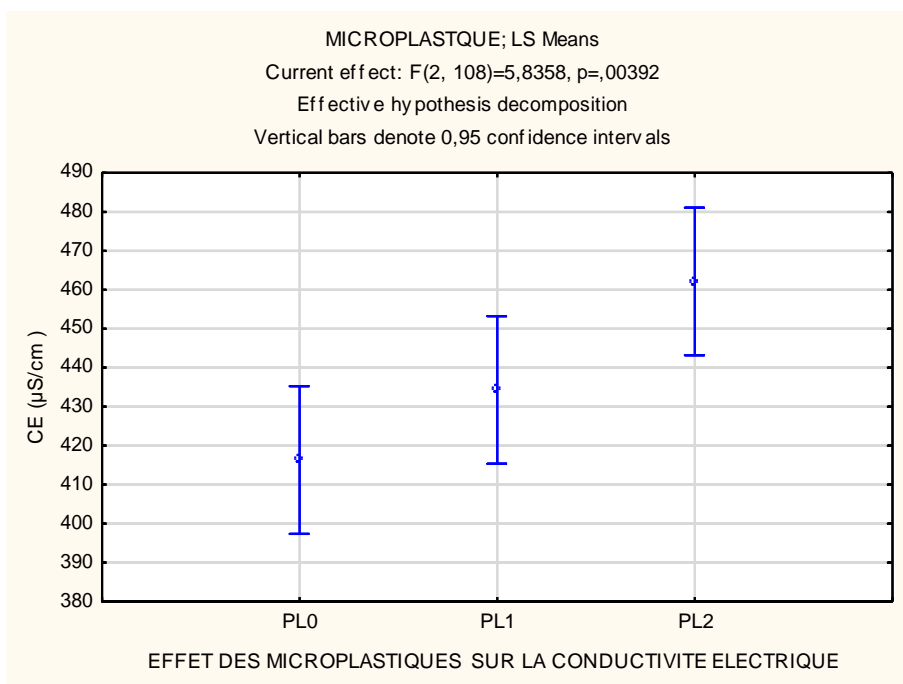
**Figure 13 :** Effet du biochar sur la conductivité électrique



**Figure 14 :** Effet du stress salin sur la conductivité électrique



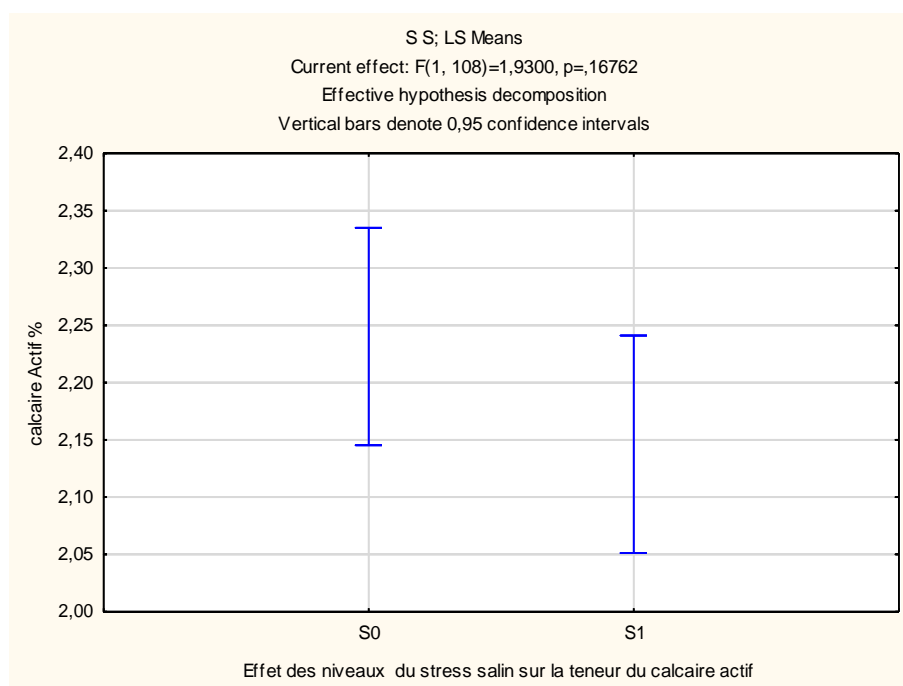
**Figure 15 :** Effet du stress hydrique sur la conductivité électrique



**Figure 16 :** Effet des microplastiques sur la conductivité électrique



L'analyse de la variance du calcaire actif indique une différence non significative pour le stress salin ( $P=0.167$ ) et aussi pour les microplastiques ( $P=0.214$ ). La teneur détectée dans le sol montre qu'il est légèrement calcaire. Les valeurs décelés varient entre 2.146% et 2.240% respectivement pour les niveaux de stress S2, S1 (Fig.17). Les microplastiques laissent voir la teneur 2.131% pour D1 et 2.274% pour D2(Fig.18). Contrairement au stress salin le déficit hydrique diminue significativement ( $P<0.0001$ ) le taux du calcaire total dans le sol de la valeur 2.386% pour H0 à 2.191%pour H2(Fig.19). Le biochar agit significativement ( $P<0.0001$ ) sur la teneur du calcaire actif par une augmentation de la valeur 2.191% pour la dose D0 à 2.374 pour la dose D2 (Fig.20).



**Figures 17 :** Effet du stress salin sur le calcaire actif

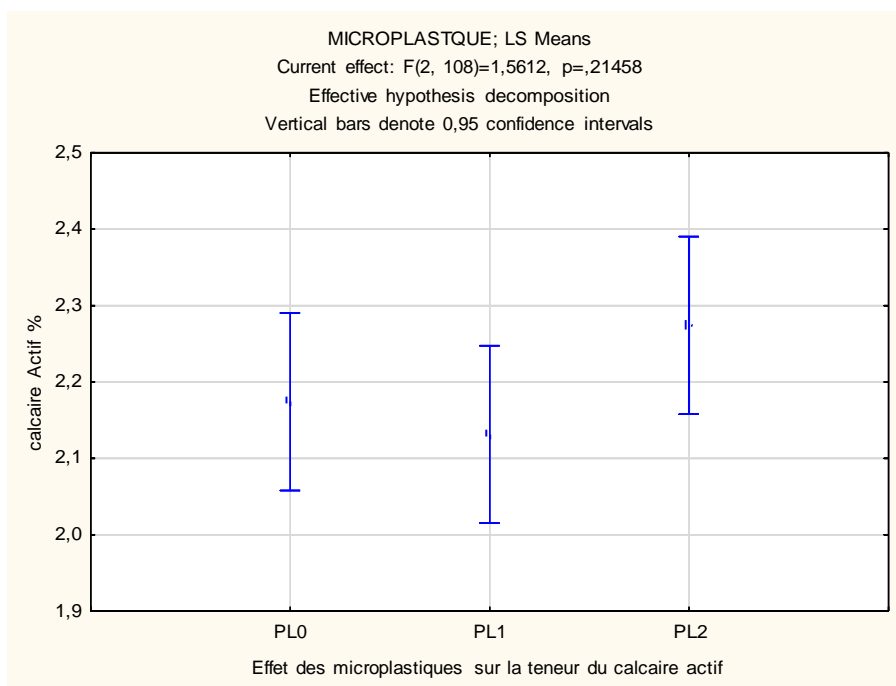


Figure 18 : Effet des microplastique sur le calcaire actif

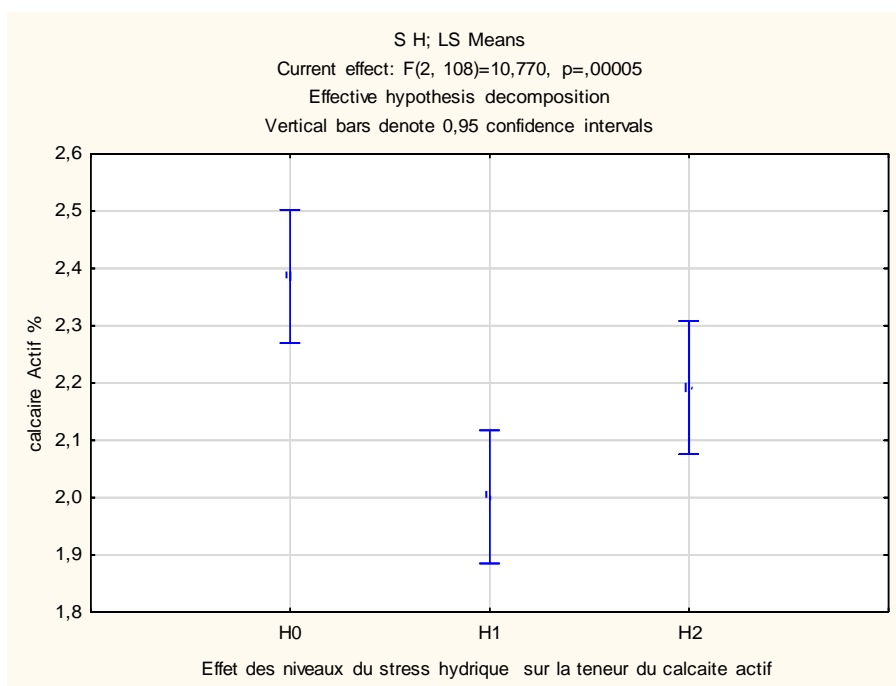
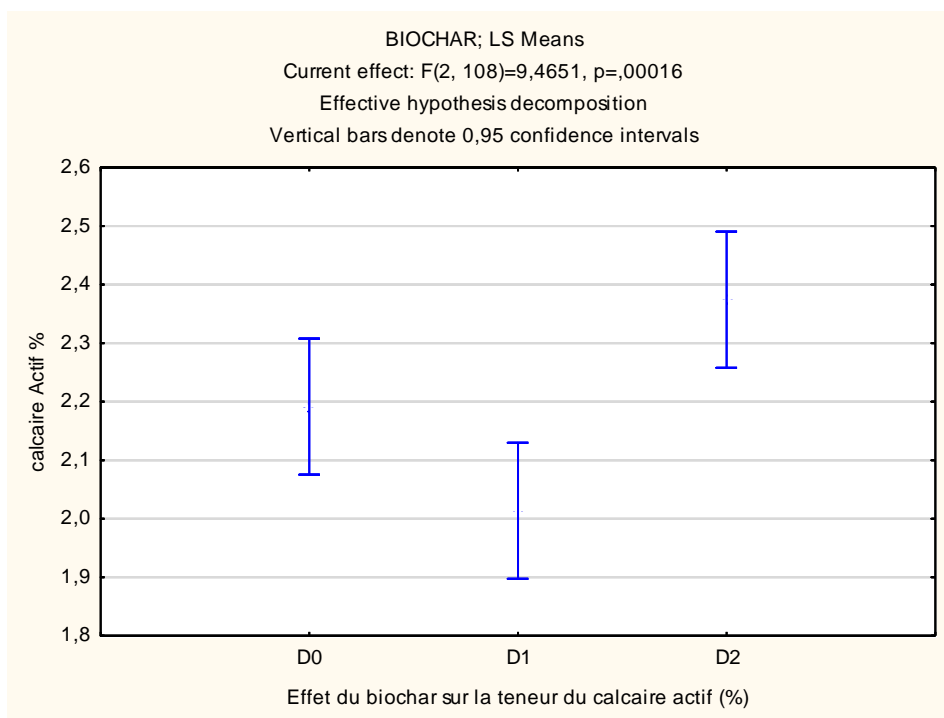
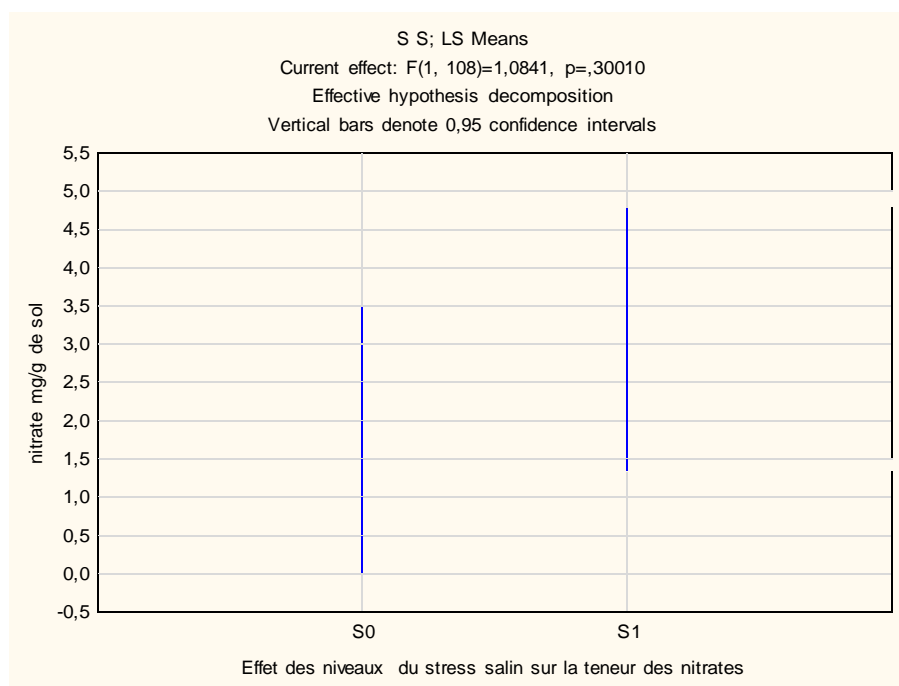


