

# الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Ibn Khaldoun –Tiaret–  
Faculté Sciences de la Nature et de la Vie  
Département de Biologie

## Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : Toxicologie et Sécurité Alimentaire

Présenté par :

- Melle BOUFADENE Zahia
- Melle BOUDAR Soulef Riham
- Melle BENZAÏD Nour El Houda

*Thème*

**Évaluation de la phytotoxicité de plusieurs biochars**

Soutenu publiquement, le : 04/07/2024

**Jury :**

**Président :** Dr. NEHILA Afaf  
**Encadrant :** Dr. BAROUAGUI Soria  
**Co-encadrant :** Dr. DAHLIA Fatima  
**Examineur :** Dr. BOUFARES Khaled  
**Invitée:** M<sup>lle</sup> ABDELHAMID Kawthar

**Grade**

« MCB »  
« MCB »  
« MCA »  
« MCA »

**Année universitaire 2023-2024**



## ***Remerciements***

Avant toute chose, nous remercions Dieu, le tout puissant, de nous avoir donné la force et la patience pour achever ce travail.

Ce travail n 'aurait jamais vu le jour sans aide précieuse de la famille et certaines des personnes à qui nous voudrions témoigner toutes nos reconnaissances.

Premièrement, Je tiens à remercier mon encadreur **Dr. BAROUAGUI Soria** pour ses conseils et ses remarques afin d'accomplir ce travail à bon port.

Nous remercions également **Dr. DAHLIA Fatima** Pour son suivi constant de l'expérience et ses précieux conseils.

Nous exprimons toute notre reconnaissance à **Dr. NAHILA Afaf** pour avoir bien voulu accepter présider le jury de ce mémoire.

Nos remerciements s'adressent également à **Dr. BOUFARES Khaled** qui a bien voulu consacrer une partie de leur temps précieux à examiner ce travail.



## Dédicace

À ma mère et à mon père

Je dédie fièrement mon diplôme et mes efforts à ceux qui me soutiennent dans cette vie, ma source de sécurité d'où je tire ma force et tous mes espoirs.

Je vous remercie.

A mes frères kadda et salah el dine et abd el majid

A ma chère sœur Rania

À mes collègues soulaf et houda

Et mes amies rania nawal et asmaa

Je vous remercie infiniment.

Enfin, je me remercie de mes efforts et de ma lutte pour réaliser mes rêves.





## Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

À ma chère mère, la raison de ma vie, en reconnaissance de sa patience, de son amour et de ses sacrifices.

À mon chère père pour son amour et son dévouement.

À mes chères sœurs Bouchra ,Nardjes et Yasmine, et à mon frères Abderrahmane, qui je le sais, ma réussite est très importante à leurs yeux, Que Dieu vous garde pour moi

À Toutes mes amies , Rania, Nawal, Asmaa, qui, m'ont toujours encouragée et à qui je souhaite encore plus de succès.

À mes collègues Ilham et houda.





## Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A celle qui m'a donné le bonheur , l'espoir  
et l'encouragement durant tout ma vie OMMi

A celui qui souffert pour nos etudes.

Mon père

A tous ceux que j'aime... Mes chers frères.

Mes belles petites amies et tous ceux qui m'ont soutenu tout au long de cette  
épreuve



**BENSAÏD Nour El Houda**

## Liste des abréviations

CM : Carré Moyen

ddl : Degrés de liberté

F : test *Fisher*

FAO: Food and Agriculture Organization

P: Probability value in statistics

SCE: Somme des carrés des écarts

Sig: Significancation statistique

SPSS: Statistical Package for the Social Sciences (Software)

## Table des figures

<b>Figure 1</b> : Les étapes de la macération Agar- Agar.....	8
<b>Figure 2</b> : Les étapes de la mise en germination des graines.....	9
<b>Figure 3</b> : Étapes du determination de la phytotoxicité des biochars en sable .....	11
<b>Figure 4</b> : Variation de la germination des graines d’orge après 20h.....	13
<b>Figure 5</b> : Variation de la germination des graines d’orge après 44h.....	14
<b>Figure 6</b> : Variation des longueurs des racines après 3 jours .....	15
<b>Figure 7</b> : Variation des longueurs des racines après 8 jours .....	16
<b>Figure 8</b> : Variation des longueurs des coléoptiles après 3 jours.....	17
<b>Figure 9</b> : Variation des longueurs des coléoptiles après 8 jours .....	18
<b>Figure 10</b> : Variation des poids frais des plantules d’orge.....	20
<b>Figure 11</b> : Variation des poids secs des plantules d’orge.....	21
<b>Figure 12</b> : Variation du pourcentage de germination de l’orge dans le sable à 44h.....	22
<b>Figure 13</b> : Variation des pourcentages de germination de l’orge dans le sable à 68 h. ....	23
<b>Figure 14</b> : Variation de la longueur des racine de l’orge au 3ème jour. ....	24
<b>Figure 15</b> : Variation de la longueur des racines de l’orge au 8ème jour.....	25
<b>Figure 16</b> : Variation de la longueur des coléoptile de l’orge au 3ème jour. ....	26
<b>Figure 17</b> : Variation de la longueur du coléoptile au 8ème jour.....	27
<b>Figure 18</b> : Variation du poids frais des plantules d’orge. ....	28
<b>Figure 19</b> : Variation du poids moyen sec des plantules d’orge. ....	29
<b>Figure 20</b> : Variation des paramètres mesurés en fonction du substrat de culture.....	32



## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Matériel du laboratoire utilisé lors de l'expérimentation .....	5
<b>Tableau 2:</b> information générale sur le matériel biologique utilisé.....	6
<b>Tableau 3 :</b> Préparation des différentes concentrations de macérat de biochar. ....	7
<b>Tableau 4 :</b> Détails de la préparation des concentrations de biochar dans le sable.....	10
<b>Tableau 5 :</b> Analyse des variances de la germination de l'orge semi dans le macérat gélosé de biochar après 20h. ....	12
<b>Tableau 6 :</b> Analyse des variances de la germination de l'orge semi dans le macérat gélosé de biochar après 44h. ....	13
<b>Tableau 7 :</b> Analyse des variances de la longueur des racines de l'orge poussant sur macérat de biochar après 3 jours. ....	14
<b>Tableau 8 :</b> Analyse des variances de la longueur des racines de l'orge poussant sur macérat de biochar après 8 jours. ....	15
<b>Tableau 9 :</b> Analyse des variances de la longueur des coléoptiles et des parties aériennes des plantules de l'orge poussant sur macérat de biochar après 3 jours. ....	16
<b>Tableau 10 :</b> Analyse des variances de la longueur des coléoptiles et des parties aériennes des plantules de l'orge poussant sur macérat de biochar après 8 jours. ....	18
<b>Tableau 11 :</b> Analyse des variances des poids moyens frais des plantules de l'orge poussant sur le macérat gélosé du biochar .....	19
<b>Tableau 12 :</b> Analyse des variances des poids moyens secs des plantules de l'orge poussant sur le macérat gélosé du biochar .....	20
<b>Tableau 13 :</b> Analyse des variances de la germination de l'orge dans le sable à 44h.....	21
<b>Tableau 14 :</b> Analyse des variances de la germination de l'orge dans le sable à 68h.....	22
<b>Tableau 15 :</b> Analyse des variances de longueur des racines au 3ème jour. ....	23
<b>Tableau 16 :</b> Analyse des variances de la longueur des racines au 8ème jours .....	24
<b>Tableau 17 :</b> Analyse des variances longueur du coléoptile au 3ème jour.....	26
<b>Tableau 18 :</b> Analyse des variances de longueur du coléoptile au 8ème jour. ....	27
<b>Tableau 19:</b> Analyse des variances des poids moyens frais et secs des plantules de l'orge poussant dans le sable .....	28

<b>Tableau 20:</b> Analyse des variances des poids moyens frais et secs des plantules de l'orge poussant dans le sable .....	29
<b>Tableau 21:</b> Analyse des variances comparant les substrats de cultures. ....	30

## Table des matières

<i>Remerciements</i> .....	i
Dédicace.....	ii
Liste des abréviations.....	v
Table des figures .....	vi
Liste des tableaux.....	vii
Table des matières.....	ix
Introduction générale .....	1
Chapitre I : Matériel et méthodes.....	5
1. Période et lieu de travail .....	5
2. Matériel.....	5
2.1. Matériel de laboratoire .....	5
2.2. Matériel végétal.....	6
3. Méthodes.....	6
3.1. Préparation de biochar.....	6
3.2. Évaluation de la phytotoxicité du biochar .....	7
3.2.1. Évaluation de la phytotoxicité du biochar en macérat gélosé.....	7
3.2.2. Évaluation de la phytotoxicité des biochar sur le sable .....	10
4. Analyses statistiques .....	11
Chapitre 2: Résultats et discussions .....	12
1. Résultats.....	12
1.1. Évaluation de la phytotoxicité de biochar pour l'orge .....	12
1.1.1. Évaluation de la phytotoxicité sur le macérat gélosé de biochar .....	12
1.1.2. Évaluation de la phytotoxicité sur le sable .....	21
1.1.3. Comparaison entre les deux substrats de culture .....	30
2. Discussion .....	33

Conclusion .....	35
Références bibliographiques.....	36
Résumé	

# *Introduction*

## **Introduction générale**

La végétation fait partie des écosystèmes naturels les plus importants sur le globe. C'est un ensemble des végétaux et des plantes qui poussent naturellement dans un lieu, elle varie d'un espace à un autre en fonction du climat, du relief et des types de sols.

9.4 Milliards d'hectares de la végétation sont des terres cultivées par l'être humain pour fournir les ressources nécessaires à la vie humaine tout en contribuant au développement économique et à la sécurité alimentaire (Food and Agriculture Organisation (FAO), 2020).

La végétation et les plantes, y compris les plantes cultivées sont confrontées à plusieurs types de risques climatiques, biologiques et environnementaux qui ont un impact négatif sur le rendement de la végétation de manière générale et plus précisément sur les produits agricoles.

Afin d'améliorer le rendement des produits agricoles et pour bien répondre aux besoins alimentaires de la population mondiale qui s'accroît rapidement, les engrais et les produits phytosanitaires divers sont souvent l'alternative primordiale des agriculteurs pour répondre à ces besoins et pour pallier aux différents problèmes rencontrés. (Mounirou, 2022)

Les pesticides sont généralement considérés comme des toxines sélectives et peuvent provoquer une phytotoxicité s'ils ne sont pas utilisés conformément à l'étiquette, car ils sont transportés dans les tissus végétaux (Bergeron et Barriault 2018; Cowgill *et al.*, 2013; Duval *et al.*, 2022). Ce sont des préparations chimiques qui représentent plus de 8 000 produits, utilisant environ 800 substances actives différentes, ils sont divisés en trois principaux groupes : les herbicides, les insecticides et les fongicides (Rhône et Alpes, 2007).

40% des pesticides utilisés par les agriculteurs sont des herbicides (Berard et Pette, 1999). Les herbicides des produits chimiques employés pour éliminer les mauvaises herbes entourant les plantes, sont parfois désignés sous le terme des désherbants, notamment en horticulture (Brigitte et Annie, 2022).

Les fongicides sont des composés chimiques ou des organismes biologiques qui détruisent ou inhibent la croissance des champignons ou des spores fongiques, leur utilisation massive contre les maladies fongiques des plantes a conduit à l'émergence de souches de pathogènes résistantes aux produits commerciaux, générant ainsi des résidus à long terme dans les aliments et l'environnement (Dias, 2007).

Quant aux insecticides ils sont des agents d'origine chimique ou biologique qui luttent contre les insectes. La lutte peut consister à tuer l'insecte ou à l'empêcher d'adopter des comportements jugés destructeurs. Les insecticides peuvent être naturels ou fabriqués par l'homme et sont appliqués aux ravageurs ciblés dans une myriade de formulations et des systèmes d'administration (pulvérisations, appâts, diffusion à libération lente, etc.) (George *et al.*, 2004).

Les pesticides sont conçus pour tuer les « organismes nuisibles », mais certains pesticides peuvent également avoir des effets néfastes sur les plantes et la santé des humains. La probabilité de subir des effets néfastes sur les plantes (phytotoxicité) et sur la santé dépend du type de pesticide et des autres produits chimiques qu'il contient. (Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail CCHST, 2023)

Les éléments traces sont également considérés comme des polluants qui affectent les plantes, lorsqu'ils sont présents dans les rejets industriels, notamment dans les effluents des stations d'épuration de surface. Ils sont libérés dans l'environnement sous des formes facilement absorbées par les animaux et les plantes. Cela entraîne leur accumulation dans les organismes vivants et des phénomènes de bioamplification à travers les réseaux alimentaires (McKay, 1996) .

De nombreux métaux ont des effets toxiques sur l'environnement, ils sont biopersistants, perturbent les écosystèmes, détériorent les sols, les eaux de surface, les forêts et les cultures et s'accumulent dans la chaîne alimentaire (Weiss et Forster, 1997) , Le plomb, le cadmium, le chrome, le cuivre, le nickel, le mercure font notamment partie des métaux lourds les plus évoqués et les plus utilisés dans divers processus industriels, ce qui entraîne leur présence dans l'environnement, notamment dans les sols et l'eau, en tant que contaminants persistants (Islam *et al.*, 2008 ; Andra *et al.*, 2009 ; Punamiya *et al.*, 2010).

Les engrais chimiques sont largement utilisés pour augmenter la productivité des cultures en fournissant des éléments nutritifs essentiels tels que l'azote, le phosphore et le potassium. Cependant, cette pratique intensive a également des conséquences néfastes sur les écosystèmes naturels. Par contre l'utilisation des fertilisants biologiques a été suggérée comme une alternative aux produits chimiques pour améliorer la productivité des plantes. Dans ces conditions, il est impérativement nécessaire de promouvoir le développement des nouvelles technologies en termes de transformation des engrais organiques et leur utilisation dans les zones agricoles. (Mounirou, 2022).

Une solution qui peut minimiser le risque de phytotoxicité est l'utilisation de biochar pour ses nombreux avantages pour la plante. Le biochar, alias carbone noir, est un résidu carboné issu de la matière organique, il est donc produit de la même manière que le charbon de bois (Lévesque et al.,). Le biochar est un produit organique poreux riche en carbone obtenu par pyrolyse de déchets agricoles et animaux sous apport limité d'oxygène. Son utilisation comme amendement des sols est perçue comme une stratégie durable pour augmenter les productions agricoles dans le monde. (Rao *et al.*, 2022) .

