

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
كلية العلوم
Dpartement D' Agronomie
Skikda le : 07/07/2025



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
1955 - سكيكدة

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné : M^{me} Souilah Nabila Président de Jury

- Certifie que : L'étudiant (e) : Kedadria Amel

Spécialité : Amélioration des plantes

Intitulé : Etude de l'effet de différents types d'amendement organique sur les paramètres morphologiques et physiologiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.)

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.

Président de Jury





الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
كلية العلوم
Dpartement D' Agronomie
Skikda le : 07/07/2025



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
1955 - سكيكدة

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné : M^{me} Souilah Nabila Président de Jury

- Certifie que : L'étudiant (e) : Haddad Malak

Spécialité : Amélioration des plantes

Intitulé : Etude de l'effet de différents types d'amendement organique sur les paramètres morphologiques et physiologiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.)

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.

Président de Jury



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
كلية العلوم
Dpartement D' Agronomie
Skikda le : 07/07/2025



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
1955 - سكيكدة

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné : M^{me} Souilah Nabila Président de Jury

Certifie que : L'étudiant (e) : Hacida Abd El Malek

Spécialité : Amélioration des plantes

Intitulé : Etude de l'effet de différents types d'amendement organique sur les paramètres morphologiques et physiologiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.)

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.

Président de Jury



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université 20 Aout 1955 Skikda

Faculté des sciences

Département de sciences Agronomiques



Filière : Sciences Agronomique

Option : Amélioration des plantes

Mémoire de fin d'études :

En vue de l'obtention du diplôme de Master II en Amélioration des plantes

Thème :

Etude de l'effet de différents types d'amendement organique sur les paramètres morphologiques et physiologiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.)

Présenté le :

- Haddad Malak
- Kedadria Amel
- Hacida Abd El Malek

Membre de Jury:

M ^{me} Souilah Nabila	(MCA)	Présidente	Université du 20 Août 1955 – Skikda
M ^{me} Bounouara Zohra	(MCA)	Examineur	Université du 20 Août 1955 – Skikda
M ^{me} Larit Sabah	(MCA)	Promoteur	Université du 20 Août 1955 – Skikda

Année universitaire : 2024-2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENT

Tout d'abord, nous tenons à remercier Dieu Tout-Puissant pour le courage et la force Qu'il nous a donnée afin de mener ce travail, et pour les bonnes personnes qu'il a mis sur notre chemin.

*Nos vifs remerciements sont également adressés à notre encadreur **LARIT SABAH**; Il a contribué par sa constante disponibilité et ses conseils à l'élaboration de ce mémoire. Nous avons appréciés ses qualités humaines, nous lui adressons tous nos respects.*

*Nous tenons à remercier également les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail: **Mme SOULLAH NABILA**. et **Mme BOUINDOUARA ZOHRA** pour leur aide dans la réalisation de cette mémoire.*

*Mes vifs remerciements et mes profondes gratitude s'adressent à sou-encadreur **RABIA NEGRECHE**, pour suivi, sa patience, ses conseils.*

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, tant au niveau de l'orientation, qu'au niveau de la documentation, ou de la mise en forme.

Dédicaces

Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU

De m'avoir donné la force et le courage de mener

à bien ce modeste travail.

Je tiens à dédier cet humble travail à :

A ma tendre mère MDUNI et mon très cher père SALAH

A ma sœur : SARA

A ma meilleurs ami : SYRINE

A mes frères : ZAID ; KHALIL ; ABD ERAHMANE

Tout ceux qui m'aiment et que j'aime.

Malak

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Avec tous mes sentiments de respect, je dédie ce Modest travail et ma joie à:

Dieu d'abord et avant tout.

*A moi-même, merci pour vos efforts, votre fatigue, votre endurance, votre
vigilance et vos défis à toutes les difficultés, je vous souhaite toujours du
succès et de l'excellence,*

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la Flamme de mon Cœur,
ma vie, et mon bonheur ; MAMAN.*

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien Moral et Source de
joie, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir Réussir, mon père nous prions
pour que la terre lui soit légère et que Dieu l'accueille en son paradis.*

A ceux qui m'ont soutenu, encouragé

Moralement et toujours à mes côtés :

A Ma jumelle d'Amour samek merci pour votre amour unique, votre complicité et votre présence constante dans ma vie

A Mes sœurs merci pour votre amour, votre soutien et votre présence constante. Vous êtes un véritable trésor dans ma vie. Je vous aime de tout mon cœur."