Figure 19 : Effet du stress hydrique sur le calcaire actif

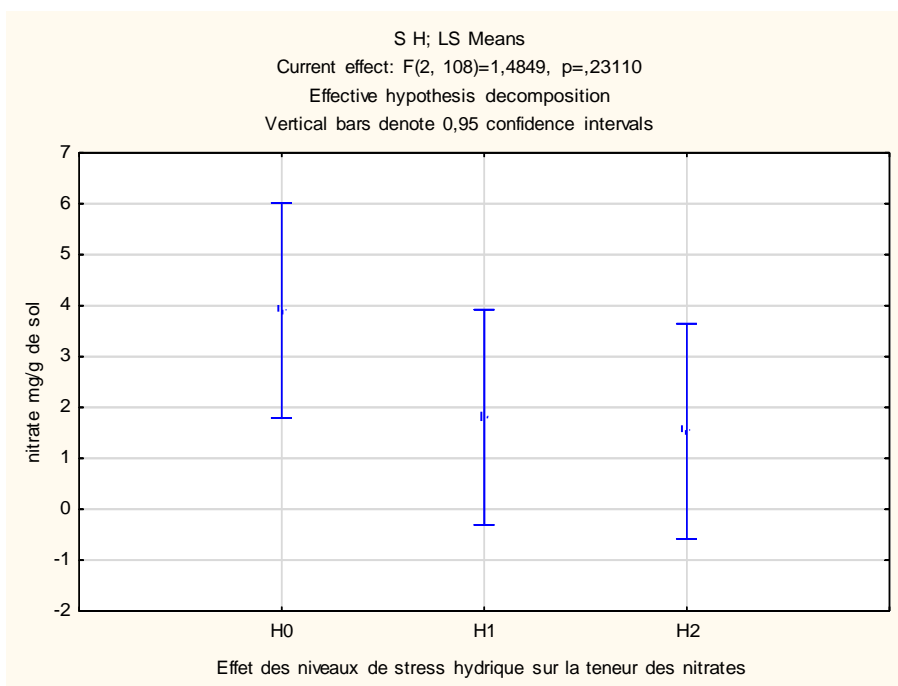


**Figure 20 :** Effet du biochar sur le calcaire actif

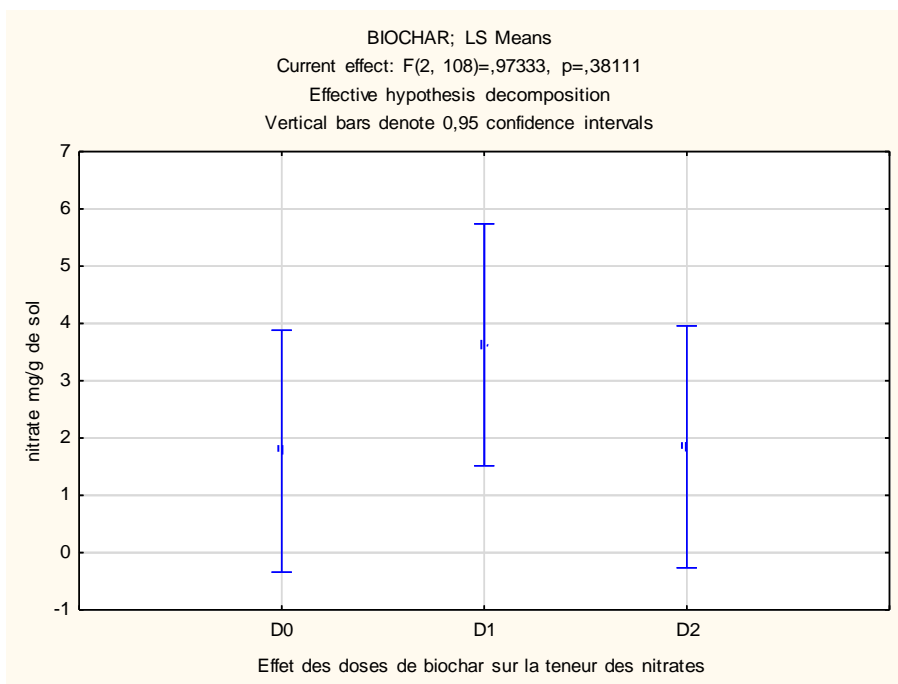
L'analyse de la variance des nitrates indique des effets non significatifs pour les deux stress ; salin ( $P= 0.30$ ) et stress hydrique ( $P=0.23$ ). Les deux fertilisants utilisés de leur côté ne montrent aucun changement dans les teneurs des nitrates ; leur effet est aussi non significatif ( $P=0.38$ ). Les résultats obtenus notent une teneur qui varie dans l'ensemble entre 1.53mg/gde sol et 3.90mg/g de sol.



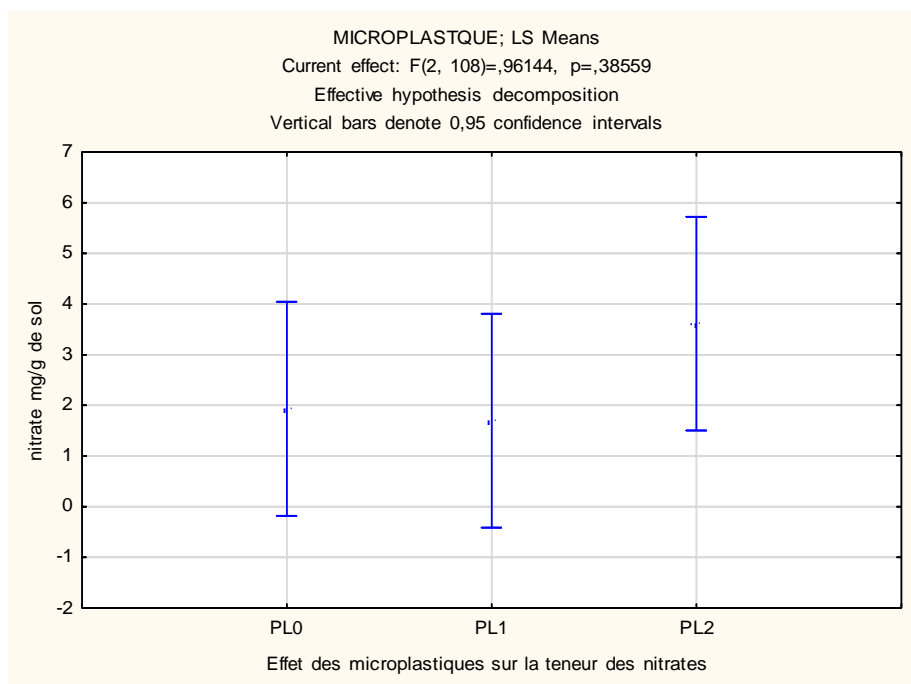
**Figure 21 :** Effet des niveaux du stress salin sur la teneur des nitrates



**Figure 22 :** Effet des niveaux du stress hydrique sur la teneur des nitrates



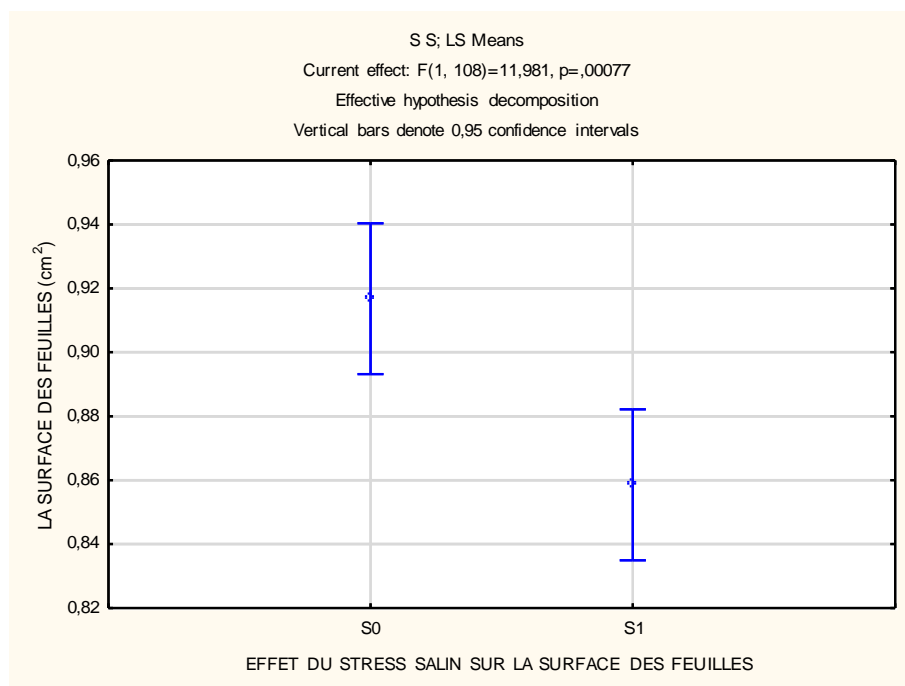
**Figure 23 :** Effet des doses de biochar sur la teneur des nitrates



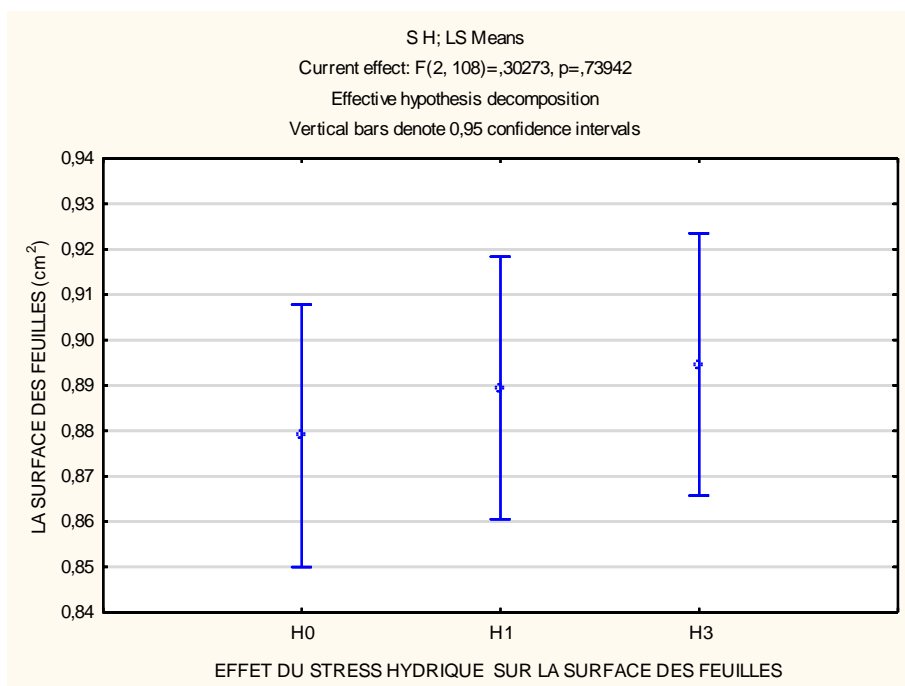
**Figure 24 :** Effet des doses des microplastiques sur la teneur des nitrates

## 2/ Les paramètres de la plante

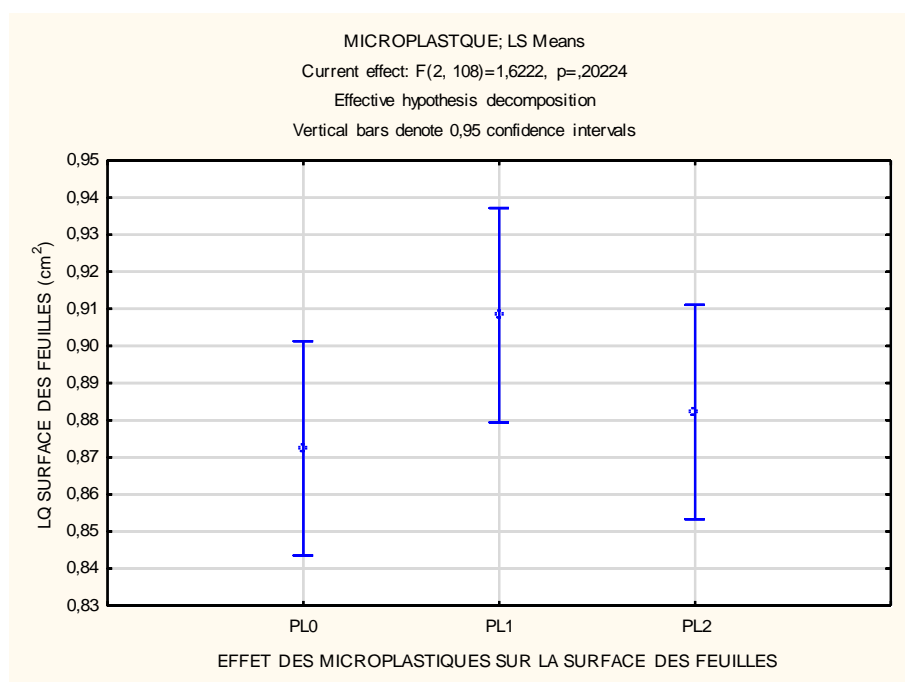
Le développement des feuilles sous l'effet du stress salin est significatif ( $P < 0.0007$ ). la surface des feuilles étendards diminue de la valeur  $0.91\text{cm}^2$  à  $0.85\text{cm}^2$  (Fig.25 ). Cependant, les résultats indiquent que le stress hydrique ( $P=0.73$ ), le PE ( $P=0.20$ ) et même le biochar ( $P=0.71$ ) ne montrent aucun changement pour ce paramètre. Sous l'effet du déficit hydrique la surface enregistrée varie entre  $0.87\text{ cm}^2$  pour H0 et  $0.89\text{ cm}^2$  pour H2(Fig.26). Le PE note la valeur  $0.87$  et  $0.88\text{ cm}^2$  respectivement pour PL0 et PL2 (Fig.27). Le biochar de son cote note des surfaces très proches,  $0.88\text{ cm}^2$  pour DO et  $0.89\text{cm}^2$  pour D2 (Fig.28).



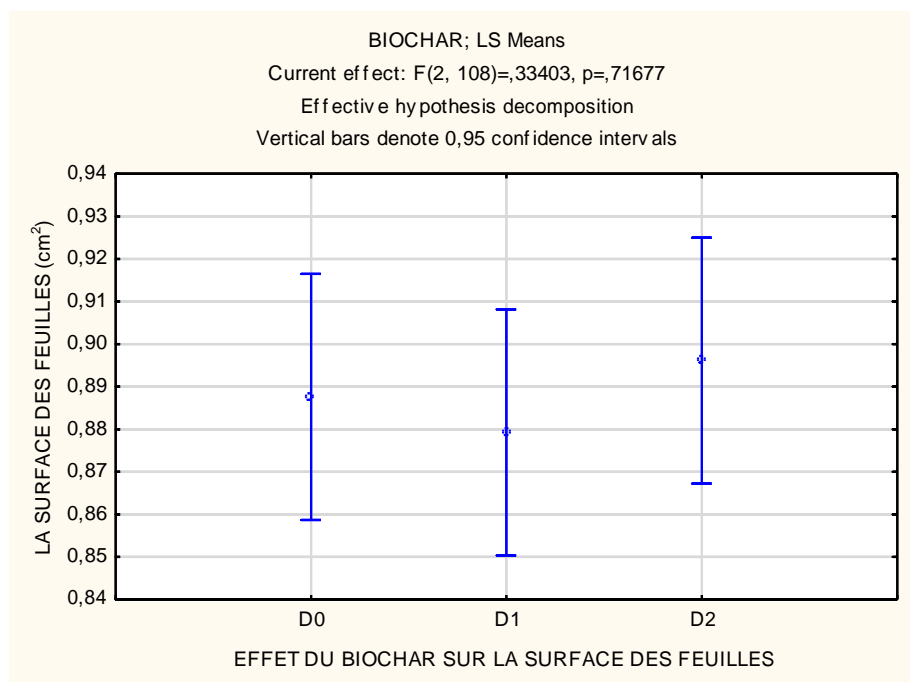
**Figure 25 :** Effet du stress Salin sur la surface des feuilles



**Figure 26 :** Effet du stress hydrique sur la surface des feuilles



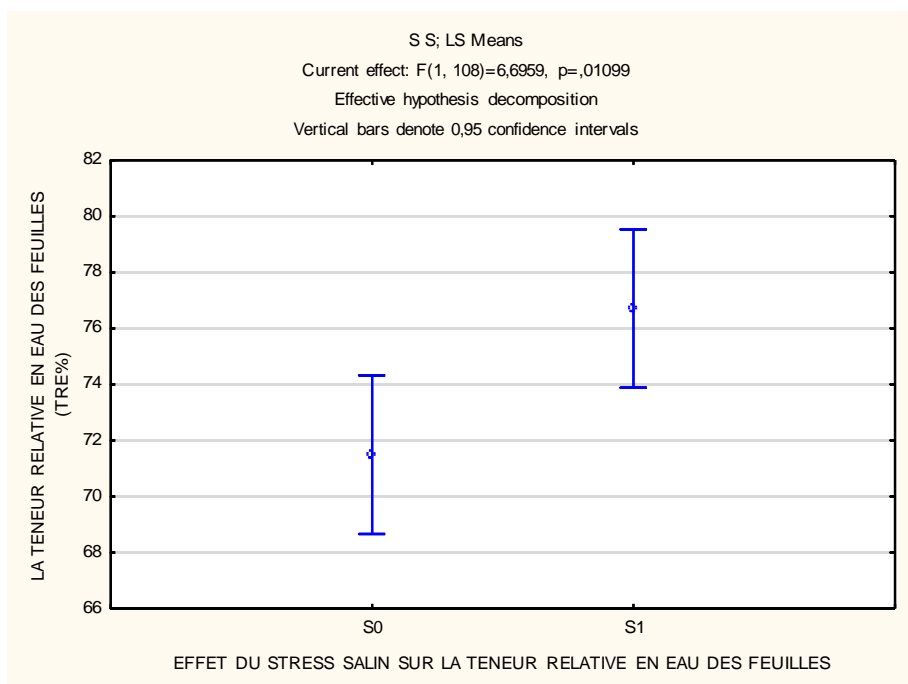
**Figure 27 :** Effet des microplastiques sur la surface des feuilles