Le biochar possède des caractéristiques physico-biochimiques qui en font un matériau attrayant pour diverses utilisations dans les secteurs de l'énergie, de l'environnement, de l'agriculture et de la foresterie. Il est souvent comparé au charbon dans le domaine de l'industrie énergétique et à la matière organique en agriculture et en foresterie (Allaire ,2014)

Les propriétés physiques sur lesquels le biochar agit sont la porosité, la densité apparente, la capacité de rétention en eau du sol. En effet, le biochar de par sa structure stable et extrêmement poreuse est susceptible d'améliorer ces propriétés physiques du sol

La structure poreuse du biochar favorise aussi l'augmentation de la porosité du sol, facilitant ainsi son approvisionnement en oxygène et permettant l'augmentation de sa capacité de rétention en eau (Cisse, 2022; Allaire, 2014)

L'effet bénéfique du biochar sur les propriétés chimiques du sol est influencé par le type de sol auquel il est appliqué (Lang *et al.*, 2018). Le biochar riche en carbone a une capacité d'adsorption active de nutriments et plus particulièrement l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) et les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) par immobilisation de l'azote dans ces porosités. Ce qui réduit les émissions de protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ) (Lang *et al.*, 2018 ; Cissé, 2022). Il constitue de ce fait un réservoir de nutriments susceptible d'améliorer les caractéristiques chimiques du sol. Il possède de nombreuses charges négatives qui lui confèrent une propriété d'adsorption massive de cations libres. Cette propriété lui permet d'améliorer la capacité d'échange cationique des sols et de réduire les pertes d'éléments minéraux par lessivage (Cissé, 2022).

Depuis quelques années, cet engrais suscite l'engouement de la communauté scientifique qui le considère comme un moyen permettant de lutter contre le changement climatique globale tout en améliorant la fertilité des sols. Cet engouement provient du fait que les biochars amélioreraient la fertilité, la teneur en eau et la vie microbienne des sols, augmentant du coup la productivité végétale qu'elle soit en sols agricoles, artificiels ou en sols dégradés (Allaire et Lange, 2013).



Cependant, les vertus du biochar semblent toutefois varier selon leurs propriétés, le type de sol, l'espèce végétale et le climat. Pour en faire le meilleur usage, on doit bien connaître les propriétés de ces biochars en lien avec la matière première et la méthode de pyrolyse ayant servie à les fabriquer. Dans le même contexte, le présent travail vise à déterminer les variations de l'effet de plusieurs biochars fabriqué par pyrolyse à partir de matière première organique (le grignon d'olive) sur la germination et la croissance des grains de l'orge.

Notre étude a pour objectif d'évaluer la phytotoxicité de plusieurs types ainsi que plusieurs concentrations de biochar obtenu par pyrolyse à trois températures différentes (300°C, 400°C et 500°C).

# *Matériel et méthodes*

## Chapitre I : Matériel et méthodes

L'objectif du présent travail est l'évaluation de la phytotoxicité de plusieurs biochars fabriqué à partir du grignon d'olive sur la capacité de germination et la croissance des grains de l'orge.

### 1. Période et lieu de travail

Notre étude de la détermination de la phytotoxicité des bochars a été réalisé au niveau du laboratoire de physiologie végétale et du laboratoire de protection des végétaus de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université Ibn Khaldoun de Tiaret du 28 Janvier 2024 au 11 Mars 2024.

### 2. Matériel

#### 2.1. Matériel de laboratoire

Les produits, appareillage et matériel utilisés pour la réalisation de l'expérimentation sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau 1:** Matériel du laboratoire utilisé lors de l'expérimentation

Catégorie	Matériel de laboratoire	Produits
Matériel/Produits	<ul style="list-style-type: none"><li>• Erlenmeyer</li><li>• Verre de montre</li><li>• Bécher</li><li>• Éprouvette graduée</li><li>• Fiole</li><li>• Pince à dissection et Pince en bois</li><li>• Boîte de Pétri</li><li>• Papier filtre</li><li>• Entonnoir</li><li>• Bain-marie</li><li>• Étuve</li><li>• Agitateur</li><li>• Plaque chauffante</li><li>• Autoclave de table</li><li>• Balance électronique</li><li>• Brûleur Bunsen</li><li>• Four à moufle</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Agar-agar</li><li>• Eau distillée</li><li>• Eau de javel</li></ul>

## **2.2. Matériel végétal**

Le matériel végétal utilisé pour l'évaluation de la phytotoxicité des biochars produit est: la l'orge. Les caractéristiques de la variété utilisée sont décrites dans le tableau 02.

**Tableau 2:** information générale sur le matériel biologique utilisé

PLANTE	VARIETE	ORIGINE	SOURCE
Orge	Saida 183	Locale (Algérie)	ITGC

## **3. Méthodes**

### **3.1. Préparation de biochar**

Le biochar utilisé dans cette étude est produit par le grignon d'olive, une matière première résiduelle, est obtenue auprès des pressoirs d'huile d'olive.

Le grignon d'olive est résidu de l'extraction d'huile des olives entières broyées, obtenu soit par pression soit par centrifugation, il représente environ 25 % des olives traitées. Il est composé d'un agrégat de la Coque du noyau réduit en morceaux, de la peau et de la pulpe broyée d'olive et de l'amandant ; il Contient encore une certaine quantité de matières grasses et une importante quantité de cellulose et pauvre en matière azotées (Meziane, 2013).

Après traitement de la matière première par séchage et broyage, le grignon d'olive a été pyrolysé, dans des boîtes métalliques hermétiquement fermées . La pyrolyse a été réalisée dans des conditions contrôlées, en utilisant un four à moufle, avec trois températures de carbonisation (300°C, 400°C et 500°C) et trois temps de séjour différents (3 heures, 4 heures et 5 heures). Ce plan expérimental a permis de produire neuf (09) types distincts de biochar, chacun étant produit selon une combinaison unique de paramètres de température et de temps.

Lorsque le four atteignait la température de carbonisation souhaitée, le temps de séjour commençait. Après le temps nécessaire (pyrolyse), les échantillons ont été retirés, refroidis et placés dans des récipients en plastique fermés. Ces conditions ont été choisies pour étudier les effets de la température et du temps sur la qualité du biochar. En faisant varier la température et le temps, l'étude visait à produire divers échantillons de biochar, ce qui a permis de mieux comprendre les conditions de production optimale et de s'assurer que le produit final répondait aux spécificités de notre étude.

### 3.2. Évaluation de la phytotoxicité du biochar

Afin d'évaluer la phytotoxicité des biochars produits, des tests de germination ont été effectués pour l'orge, dans deux substrats de cultures différents (macérats de biochars gélosé et le sable).

#### 3.2.1. Evaluation de la phytotoxicité du biochar en macérat gélosé

Le macérat de biochar a été préparé en agitant 20 g de biochar dans 250 ml d'eau distillée pendant 24 heures. La concentration totale de ce macérat était de 8 %. Après filtration, le filtrat a été dilué quatre fois afin d'obtenir des concentrations de 4 %, 2 %, 1 % et 0,5 % (Tableau 03). 1% de Gélose d'Agar Agar (w:v) a été préparé en ajoutant 0,8 g d'Agar Agar à 80 ml de chaque concentration du macérat (Fig. 1). Les solutions ont été bouillies, stérilisées à l'autoclave, puis coulées dans des boîtes de Pétri et conservées jusqu'à ce qu'elles deviennent solides. Chaque boîte a été répétée trois fois.

**Tableau 3** : Préparation des différentes concentrations de macérat de biochar.

<b>Solution</b>	<b>Concentration</b>	<b>Note</b>
G0 Témoin	0%	1g d'Agar Agar a été ajouté à 100 ml d'eau distillée
G1	0.5%	5 ml du macérat de biochar à 8% ont été ajoutés à 75 ml d'eau distillée
G2	1%	10 ml du macérat de biochar à 8% ont été ajoutés à 70 ml d'eau distillée.
G3	2%	20 ml du macérat de biochar à 8% ont été ajoutés à 60 ml d'eau distillée.
G4	4%	40 ml du macérat de biochar à 8% ont été ajoutés à 40 ml d'eau distillée.
G5	8%	Macérat de biochar à 8% sans eau distillée



**Figure 1** : Les étapes de la macération Agar- Agar

La surface des graines de l'orge a été stérilisée en utilisant 5,25% à 6,0% d'hypochlorite de sodium. Pour cela, 10% de solution d'eau de Javel ont été préparés en mélangeant un volume d'eau de Javel contre neuf volumes d'eau distillée.

La surface des graines a été stérilisée pendant 5 minutes, puis les graines ont été rincées 5 fois avec de l'eau distillée. Les graines ont ensuite été placées dans des boîtes de Petri contenant le macérat de biochar précédemment préparé, à raison de 21 graines par boîte. Les boîtes de Petri ont été placées dans l'incubateur à une température de 21°C (Fig. 2)

La germination des graines a été suivie quotidiennement et les paramètres de croissance ont été mesurés au troisième et au huitième jour de la germination.

Le pourcentage de germination a été déterminé après 20h, 44h et 68h à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Pourcentage de germination} = \left( \frac{\text{Nombre de graines germées}}{\text{Nombre total de graines}} \right) * 100$$



**Figure 2 :** Les étapes de la mise en germination des graines.

A 68 h de germination, la majorité des boîtes de Pétri avaient un pourcentage de germination de 100%, ce qui nous a amené à arrêter le calcul du nombre de graines germées et à commencer la détermination des paramètres de croissance.

Les paramètres de croissance mesurés au troisième jour de germination sont la longueur des racelles et la longueur des coléoptiles. Au huitième jour de germination, les longueurs des racines et des parties aériennes ainsi que les poids frais et sec des plantules ont été mesurés.

Les longueurs ont été déterminées en mm à l'aide d'un double décimètre. Le nombre de racelles a été compté manuellement. Les poids ont été déterminés à l'aide d'une balance de précision. Les poids secs ont été obtenus après séchage des plantules dans une étuve ventilée à 80°C pendant 72 heures.

### **3.2.2. Evaluation de la phytotoxicité des biochar sur le sable**

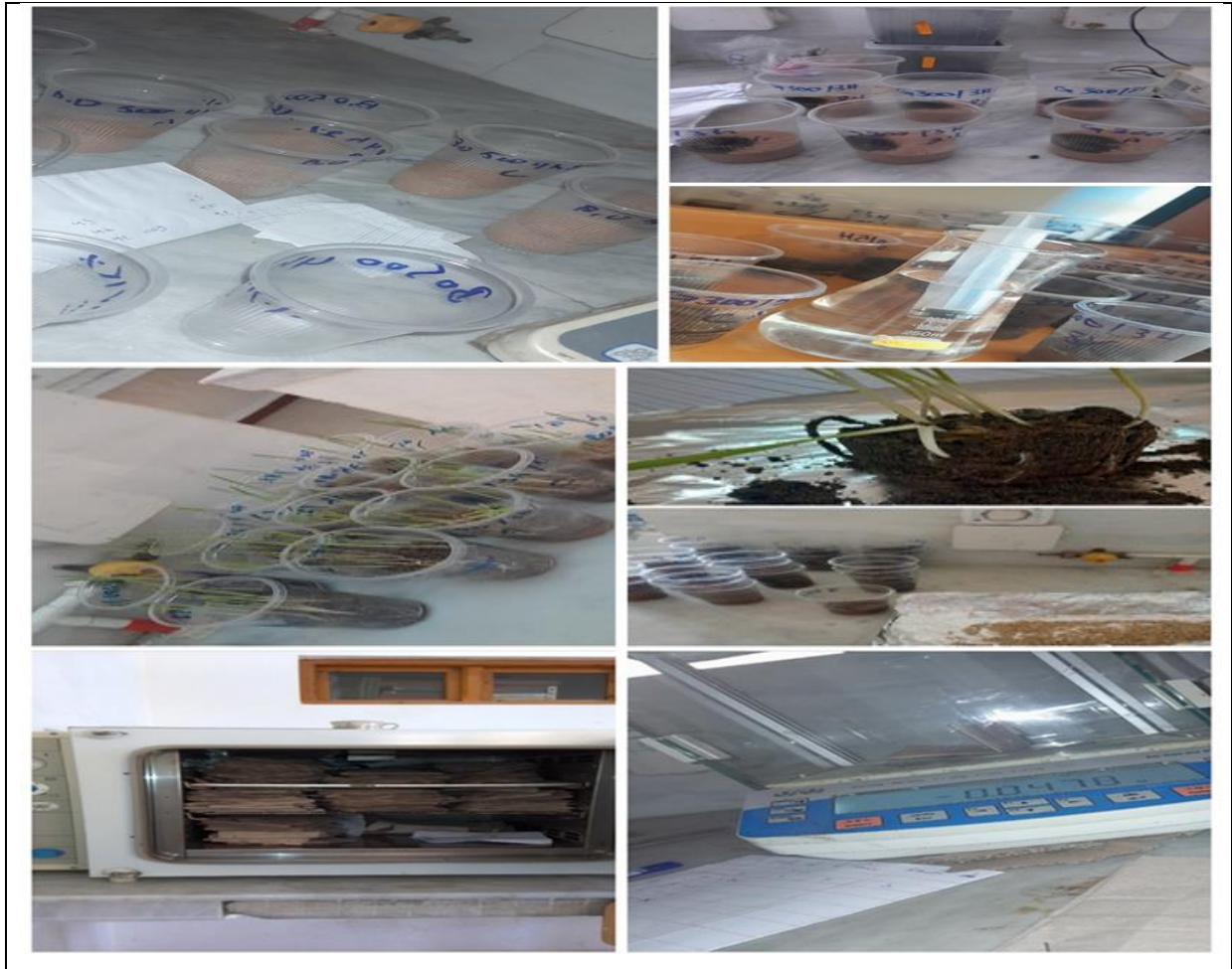
Comme le biochar solide réagit avec le sol, nous avons choisi de déterminer la phytotoxicité du biochar en utilisant un substrat inerte, le sable (Safi), collecté dans la région sud d'Ain Dehab, (Wilaya de Tiaret).