A Mes frères merci pour votre soutien, votre protection et votre présence précieuse. Vous êtes une force et une fierté dans ma vie. Je vous aime énormément."

A mes belles-sœurs merci pour votre gentillesse, votre soutien et votre présence chaleureuse. Vous faites partie de notre famille avec tant d'amour et de respect. Je vous suis profondément reconnaissante."

Aux joies de maison : ranim, siradj, yazan, djawad

Aux tous la famille kedadria

A mes chères amies : roumaïssa , bouckra , rana , khouloud , mima , oumi , nari , khawla , meriem rania , boutaina , amani

, "Merci pour tout le bonheur, les sourires et la joie que vous avez apportés dans ma vie depuis que vous en faites partie."

A mes chère cousin et cousines "Merci pour votre affection, votre bonne humeur et les beaux moments partagés. Vous êtes une source de joie et de souvenirs inoubliables.

A mon belle binôme : Malak " merci pour ta présence, ton soutien et ta collaboration sans faille. Travailler avec toi a été un vrai plaisir et une belle expérience. Ensemble, on a formé une équipe au top.

A mon amis et sous encadrant NEGRECHE RABIA merci pour sa patience, son écoute et son soutien constant. Je dédie également tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

Amel

Dédicaces

Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux,

Je rends grâce à Dieu de m'avoir accordé la patience, la force et la persévérance nécessaires pour atteindre cette étape de mon parcours.

Je dédie ce mémoire avec amour et une profonde gratitude :

À ma chère mère, source inépuisable de tendresse et de prières, qui n'a jamais cessé de croire en moi.

À ma sœur, ma complice de toujours, exemple de courage et de soutien inconditionnel.

À mes fidèles amis : Aymen, Haidou, Tijo, Chemssou et Rami. Merci pour les fous rires, les encouragements, et pour votre présence précieuse, aussi bien dans les moments de doute que dans ceux de joie.

À toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à ce travail, par un mot, une aide ou une pensée bienveillante. Que chacun trouve ici l'expression de ma reconnaissance.

Malek

RESUME EN FRANÇAIS

Titre : Etude de l'effet de différents types d'amendement organique sur les paramètres morphologiques et physiologiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.)

Résumé

Cette étude vise à évaluer l'effet des amendements organiques (biochar et compost) et minéraux (engrais chimiques) sur les caractéristiques morphologique et physiologique, ainsi que le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) variété vitron. L'essai a été conduit dans les serres pédagogiques de l'Université du 20 Août 1955 à Skikda. Six traitements (T0 à T5) ont été appliqués, combinant différentes doses de biochar, compost et engrais minéraux.

Les résultats ont montré que le traitement **T3 (biochar + compost + engrais)** a permis les meilleures performances globales : augmentation de la surface foliaire, des teneurs en chlorophylle a+b (jusqu'à 10.22 µg/g MF), amélioration de la rétention d'eau (57 %), et meilleur rendement (27.4 q/ha). Le traitement **T5 (compost seul)** s'est distingué par une forte teneur en eau foliaire (76 %) et un taux élevé de matière organique (3.9 %) et de carbone organique (2.22 %). Les effets négatifs d'une forte dose de biochar (**T2**) ont également été constatés, en lien avec la réduction de la disponibilité de certains nutriments

En conclusion, l'utilisation conjointe du biochar et du compost constitue une stratégie durable et efficace pour améliorer la fertilité du sol, stimuler la croissance des cultures et réduire la dépendance aux intrants chimiques.

Mots-clés : Biochar, Compost, Blé dur (*Triticum durum* Desf.), Sol, Rendement, Chlorophylle, Amendement organique.

RESUME EN ENGLAIS

Title : Study of the Effect of Different Types of Organic Amendments on the Morphological and Physiological Parameters of Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.)