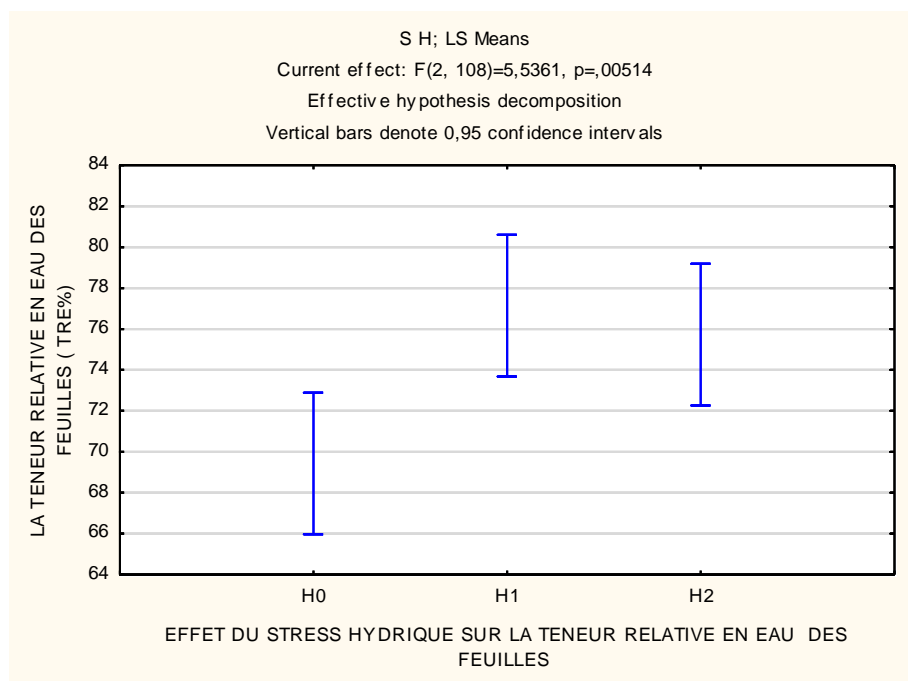
**Figure 28 :** Effet du biochar la surface des feuilles

Analyse de la variance pour la teneur relative des feuilles en eau montre un effet significatif pour le stress salin ( $P=0.01$ ) et aussi le stress hydrique ( $P=0.005$ ). Les microplastiques ( $P=0.10$ ) et biochar ( $P=0.52$ ) n'ont aucun effet sur la réserve hydrique des feuilles. Le stress salin induit une augmentation dans la quantité d'eau des feuilles de la valeur 71.49% pour S0 à 76.70 % pour S1(Fig.29). Avec le stress hydrique la teneur relative des feuilles en eau augmente pour H0 de la valeur 69.42% à 75.72% pour H2(Fig.30). Les valeurs décelées avec les doses de microplastiques varient entre 71.40 % pour PL0 et 76.33% pour PL2(Fig.31). Concernant le biochar la réserve en eau des feuilles est comprise entre 74.18% pour D0 et 75.46% pour D2(Fig.32).

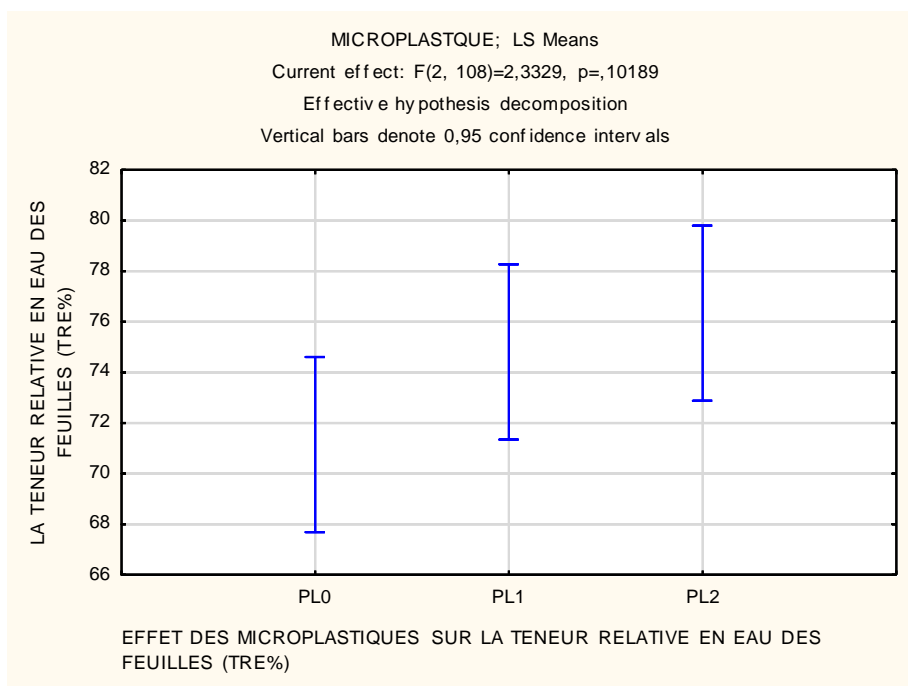




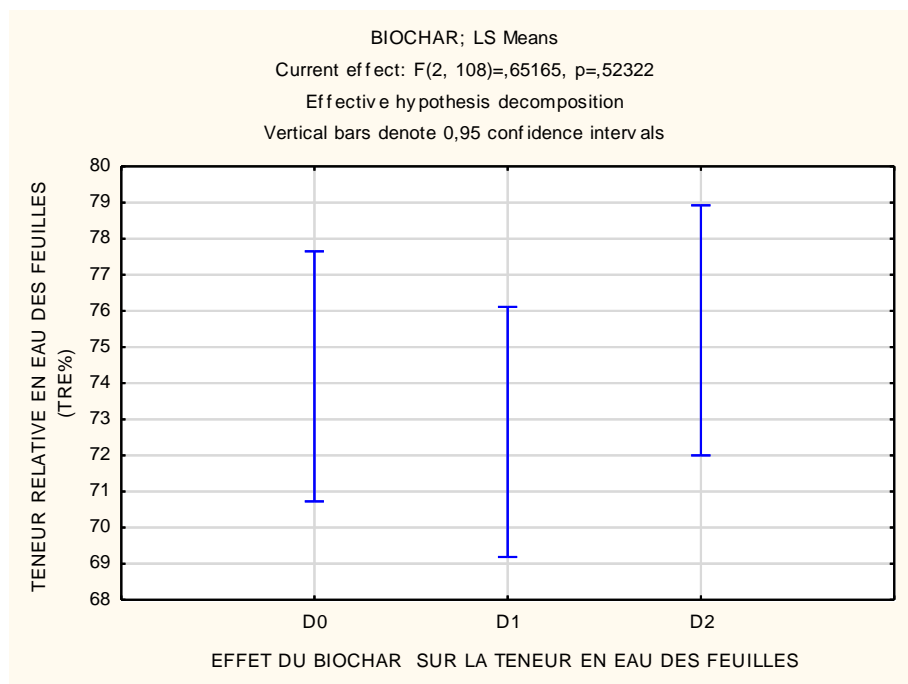
**Figure 29** : Effet du stress salin sur la teneur relative en eau des feuilles



**Figure 30** : Effet du stress hydrique sur la teneur relative en eau des feuilles

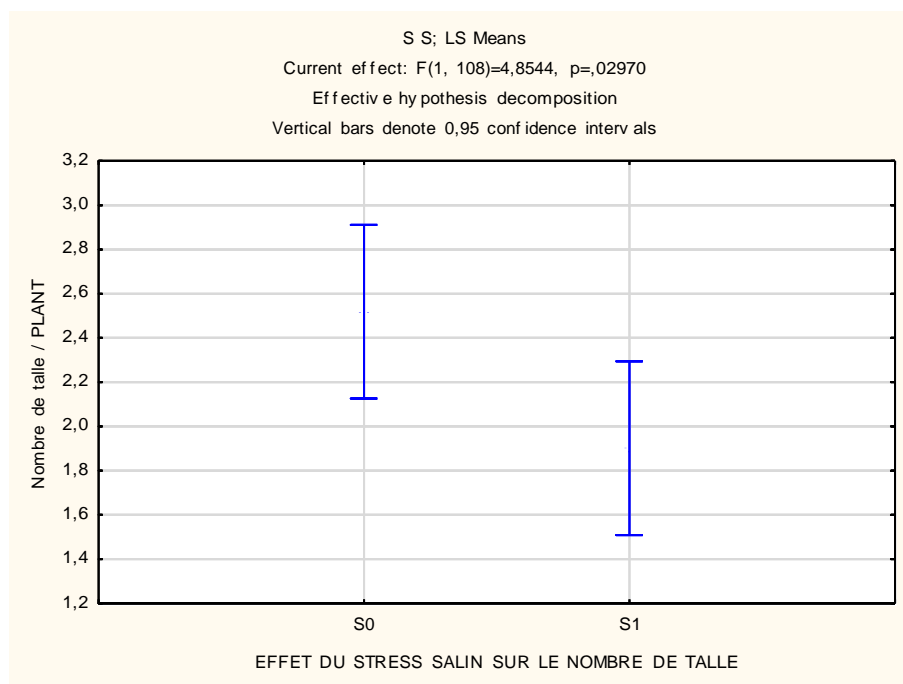


**Figure 31 :** Effet des microplastiques sur la teneur relative en eau des feuilles

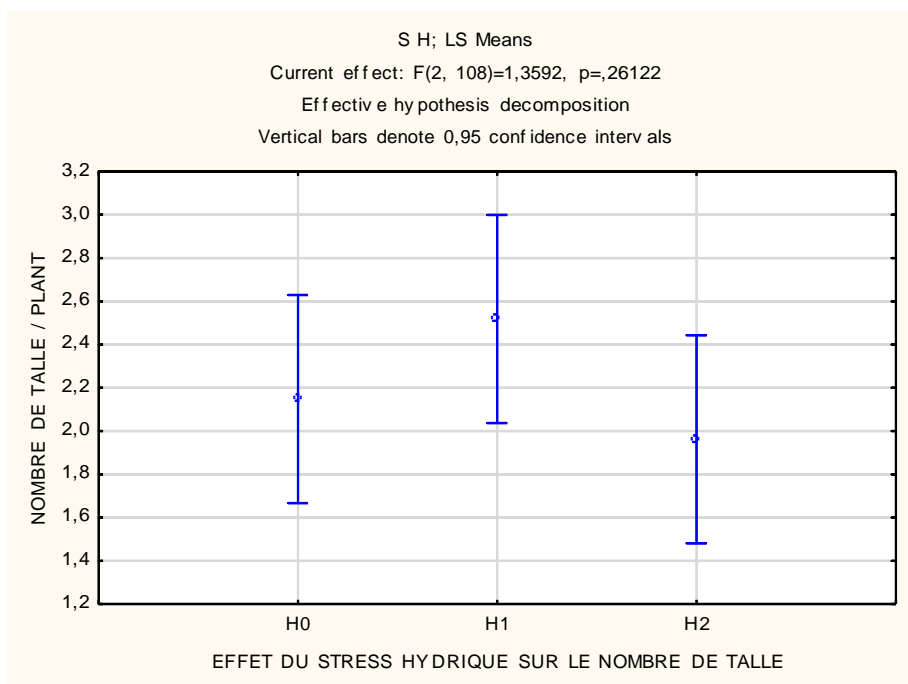


**Figure 32 :** Effet du biochar sur la teneur relative en eau des feuilles

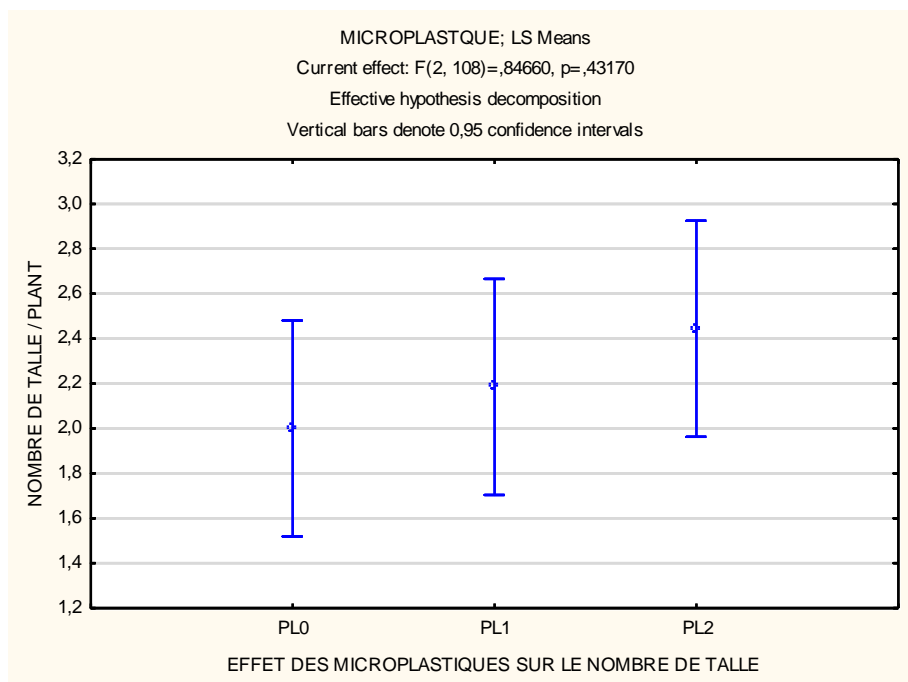
L'évolution du nombre de talle sous l'effet des différents traitements s'est révélée significatif uniquement avec le stress salin ( $P = 0.029$ ). Le stress hydrique ( $P=0.26$ ), les microplastiques ( $P=0.431$ ) et le traitement biochar ( $P=0.111$ ) n'ont ajouté aucun effet significatif sur le nombre de talle. L'application du sel a fait diminuer le nombre de talle de la valeur 2.51 pour S0 à 1.90 avec S1 talle (Fig.33). Avec le reste des traitements le nombre total des talles varie pour le stress hydrique entre 2.5 pour H1 et 2.14 pour H0, les microplastiques laissent voir le nombre avec PL0 une valeur moyenne de 2 talle s et 2.44 avec PL2 ; Quant au biochar la moyenne des talles est de pour D0 1.87 et 2.59 talles pour D2 ( Fig.34 a ,b ,c )