Le même protocole expérimental utilisé pour déterminer la phytotoxicité du macérat de biochar gélosé a été utilisé pour déterminer la phytotoxicité du biochar solide mélangé au sable (Fig. 3). Trois températures de production (300°C, 400°C et 500°C), trois temps de production (3h, 4h et 5h) et 6 concentrations (0%, 0,5%, 1%, 2%, 4% et 8%) ont été évalués dans des gobelets en plastique de 150 ml (Fig. 3). Chaque combinaison a été répétée trois fois. Les détails de la préparation des concentrations de biochar avec le sable sont exprimés dans le tableau suivant :

**Tableau 4** : Détails de la préparation des concentrations de biochar dans le sable

<b>Concentrations</b>	<b>Mixtures</b>
<b>0%</b>	50 g de sable seulement.
<b>0.5%</b>	Mélange de 0,25 g de biochar avec 49.75 g de sable.
<b>1%</b>	Mélange de 0,5 g de biochar avec 49.5 g de sable.
<b>2%</b>	Mélange de 1 g de biochar avec 49 g de sable.
<b>4%</b>	Mélange de 2 g de biochar avec 48 g de sable.
<b>8%</b>	Mélange de 4 g de biochar avec 46 g de sable.





**Figure 3 :** Étapes du determination de la phytotoxicité des biochars en sable

#### **4. Analyses statistiques**

Le traitement statistique a été réalisé à l'aide du logiciel SPSS et les données obtenues ont été soumises à une analyse de variance. Le test t de Student a été appliqué pour mettre en évidence la différence entre les moyennes des traitements. Les groupes homogènes ont été comparés à l'aide du test de *Tukey* au niveau de sécurité de 95%.

## *Résultats et discussion*

## Chapitre 2: Résultats et discussions

### 1. Résultats

#### 1.1. Evaluation de la phytotoxicité de biochar pour l'orge

##### 1.1.1. Evaluation de la phytotoxicité sur le macérat gélosé de biochar

###### a) Germination des graines

✓ Après 20h :

Les résultats d'analyse des variances (tableau 5) révèlent des différences très hautement significatives ( $P \leq 0,001$ ) entre les températures de production de biochar pour la germination à 20h et un effet hautement significatif ( $P \leq 0,01$ ) entre les concentrations.

**Tableau 5** : Analyse des variances de la germination de l'orge semi dans le macérat gélosé de biochar après 20h.

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Température	154,415	2	77,207	21,524	0***
Durée	6,77	2	3,385	0,944	0,393
Concentrations	57,704	4	14,426	4,022	0,005**

Les graphiques de la figure 4 illustrent les pourcentages de la germination de l'orge dans le macérat gélosé du biochar après 20h.

A 20h de germination, les graines poussant sur l'eau gélosée seule (témoin) avaient des pourcentages de germination de 79,36%. Les taux de germination de l'orge les plus élevés ont été obtenus par les macérats de biochar produits à 300 et 500°C. Ces traitements ont permis d'obtenir des taux supérieurs à ceux des témoins. Les pourcentages de germination les plus élevés ont été obtenus chez les graines soumises à les concentrations de 1% et 8% du macérat de biochar produit à 500°C pendant 3h et pendant 4h respectivement et la concentration de 4% du macérat de biochar produit à 300°C pendant 4h avec des moyennes respectives de 96,82%, 95,23% et 95,23%. Les pourcentages de germination les plus faibles ont été obtenus chez les graines soumises à la concentration de 1% du macérat de biochar produit à 300°C pendant 3h et les concentrations de 8% du macérat de biochar produit à 500°C pendant 4h avec des moyennes de 55,55% pour les deux.

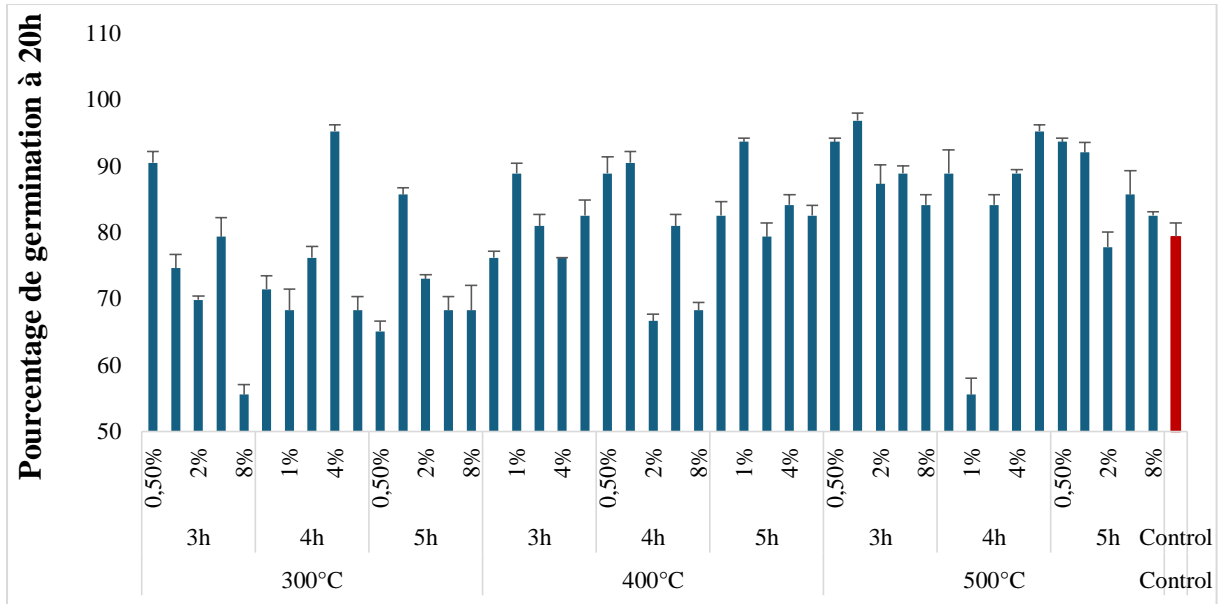


Figure 4 : Variation de la germination des graines d’orge après 20h en macérat gélosé.

✓ Après 44h

Les résultats d'analyse des variances (tableau 6) révèlent des différences très hautement significatives ( $P \leq 0,001$ ) entre les températures de production de biochar pour la germination à 44h, un effet hautement significatif ( $P \leq 0,01$ ) entre les durée et un effet significatif ( $P \leq 0,05$ ) entre les concentrations.

Tableau 6 : Analyse des variances de la germination de l’orge semi dans le macérat gélosé de biochar après 44h.

<b>Température</b>	8,281	2	4,141	8,928	0***
<b>Durée</b>	4,681	2	2,341	5,047	0,008**
<b>concentrations</b>	6,415	4	1,604	3,458	0,011*
<b>Température * Durée</b>	5,585	4	1,396	3,011	0,022*

A 44h de germination, les graines soumises à la concentration 1% du macérat de biochar produit à 500°C pendant 4h avaient les pourcentages de germination les plus faibles (76,19%). Les taux de germination de l’orge les plus élevés ont été obtenus par les macérats de biochar produits à 300°C (92,80%) (Fig. 5). Les pourcentages de germination les plus élevés sont obtenus chez les graines soumises à des concentrations de 0.5%, 1%, 2% et 4% du macérat de biochar produit à 300°C pendant 4h, 400°C pendant 3h, 400°C 5h et 400°C 3h respectivement avec un taux de germination optimale (100%).

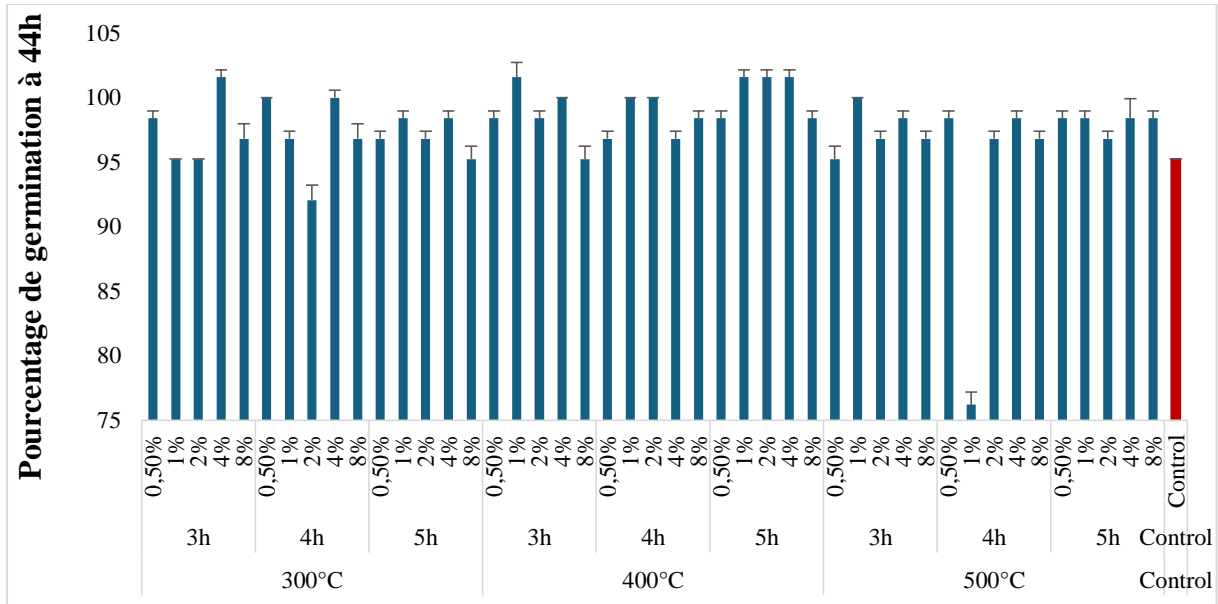


Figure 5 : Variation de la germination des graines d’orge après 44h.

**b) Longueur des racines**

✓ Après 3 jours

Les résultats de l'analyse de variance (tableau 7) indiquent des différences très hautement significatives ( $P \leq 0,001$ ) entre les températures de production de biochar et entre les concentration de biochar pour les longueurs des racines au 3ème jour. Cela suggère que la température et les concentrations affectent la longueur des racines de l’orge.

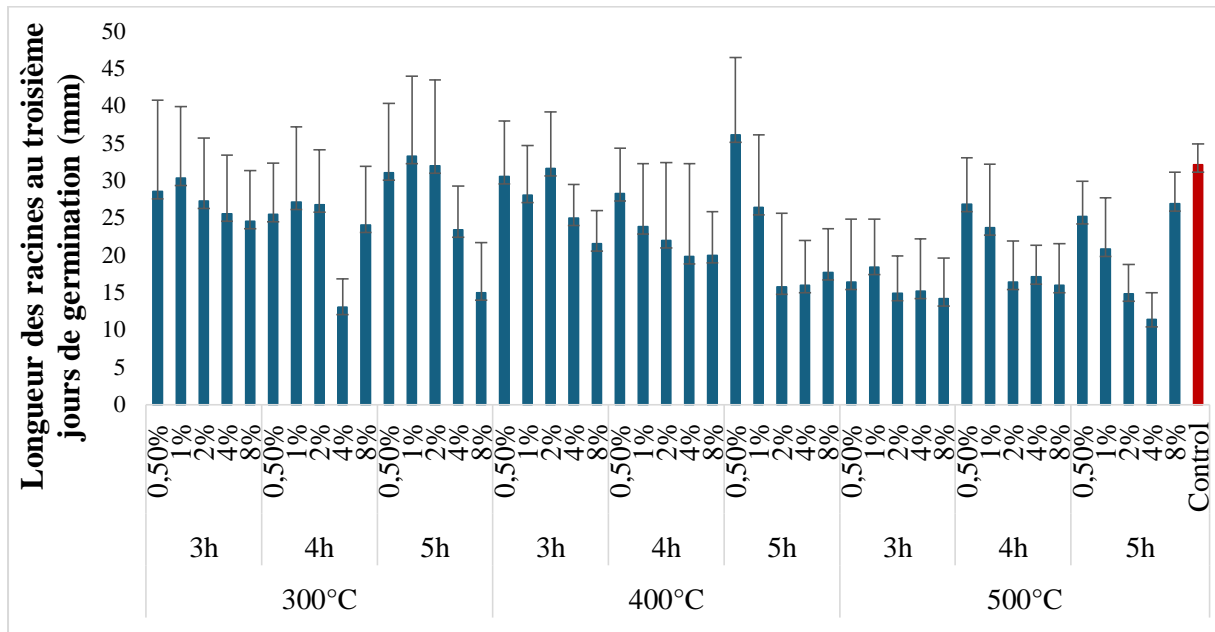
Tableau 7 : Analyse des variances de la longueur des racines de l’orge poussant sur macérat de biochar après 3 jours.

Température	6540,465	2	3270,233	56,693	0***
Durée	244,945	2	122,473	2,123	0,121
Concentrations	7897,917	4	1974,479	34,23	0***

Les histogrammes de la figure (6) illustrent la longueur des racines de l’orge poussant sur le macérat gélosé du biochar au 3ème de germination.

Au troisième jour de germination, les graines considérées comme témoins ont développé des racines d’une longueur moyenne de 32.13 mm. Les températures de pyrolyse de 400 et 300°C et la durée de séjours de biochar de 5h ont permis d’obtenir les racines les plus longues contrairement à la température de 500°C et la durée de 5h qui semblent affecter négativement la longueur des racines au 3ème jour de germination.

Les longueurs des racines les plus importantes ont été obtenues chez les graines poussant sur la concentration 0,5% du biochar pyrolysé à 400°C pendant 5h et la concentration 1% du biochar pyrolysé à 300°C pendant 5h avec des moyennes respectives de 36.13 et 33.26 mm (Fig. 6). Les longueurs des racines les plus faibles ont été obtenues chez les graines poussant sur la concentration 4% du biochar pyrolysé à 500°C pendant 5h avec une moyenne de 11.40 mm.