Abstract

This study aims to evaluate the effects of organic amendments (biochar and compost) and mineral fertilizers on morphological and physiological traits, and yield of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) variety vitron. The experiment was conducted in the **pedagogical greenhouses of the University of August 20, 1955, in Skikda**. Six treatments (**T0 to T5**) were tested, combining different doses of biochar, compost, and mineral fertilizers.

Results showed that treatment **T3 (biochar + compost + fertilizer)** led to the best overall performance: increased leaf area, highest chlorophyll a+b content (10.22 µg/g FW), enhanced water retention capacity (57%), and the best yield (27.4 q/ha). **T5 (compost only)** stood out for its high leaf water content (76%), and the highest organic matter (3.9%) and organic carbon (2.22%) levels. Negative effects of high biochar doses (**T2**) were also observed, likely due to reduced nutrient availability

In conclusion, the combined use of biochar and compost is a sustainable and effective strategy to enhance soil fertility, promote plant growth, and reduce reliance on chemical inputs.

Keywords: Biochar, Compost, Durum wheat(*Triticum durum* Desf.), Soil, Yield, Chlorophyll, Organic amendment.

RESUME EN ARABE

العنوان: دراسة تأثير أنواع مختلفة من التعديل العضوي على المعايير المورفولوجية والفسولوجية للقمح الصلب (*Triticum durum* Desf.)

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير التعديلات العضوية (البيوشار والكمبوست) والمعدنية (الأسمدة الكيميائية) على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، والنمو المورفولوجي والفسولوجي، والمردودية عند القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.) صنف *vitron*. نُفذت التجربة في البيوت البلاستيكية البيداغوجية بجامعة 20 أوت 1955 بسكيكدة وشملت ست معاملات من (T0) إلى (T5) جمعت بين جرعات مختلفة من البيوشار، الكمبوست والأسمدة المعدنية.

أظهرت النتائج أن المعاملة T3 (بيوشار + كمبوست + سماد) حققت أفضل أداء عام: زيادة في المساحة الورقية، أعلى محتوى من الكلوروفيل a+b (10.22 ميكروغرام/غ من المادة الطرية)، تحسن في قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء (57%)، وأفضل مردودية (27.4 قنطار/هكتار). أما المعاملة T5 (كمبوست فقط) فقد تميزت بأعلى محتوى ماء في الأوراق (76%)، وبنسبة عالية من المادة العضوية (3.9%) والكربون العضوي (2.22%). كما لوحظت آثار سلبية للجرعة المرتفعة من البيوشار (T2) على توافر المغذيات.

ختامًا، يُعدّ الاستخدام المشترك للبيوشار والكمبوست استراتيجية فعّالة ومستدامة لتحسين خصوبة التربة، دعم نمو المحاصيل، وتقليل الاعتماد على المدخلات الكيميائية.

الكلمات المفتاحية: بيوشار، كمبوست، القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.)، التربة، المردودية، الكلوروفيل، تعديلات عضوية.

Liste des tableaux

Liste des Tableaux

N°	Titre	page
01	Classification botanique du blé dur (A.C.I.A, 2006)	4
02	Protocole expérimental de notre étude	19
03	l'origine et caractéristique (Ait –kaki, 2008).	22
04	Résultats des analyses physiques et chimiques du profil 01.	27
05	Caractéristiques physiques et chimiques du sol des différents traitements	28