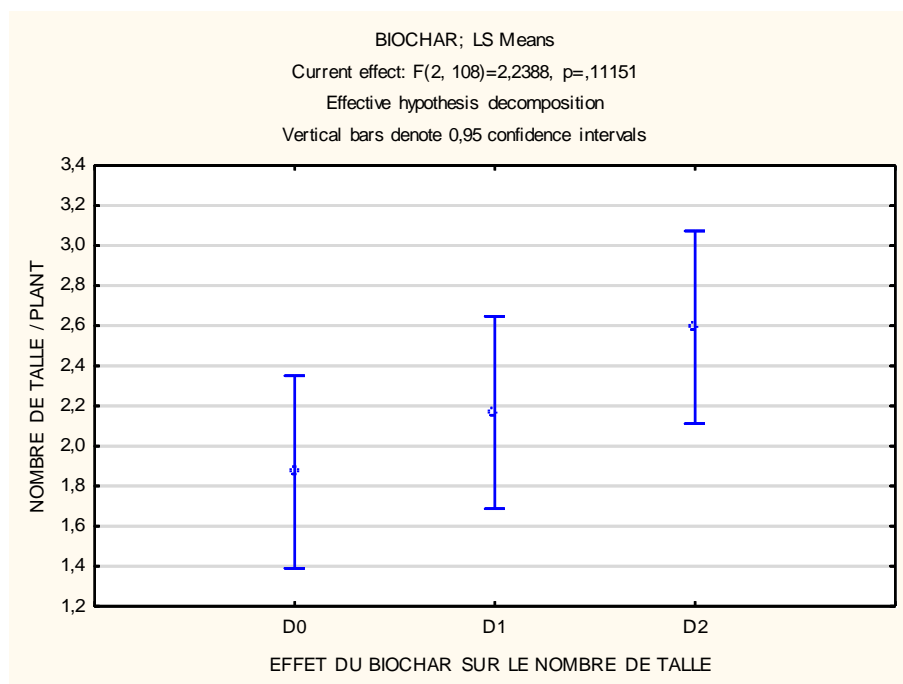
**Figure 33** : Effet du stress salin sur le nombre de talle



**Figure 34 a :** Effet du stress hydrique sur le nombre de talle

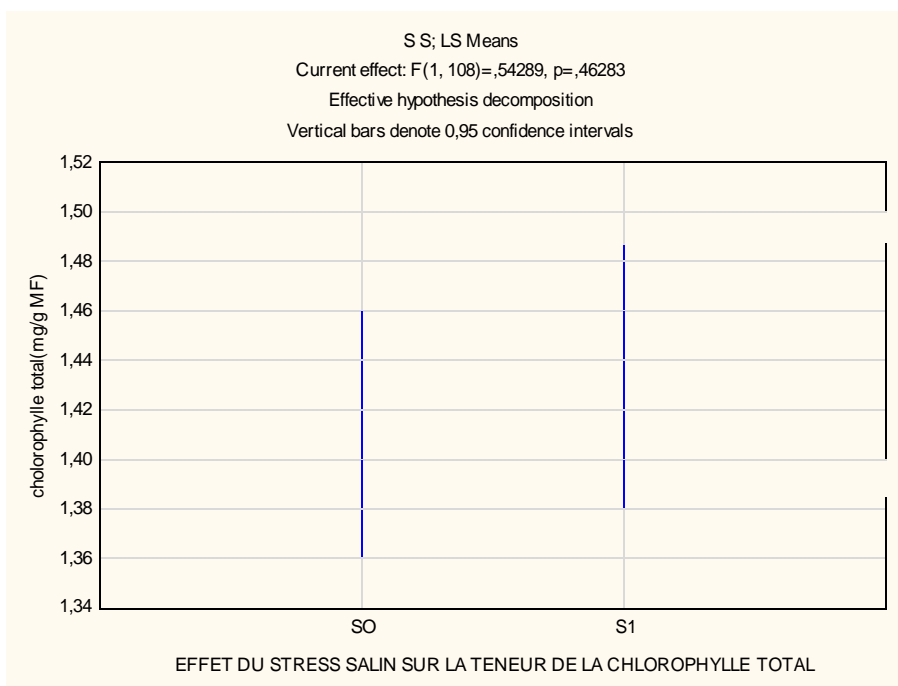


**Figure 34 b :** Effet des microplastiques sur le nombre de talle

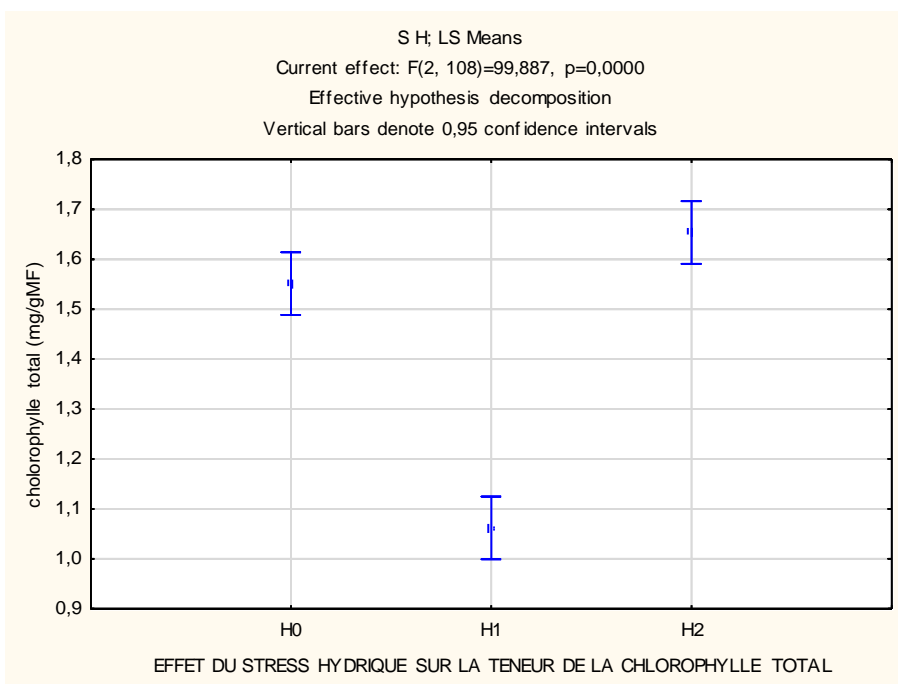


**Figure 34 c :** Effet du biochar sur le nombre de talle

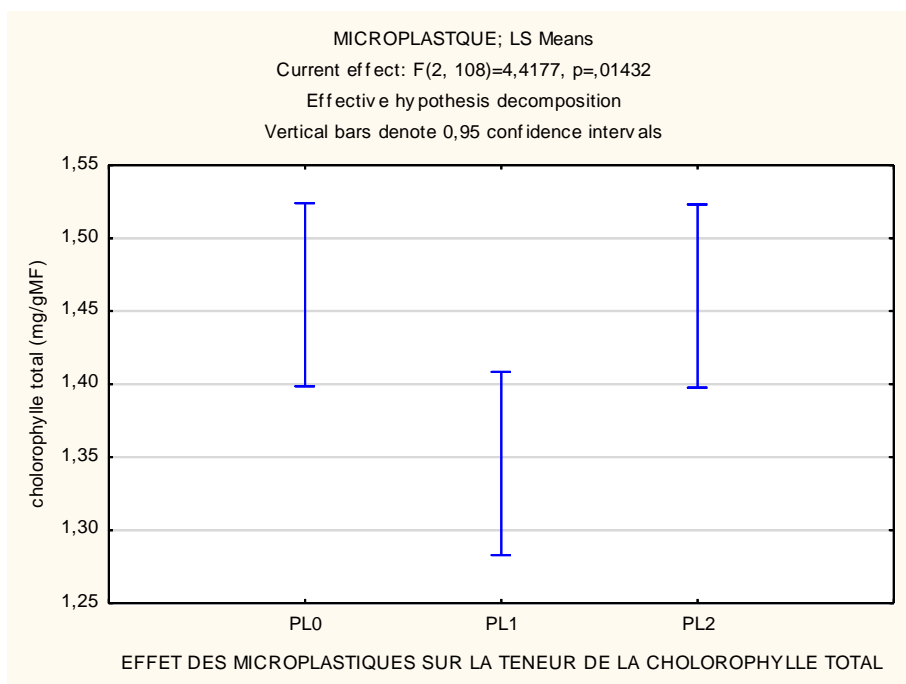
L’Anova obtenue pour la teneur en chlorophylle total(T) des feuilles montre un effet non significatif pour le traitement de stress salin (P=0.462). Le stress hydrique (P<0.0001), les microplastiques(P=0.014)et le biochar (P=0.014) accusent des effets significatifs. La teneur de la chlorophylle total sous l’effet du sel est fixée à une teneur de 1.43 et 1.40 mg/g MF (Fig.35). Le stress hydrique accuse une diminution dans la teneur de la valeur 1.55 mg/g MF pour H0 à 1.06 mg/g MF pour H1 puis une légère augmentation pour H2à la valeur1.63mg/gMF(Fig.36). L’amendement des microplastiques laisse voir un fléchissement uniquement avec la faible dose PL1 montrant la valeur 1.34 mg/g MF, cependant le niveau PL0 et PL1 la teneur est de1.46 mg/g MF. Avec le biochar les valeurs augmentent de 1.40 mg /g MF pour la dose D0 à 1.49 mg /g MF pour D2(Fig.37 et (Fig.38).



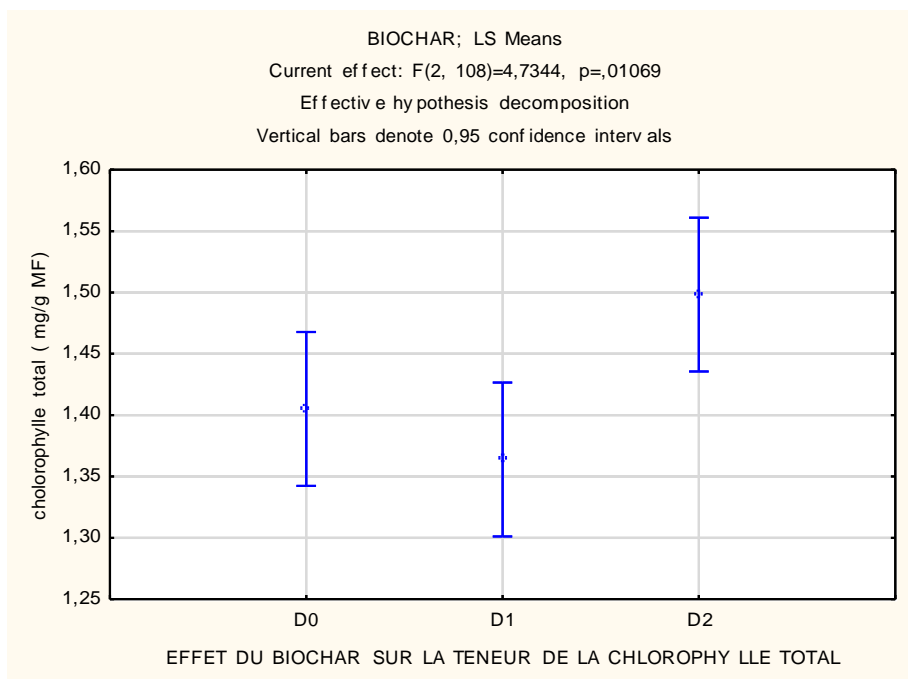
**Figure 35** : Effet du stress salin sur la chlorophylle total



**Figure 36** : Effet du stress hydrique sur la chlorophylle total

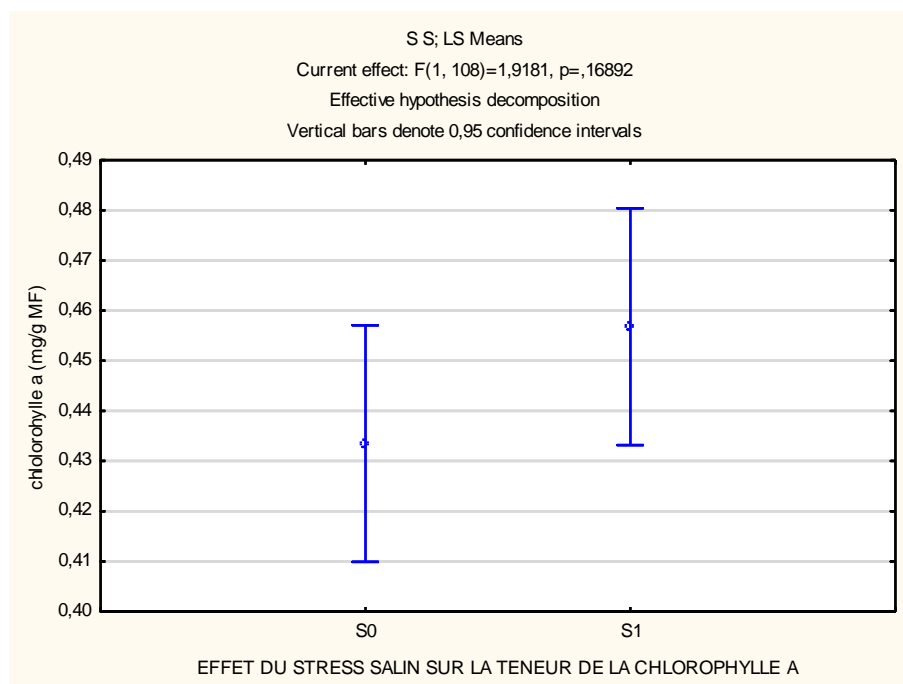


**Figure 37 :** Effet des microplastiques sur la chlorophylle total



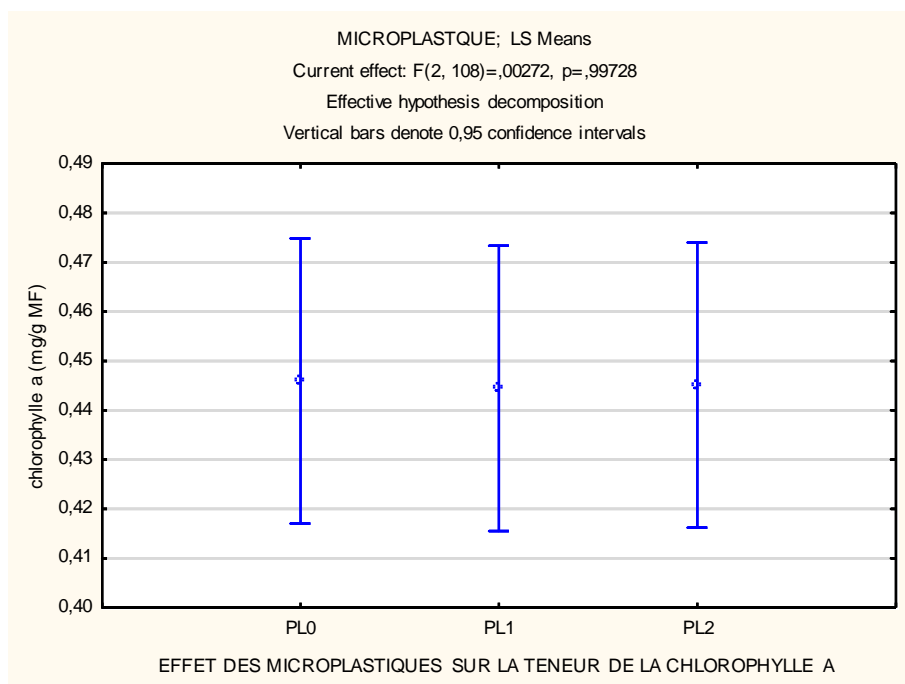
**Figure 38 :** Effet du biochar sur la chlorophylle total