**Figure 6:** Variation des longueurs des racines de l’orge après 3 jours en macérat gélosé.

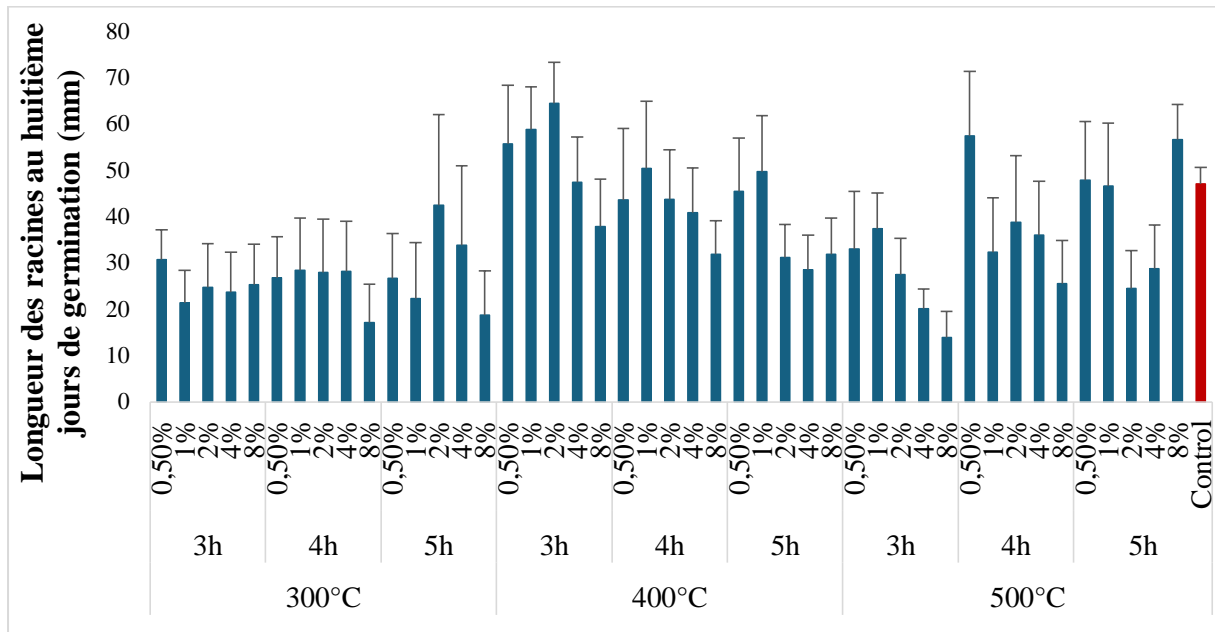
✓ *Après 8 jours :*

Les résultats de l'analyse de variance (tableau 8) indiquent des différences très hautement significatives ( $P \leq 0,001$ ) entre les températures de production de biochar et entre les concentration de biochar pour les longueurs des racines au 3ème jour. Cela indique que la longueur des racines de l’orge est affecté par les différéntes concentrations et tempearaure de production du biochar.

**Tableau 8 :** Analyse des variances de la longueur des racines de l’orge poussant sur macérat de biochar après 8 jours.

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Température	34557,61	2	17278,804	150,859	0***
Durée	84,827	2	42,413	0,37	0,691
concentrations	12958,91	4	3239,728	28,286	0***

Au huitième jour de germination, les longueurs des racines les plus faibles ont été obtenues chez les graines poussant sur la concentration 8% du biochar pyrolysé à 500°C pendant 3h avec une moyenne de 13.93 mm. Les températures de pyrolyse de 400 et 500°C, la durée de séjours de biochar de 3h et 4h et les concentrations de 2%, 1% et 0.5% respectivement ont permis d’obtenir les racines les plus longues avec des moyennes respectives de 64.4, 58.73 et 57.4mm (Fig. 7).



**Figure 7:** Variation des longueurs des racines après 8 jours en macérat gélosé de biochar.

*c) Longueur des coléoptiles*

✓ *Après 3 jours*

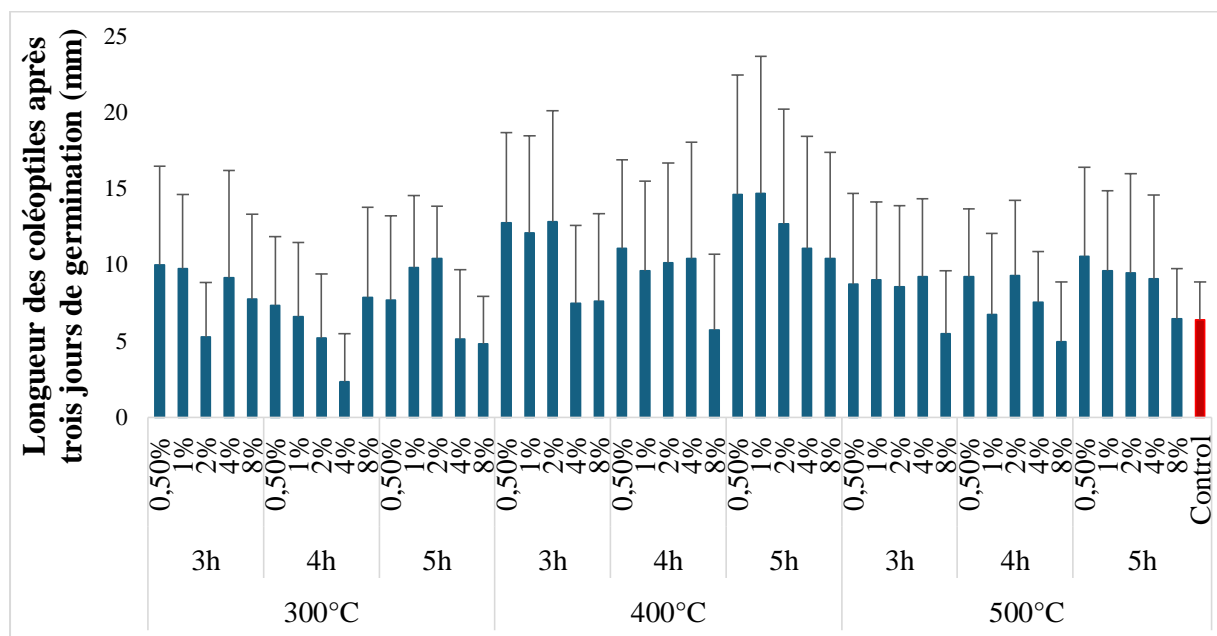
Les résultats de l'analyse de variance (tableau 9) indiquent des différences très hautement significatives ( $P \leq 0,001$ ) entre les températures, les durées de production de biochar et les concentrations pour la longueur des coléoptiles et des parties aériennes au 3ème jour. Cela suggère que la température et les concentrations ainsi que les durées de pyrolyse affectent la longueur des racines de l’orge.

**Tableau 9 :** Analyse des variances de la longueur des coléoptiles et des parties aériennes des plantules de l’orge poussant sur macérat de biochar après 3 jours.

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Température	1558,314	2	779,157	24,81	0***
Durée	543,843	2	271,921	8,659	0***
Concentrations	1080,11	4	270,027	8,598	0***

Le graphique de la figure (8) illustre la variation de la longueur des coléoptiles et des parties aériennes de l'orge au troisième jour.

Au troisième jour de germination, les coléoptiles de la majorité des graines poussant sur le macérat gélosé de biochar avaient des coléoptiles plus longues que celles des plantes témoins. Les valeurs les plus élevées des longueurs des coléoptiles ont été enregistrées chez les graines poussant sur le macérat gélosé de biochar pyrolysé à 400°C pendant 5h de la concentration 1% avec une moyenne de 14.66 mm (Fig. 8). Alors que les valeurs les plus faibles ont été enregistré chez les graines de l'orge poussant sur les macérats des biochars produits à 300°C surtout ceux ayant des concentrations de 4% et pyrolysés pendant 4h.



**Figure 8:** Variation des longueurs des coléoptiles après 3 jours sur macérat du biochar.

✓ *Après 8 jours*

Les résultats de l'analyse de variance (tableau 10) indiquent des différences très hautement significatives ( $P \leq 0,001$ ) entre les températures et les concentrations et significatives entre les durées de pyrolyse pour la longueur des coléoptiles et des parties aériennes au 8ème jour. Cela suggère que la température et les concentrations ainsi que les durées de pyrolyse affectent la longueur des racines de l'orge.

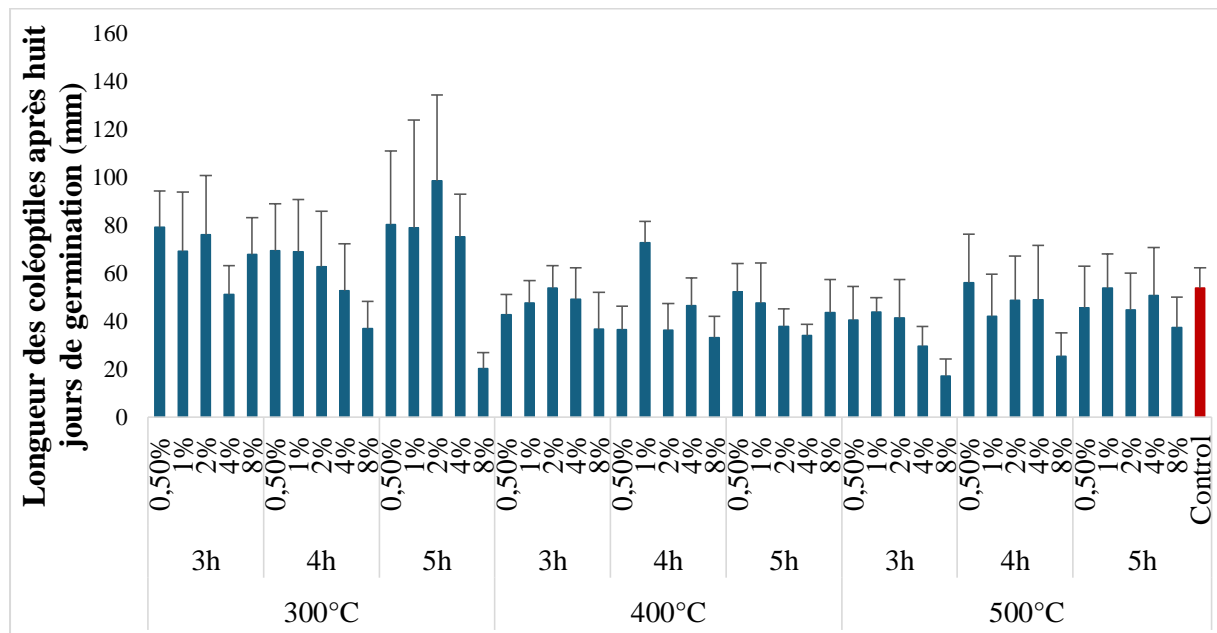


**Tableau 10** : Analyse des variances de la longueur des coléoptiles et des parties aériennes des plantules de l'orge poussant sur macérat de biochar après 8 jours.

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Température	77197,71	2	38598,855	125,892	0***
Durée	2549,887	2	1274,944	4,158	0,016*
Concentrations	52892,91	4	13223,227	43,128	0***

Au huitième jour de germination, la pluparts des biochars ont stimulé la croissance de la partie aérienne, du fait que les longueurs des parties aériennes des plantules témoins étaient faibles (26 mm) par rapport à certains biochars. Il est aussi remarquable que la température 500°C a retardé la croissance des coléoptiles au 8ème jour même par rapport aux témoins (Fig. 9).

Les valeurs les plus élevées des longueurs des parties aériennes ont été enregistrées chez les graines poussant sur le macérat de biochar de concentrations de 2% et produits à 300°C pendant 5h avec des moyennes respectives de 98.28 mm (Fig. 10). Alors que les valeurs les plus faibles ont été enregistrées chez les graines de l'orge poussant sur les macérats des biochars de concentration 8% produit à 500°C pendant 3h (17.06 mm).



**Figure 9** : Variation des longueurs des coléoptiles après 8 jours sur macérat du biochar.

**d) Poids frais plantules**

Les résultats d'analyse des variances (tableau 11) montrent des différences très hautement significatives ( $P < 0,001$ ) entre les températures de production de biochar pour le

poids frais des plantules. Aucune différence significative n'a été enregistrée entre les durées de pyrolyse et les concentrations de biochar ( $P > 0,05$ ). Cela indique que la température de production de biochar a un effet significatif sur le poids moyen frais des plantes, tandis que la durée et la concentration de biochar n'ont pas d'effet significatif.

**Tableau 11** : Analyse des variances des poids moyens frais des plantules de l'orge poussant sur le macérat gélosé du biochar

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Température	0,022	2	0,011	3,094	0,05*
Durée	0,018	2	0,009	2,502	0,087
Concentrations	0,011	4	0,003	0,763	0,552

Les histogrammes de la figure (10) illustrent les poids moyens frais des plantules de l'orge poussant sur les macérats gélosés des biochars produits par différentes températures de pyrolyse et différentes durées de séjours.

Il est évident que les plantules considérées comme témoins ont les poids frais les plus faibles avec des moyennes de 0,165 g par plantules (Fig. 10). Tous les biochars ont permis d'obtenir des plantules avec des poids frais élevés indiquant ainsi le rôle bénéfique des biochar pour la biomasse des plantules.

Les poids frais des plantules les plus élevés ont été enregistrés par les biochars ayant des concentrations respectives de 2% et 0.5% et 1% respectivement et produits à des températures de pyrolyse de 300°C pendant 5h, 3h et 500°C pendant 4h avec des moyennes respectives de 0,36, 0.34 et 0,33 g par plantule.