Liste des Figures

Liste des Figures

N ^o	Titre	page
01	Morphologie des graminées (exemple du blé) (soltner 1998)	6
02	Phase Levée-Début tallage (Boyeldieu, 1997)	7
03	Culture de céréale au Stade de tallage (Boyeldieu, 1999)	8
04	Le site expérimental, présentation des blocs de traitements (randomisation total) et la mise en place de la culture de blé	19
05	Détermination de la densité apparente par la méthode de cylindre...	20
06	La mesure de pH	21
07	La Mesure de CE	21
08	La Mesure de MO	22
09	Photos originale de la variété de blé dur <i>Triticum durum</i> Desf. (VITRON)	23
10	préparation pour mesurer la chlorophylle	25
11	Photo représentative du profil...	26
12	Effet des amendements organique sur la teneur en eau chez le blé dur	29
13	Effet des amendements organique sur la longueur de la plante chez le blé dur	30
14	Effet des amendements organique sur la longueur de l'épi avec barbe chez le blé dur	31
15	Effet des amendements organique sur la longueur de l'épi sans barbe chez le blé dur	31
16	Effet des amendements organique sur la longueur du col chez le blé dur	32
17	Effet des amendements organique sur la longueur de la tige chez le blé dur	33
18	Effet des amendements organique sur la surface foliaire chez le blé dur	34
19	Effet des amendements organiques sur la teneur en chlorophylle a chez le blé dur	34
20	Effet des amendements organique sur la teneur en chlorophylle b chez le blé dur	35
21	Effet des amendements organique sur la teneur en chlorophylle a+b chez le blé dur	35
22	Effet des amendements organique sur le nombre d'épis chez le blé dur	36
23	Effet des amendements organique sur le nombre des graines par épi chez le blé dur	37

Liste des abréviations

Liste des Abréviations

Cm	Centimètre
μS/cm	Microsiemens per centimeter
LT	Hauteur de tige
Lp	Longueur de plante
SF	Surface foliaire
TRE	Teneur relative en eau
g	Gramme
μg	Microgramme
μg /L	Microgramme / Litre
%	Pourcentage
T	Traitement

Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction	1
Partie I : Revue Bibliographique	
Chapitre 1 : La culture de blé dur	
1. Origine de blé dur	3
2. Importance économique du blé	3
3. Classification du blé dur	4
4. Description morphologique	5
4.1. L'appareil végétatif	5
4.2. L'appareil reproducteur	5
5. Stades phénologiques de la plante	6
5.1. La période végétative	6
5.2. La période reproductrice	8
6. Exigences du blé	9
6.1. Exigences édaphique	9
6.2. Les exigences climatiques	9
Chapitre 2 : Les amendements organiques	
1. Les amendements organiques	11
2. La fertilité du sol	11
3. Différents type d'amendements organiques	11
3.1. Fumier	11
3.2. Compost	12
3.3. Biochar	12
3.3.1. Définition du biochar	12

3.3.2. Les propriétés physiques et chimiques de biochar	13
3.3.2.1 Les propriétés physiques	13
3.3.2.2. Les propriétés chimiques	14
3.3.3. Effet du biochar sur les propriétés physiques et chimiques du sol	14
3.3.4. Technique et méthode de production du biochar	15
3.3.4.1. Technique de production de biochar de très haute qualité développée paronatura (pro-Nature)	15
3.3.4.2. Méthode : Carbonisation par la Machine carbo char	16

Partie II : Etude expérimental

Chapitre 1 : Matériel et méthode

1. L'objectif de l'essai	18
2. Expérimentation sur terrain et caractéristique technique du champ expérimental	18
Erreur ! Signet non défini.	
2.1. Préparation du site expérimental	18
2.2. Les amendements et engrais d'épandage	18
2.3. Les traitements et activation de biochar	19
2.4. Méthodes d'analyse du sol au laboratoire	20
3. Matériel végétal	22
4. Méthode de mesure des différentes caractéristiques de la culture	23

Chapitre 2 : Résultat et discussion

1. Effet de biochar sur les caractéristiques du sol	26
1.1. Caractéristiques morphologiques et analytiques du profil pédologique de la parcelle agricole du site expérimental (Sol témoin)	26
1.1.1. Description morphologique	26
1.1.2 Résultats analytiques du profil	27
1.1.3. Caractéristiques synthétiques et interprétation du profil pédologique	28
1.1.4. Effet des amendements organique sur les caractéristiques physiques et chimiques du sol des différents traitements	28