L'évolution de la chlorophylle **a** suivi la même tendance que la chlorophylle **T** sauf pour le microplastique qui indique un effet non significatif ( $P=0.997$ ), le rôle du stress salin est aussi non significatif ( $P=0.168$ ). L'Anova révèle un effet significatif pour le stress hydrique ( $P<0.0001$ ) et biochar ( $P=0.018$ ). La teneur de la chlorophylle **a** obtenue pour le niveau de stress salin **S0** est de 0.43 mg/gMF, cette teneur est proche au niveau de stress salin **S1** qui note 0.456 mg/gMF (Fig.39). La chlorophylle **a** obtenue avec les microplastiques se fixe à la valeur 0.44 mg/gMF (Fig.40). Le déficit hydrique accuse une diminution de la teneur 0.489 pour **H0** à 0.333 mg/gMF pour **H1** cette valeur augmente avec le stress **H2** à 0.51 mg/gMF (Fig.41). Le biochar améliore la chlorophylle **a** à une teneur de 0.479 mg/gMF pour la dose **D2** en comparaison avec la dose **D0** 0.431 mg/gMF (Fig.42)

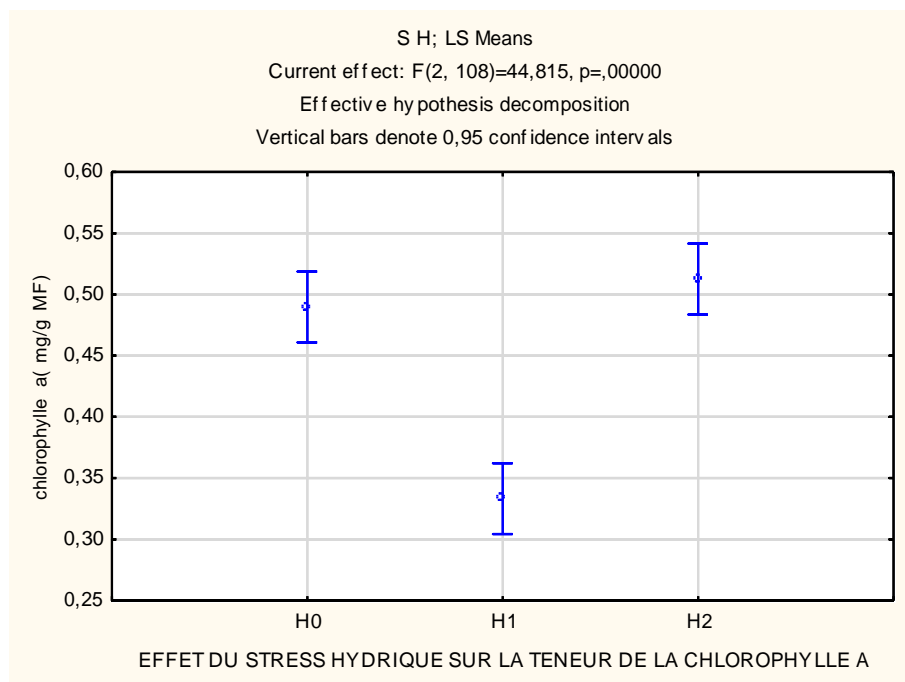


**Figure 39 :** Effet du stress salin sur la chlorophylle a

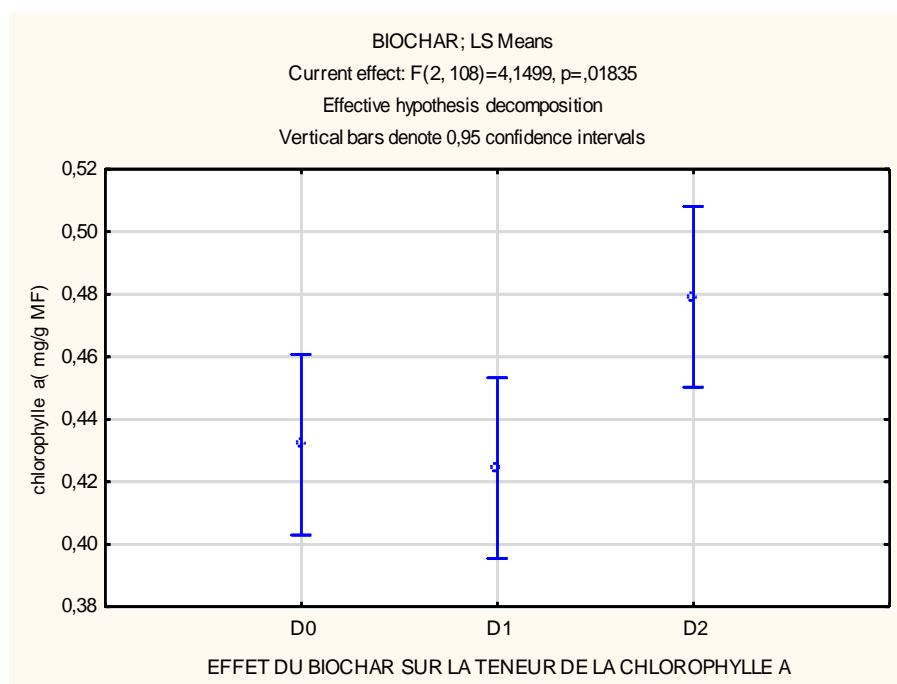




**Figure 40 :** Effet des microplastiques sur la chlorophylle a

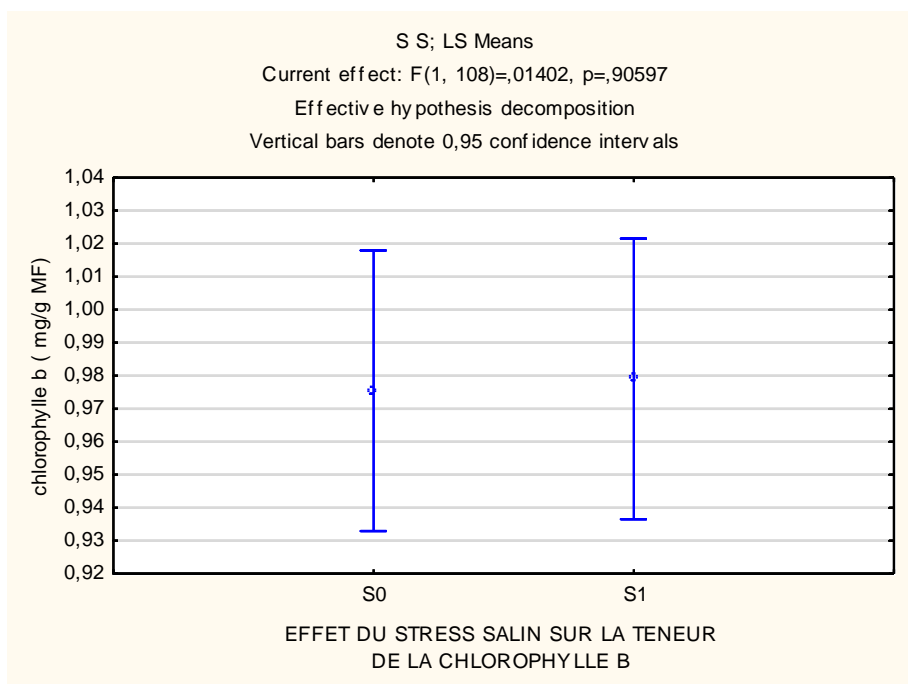


**Figure 41 :** Effet du stress hydrique sur la chlorophylle a

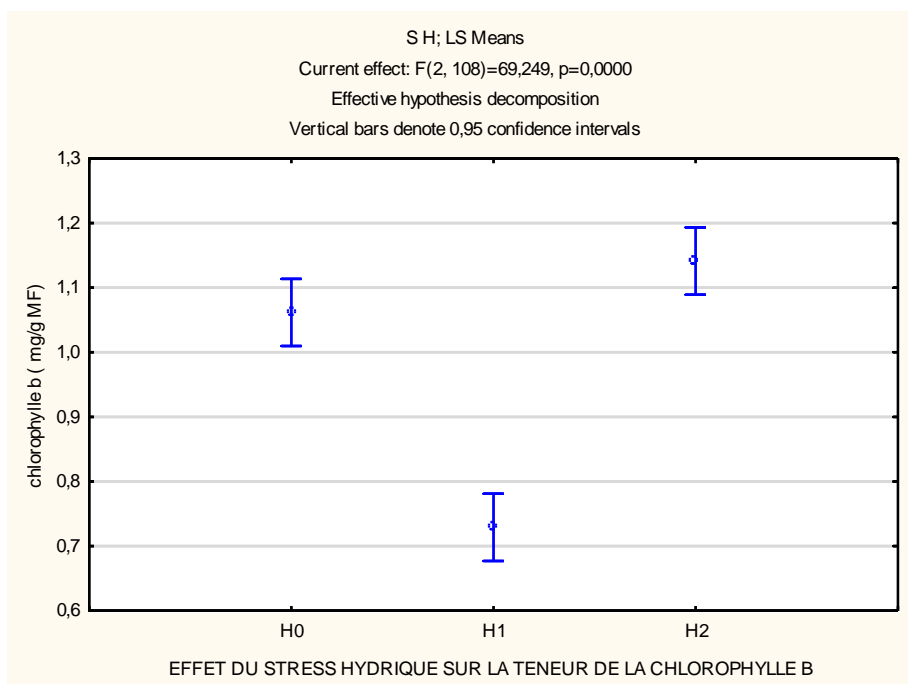


**Figure 42 :** Effet du biochar sur la chlorophylle a

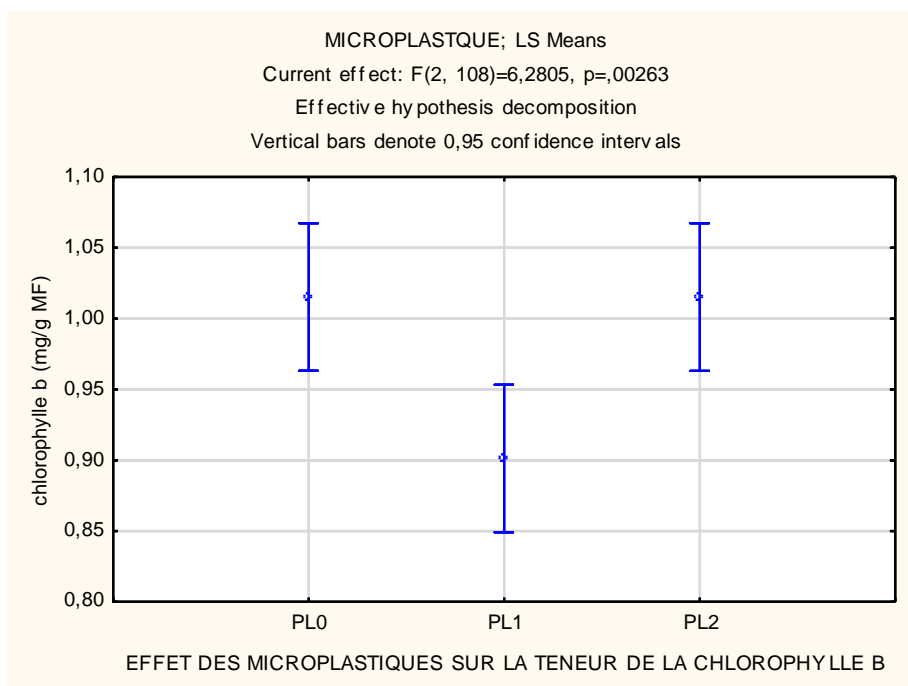
Les résultats de la chlorophylle **b** montrent un effet non significatif ( $P=0.90$ ) avec le stress salin et aussi le biochar ( $P=0.104$ ) en comparaison avec le stress hydrique ( $P<0.0001$ ) et les microplastiques ( $P=0.0026$ ). La valeur allouée au stress salin S0 ( $0.975\text{mg/g MF}$ ) est égale à celle de S1 (Fig.43). Les teneurs du pigment augmentent avec le stress hydrique pour le niveau H0  $1.06\text{ mg/g MF}$  à  $1.14\text{mg/g MF}$  pour S2 (Fig.44). Les microplastiques notent une diminution avec la dose PL1 ( $0.90\text{ mg/g MF}$ ) en comparaison avec PL0 ( $1.01\text{ mg/g MF}$ ) (Fig.45). Le biochar révèle la même tendance que le stress salin des valeurs très proches qui varient de la valeur  $0.93\text{ mg/g MF}$  pour le niveau DO à la teneur  $1.01\text{mg/gMF}$  pour la plus forte dose D2 (Fig.46).



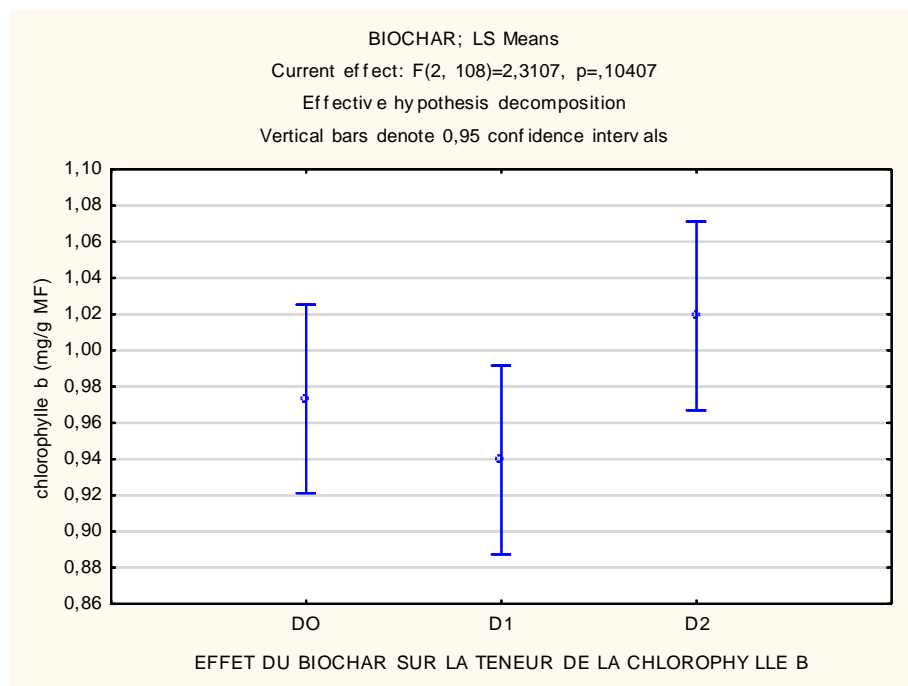
**Figure 43 :** Effet du stress salin sur la chlorophylle b



**Figure 44 :** Effet du stress hydrique sur la chlorophylle b



**Figure 45 :** Effet des microplastiques sur la chlorophylle b



**Figure 46 :** Effet du biochar sur la chlorophylle b

# Discussion

## DISCUSSION

### 5.1. Les paramètres du sol

L'ensemble des teneurs du carbone décelé dans cette étude concluent à une teneur en matière organique moyenne (Baize 1995).