Le poids frais des plantules le plus faible est enregistré par le biochars ayant une concentration de 1% et produits à une température de pyrolyse de 400°C pendant 5h avec une moyenne de 0,101 g par plantule (Fig. 10)

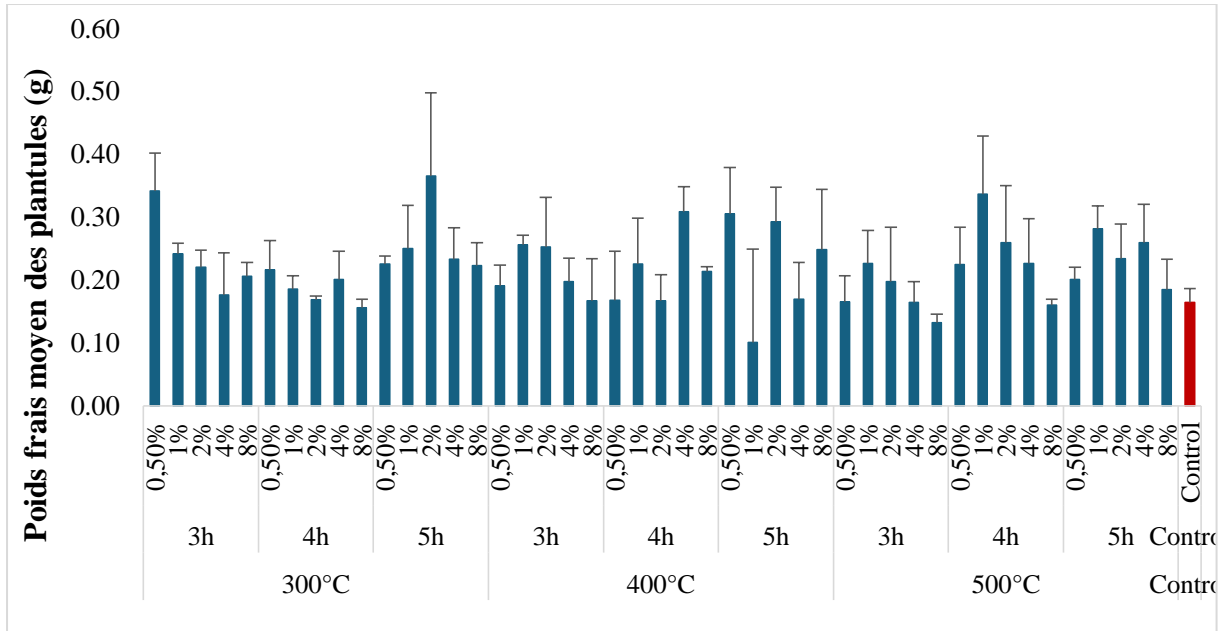


Figure 10: Variation des poids frais des plantules d’orge sur macérat de biochar.

e) Poids sec des plantules

Les résultats d'analyse des variances (tableau 12) montrent des différences très hautement significatives ( $P < 0,001$ ) entre les températures, les durées de production de biochar ainsi que les concentrations testées pour le poids sec des plantules. Cela indique que le biochar a un effet sur la variation poids sec des plantules.

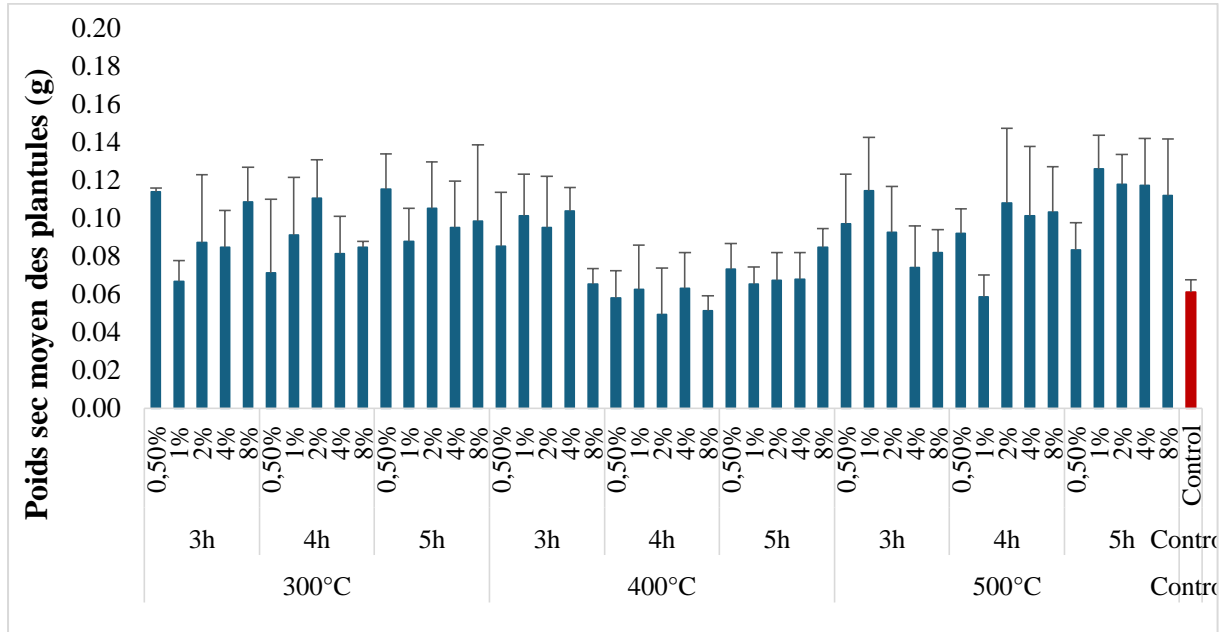
Tableau 12 : Analyse des variances des poids moyens secs des plantules de l’orge poussant sur le macérat gélosé du biochar

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Température	0,071	2	0,036	73,816	0***
Durée	0,008	2	4,00E-03	8,247	0,001***
Concentration	0,048	4	0,012	24,963	0***

Les histogrammes de la figure (11) illustrent les poids moyens secs des plantules de l’orge poussant sur les macérats gélosés des biochars produits par différentes températures de pyrolyse et différentes durées de séjours.

Les plantes qui ont été germées sur le milieu de macérat à température 500°C, concentration 1%, durée 5h avaient les poids secs le plus importants avec une moyennes environ de 0,126 g et les plantes qui ont été germées sur le milieu de macérat à température 400°C, concentration 2%, durée 4h avaient les poids secs les plus faibles avec une moyennes

environ de 0,049g. Il est bien de noter que les plantules considérées comme témoins ont enregistré les poids secs les plus faibles avec une moyenne de 0.061.



**Figure 11:** Variation des poids secs des plantules d’orge sur macérat de biochar.

**1.1.2. Evaluation de la phytotoxicité sur le sable**

*a) Germination des graines*

✓ Après 44h

Les résultats de l'analyse des variances, illustrés dans le tableau ci-dessous, révèlent qu’il y a une différence hautement significative ( $P < 0,001$ ) entre les températures et les concentrations de biochar pour les pourcentages de germination à 44h et une différence significative entre les durées de production de biochar. Cela indique que la germination est affectée par la température de pyrolyse et les concentrations des biochars utilisés.

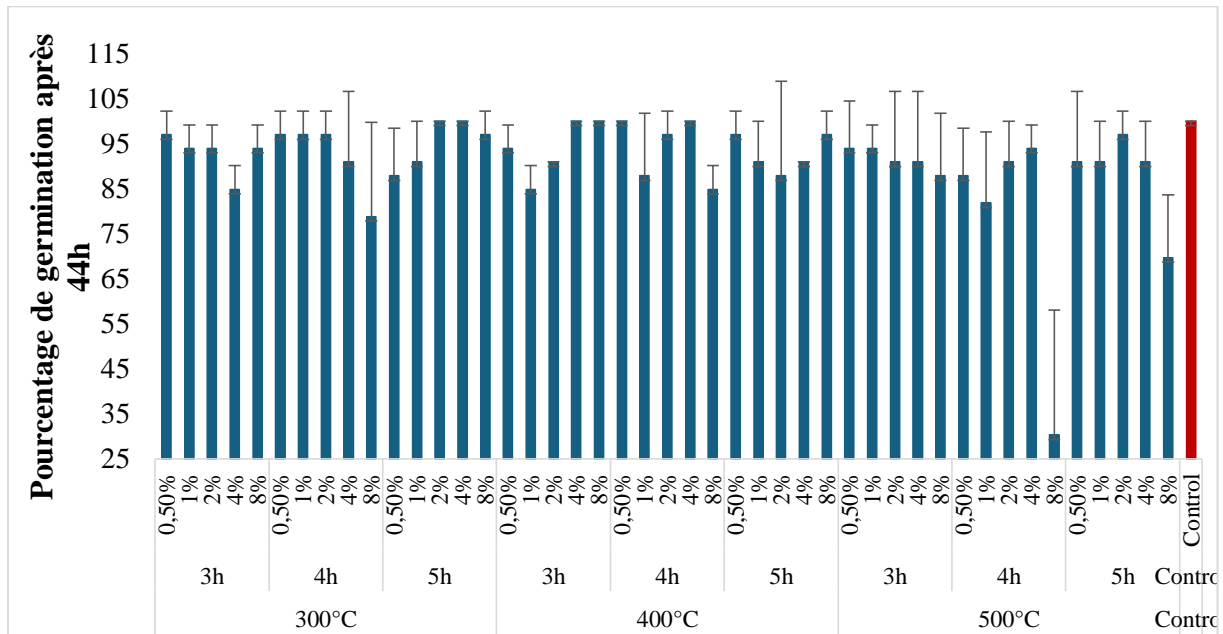
**Tableau 13 :** Analyse des variances de la germination de l’orge dans le sable à 44h

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Température	1911,234	2	955,617	9,332	0***
Durée	662,381	2	331,191	3,234	0,044*
Concentrations	2770,738	4	692,684	6,764	0***

Les histogrammes de la figure (12) illustrent les pourcentages de la germination de l’orge dans le sable durant 44h.

Pour ces expériences, on a remarqué que le substrat sable a retardé la germination des graines. Aucune graine n'a germé dans les 24 heures qui ont suivi le semis. Après 44h du semis, quel que soit la température de pyrolyse, la durée de séjours et la concentration, le biochar a beau amélioré les pourcentages de germination (Fig. 12).

Pour l'ensemble, c'est la température de pyrolyse de biochar de 300°C , les durées de séjour de 5h et les concentrations de 2% et 4% ainsi que la température de pyrolyse de biochar de 400°C , les durées de séjour de 3h et 4h et les concentration 4% 8% et 0.5% respectivement ont permis d'obtenir des taux de germination optimales (100%).



**Figure 12:** Variation du pourcentage de germination de l'orge dans le sable à 44h

✓ *Après 68h*

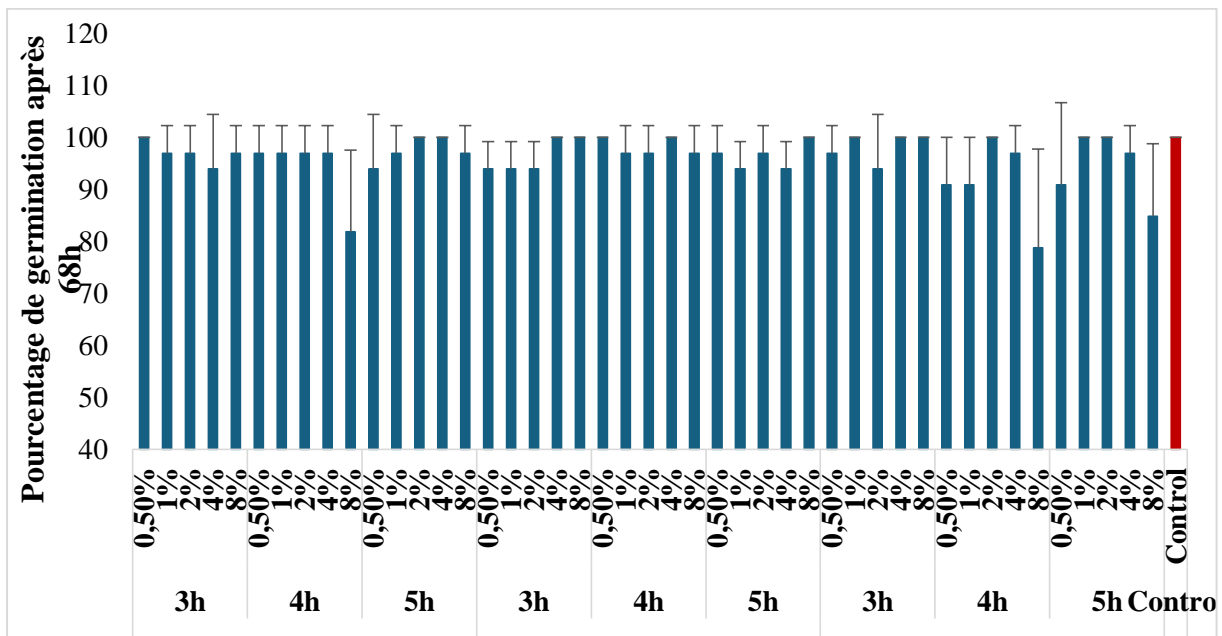
Les résultats de l'analyse des variances ne montre aucune différence significative entre les durés et les concentrations du biochar produit, par contre une différences hautement significative ( $P < 0,001$ ) est marquée entre les différentes température de la pyrolyse.

**Tableau 14 :** Analyse des variances de la germination de l'orge dans le sable à 68h

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Température	1276033	46	27739,85	593,846	0***
Durée	113,866	2	56,933	1,219	0,3
Concentrations	157,943	2	78,972	1,691	0,19

Les histogrammes de la figure (13) présentent les pourcentages de la germination de l'orge dans le sable durant 68h.

A 68h, les pourcentages de germination des graines de l'orge ont atteint un pourcentage de germination maximal de 100% pour la majorité des biochars testés. Les pourcentages de germination les plus faibles ont été enregistrés pour la concentration 8% des biochars produits à une température de 300°C et 500°C pendant 4h avec des moyennes respectives de 81.81% et 78.78%.