Table des matières

2. Effet des amendements organiques sur caractéristiques morphologiques et la production du blé dur	29
2.1. Effet sur la teneur en eau	29
2.2. Effet sur la longueur de la plante	30
2.3. Effet sur la longueur de l'épi avec barbe	31
2.4. Effet sur la longueur de l'épi sans barbe	31
2.5. Effet sur la longueur du col	32
2.6. Effet sur la longueur de la tige	33
2.7. Effet sur la surface foliaire	33
2.8. Effet sur la teneur en chlorophylle a	34
2.9. Effet sur la teneur en chlorophylle b	35
2.10. Effet sur la teneur en chlorophylle a+b	35
2.11. Effet sur le nombre d'épis	36
2.12. Effet sur le nombre des graines par épi de blé dur	37
3. Discussion	38
Conclusion	40
Références bibliographiques	42



Introduction

Introduction

Le blé dur (*Triticum durum*) est l'une des cultures stratégiques les plus importantes dans les pays du bassin méditerranéen, où il est largement cultivé dans des zones à climat aride et, semi-aride. Ce type de blé joue un rôle significatif dans la sécurité alimentaire, étant une source principale d'énergie, et entre dans la fabrication de produits alimentaires essentiels tels que les pâtes et la semoule. Toutefois, sa culture fait face à des défis croissants liés aux changements climatiques, notamment l'augmentation des températures et la baisse des précipitations, ce qui affecte négativement sa productivité et la qualité des récoltes (**Abeledo et al., 2008 ; Bajji, 1999 cité dans Mouellef, 2010**). En outre, dans ces conditions, la baisse de la fertilité des sols devient un obstacle majeur à la productivité agricole.

La fertilité des sols dépend en grande partie de la disponibilité des nutriments majeurs (azote, phosphore et potassium) sous des formes assimilables par les plantes. Les matières organiques telles que le fumier et le compost représentent des sources naturelles importantes de ces éléments et contribuent à améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol. Elles jouent également un rôle clé dans le renforcement de l'activité biologique des sols, avec un impact positif sur la croissance végétale (**Dias et al., 2010 ; Schwartz et al., 2005 ; Soltner, 2003**).

Au cours des dernières années, le biochar est apparu comme une solution prometteuse pour améliorer durablement la fertilité des sols. Il s'agit d'un charbon végétal produit à partir de biomasse dans des conditions thermiques spécifiques (pyrolyse), caractérisé par sa capacité à stabiliser le carbone et à améliorer les propriétés physiques et chimiques des sols. Grâce à sa structure poreuse et sa stabilité chimique, le biochar est capable de fixer les nutriments, de réguler l'humidité et de favoriser la rétention du carbone. Plusieurs études ont montré qu'il pouvait renforcer la fertilité des sols et améliorer le rendement des cultures, surtout lorsqu'il est combiné à des fertilisants organiques ou chimiques (**Glaser et al., 2002 ; Jeffery et al., 2011 ; Ferhat, 2018 ; Negrech Rabia, 2023**).

Dans cette optique, se pose une problématique centrale : comment améliorer durablement la productivité du blé dans un contexte de dégradation des sols et de stress climatique croissant ? Bien que le biochar soit considéré comme une alternative prometteuse, ses effets réels sur la culture du blé, en particulier lorsqu'il est combiné par des amendements organiques ou minéraux, restent encore à approfondir.

Dans le cadre de cette étude, nous cherchons à évaluer l'effet à long terme de différents types d'amendements organiques, en particulier le biochar activé, sur les caractéristiques

Introduction

morphologiques et physiologiques du blé dur. Ce travail s'inscrit dans la continuité des recherches de **Negrech Rabia (2023)**, **Lecheheb Ouissem et al. 2024** qui ont porté sur l'impact du biochar activé par des engrais chimiques et du compost sur les propriétés du sol et le rendement de cette culture.

Les Objectifs spécifiques de ce travail visent à (1) Comparer l'effet à long terme du biochar combiné au compost et/ou engrais chimique sur les propriétés physiques et chimiques du sol, (2) Analyser l'influence de ces traitements sur les paramètres morphologiques (hauteur, biomasse, etc.) et physiologiques (taux de chlorophylle, croissance racinaire, etc.) du blé dur, et (3) Déterminer le traitement le plus efficace pour améliorer le rendement du blé dur dans des conditions climatiques défavorables.