Les résultats relatifs à la transformation de la matière organique dans le sol montrent que le stress hydrique a limité la dégradation de cette matière. La teneur du carbone diminue sous l'effet de ce stress cette observation trouve son explication dans le fait que, lorsque l'eau diminue dans le sol l'activité des microorganismes responsables de la transformation des matières dans le sol diminue entraînant une perte dans le stock du carbone total du sol (Aïcha, 2021). Contrairement au stress hydrique le stress salin augmente la teneur du carbone dans le sol, nous attribuons à cet effet l'idée que le sel de sodium se fixe avec les ions carbonates existantes dans le sol, cette fixation favorise l'activité biologique, et par conséquent la minéralisation du carbone organique, ces observations sont appuyés par l'élévation du pH. Il faut dire que, cette influence n'a pas été observé avec le stress hydrique car cette activité est le sort de plusieurs catégories de microorganismes ( Boukteb et Boutaleb2021; Chemsal, 2019)

Aïcha, (2021) rapporte qu' après un traitement par le NaCl, le taux de carbone organique diminue à une teneur de 0,42% par rapport à la teneur de sol témoin 0,98% .

Il se révèle aussi d'après les résultats obtenus que l'amendement des doses croissantes du polyéthylène (PE) ne semble pas améliorer la teneur du carbone dans le sol. Au contraire, on remarque une diminution. Cette observation s'explique par l'interaction significative et conjuguée des deux Stress (salin et stress hydrique) avec ce fertilisant ajouté. Le manque d'eau et la présence du sel ont limité le déroulement de la dégradation et libération du carbone existant dans le PE et sa libération dans le sol, induisant ainsi une diminution du taux de carbone dans celui-ci. A rajouter aussi, que selon la littérature le temps de dégradation et de transformation des microplastiques dans le sol est une opération très lente(Bajt, 2021).

Avec le biochar la teneur du carbone n'augmente que très légèrement pas par rapport au sol témoin, cependant cette élévation reste non significative. On peut attribuer ces observations par le fait que l'analyse du sol a été effectuée à une période proche à celle de la date l'amendement ce qui n'a pas laissé le temps de mettre en relief l'effet de ce fertilisant sur le sol. Nous avançons la même remarque pour les microplastiques car le temps de notre essai est très court (deux mois). Contrairement à nos retrouvailles Chemsal, (2019) a montré que le biochar une fois ajouté au sol il permet une augmentation dans le potentiel de stockage du carbone à des échelles plus importants par rapport à d'autres amendements organiques

Les teneurs du phosphore assimilable sont très faibles (Amonmide et al., 2019). Il apparaît que l'amendement organique n'a eu aucun effet sur la teneur de ce minéral dans le sol. Il est à savoir selon la littérature que les minéraux du sol sont issus à partir de la dégradation de la matière organique existante dans celui-ci. Dans notre cas d'étude, on n'a pas eu un effet positif concernant la transformation de cette matière dans le sol ce qui explique que les teneurs de ce minéral restent très faibles et non significatives. Contrairement à nos résultats

Troh, (2023) trouve que la teneurs du phosphore et aussi les nitrates s'améliorent considérablement dans le sol suite à un amendement de biochar .Ce dernier auteur rapporte aussi une élévation dans la concentration des oligo-éléments ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  et  $\text{Mn}^{2+}$ ). De leurs coté Lehmann et al. (2011) rapportent que le biochar corrige les propriétés physiques du sol en augmentant le contenu minéral, ce fertilisant organique favorise la rétention des nutriments dans le sol.

L'évolution du pH dans cette présente étude tend vers l'alcalinité. Le stress hydrique, salin et aussi l'amendement du biochar augmentent le pH à des teneurs basiques. L'apport de l'eau saline chargé de sels de sodium conduit à un ajout et à une accumulation du sodium dans le sol conduisant à l'augmentation de ce paramètre. Le déficit hydrique a conduit aussi à une alcalinité dans le sol, nous pensons que ceci est en rapport avec l'accumulation et la concentration des sels carbonatés dans le sol sous l'effet du manque d'eau, (Boukhari et Gouassmia, 2022) dans leur travail, qui reposait sur l'étude des propriétés physico-chimique du sol sous l'effet de biochar trouvent que la valeur du pH augmente à 7,89 par rapport au témoin dont la valeur obtenue est de 7.40.

Il faut souligner aussi que l'analyse du biochar utilisé dans l'expérimentation montre que ce fertilisant est riche en carbonate de calcium, ainsi l'amendement de ce biosolide conduit à une élévation des carbonates conduisant à une alcalinisation. Ces résultats se confirment par l'analyse du sol en calcaire actif. En effet sous l'effet du biochar la teneur du calcaire actif augmente linéairement avec les doses appliquées. Ce fertilisant libère dans le sol les ions carbonates conduisant à une élévation dans le pH. Il est rapporté aussi, que le biochar contient des cendres alcalines de concentrations variables qui rendent son pH basique(El-Naggar et al., 2019). Son incorporation au sol entraîne une élévation du pH du sol et permet ainsi de lutter contre le phénomène d'acidification des sols ( Kachaka et al.2016).

L'évolution retenu avec le biochar sur la teneur du calcaire actif n'est pas observée avec les microplastiques, ceci est relié avec la nature chimique des microplastiques (à base d'éthylène). Le stress salin n'a pas changé la teneur des ions carbonates dans le sol, ceci indique qu'il y' pas une relation entre la charge des sels de sodium ajoutés dans le sol et les ions carbonates, cependant le déficit hydrique contrairement au stress salin a conduit une diminution dans la teneur des ions carbonates dans le sol. Ce phénomène trouve son explication dans l'humidité du sol qui n' a pas favorisé la formation du calcaire actif à partir du calcaire total. Contrairement à nos retrouvailles Boukhari et Gouassmia, (2022) Ont obtenu une accumulation de calcaire actif dans un sol amendée par le biochar et sous stress conjugué (hydrique et salin), ces auteurs détiennent la valeur 3.66%. Nous pensons à cet effet que, le stress hydrique appliqué a agi négativement sur l'activité enzymatique entraînant une faiblesse dans la minéralisation du calcaire total en actif contrairement aux sols irrigués H0.

Concernant la conductivité électrique (CE) du sol, il s'avère que le stress salin a élevé la CE, cette augmentation résulte à l'accumulation du sel de sodium apporté dans l'irrigation des pots. Nos résultats sont appuyés par ceux de Farhat et al.( 2022) qui ont enregistré une augmentation dans la CE d'un sol amendé par composte combiné avec un stress salin.

La même tendance observée sous l'effet du stress hydrique montre que plus la quantité de l'eau apportée au pot diminue plus la concentration des ions existant dans le sol s'accroît entraînant ainsi une élévation dans la conductivité électrique, cependant il faut souligner que cette augmentation n'a pas engendré une salinisation car les teneurs obtenues reflètent un sol non salé (Baise, 2000)

Dans notre étude il semble aussi que, l'amendement du Polyéthylène (PE) augmente la conductivité du sol. Ce composé a les caractéristiques de former par effet d'oxydation avec les différents ions un complexe : Le carbonyle diamide qui conduit à augmenter la CE du sol (Ghabeche et Chaoui, 2021). Contrairement à nos résultats Boukhari et Gouassmia ,(2022) notent une augmentation de la CE avec l'amendement de biochar. Ces auteurs détiennent une valeur extrême de 1369.13 $\mu$ S/cm. Dans notre cas d'étude la plus forte CE observée est allouée au sol témoin sans biochar. Nous pensons à cet effet que la matière organique contenu dans ce biosolid a piégé par adsorption les différents sels contribuant à une diminution dans la CE des sols traités par le biochar contrairement au sol témoin. Il faut rajouter aussi comme on a déjà mentionné dans l'explication du carbone que le biochar n'a pas subi une dégradation significative, ainsi la charge des différents sels existants dans ce fertilisants n'est pas libérée, à cet effet la CE n'augmente pas.

La variation des nitrates dans l'ensemble des traitements n'est pas significative par rapport au témoin, cette observation confirme les explications rapportées sur la transformation des matières dans le sol. Les nitrates sont des matières qui sont issues à partir de la minéralisation des matières organiques azotés, du fait qu'il y a pas eu une transformation de matière organique dans le sol, les teneurs des nitrates dans celui-ci ne changent pas significativement. (Boudjabi et Chenchouni ,2021) ont montré que les sols fertilisés avec des amendements organiques à base de boues résiduaires montraient une teneur en nitrates très élevée (40,73mg/g de sol en comparaison avec le sol témoin (32,03 mg/gde sol).

## 5.2. Les paramètres de la plante

Le stress salin a limité le développement de la surface des feuilles. C'est une stratégie optée par la plante pour affronter la salinité du milieu, de limiter la perte de l'eau par effet d'évaporation en sauvegardant la turgescence des cellules végétales (Alem et al., 2002). Ces observations s'appuient par les résultats décelés obtenus dans cet essai concernant la teneur relative en eau des feuilles (TRE%). En effet le rétrécissement de la surface des feuilles sous l'effet du stress salin conduit à une amélioration dans la réserve en eau dans celle-ci (Trung, 2022). Il faut signaler aussi que l'interaction observée entre les deux types de stress appliqués à la plante et les fertilisants amendés au sol a permis de sauvegarder l'eau dans les feuilles des plantes d'orge utilisées.

Nos résultats sont appuyés par plusieurs auteurs (Lebon et al. 2006) qui rapportent que la diminution de la surface des feuilles est un trait majeur visé par les plantes pour réduire d'un côté leurs besoins en eau et d'un autre côté pour limiter la surface évaporatrice de celle-ci.



Toumi et al. (2022) dans leur étude ont montré que sous la diminution d'arrosage, la surface foliaire diminue considérablement. La diminution de la surface des feuilles est une stratégie qui permet à la plante de conserver ses ressources en eau, ce qui lui permet de survivre (Misra et al., 2020). Selon les observations décelées dans cette étude, il semble que l'amendement du biochar et le PE dans le sol ne semble pas agir sur le développement de la surface des feuilles et leurs contenances en eau. A cet effet, nous pensons que ces deux fertilisants n'ont pas été valorisés dans ces paramètres prélevés. Contrairement à nos retrouvaille Medakhal et Fathiza, (2020) ont obtenu que les plantes traitées par le fumier de volailles ont eu la plus grande largeur de feuilles et le plus grand nombre de fleurs en comparaison avec les plantes témoins .

Comme pour le cas de la surface des feuilles, il apparait que l'application du sel de sodium dans le sol conduit à une perte dans la formation des talles de la plante. Cette observation ne contredit pas la bibliographie. Quand une plante est dans des conditions de stress soit hydrique ou salin, elle a tendance à limiter la formation de sa biomasse par la diminution soit de la surface des feuilles et aussi la nombre de talles (Chartzoulakis et Klapaki, 2000) .C'est une stratégie qui permet à la plante de bien gérer sa réserve en eau et d'affronter la sévérité du stress. Cependant, Diatta et al. (2020) trouvent que l'apport du compost et de biochar dans la zone salée a eu un effet positif sur le nombre moyen de talles.

Il faut rajouter aussi, comme pour le cas de la surface des feuilles et la TRE, le biochar et le PE n'ont pas été valorisés dans la formation des talles. On attribue cet effet aux fortes températures qui ont caractérisés les jours de notre essai et qui ont conduit à une diminution dans le potentiel de minéralisation de ces deux fertilisants dans le sol amendé

Les teneurs obtenues pour la chlorophylle a et b dans les plantes appartiennent à la gamme des concentrations citées dans Heller et al. (1998). La variation des pigments chlorophylliens est touchée par le déficit hydrique et les deux fertilisants utilisés. Contrairement à cette observation, le stress salin n'affecte en aucun cas la chlorophylle testée dans la plante. Avec le déficit hydrique la diminution observée dans la chlorophylle totale avec le niveau H0, est reliée avec à la diminution dans les deux pigments chlorophylliens a et b. Ce phénomène observé, serait certainement dû à la réduction de l'ouverture des stomates des feuilles, visant à limiter l'effet des pertes d'eau par le phénomène de transpiration, ce qui conduit à une dilution de la chlorophylle (Courtois, 1976). En effet les résultats obtenus dans cette étude montrent que les feuilles correspondant aux niveaux hydrique H0 ont la plus faible teneur en eau. Ainsi pour limiter la perte d'eau et sauvegarder leurs turgescences les feuilles ferment leurs stomates ce qui conduit à une dégradation et une perte dans la chlorophylle.

La fermeture des stomates implique une diminution du taux d'assimilation du CO<sub>2</sub> dans les feuilles qui est associée à une inhibition de la photosynthèse, provoquant ainsi, une augmentation de la dissipation de l'énergie d'excitation du PSII (photosystème II), entraînant des photo-endommagements des centres réactionnels du PSII.

Nguinambaye et al. (2020) dans leur étude ont obtenu sous des conditions de stress hydrique sévère une teneur en chlorophylle des feuilles inférieure (12,43%) à celle des plantes soumises à un stress hydrique léger (16,01%).

Concernant l'effet des deux fertilisants, il apparaît que l'amélioration de la chlorophylle totale revient à l'amélioration des deux pigments de base, la chlorophylle a et b. Selon les résultats obtenus le biochar agit positivement sur l'amélioration de la chlorophylle a alors que le microplastique PE permet une augmentation dans la teneur du pigment photosynthétique b.

Le polyéthylène PE est une molécule organique issu de la transformation du pétrole, dont la molécule contient de longues de carbone. Ainsi l'apport de cette matière dans le sol permet une bonne nutrition carbonée à la plante, ce qui induit une bonne activité photosynthétique.

Nos résultats s'opposent à ceux de Benterrouche (2007) qui trouve chez des plantes d'*Accacia* traitées par des substrats organiques, une diminution de l'ordre de 52,61% dans la teneur de la chlorophylle *a* par rapport aux plantes témoins. Par contre Zhuang et al.( 2023) ont montré que qu' avec une dose en polyéthylène (PE) avec une dose de 0,05 g/ kg de sol le rendement maximal en fluorescence (Fm) des feuilles du concombre augmente de manière très significative.

Concernant le biochar on avance aussi la même explication. L'augmentation des teneurs de la chlorophylle a et chlorophylle totale revient à la composition du biochar. Il est reporté que le biochar constitue une source importante de plusieurs éléments essentielles qui rentrent dans la composition de la chlorophylle, dont l'azote, le fer et l'ion magnésium (Nandillon, 2019) .

Alotaibi, (2021) trouve que le biochar atténue dans une large mesure l'impact de la salinité sur la chlorophylle et sur le facteur de fluorescence. Mounirou, (2022) trouve que la chlorophylle relative s'améliore par le traitement du biochar et aussi du fumier. Le même auteur rapporte que les plantes traitées avec du biochar et du fumier ont une couleur verte plus vive en comparaison des plantes témoins .