**Figure 13:** Variation des pourcentages de germination de l'orge dans le sable à 68 h.

**b) Longueur des racines**

✓ *Après 3 jours*

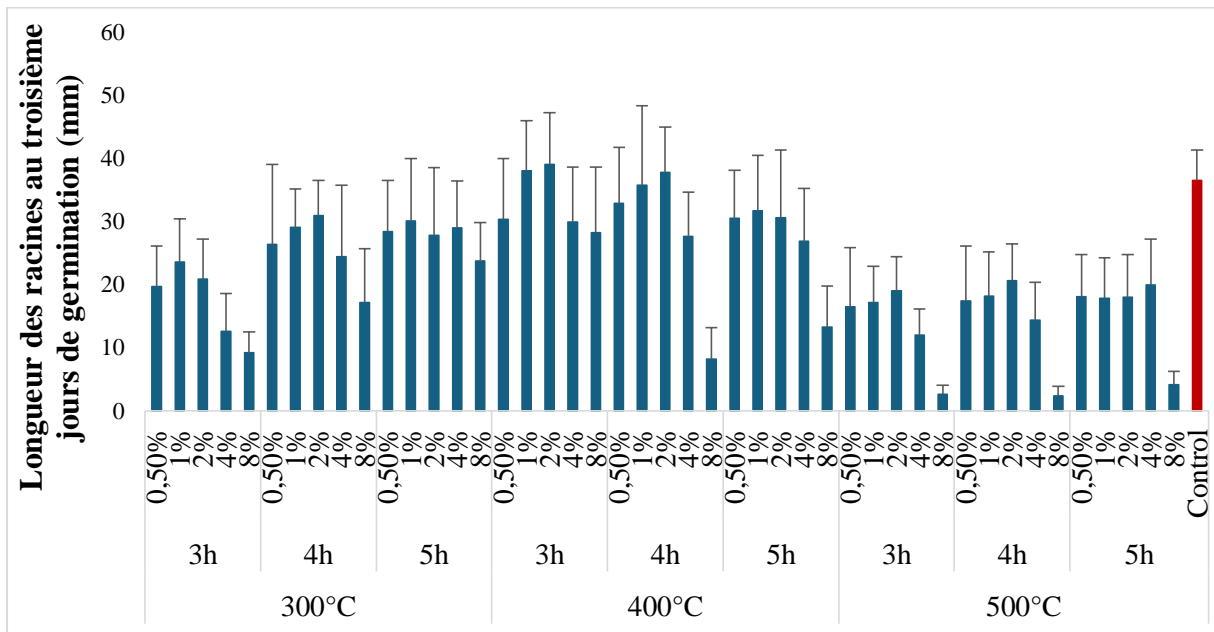
Les résultats d'analyse des variances (tableau 15) révèlent des différences significatives ( $P \leq 0,05$ ) (température) à très hautement significatives ( $P \leq 0,001$ ) (durée et concentrations) pour l'ensemble des facteurs étudiés pour la longueur des racines.

**Tableau 15 :** Analyse des variances de longueur des racines au 3ème jour.

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Température	25093,84	2	12546,921	212,831	0***
Durée	536,661	2	268,33	4,552	0,011*
Concentrations	20643,24	4	5160,811	87,542	0***

Les histogrammes de figure (14) illustrent la variation de la longueur des racines de l'orge semis dans le mélange sable-biochar au 3ème jour de germination.

Au troisième jour de germination, la température de pyrolyse de 500, la durée de séjours de 3h et les concentrations de biochar de 4 et 8% ont permis d'obtenir des graines avec les racines les plus longues. Les longueurs des racines maximales ont été obtenues chez les graines de l'orge poussant sur le sable mélangé avec les concentrations de biochars de 2%, produits respectivement par les températures de pyrolyse de 400°C pendant 3h (39 mm) (Fig. 14). Les longueurs des racines minimales ont été obtenues chez les graines poussant sur le sable mélangé avec les concentrations de biochars de 8%, produits par les températures de pyrolyse de 500°C pendant 3h et pendant 4h. Les longueurs des racines étaient respectivement de 2,60 mm et 2,33 mm.



**Figure 14:** Variation de la longueur des racine de l'orge au 3ème jour dans le sable.

✓ *Après 8 jours*

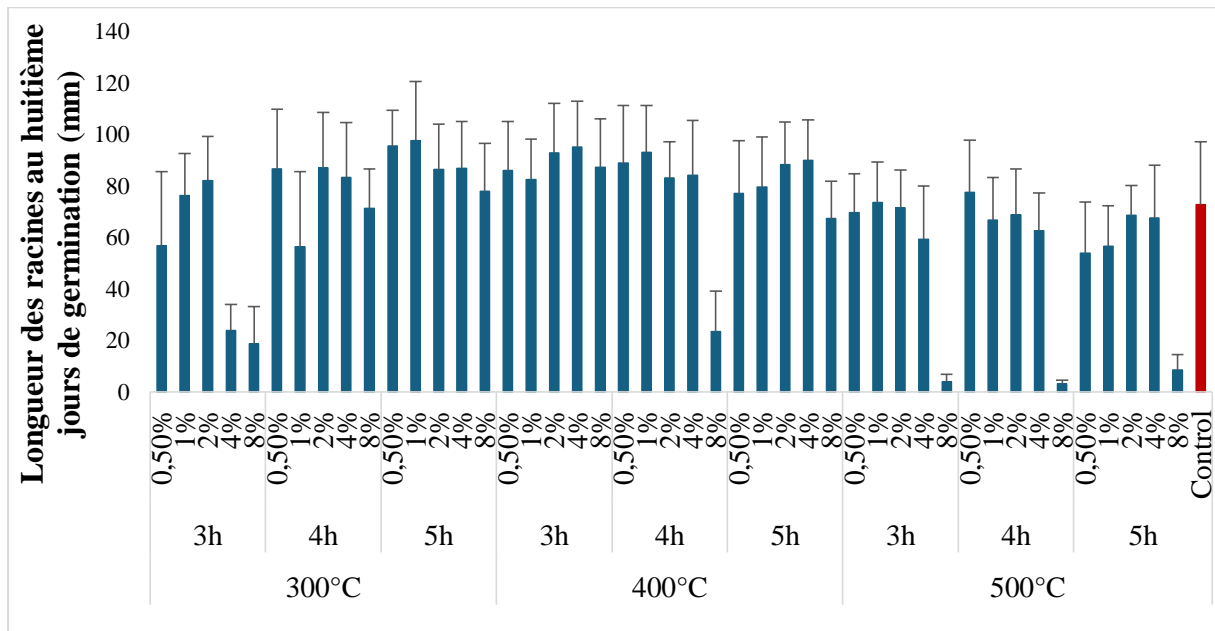
Les résultats d'analyse des variances (tableau 16) révèlent des différences très hautement significatives ( $P \leq 0,001$ ) entre les durée et entre les température de la pyrolyse ainsi que entre les différentes concentrations des biochars testés.

**Tableau 16 :** Analyse des variances de la longueur des racines au 8ème jours

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Température	86028,47	2	43014,233	132,979	0***
Durée	7552,056	2	3776,028	11,674	0***
Concentrations	148342,7	4	37085,665	114,651	0***

La figure (15) présente l'évolution de la longueur de radicelle des graines de l'orge semées en sable et en absence de différente concentration de biochar, pendant une période de huit jours.

Au huitième jour de germination, la température de pyrolyse de 400°C et les durées de séjours de 3h et 4h ont permis d'obtenir des graines avec des racines longues. Les longueurs des racines maximales ont été obtenues chez les graines poussant sur le sable mélangé avec les concentrations de biochars de 1% et 0.5%, produits par la température de pyrolyse de 300°C pendant, 5h. Les longueurs des racines étaient respectivement de 97.66 et 95,46 mm. Les longueurs des racines minimales ont été obtenues chez les graines poussant sur le sable mélangé avec la concentration de biochars de 8% et produits par la température de pyrolyse de 500°C pendant 3h et avec la concentration de 8% des biochars produits par la température de pyrolyse de 500°C pendant 4h. Les longueurs des racines étaient respectivement de 3.8 mm, 2.93 mm.



**Figure 15:** Variation de la longueur des racines de l'orge au 8ème jour dans le sable.

*c) Longueur des coléoptiles*

✓ *Après 3 jours*

Les résultats d'analyse des variances (tableau 17) révèlent des différences hautement significatives ( $P \leq 0,001$ ) entre les températures et les concentrations des biochars testés pour les longueurs des coléoptiles au 3ème jour de germination.

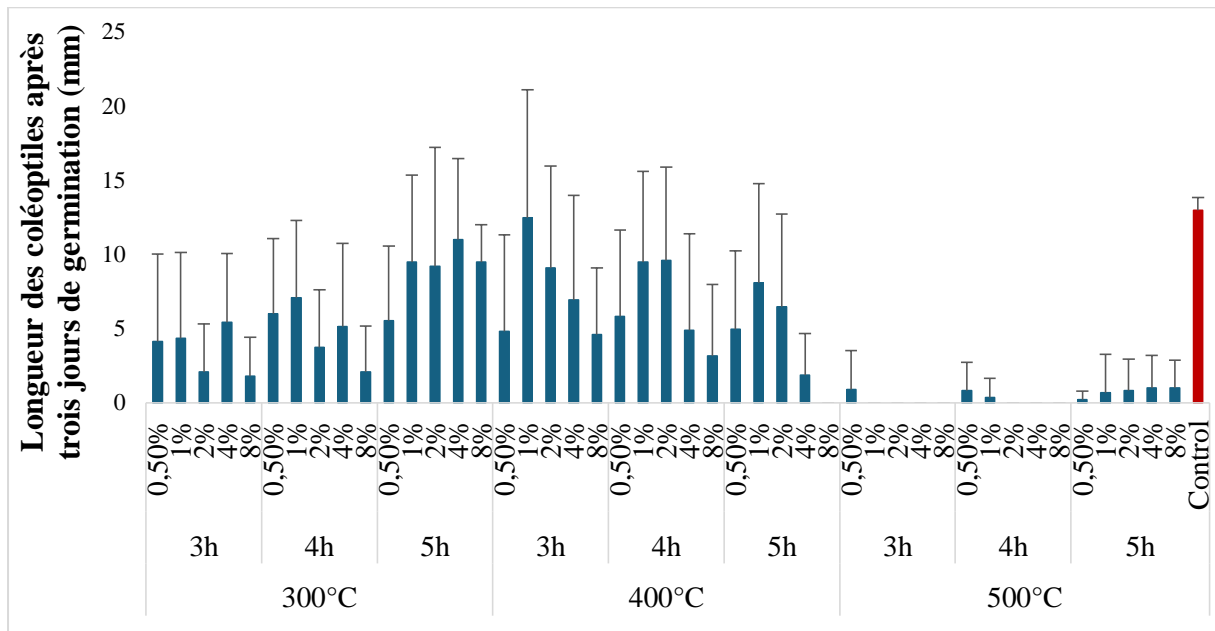


**Tableau 17** : Analyse des variances longueur du coléoptile au 3ème jour.

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Température	4671,647	2	2335,824	112,37	0***
Durée	104,234	2	52,117	2,507	0,082
Concentrations	792,424	4	198,106	9,53	0***

Les histogrammes de la figure (16) illustrent la variation de la longueur des coléoptiles et des parties aériennes de l’orge, semis dans le sable au 3ème jour de germination.

Au 3ème jour de germination, les coléoptiles les plus longs ont été obtenus pour les témoins avec une longueur de 12.97% suivi des graines semis sur le mélange du sable avec les concentrations respectives de 1% et 4% de biochars produits par pyrolyse à 400°C et 300°C pendant 3h et pendant 5h avec des moyennes respectives de 12,46 et 11 mm. Les coléoptiles les plus courts ont été obtenus pour les graines semis sur le mélange du sable avec les concentrations respectives de 1% et 0.5% des biochars produits par pyrolyse à 500°C pendant 4h et à 500°C pendant 5h avec des moyennes respectives de 0,33 et 0,2 mm.



**Figure 16:** Variation de la longueur des coléoptile de l’orge au 3ème jour dans le sable.

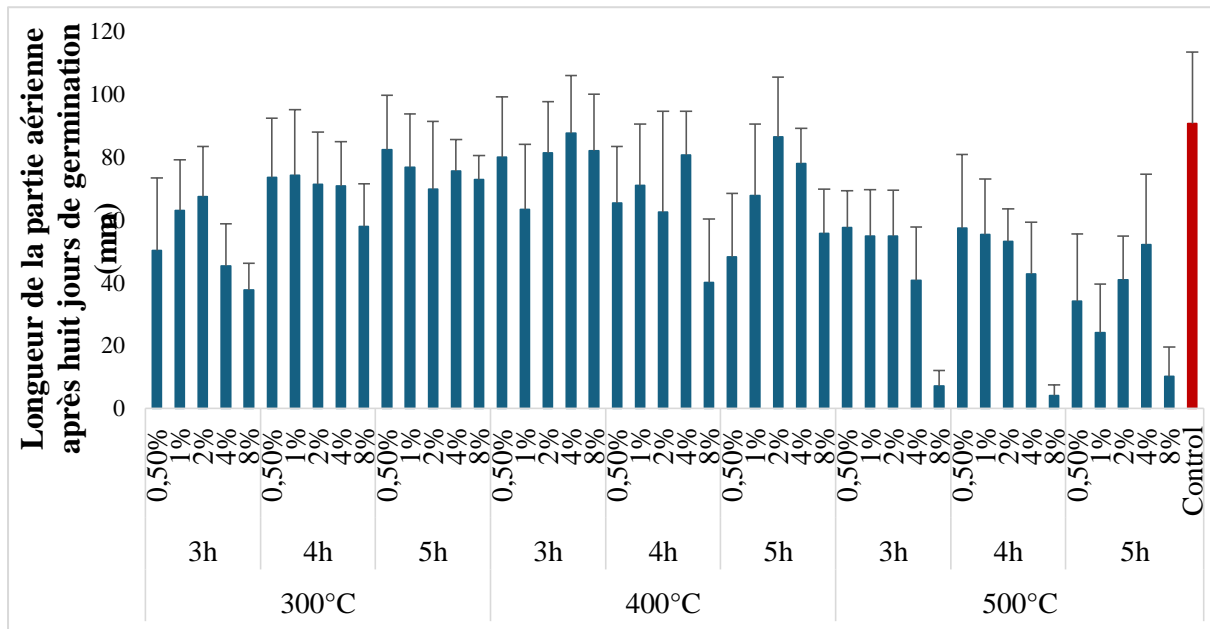
✓ *Après 8 jours*

Les résultats d'analyse des variances (tableau 18) révèlent des différences hautement significatives ( $P \leq 0,001$ ) entre les températures et les concentrations des biochars testés pour les longueurs des coléoptiles au 8ème jour de germination.

**Tableau 18** : Analyse des variances de longueur du coléoptile au 8ème jour.

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Température	125239	2	62619,521	212,443	0***
Durée	27,772	2	13,886	0,047	0,954
Concentrations	53778,6	4	13444,65	45,612	0***

Les histogrammes de la figure (17) illustrent la variation de la longueur des coléoptiles et des parties aériennes de l’orge, semis dans le sable au 8ème jour de germination.



**Figure 17:** Variation de la longueur du coléoptile au 8ème jour dans le sable.

Au 8ème jour de germination, les parties aériennes les plus longues ont été obtenues pour les plantules témoins avec une longueur de 90.66mm suivi des plantules poussant sur le mélange du sable avec les concentrations de 4% et 2% des biochars produits par pyrolyse à 400°C pendant 3h et 5h avec une moyenne de 87.6 mm et 86.46mm respectivement.