Les hypothèses proposées sont :

-Le Biochar améliore les propriétés du sol et le rendement de la culture de blé.

-Le sol amendé en biochar activé par l'engrais chimique et le compost peut présenter un effet plus élevé sur le rendement de la culture de blé par rapport aux autres traitements.

Le document s'articulera sur les chapitres suivants :

Chapitre I : synthèse bibliographique

Chapitre II : matériel et méthodes

Chapitre III : Résultats et discussion.



**PREMIERE PARTIE : REVUE
BIBLIOGRAPHIQUE**

1. Origine de blé dur

Depuis la naissance de l'agriculture, le blé est la base de la nourriture de l'homme (Ruel, 2006), c'est une espèce connue depuis la plus haute antiquité, dont il constitue la base alimentaire des populations du globe (**Yves et Buyer, 2000**).

Pendant plusieurs siècles, il a été vénéré comme un dieu et associé à la pluie, l'agriculture et la fécondité (**Ruel, 2006**). La découverte du blé remonte à 15000 ans avant Jésus-Christ dans la région du croissant fertile, vaste territoire comprenant, la vallée du Jourdain et des zones adjacentes de Palestine, de la Jordanie, de l'Iraq, et la bordure Ouest de l'Iran (**Feldman et Sears, 1981 ; Mouellef, 2010**).

C'était à une époque où l'homme pratiquait déjà la cueillette et faisait ses débuts comme agriculteur. Cette période coïncidait avec un épisode climatique sec, aboutissant à l'arrêt du mode de vie de 'chasseur-cueilleur', et engendrant la domestication progressive des plantes, associée à la création des premières communautés villageoises (**Wadley et Martin, 1993 in Ouanzar, 2012**).

Le blé est l'une des principales ressources alimentaires de l'humanité. La saga du bléacompagne celle de l'homme et de l'agriculture, sa culture précède l'histoire et caractérise l'agriculture néolithique, née en Europe il y a 8000 ans. La plus ancienne culture semble être le blé dur dans le croissant fertile de la Mésopotamie (**Feillet, 2000**). Léon Ducellier (1878-1937) en particulier, parcourant le blé fit au début du siècle le recensement d'une flore mal connue. Il découvrit et analysé les nombreuses variétés, qui peuplaient les champs cultivés, recueillit les échantillons les plus caractérisés, les plus productifs, les plus résistants à la sécheresse ou à quelques maladies. Les blés ont d'abord évolué en dehors de l'intervention humaine, puis sous la pression de sélection qu'ont exercée les premiers agriculteurs (**Henry et Buysier, 2001**).

2. Importance économique du blé

Le blé est l'une des premières céréales cultivées et consommées dans le monde avec une production annuelle d'environ 600 millions de tonnes (Ricroch et al., 2011).

Les échanges qui se multiplient entre les régions du monde font de cette céréale l'un des principaux acteurs de l'économie mondiale (Laberche, 2004). La production du blé est surtout localisée dans le bassin méditerranéen d'une part (Europe du Sud, Moyen orient, Afrique du

Nord), et en Amérique du Nord d'autre part (Canada central et Nord des USA), où est produit le quart du blé dur mondial (Clerget, 2011).

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale du fait qu'ils occupent plus de 90% des terres cultivées. La consommation des produits céréaliers se situe à un niveau d'environ 305kg/hab/an (Chehat, 2007). Les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien, et elles fournissent plus de 60% de l'apport calorique et 75 à 80% de l'apport protéique de la ration alimentaire (Djermoun, 2009). La production céréalière en Algérie est fortement dépendante des conditions climatiques. Cela se traduit d'une année à l'autre par des variations importantes de la superficie agricole utile, de la production et du rendement. Ainsi, le manque de précipitations, mais aussi la mauvaise répartition des pluies pendant l'année expliquent en grande partie la forte variation de la production céréalière (Djermoun, 2009).