Conclusion

Et

Perspectives

### CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'application des bio-solides semble répondre potentiellement à certains paramètres de fertilité du sol, les résultats concluent à :

- L'incorporation des microplastiques avait un effet fléchissant sur la teneur du carbone total en comparaison avec le biochar, alors que le phosphore assimilable et nitrates ont montré des teneurs proches au témoin. L'application du biochar et les microplastiques ont conduit à une alcalinité du pH. Cependant la conductivité électrique reste faible en présence de ces deux fertilisants, contrairement à ceci on a décelé une augmentation sous l'effet des deux stress appliqués.
- Les microplastiques et le biochar ont apporté une augmentation dans les pigments chlorophylliens, tandis que pour les paramètres morphologiques (Nombre de talles et surface des feuilles) testés indique que ces deux fertilisants n'ont pas été valorisés.
- Il serait très intéressant d'entreprendre cette recherche de mettre en évidence l'accumulation des métaux lourds dans le sol et dans la plante,
- Aussi mettre en relief les concentrations des minéraux associés au stress (sodium et potassium) dans la matière végétal

# Références Bibliographiques

Références bibliographiques

Abdeldjalil, B., Louay, G., n.d. Effet du biochar sur les propriétés physicochimiques du sol et sur la production d'une plante fourragère sous contrainte hydrique et salin.

Abiven, S. (2011). Le biochar: une nouvelle technique pour séquestrer du carbone et augmenter la fertilité du sol?. *Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz. Bulletin*, 31, 47-50.

Aicha, A. (2021). *Effet de la salinité des carbonates et bicarbonates sur la variation du stock organique du sol* (Doctoral dissertation, Faculté Sciences de la Nature et de la Vie).

Alem, C., Labhilili, M., Brahmi, K., Jlibene, M., Nasrallah, N., Filali-Maltouf, A., 2002. Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. *C. R. Biol.* 325, 1097–1109. [https://doi.org/10.1016/S1631-0691\(02\)01531-7](https://doi.org/10.1016/S1631-0691(02)01531-7)

Alotaibi, K. D. (2021). Use of biochar for alleviating negative impact of salinity stress in corn grown in arid soil. *Canadian Journal of Soil Science*, 102(1), 187-196.

Amonmide, I., Dagbenonbakin, G., Agbangba, C.E., Akponikpe, P., 2019. Contribution à l'évaluation du niveau de fertilité des sols dans les systèmes de culture à base du coton au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 13, 1846. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i3.52>

Baize, D., Jabiol, B., 1995. Guide pour la description des sols. Techniques et pratiques. Ed INRA. 375p.

Baise D (2000) Guide des analyses en pédologie : 2e édition, revue et augmentée. Editions Quae

Bajt, O., 2021. From plastics to microplastics and organisms. *FEBS Open Bio* 11, 954–966. <https://doi.org/10.1002/2211-5463.13120>

Barles, S., 2005. L'invention des déchets urbains: France, 1790-1970. Editions Champ Vallon.

Barrs, H. (1968). Determination of water deficits in plant tissues. *Water deficits and plant growth, Vol. 1*, 235-368.

Boudjabi, S., & Chenchouni, H. (2021). On the sustainability of land applications of sewage sludge: how to apply the sewage biosolid in order to improve soil fertility and increase crop yield?. *Chemosphere*, 282, 131122.

Boukteb, B., Boutaleb, K., & Chennaf, D. Z. (2021). *contribution à l'étude de l'effet des sulfates et les chlorures sur la teneur du carbone organique du sol* (Doctoral dissertation, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie).

Bréda, N. (1999). L'Indice foliaire des couverts forestiers: mesure, variabilité et rôle fonctionnel. *Revue forestière française*, 51(2), 135-150.

Burnison, B. K. (1980). Modified dimethyl sulfoxide (DMSO) extraction for chlorophyll analysis of phytoplankton. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(4), 729-733.

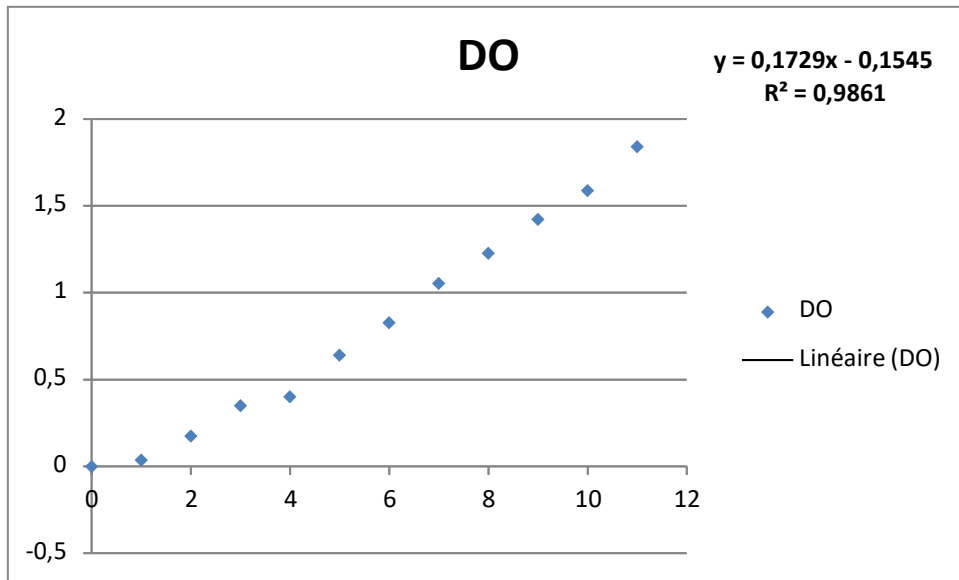
- Chartzoulakis, K., Klapaki, G., 2000. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Sci. Hortic.* 86, 247–260.  
[https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(00\)00151-5](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(00)00151-5)
- Chemsa, Y. (2019). Contribution à l'étude de évolution d'un sol sableux amélioré avec bio-charbon d'origine végétal dans la région d'El-oued.
- Courtois, L.A., 1976. Respiratory responses of *Gillichthys mirabilis* to changes in temperature, dissolved oxygen and salinity. *Comp. Biochem. Physiol. A* 53, 7–10.  
[https://doi.org/10.1016/s0300-9629\(76\)80002-3](https://doi.org/10.1016/s0300-9629(76)80002-3)
- Crane-Droesch, A., Abiven, S., Schmidt, M., & Torn, M. (2010, September). A Meta-Analysis of Plant Response to Biochar. In *Presentation at Third International Biochar Conference, Rio de Janeiro, Brazil*.
- Diatta, Y., Diedhiou, S., Goudiaby, A.O.K., Sagna, Y.P., Diallo, M.D., Ndoye, I., 2020. Effet des amendements organiques sur la tolérance à la salinité du riz (*Oryza sativa* L) dans les bas-fonds en zone sud-soudanienne au Sénégal. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 13, 2691.  
<https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i6.21>
- El-Naggar, A., Lee, S.S., Rinklebe, J., Farooq, M., Song, H., Sarmah, A.K., Zimmerman, A.R., Ahmad, M., Shaheen, S.M., Ok, Y.S., 2019. Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. *Geoderma* 337, 536–554.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.034>
- Farhat, N., Elayadi, A., Zorrig, W., Smaoui, A., Abdelly, C., Rabhi, M., 2022. Amélioration de la productivité d'une espèce halophyte (*Sulla carnosa*, Desf. ) sur sol salin sodique amendé par le compost (un fertilisant non conventionnel) 95.
- Fournier, E., Etienne-Mesmin, L., Blanquet-Diot, S., Mercier-Bonin, M., 2022. Microplastiques dans notre alimentation: un focus sur la santé intestinale. *Cah. Nutr. Diététique* 57, 270–283. <https://doi.org/10.1016/j.cnd.2022.03.001>
- Ghabeche, W., Chaoui, K., 2021. Revue des interactions physico-chimiques du polyéthylène extrudé sous forme de tubes avec des environnements agressifs 27.
- Gigault, J., Halle, A.T., Baudrimont, M., Pascal, P.-Y., Gauffre, F., Phi, T.-L., El Hadri, H., Grassl, B., Reynaud, S., 2018. Current opinion: What is a nanoplastic? *Environ. Pollut.* 235, 1030–1034. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.024>
- Glaser, B., Lehmann, J., Zech, W., 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - a review. *Biol. Fertil. Soils* 35, 219–230.  
<https://doi.org/10.1007/s00374-002-0466-4>
- Guesmia, A.B., Benmadani, W., n.d. Les impacts environnementaux des déchets plastiques.
- Heller, R., Esnault, R., Lance, C., 1998. *Physiologie végétale. Tome I. Nutrition.* 6<sup>eme</sup> Ed Dunod 315 p.
- Kachaka, C., Lele, B., & Lejoly, J. (2016). Effet de l'application d'engrais minéral complet NPK et de biochar sur les performances de la culture pure du manioc et de l'association manioc-maïs dans les conditions du plateau des Batéké en République Démocratique du Congo (RDC). *Tropicultura*, 34(1).
- Laurent, F., n.d. Optimisation fonctionnelle et spatiale de scénarios de méthanisation centralisée selon une approche systémique territoriale couplée à l'analyse du cycle de vie.

- Lebon, E., Pellegrino, A., Louarn, G., Lecoœur, J., 2006. Branch development controls leaf area dynamics in grapevine (*Vitis vinifera*) growing in drying. *Soil Annals of Botany*. 98, 175-185.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1812-1836. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>
- Mathieu, C., & Pieltain, F. (2003). Chemical soil analysis: chosen methods. *Chemical soil analysis: chosen methods*.
- Medakhal, K., & Fathiza, A. (2020). Effet des amendements organiques sur la croissance végétative et la production de courgette (*Cucurbita pepo* L.) dans la région du Souf.
- Misra, V., Solomon, S., Mall, A.K., Prajapati, C.P., Hashem, A., Abd\_Allah, E.F., Ansari, M.I., 2020. Morphological assessment of water stressed sugarcane: A comparison of waterlogged and drought affected crop. *Saudi J. Biol. Sci.* 27, 1228–1236. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.02.007>.
- Mounirou, M.M., 2022. Effet comparé de la fertilisation à base de biochar, engrais organique et engrais chimique sur les éléments minéraux et la production de l'oignon (*Allium cepa* L.). *Eur. Sci. J. ESJ* 18, 47. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n24p47>
- Nandillon, R., 2019. Phytostabilisation des éléments métalliques d'un technosol minier végétalisé par le genre *Salix* assistée par du Biochar (phdthesis). Université d'Orléans.
- Nguinambaye, M.M., Nana, R., Djinet, I.A., Tamini, Z., 2020. Quelques paramètres physiologiques et constituants biochimiques des organes de la lentille de terre (*Macrotyloma geocarpum*) en conditions de stress hydrique. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 14, 1228–1240. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v14i4.6>
- Pruneau, D., Khattabi, A., Rahmani, Z., Chattou, Z., Louis, N., 2022. Pensée design et Facebook. Un accompagnement prometteur de citoyennes dans la réduction des plastiques au Maroc. *VertigO*. <https://doi.org/10.4000/vertigo.37963>
- Slawyk, G., & Rodier, M. (1986). GLUTAMINE SYNTHETASE ACTIVITY IN *CHAETOCEROS AFFINIS* (BACILLARIOPHYCEAE): COMPARISON WITH OTHER ESTIMATES OF NITROGEN UTILIZATION DURING NUTRIENT PERTURBATION 1. *Journal of phycology*, 22(3), 270-275.
- Talvitie, J., Mikola, A., Koistinen, A., Setälä, O., 2017. Solutions to microplastic pollution – Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies. *Water Res.* 123, 401–407. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.005>
- Toumi, M., Barris, S., Berka, S., Aid, F., 2022. Effets du stress hydrique sur la physiologie et la morphologie de plants du robinier, *Robinia pseudoacacia*, d'Algérie. *BOIS FORETS Trop.* 354, 7–17. <https://doi.org/10.19182/bft2022.354.a36854>
- Troh, J. M. A. (2023). Utilisation de biochar et de digestat pour l'amendement de sol pour une culture sous serre.
- Trung, L.D., Zhou, J., Hmidi, D., n.d. Tolérance des plantes à la salinité des sols.
- Walkley, A. and T.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-38.

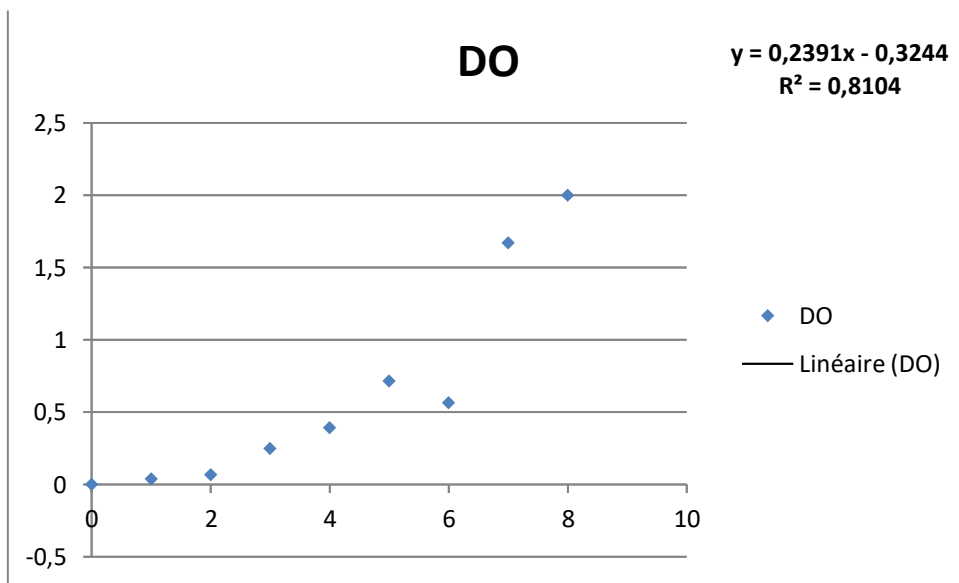


Zhuang, H., Liu, X., Ma, H., Li, R., Liu, B., Lin, Z., Li, Z., 2023. Growth and physiological–biochemical characteristics of cucumber (*Cucumis sativus* L.) in the presence of different microplastics. *Arab. J. Geosci.* 16, 194. <https://doi.org/10.1007/s12517-023-11273-9>.