Les parties aériennes les plus courtes ont été obtenues pour le biochar produits par pyrolyse à 500°C pendant 4h, 3h et 5h respectivement pour la concentration 8% avec des moyennes respectives de 4 mm 7,6 mm et 10.13mm.

**d) Poids frais des plantules**

Les résultats de l'analyse des variances (tableau 19) révèlent des différences significatives entre les températures de production de biochar et les concentrations de biochar

( $P \leq 0,001$ ) pour les pois frais des plantules de l'orge. Cela indique que les températures et les concentrations de biochar ont un effet significatif sur le poids moyen frais des plantules. Aucun effet significatif ( $P > 0,05$ ) n'a été enregistré entre les durées de productions de biochar pour le même paramètre.

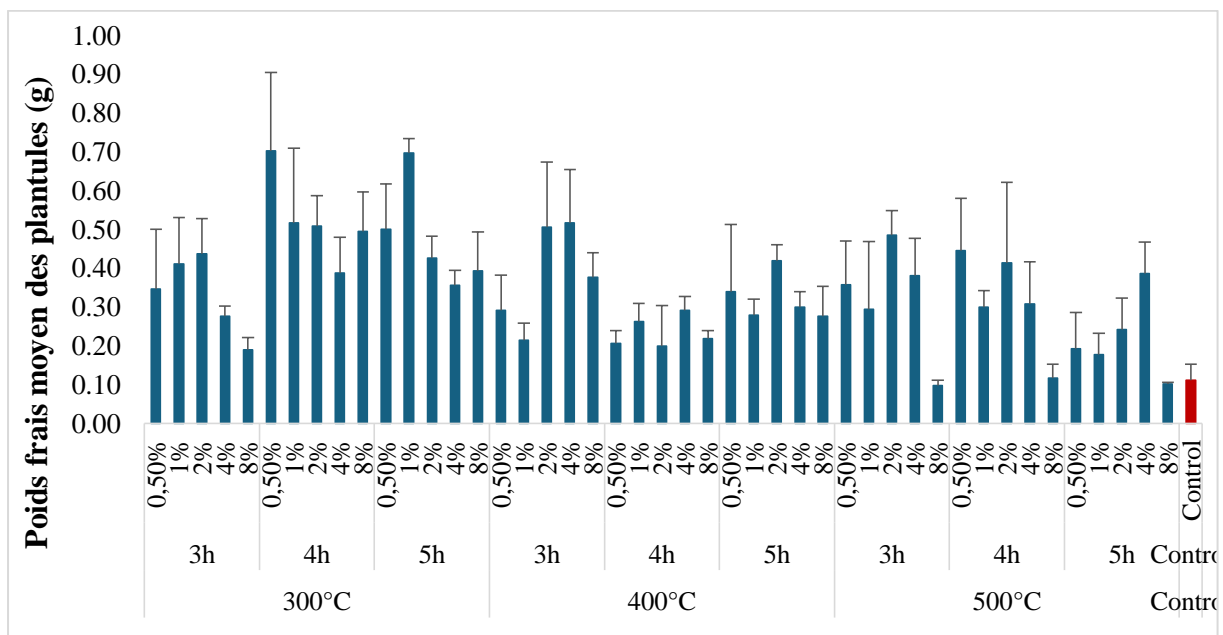
**Tableau 19:** Analyse des variances des poids moyens frais et secs des plantules de l'orge poussant dans le sable

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Température	0,629	2	0,315	31,619	0***
Durée	0,009	2	0,004	0,432	0,651
Concentrations	0,36	4	0,09	9,049	0***

Les histogrammes de la figure (18) illustrent les poids moyens frais des plantules de l'orge poussant sur le sable et mélangé avec des biochar produits par différentes températures de pyrolyse et différentes durées de séjours.

Les poids frais des plantules les plus élevés ont été enregistrés par les biochars ayant une concentration de 0.5% et 1% qui sont produits à une température de pyrolyse de 300°C pendant 4h et 5h avec des moyennes respectives de 0,709 et 0,69 g par plantule.

Les poids frais des plantules les plus faibles sont enregistrés par les biochars ayant une concentration de 8% et produits à des températures de pyrolyse de 500°C pendant 3h avec une moyenne de 0,097 g par plantule.



**Figure 18:** Variation du poids frais des plantules d'orge dans le sable.

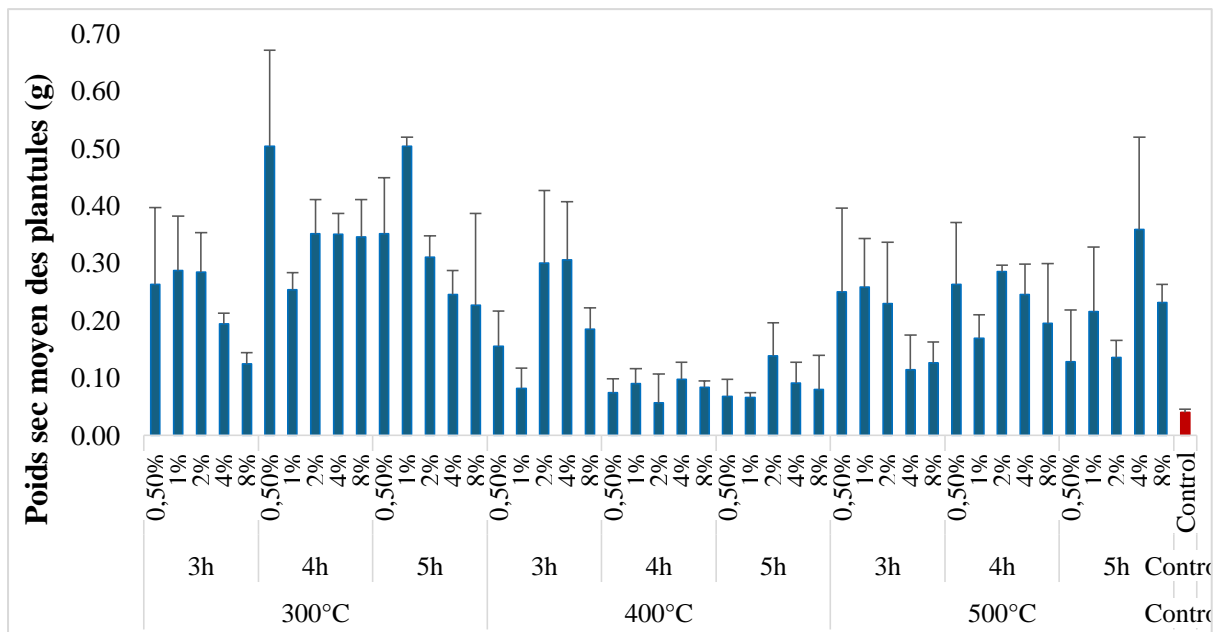
*e) Poids sec des plantules*

Les résultats de l'analyse des variances ne montre aucun effet significatif ( $P > 0,05$ ) entre les durées de pyrolyse pour les poids moyen secs des plantules ni entre les concentrations testés mais un effet significative est enregistré entre les températures de production de biochar pour le poids sec des plantules.

**Tableau 20:** Analyse des variances des poids moyens frais et secs des plantules de l'orge poussant dans le sable

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F	Sig.
Température	0,741	2	0,371	61,86	0*
Durée	0,006	2	0,003	0,491	0,613
Concentrations	0,053	4	0,013	2,193	0,076

Les histogrammes de la figure (19) illustrent les poids moyens sec des plantules de l'orge poussant sur le sable et mélangé avec des biochars produits par différentes températures de pyrolyse et différentes durées de séjours.



**Figure 19:** Variation du poids moyen sec des plantules d'orge dans le sable.

Les poids secs des plantules les plus élevés sont enregistrés par les biochars ayant des concentrations de 0,5% et 1%, produits à une température de pyrolyse de 300°C pendant 4h et 5h avec des moyennes de 0,503g et 0,504 g par plantule respectivement. Les poids secs des plantules les plus faibles sont enregistrés par les biochars ayant des concentrations

respectives de 1 et 2% et produits à des températures de pyrolyse de 400°C pendant 4h et 5h avec des moyenne respectives de 0,066 g et 0.057g par plantule. Il est à noter que les plantules témoins ont enregistré les poids moyen sec les plus faibles avec une moyenne de 0.043g.

### **1.1.3. Comparaison entre les deux substrats de culture**

Les résultats d'analyses des variances, illustrés dans le tableau ci-dessous, indiquent une grande disparité entre les substrats de cultures pour la majorité des traits étudiés à l'exception des longueurs des coléoptiles au 3ème jour de germination et le poids frais des plantules de la laitue. Des différences très hautement significatives ( $P \leq 0,001$ ) ont été enregistrées entre les substrats de cultures pour les pourcentages de germination (premier jour), les longueurs des racines au 8ème jour, la longueur des parties aériennes aux 3<sup>ème</sup> et 8ème jours et le poids moyen frais et sec des plantules de la laitue. Cela indique que le substrat de culture (sable ou macérat gélosé de biochar) a un impact considérable sur les paramètres étudiés.

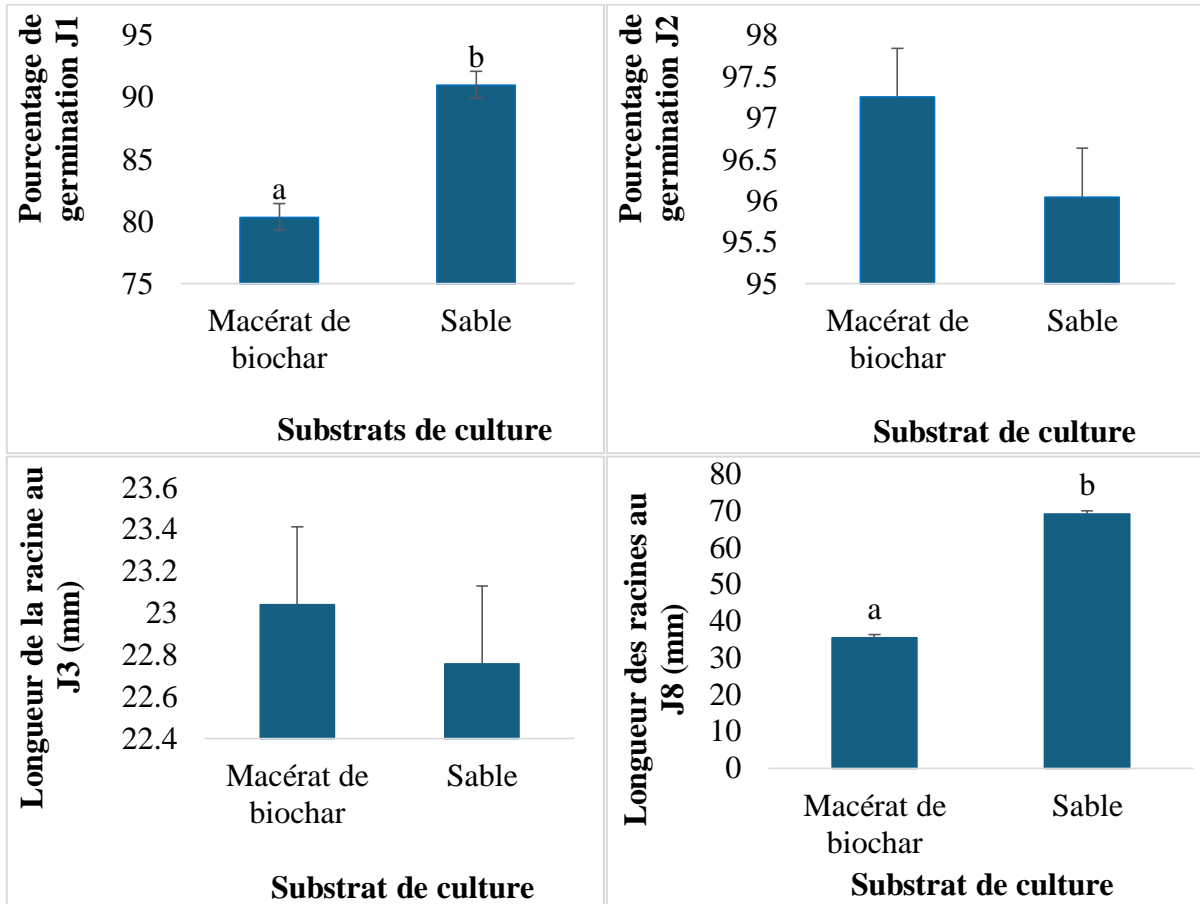
**Tableau 21:** Analyse des variances comparant les substrats de cultures.