3. Classification du blé dur

Le blé dur (*Triticum durum* Desf.), est une monocotylédone de la famille des graminées, dont le fruit est sec et indéhiscant, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments. De la tribu des Triticées et du genre *Triticum* (A.C.I.A, 2006). Une classification détaillée est illustrée dans le tableau ci-dessous (Tableau N°1) :

Tableau (1) : Classification botanique du blé dur (A.C.I.A, 2006).

Embranchement	Angiospermes
Sous embranchement	Spermaphytes
Classe	Monocotylédones
Ordre	Glumiflorales
Super ordre	Comméliniflorales
Famille	Gramineae
Tribu	Triticeae
Sous tribu	Triticinae
Genre	<i>Triticum</i>
Espèce	<i>Triticum durum</i> Desf.

4. Description morphologique

Le blé est une plante herbacée annuelle à croissance définie, monocotylédone, appartenant au groupe des céréales à paille (Naville, 2005). Elle est constituée d'un ensemble de brins appelées talles, chaque talle est une entité comportant une tige feuillée, qui constitue la partie végétative, un épi qui est la partie reproductrice et un système racinaire (**Soltner, 2005**). (Figure 01)

4.1 L'appareil végétatif

A. Le système racinaire

Il comprend des racines séminales produites par la plantule durant la levée, ainsi que des racines adventives (latérales) qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent (**Bozzini, 1988**).

B. Le système aérien

Il est formé d'un certain nombre d'unités biologiques, les talles, les feuilles et les gaines. La talle est formée d'une tige feuillée ou chaume portant à son extrémité une inflorescence (Clarke et al., 2002). Les feuilles se composent d'une base (gaine) entourant la tige, d'une partie terminale qui s'aligne avec les nervures parallèles et d'une extrémité pointue.

Au point d'attache de la gaine de la feuille se trouve une membrane mince et transparente (ligule) comportant deux petits appendices latéraux, les oreillettes (**Bozzini, 1988**).