### Annexe1 :



**Figure A : Nitrate**



**Figure B : Phosphore**

## 1/ Les paramètres du Sol :

**Tableau 1 : Résultats de l'ANOVA pour le C%**

Effect	Univariate Tests of Significance for C%(METROUH 2023) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	316,7728	1	316,7728	3682,140	0,000000
{1}S S	2,0073	1	2,0073	23,333	0,000005
{2}S H	17,0400	2	8,5200	99,036	0,000000
{3}MICROPLASTQUE	4,1724	2	2,0862	24,250	0,000000
{4}BIOCHAR	0,5288	2	0,2644	3,073	0,050327
S*S H	2,3799	2	1,1900	13,832	0,000004
S*S*MICROPLASTQUE	0,0052	2	0,0026	0,030	0,970499
S H*MICROPLASTQUE	6,0816	4	1,5204	17,673	0,000000
S*S*BIOCHAR	0,4513	2	0,2256	2,623	0,077213
S H*BIOCHAR	2,0370	4	0,5093	5,920	0,000240
MICROPLASTQUE*BIOCHAR	1,7584	4	0,4396	5,110	0,000826
S*S H*MICROPLASTQUE	14,3083	4	3,5771	41,580	0,000000
S*S H*BIOCHAR	0,6259	4	0,1565	1,819	0,130432
S*S*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	1,0632	4	0,2658	3,090	0,018840
S H*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	3,7673	8	0,4709	5,474	0,000008
S*S H*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	2,5554	8	0,3194	3,713	0,000721
Error	9,2912	108	0,0860		

**Tableau 2 : Résultats de l'ANOVA pour le phosphore**

Effect	Univariate Tests of Significance for Phosphore ass µg / g de sol (METROUH 2023) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	7723,976	1	7723,976	10336,63	0,000000
{1}S S	1,089	1	1,089	1,46	0,229957
{2}S H	2,312	2	1,156	1,55	0,217552
{3}MICROPLASTQUE	0,458	2	0,229	0,31	0,736605
{4}BIOCHAR	1,060	2	0,530	0,71	0,494425
S*S H	10,740	2	5,370	7,19	0,001175
S*S*MICROPLASTQUE	2,954	2	1,477	1,98	0,143513
S H*MICROPLASTQUE	3,014	4	0,754	1,01	0,406476
S*S*BIOCHAR	0,196	2	0,098	0,13	0,877052
S H*BIOCHAR	4,022	4	1,005	1,35	0,257855
MICROPLASTQUE*BIOCHAR	6,636	4	1,659	2,22	0,071533
S*S H*MICROPLASTQUE	1,103	4	0,276	0,37	0,830275
S*S H*BIOCHAR	2,460	4	0,615	0,82	0,513323
S*S*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	9,141	4	2,285	3,06	0,019777
S H*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	11,998	8	1,500	2,01	0,052216
S*S H*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	10,026	8	1,253	1,68	0,112134
Error	80,702	108	0,747		

**Tableau 3 : Résultats de l'ANOVA pour le PH**

Effect	Univariate Tests of Significance for ph (METROUH 2023) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	14370,78	1	14370,78	164,2823	0,000000
{1}S S	214,02	1	214,02	2,4466	0,012071
{2}S H	366,37	2	183,19	2,0941	0,021281
{3}MICROPLASTQUE	352,87	2	176,44	2,0170	0,138039
{4}BIOCHAR	84,64	2	42,32	0,4838	0,011777
S S*S H	330,85	2	165,43	1,8911	0,155867
S S*MICROPLASTQUE	374,39	2	187,20	2,1400	0,122622
S H*MICROPLASTQUE	730,55	4	182,64	2,0878	0,087354
S S*BIOCHAR	87,94	2	43,97	0,5027	0,606322
S H*BIOCHAR	173,07	4	43,27	0,4946	0,739686
MICROPLASTQUE*BIOCHAR	181,68	4	45,42	0,5192	0,721757
S S*S H*MICROPLASTQUE	754,24	4	188,56	2,1556	0,078885
S S*S H*BIOCHAR	167,84	4	41,96	0,4797	0,750593
S S*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	191,57	4	47,89	0,5475	0,701234
S H*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	370,67	8	46,33	0,5297	0,831920
S S*S H*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	390,37	8	48,80	0,5578	0,810129
Error	9447,42	108	87,48		

**Tableau 4 : Résultats de l'ANOVA pour le CE**

Effect	Univariate Tests of Significance for CE $\mu$ S/cm (METROUH 2023) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	31020501	1	31020501	6287,812	0,000000
{1}S S	16184573	1	16184573	3280,590	0,000000
{2}S H	48911	2	24455	4,957	0,008716
{3}MICROPLASTQUE	57581	2	28791	5,836	0,003921
{4}BIOCHAR	154971	2	77486	15,706	0,000001
S S*S H	64807	2	32403	6,568	0,002033
S S*MICROPLASTQUE	43016	2	21508	4,360	0,015107
S H*MICROPLASTQUE	95704	4	23926	4,850	0,001232
S S*BIOCHAR	113535	2	56767	11,507	0,000030
S H*BIOCHAR	135397	4	33849	6,861	0,000058
MICROPLASTQUE*BIOCHAR	135036	4	33759	6,843	0,000060
S S*S H*MICROPLASTQUE	89907	4	22477	4,556	0,001939
S S*S H*BIOCHAR	105303	4	26326	5,336	0,000584
S S*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	145653	4	36413	7,381	0,000027
S H*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	349334	8	43667	8,851	0,000000
S S*S H*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	306329	8	38291	7,762	0,000000
Error	532811	108	4933		

**Tableau 5 : Résultats de l'ANOVA pour le Calcaire actif%**

Effect	Univariate Tests of Significance for calcaire Actif % (METROUH 2023) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	77920,36	1	77920,36	4195,703	0,000000
{1}S S	35,84	1	35,84	1,930	0,167620
{2}S H	400,03	2	200,01	10,770	0,000054
{3}MICROPLASTQUE	57,99	2	28,99	1,561	0,214582
{4}BIOCHAR	351,56	2	175,78	9,465	0,000163
S S*S H	1604,72	2	802,36	43,204	0,000000
S S*MICROPLASTQUE	143,58	2	71,79	3,866	0,023907
S H*MICROPLASTQUE	200,85	4	50,21	2,704	0,034180
S S*BIOCHAR	8,26	2	4,13	0,222	0,801007
S H*BIOCHAR	258,12	4	64,53	3,475	0,010368
MICROPLASTQUE*BIOCHAR	140,48	4	35,12	1,891	0,117196
S S*S H*MICROPLASTQUE	654,41	4	163,60	8,809	0,000003
S S*S H*BIOCHAR	92,95	4	23,24	1,251	0,293755
S S*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	229,49	4	57,37	3,089	0,018846
S H*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	397,41	8	49,68	2,675	0,010136
S S*S H*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	419,85	8	52,48	2,826	0,006928
Error	2005,72	108	18,57		

**Tableau 6 : Résultats de l'ANOVA pour le Nitrate**

Effect	Univariate Tests of Significance for nitrate mg/g de sol (METROUH 2023) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	944,958	1	944,9583	15,42037	0,000152
{1}S S	66,436	1	66,4361	1,08414	0,300098
{2}S H	181,995	2	90,9973	1,48495	0,231102
{3}MICROPLASTQUE	117,834	2	58,9171	0,96144	0,385589
{4}BIOCHAR	119,291	2	59,6457	0,97333	0,381111
S S*S H	91,091	2	45,5453	0,74323	0,477990
S S*MICROPLASTQUE	151,581	2	75,7905	1,23679	0,294392
S H*MICROPLASTQUE	202,629	4	50,6573	0,82666	0,511002
S S*BIOCHAR	120,879	2	60,4394	0,98628	0,376293
S H*BIOCHAR	225,973	4	56,4933	0,92189	0,454069
MICROPLASTQUE*BIOCHAR	229,013	4	57,2533	0,93429	0,447003
S S*S H*MICROPLASTQUE	391,124	4	97,7809	1,59564	0,180693
S S*S H*BIOCHAR	215,597	4	53,8992	0,87956	0,478797
S S*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	260,280	4	65,0700	1,06185	0,379066
S H*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	471,848	8	58,9810	0,96249	0,469233
S S*S H*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	458,161	8	57,2701	0,93457	0,491310
Error	6618,226	108	61,2799		



## 2/ Les paramètres de la plante :

**Tableau 7 : Résultats de l'ANOVA pour la surface des feuilles**

Effect	Univariate Tests of Significance for SURF cm <sup>2</sup> (METROUH 2023) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	127,6447	1	127,6447	11121,03	0,000000
{1}S S	0,1375	1	0,1375	11,98	0,000771
{2}S H	0,0069	2	0,0035	0,30	0,739422
{3}MICROPLASTQUE	0,0372	2	0,0186	1,62	0,202240
{4}BIOCHAR	0,0077	2	0,0038	0,33	0,716768
S S*S H	0,0103	2	0,0051	0,45	0,639715
S S*MICROPLASTQUE	0,0240	2	0,0120	1,05	0,354466
S H*MICROPLASTQUE	0,0229	4	0,0057	0,50	0,737024
S S*BIOCHAR	0,0475	2	0,0238	2,07	0,131072
S H*BIOCHAR	0,0120	4	0,0030	0,26	0,902681
MICROPLASTQUE*BIOCHAR	0,0443	4	0,0111	0,96	0,430012
S S*S H*MICROPLASTQUE	0,0129	4	0,0032	0,28	0,890068
S S*S H*BIOCHAR	0,0130	4	0,0032	0,28	0,888619
S S*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	0,0198	4	0,0049	0,43	0,786550
S H*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	0,2288	8	0,0286	2,49	0,016023
S S*S H*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	0,2475	8	0,0309	2,70	0,009617
Error	1,2396	108	0,0115		

**Tableau 8 : Résultats de l'ANOVA pour la teneur relative en eau des feuilles %**

Effect	Univariate Tests of Significance for TRE% (METROUH 2023) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	889485,3	1	889485,3	5403,042	0,000000
{1}S S	1102,3	1	1102,3	6,696	0,010992
{2}S H	1822,8	2	911,4	5,536	0,005142
{3}MICROPLASTQUE	768,1	2	384,1	2,333	0,101888
{4}BIOCHAR	214,6	2	107,3	0,652	0,523221
S S*S H	108,7	2	54,4	0,330	0,719442
S S*MICROPLASTQUE	931,6	2	465,8	2,829	0,063433
S H*MICROPLASTQUE	425,8	4	106,4	0,647	0,630488
S S*BIOCHAR	401,5	2	200,7	1,219	0,299464
S H*BIOCHAR	1993,2	4	498,3	3,027	0,020762
MICROPLASTQUE*BIOCHAR	674,7	4	168,7	1,025	0,397992
S S*S H*MICROPLASTQUE	523,2	4	130,8	0,794	0,531295
S S*S H*BIOCHAR	1807,4	4	451,9	2,745	0,032095
S S*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	1456,8	4	364,2	2,212	0,072403
S H*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	532,1	8	66,5	0,404	0,916129
S S*S H*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	1309,7	8	163,7	0,994	0,444629
Error	17779,7	108	164,6		

**Tableau 9 : Résultats de l'ANOVA pour le nombre de talle**

Effect	Univariate Tests of Significance for Ntalle/ PLANT (METROUH 2023) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	791,1358	1	791,1358	248,8621	0,000000
{1}S S	15,4321	1	15,4321	4,8544	0,029700
{2}S H	8,6420	2	4,3210	1,3592	0,261218
{3}MICROPLASTQUE	5,3827	2	2,6914	0,8466	0,431696
{4}BIOCHAR	14,2346	2	7,1173	2,2388	0,111507
S S*S H	4,9383	2	2,4691	0,7767	0,462473
S S*MICROPLASTQUE	2,5679	2	1,2840	0,4039	0,668726
S H*MICROPLASTQUE	7,7284	4	1,9321	0,6078	0,657893
S S*BIOCHAR	18,7531	2	9,3765	2,9495	0,056598
S H*BIOCHAR	10,2099	4	2,5525	0,8029	0,525913
MICROPLASTQUE*BIOCHAR	9,6914	4	2,4228	0,7621	0,552159
S S*S H*MICROPLASTQUE	12,6173	4	3,1543	0,9922	0,415072
S S*S H*BIOCHAR	9,7654	4	2,4414	0,7680	0,548362
S S*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	13,0247	4	3,2562	1,0243	0,398182
S H*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	31,6420	8	3,9552	1,2442	0,280687
S S*S H*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	32,9012	8	4,1127	1,2937	0,254413
Error	343,3333	108	3,1790		

**Tableau 10 : Résultats de l'ANOVA pour la chlorophylle total**

Effect	Univariate Tests of Significance for cholo T (METROUH 2023) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	327,7710	1	327,7710	6065,771	0,000000
{1}S S	0,0293	1	0,0293	0,543	0,462834
{2}S H	10,7950	2	5,3975	99,887	0,000000
{3}MICROPLASTQUE	0,4774	2	0,2387	4,418	0,014318
{4}BIOCHAR	0,5117	2	0,2558	4,734	0,010692
S S*S H	0,3456	2	0,1728	3,197	0,044763
S S*MICROPLASTQUE	1,3396	2	0,6698	12,395	0,000014
S H*MICROPLASTQUE	3,9354	4	0,9838	18,207	0,000000
S S*BIOCHAR	0,0924	2	0,0462	0,855	0,427965
S H*BIOCHAR	1,9701	4	0,4925	9,115	0,000002
MICROPLASTQUE*BIOCHAR	3,2760	4	0,8190	15,156	0,000000
S S*S H*MICROPLASTQUE	5,2039	4	1,3010	24,076	0,000000
S S*S H*BIOCHAR	3,7720	4	0,9430	17,451	0,000000
S S*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	9,2333	4	2,3083	42,718	0,000000
S H*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	15,5315	8	1,9414	35,929	0,000000
S S*S H*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	11,9455	8	1,4932	27,633	0,000000
Error	5,8359	108	0,0540		





**Tableau 11 : Résultats de l'ANOVA pour la chlorophylle a**

Effect	Univariate Tests of Significance for chlo a mg/g (METROUH 2023) Sigma-r restricted parameter ization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	32,10230	1	32,10230	2795,516	0,000000
{1}S S	0,02203	1	0,02203	1,918	0,168919
{2}S H	1,02927	2	0,51463	44,815	0,000000
{3}MICROPLASTQUE	0,00006	2	0,00003	0,003	0,997280
{4}BIOCHAR	0,09531	2	0,04765	4,150	0,018350
S*S H	0,12535	2	0,06268	5,458	0,005520
S*S*MICROPLASTQUE	0,11951	2	0,05976	5,204	0,006957
S H*MICROPLASTQUE	0,56659	4	0,14165	12,335	0,000000
S*S*BIOCHAR	0,01017	2	0,00509	0,443	0,643314
S H*BIOCHAR	0,33917	4	0,08479	7,384	0,000027
MICROPLASTQUE*BIOCHAR	0,44859	4	0,11215	9,766	0,000001
S*S H*MICROPLASTQUE	0,21379	4	0,05345	4,654	0,001666
S*S H*BIOCHAR	0,18672	4	0,04668	4,065	0,004147
S*S*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	1,08770	4	0,27192	23,680	0,000000
S H*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	0,99771	8	0,12471	10,860	0,000000
S*S H*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	1,38706	8	0,17338	15,098	0,000000
Error	1,24022	108	0,01148		

**Tableau 12: Résultats de l'ANOVA pour la chlorophylle b**

Effect	Univariate Tests of Significance for chloro b (METROUH 2023) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	154,7177	1	154,7177	4149,117	0,000000
{1}S S	0,0005	1	0,0005	0,014	0,905972
{2}S H	5,1645	2	2,5822	69,249	0,000000
{3}MICROPLASTQUE	0,4684	2	0,2342	6,280	0,002629
{4}BIOCHAR	0,1723	2	0,0862	2,311	0,104072
S*S H	0,0647	2	0,0324	0,868	0,422819
S*S*MICROPLASTQUE	0,6629	2	0,3314	8,888	0,000267
S H*MICROPLASTQUE	1,6682	4	0,4170	11,184	0,000000
S*S*BIOCHAR	0,0448	2	0,0224	0,600	0,550581
S H*BIOCHAR	0,6853	4	0,1713	4,594	0,001827
MICROPLASTQUE*BIOCHAR	1,3697	4	0,3424	9,183	0,000002
S*S H*MICROPLASTQUE	3,4622	4	0,8655	23,212	0,000000
S*S H*BIOCHAR	2,3604	4	0,5901	15,825	0,000000
S*S*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	4,0508	4	1,0127	27,158	0,000000
S H*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	8,8563	8	1,1070	29,688	0,000000
S*S H*MICROPLASTQUE*BIOCHAR	5,3913	8	0,6739	18,072	0,000000
Error	4,0272	108	0,0373		