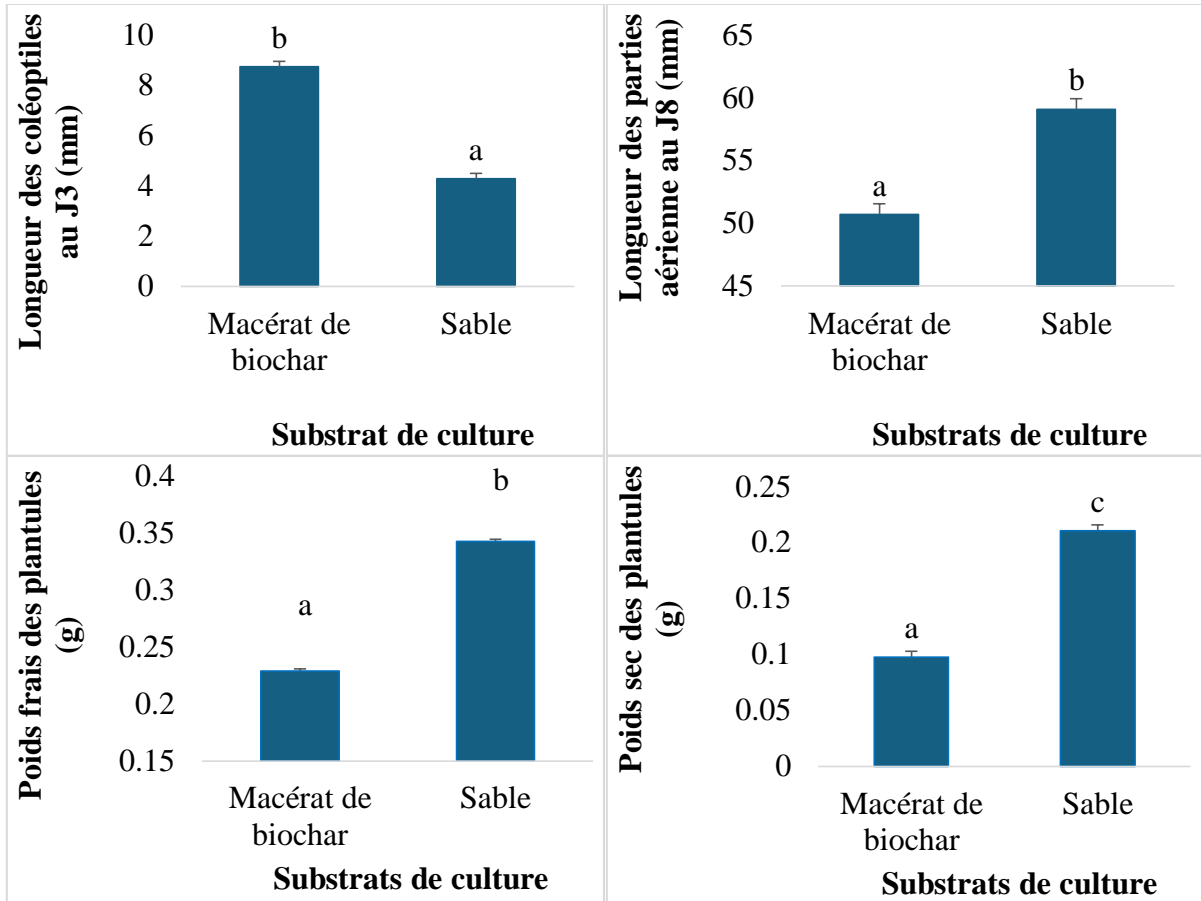
<b>Paramètres</b>	<b>SCE</b>	<b>ddl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Premier jour de germination	5872,105	1	5872,105	63,711	0***
Deuxième jour de germination	9,984	1	9,984	,353	0,553ns
Longueur des racines au 3ème jour	4,852	1	4,852	0,083	0,773ns
Longueur des racines au 8ème jour	71175,64	1	71175,644	325,001	0***
Longueur des coléoptiles au 3ème jour	645,435	1	645,435	24,733	0***
Longueur des parties aériennes au 8ème jour	9241,035	1	9241,035	30,734	0***
Poids frais des plantules	0,364	1	0,364	54,034	0***
Poids sec des plantules	0,397	1	0,397	122,538	0***

Les graphiques de la figure (20) illustrent les variations des différentes paramètres étudiier en fonction du substrat de culture.

Pour l'ensemble des paramètres de croissance mesurés, il est claire que le mélange sable-biochar a permis d'obtenir des résultats plus intéressants par rapport au macérat gélosé de biochar, à l'exception des paramètres germination au deuxième jours, longueur des racines au 3ème jour et la longueur des coléoptiles au 3<sup>ème</sup> jour où les résultats obtenus par les graines semis dans le macérat étaient meilleures .

Pour les longueurs des racines au 8ème jour de germination, les valeurs enregistrées par le sable étaient de 68.27% et les résultats enregistrés par le macérat de biochar étaient de 23,041 mm.





**Figure 20:** Variation des paramètres mesurés en fonction du substrat de culture.

Pour la longueur de la coléoptile au 8ème jour de germination, les valeurs enregistrées par le sable étaient de 69.27% et les résultats enregistrés par le macérat de biochar étaient de 8.74% mm

Pour les poids frais et secs des plantules, les valeurs enregistrées par le sable étaient respectivement de 0,343 g et 0,211 g par plantule et les résultats enregistrés par le macérat de biochar étaient de 0,229 g et 0,098 g par plantule (Fig. 20).

## 2. Discussion

Les performances et les mécanismes du biochar dans l'amélioration de la fertilité des sols peuvent être utilisés comme source de nutriments pour augmenter la fertilité des sols, améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol, stocker les nutriments, et agir comme un engrais à libération lente, améliorant les propriétés biologiques du sol (Ding *et al.*, 2016).

Afin de déterminer l'impact potentiel des substances toxiques, cette étude s'est concentrée sur l'effet du biochar de grignon d'olive, produit à différentes températures de pyrolyse (300°C, 400°C, et 500°C) et durée (3h, 4h et 5h) sur des tests de germination de graines de l'orge, considéré comme plante résistante. Les tests ont été menés sur du macérat de biochar et du sable à base de biochar en utilisant plusieurs concentrations de biochar (0%, 0,5%, 1%, 2%, 4% et 8%).

Pour les deux substrats de culture, dans la première expérience de test, la germination de l'orge a été retardée après 20 h mais s'est rétablie dans les 44 h. Ces résultats correspondent à ceux de (Bargmann *et al.*, 2013) qui ont effectué des tests de germination avec du sable. A un taux d'application de 10 %, la germination a été retardée au cours de la première semaine dans certains traitements, mais s'est rétablie dans les 14 jours, alors que le biochar n'a pas eu d'effet, et nous avons observé une croissance similaire des plantes d'orge à travers les différents traitements. L'orge est en effet sensible aux différentes sources de carbone et aux conditions du sol, et cette sensibilité peut avoir un impact sur sa croissance et son développement (Boufenar & Zaghuan, 2006).

Sur la base de nos résultats, il est clair que le biochar a un effet positif sur les paramètres de croissance de l'orge dans les deux substrats de culture. Il n'y a pas eu d'effet particulier des températures et de la durée de la pyrolyse sur les paramètres de croissance de l'orge. Seule la température de 500°C qui a affecté négativement la germination et le développement de l'orge.

Les résultats obtenus s'alignent sur des études antérieures démontrant les effets bénéfiques du biochar sur la croissance des plantes. Carter *et al.* (2013) ont montré que l'application de biochar augmentait de manière significative divers paramètres de croissance des plantes et les caractéristiques morphologiques des racines des cultures par rapport au groupe témoin. En outre, des études telles que celles d'Uzoma *et al.* (2011) et d'Usman *et al.* (2016) ont signalé une augmentation de la croissance, du rendement et de l'absorption des nutriments des plants de maïs et de tomates, respectivement, avec l'application de biochar.



Aucun effet négatif du biochar de coque d'arachide sur la germination de l'orge n'a été rapporté par Busch *et al.* (2012).

Le poids frais et sec des plants d'orge a été significativement affecté par l'application de biochar, les deux poids ont augmenté par rapport au contrôle. L'augmentation du poids frais et sec des plantules causées par l'application de biochar peut être attribuée à une diminution de l'élément toxique par le processus de pyrolyse. Des études antérieures ont fait état d'une amélioration des performances de croissance des plantes grâce à l'application de biochar (Naeem *et al.*, 2017)

Alors que le sable joue un rôle crucial dans le drainage de certaines cultures, le biochar de macérat se distingue comme un amendement de sol supérieur en raison de sa capacité unique à absorber efficacement les éléments nutritifs. Cette propriété améliore non seulement la croissance des plantes, mais aussi la santé générale du sol en favorisant l'activité microbienne bénéfique et en améliorant la disponibilité des nutriments au fil du temps (Lehmann et Joseph, 2009).

Les résultats obtenus lors des deux tests de phytotoxicité n'ont révélé aucun effet négatif du biochar de grignon d'olive sur la germination, ce qui constitue une première indication qu'il peut être utilisé en toute sécurité dans l'agriculture.

# *Conclusion*

## **Conclusion**

Notre projet s'est concentré sur la production de biochar à partir de grignon d'olive en utilisant différentes températures et durées de pyrolyse, et l'évaluation de la phytotoxicité du biochar produit afin de sélectionner le meilleur.

Les techniques utilisées dans notre étude comprenaient la production de biochar, l'évaluation de la phytotoxicité du biochar à l'aide de tests de germination de l'orge dans un macérat de biochar agar, suivis de tests dans du sable et un mélange de sable et de biochar.

Les résultats de la germination ont montré une amélioration significative des taux de germination dans le sable traité avec du biochar. Les graines ont germé plus rapidement et plus uniformément, ce qui indique un environnement de sol plus favorable.

Les paramètres de croissance tels que la hauteur des plantes, la biomasse et le développement des racines des graines d'orge ont tous bénéficié de l'application du biochar. Les plantes ont montré une croissance plus vigoureuse.

Il est important de noter qu'aucun signe de phytotoxicité n'a été observé dans les plantes traitées sauf à la température de pyrolyse de 500°C. Cela confirme que l'utilisation de biochar à des concentrations appropriées est sans danger pour les cultures.

En conclusion, l'utilisation de biochar offre un potentiel considérable pour l'amélioration durable de la productivité agricole, sans risque de phytotoxicité pour les cultures étudiées.

Dans l'ensemble, cette étude fournit des informations précieuses sur les effets positifs du biochar sur la santé des sols et des plantes, suggérant son potentiel en tant que pratique agricole durable.

## *Références bibliographiques*

## **Références bibliographiques**

- Lange S F, Propriétés Centre de Allaire SE, Charles A., Auclair, I., Bajzak CE (2018) physicochimiques de 43 biochars. CRMR-2018-SA1. Recherche sur les Matériaux Renouvelables, Université Laval et GECA Environnement, Québec, Qc, Canada, 60 p. DOI :10.13140/RG.2.2.25450.41 924, 7 à 22
- Allaire S et Lange S.(2013) : le biochar dans les milieux poreux une solution miracle en environnement ?, Biochar in protous media :the solution considering environmental aspects ?, Vecteur environment. 3 à 7
- Berard A et pelte T.(1999) : Les herbicides inhibiteurs du photosystème II, effets sur les Communautés algales et leur dynamique The impact of photo system II (PS I) inhibitors on algal, Communities and dynamics,Journal of Water Science, 4 à 5.
- Duval B et Marcoux A.(2022) : Phytotoxicités causées par les herbicides en grandes culture : causes et diagnostic, Réseau D'Avertissements Phytosanitaires, 01
- Dias M.(2012) : Phytotoxicity An Overview of the Physiological Responses of Plants Expose to Fongicides, Journal of Botans, University of Aveiro, 01
- FAO (2020): site official Food and agriculture organisation, the state of Food and agriculture, l'agriculture durable 2
- Ware G. Whitacre D. (2004) : An Introduction to Insecticides (4th edition),Extracted from The Pesticide Book, University of Arizona. 01.
- Shahid M.(2010) : Induction de la phytotoxiante du plomb chez vicia Faba L : Rôles de l'absorption et la spéciation.Science de la Terre.Institut National polytechnique de Toulouse, Thèse doctorat. 20.
- Rhône A. (2007) :des pesticides,Tableau DE SANTÉ-Environnement,RÉGION RHÔNE-ALPES, Observatoire régional de la santé, 01
- Mylavarapu R. Ndir V. (2013) : An Introduction to Biochars and Their Uses in Agriculture1,Article in EDIS, university of FLORIDA, 2 à 3
- Kellermann M. Zidi N. Levesque V.(2021) : Biochars in Temperate soils oportunities and challenges, Canadian Journal of soil science.

[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.). *European Scientific Journal*, ESJ, 18 (24), 47.]

Bergeron K et Barriault E.(2018) : Risque de Phytotoxicité. Réseau d'avertissements phytosanitaire, 1

Charles J. Sancey B. Crini N. M. Badot P. M. Degiorgi F. Trunfio G. Crini G.(2011) : Evaluation of the Phytotoxicity of polycontaminated industrial effluents using the lettuce plant (*lactuca sativa*) as bioindicator, *Ecotoxicology and environmental safety journal homepage*, université de Franche-comté ; 1

Bargmann et al. (2013). Hydrochar and Biochar Effects on Germination of. doi:10.1111/jac.12024

Boufenar and zaghouan. (2006). Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie. ITGC.

Ding Y., Liu Y., Liu S., Li Z., Tan X., Huang X., Zeng G., Zhou L., Zheng B., 2016. Biochar to improve soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(2). <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0372-z>

Lehmann & Joseph. (2009). In B. f. Introduction, *Biochar for Environmental Management*. london.

## Résumé

Ce projet a permis de produire du biochar à partir de grignon d'olive à différentes températures de pyrolyse (300, 400 et 500°C) et pendant différentes durées (3, 4 et 5 heures), et d'évaluer la phytotoxicité du biochar sur l'orge.

Le biochar a amélioré de manière significative les taux de germination et les paramètres de croissance des plantes sans montrer de phytotoxicité sauf pour la température de pyrolyse de 500°C.

Dans l'ensemble, l'utilisation du biochar et des biofertilisants permet d'améliorer durablement la productivité agricole.

**Mots-clés** : Biochar, biofertilisants, orge, pois, croissance des plantes, phytotoxique, biofertilisant liquide, biofertilisant solide.

## Abstract

This project produced biochar from olive pomace at various pyrolysis temperatures (300, 400, and 500°C) and durations (3, 4, and 5h), assessed biochar phytotoxicity on barley seedling.

Biochar significantly improved germination rates and plant growth parameters without showing phytotoxicity except for the pyrolysis temperature of 500°C.

Overall, the use of biochar as biofertilizers offers sustainable improvements in agricultural productivity.

**Keywords**: Biochar, Biofertilizers, Barley, Pea, Plant Growth, phytotoxic, liquid biofertilizer, solid biofertilizer.

## الملخص

تم من خلال هذا المشروع انتاج الفحم الحيوي من مخلفات عصر الزيتون في درجات حرارة مختلفة للتحلل الحراري (300 و400 و500 درجة مئوية) ومدد مختلفة (3 و4 و5 ساعات)، وتم تقييم السمية النباتية للفحم الحيوي على شتلات الشعير.

لقد أدى الفحم الحيوي إلى تحسين معدلات الإنبات ونمو النبات دون أن يظهر سمية نباتية ما عدا درجة الحرارة 500 درجة مئوية.

وفي الختام، يقدم الفحم الحيوي ممارسة زراعية مستدامة واعدة يمكن استخدامها لتعزيز صحة التربة والنبات.

**الكلمات المفتاحية**: الفحم الحيوي، والأسمدة الحيوية، والشعير، والبازلاء، ونمو النبات، والسماذ الحيوي السائل، والسماذ الحيوي الصلب.