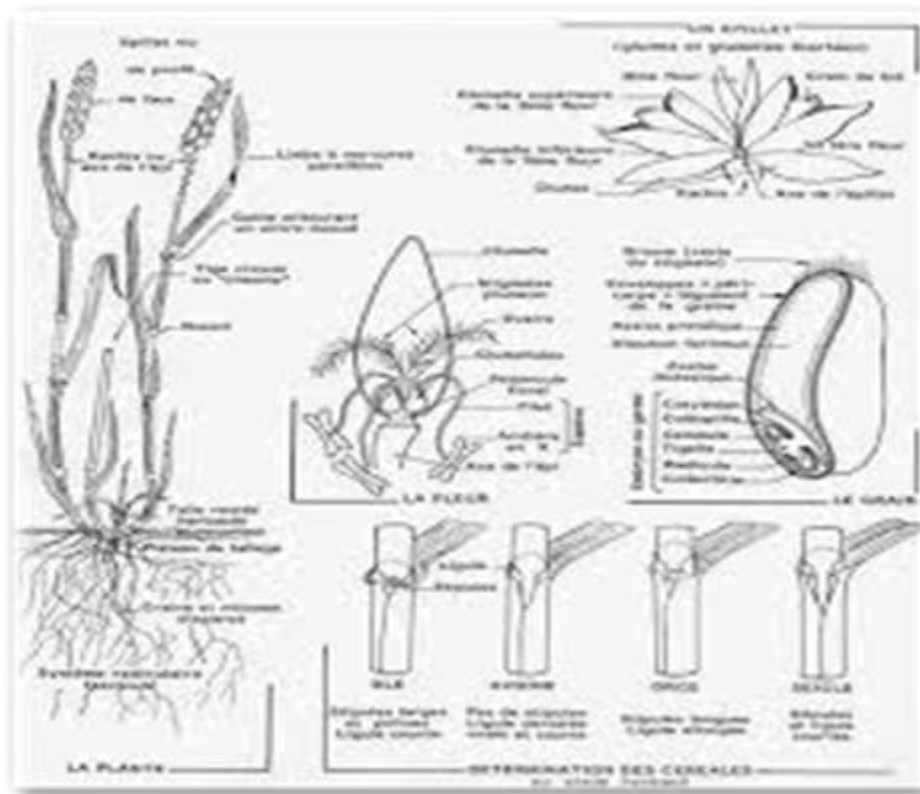
C. Les grains

Le fruit du blé est un grain dont la longueur varie entre 3-10 mm et un diamètre de 3-5 mm et est composé de l'enveloppe de fructification, suivie de la couche cornée, suivie de la couche d'aleurone, et sous la couche endosperme contient des cellules pleines de grains amidon attachés les uns aux autres par un réseau d'une substance protéique complexe connue sous le nom de gluten qui donne force et capacité à tenir et mâcher de la gomme. Un grain de blé mûr contient 2,5% d'embryon et 9 à 10% de fructification, 85 à 86% d'endosperme amylicé, 3 à 4% d'aléron (**Sallah edin A & all 2008**).

4.2.L'appareil reproducteur

L'inflorescence du blé est un épi. Ce dernier est constitué d'unités de base, les épillets. L'épillet est une petite grappe de un à cinq fleurs enveloppées chacune par deux glumelles (inférieure et

extérieur). La grappe est incluse entre deux bractées ou glumes, les fleurs sont attachées sur le rachis et son autogame (Anonyme, 2002).



(Figure 01) . Morphologie des graminées (exemple du blé) (Soltner 1998)

5. Stades phénologiques de la plante

5.2. La période végétative

- La phase Semis-Levée

Suite au semis, au moment de la germination, le coléorhisze s'épaissit en une masse blanchâtre et brise les téguments du grain au niveau du germe. Les racines primaires ou séminales, garnies de poils absorbants, apparaissent l'une après l'autre à partir du coléorhisze.

A l'opposé, le coléoptile qui couvre la première feuille s'allonge vers la surface du sol. Après son émergence, il se laisse percer par la première feuille (Kamel *et al.*, 2017).

L'apparition de la première feuille caractérise la levée, assez rapidement, on en voit une seconde, puis une troisième, le coléoptile jaunit et se dessèche progressivement, le grain se vide de sa substance, les racines primaires s'allongent tandis que le renflement qui est apparu à la partie supérieure du rhizome grossit pour former le plateau de tallage (Gauthier, 1991).

- **La phase Levée-Début tallage**

Dès que la première feuille a percé l'extrémité de la coléoptile, celui-ci s'arrête de croître et peu à peu se dessèche. Cette première feuille fonctionnelle s'allonge, puis apparaît une deuxième, puis une troisième, puis une quatrième feuille. Chacune d'elles est imbriquée dans la précédente, partant toutes d'une zone proche de la surface du sol et constituée de l'empilement d'un certain nombre d'entre-nœuds : le plateau de tallage. Celui-ci est formé de 4 à 5 nœuds, sa hauteur ne dépassant pas 3 à 4 mm. Il est relié au grain par une petite tigelle ou rhizome constitué de deux entre-nœuds (Figure N°02), (Moule, 1971).

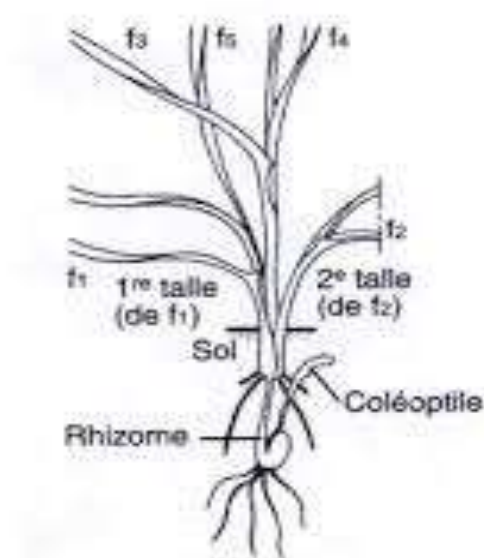


Figure N°(02) : Phase Levée-Début tallage (Boyeldieu, 1997).

- **La phase début tallage-début montée**

Le tallage est caractérisé par l'entrée en croissance de bourgeons différenciés à l'aisselle de chacune des premières feuilles : il s'agit donc d'un simple processus de ramification (Figure N° 03), (Boyeldieu, 1999).

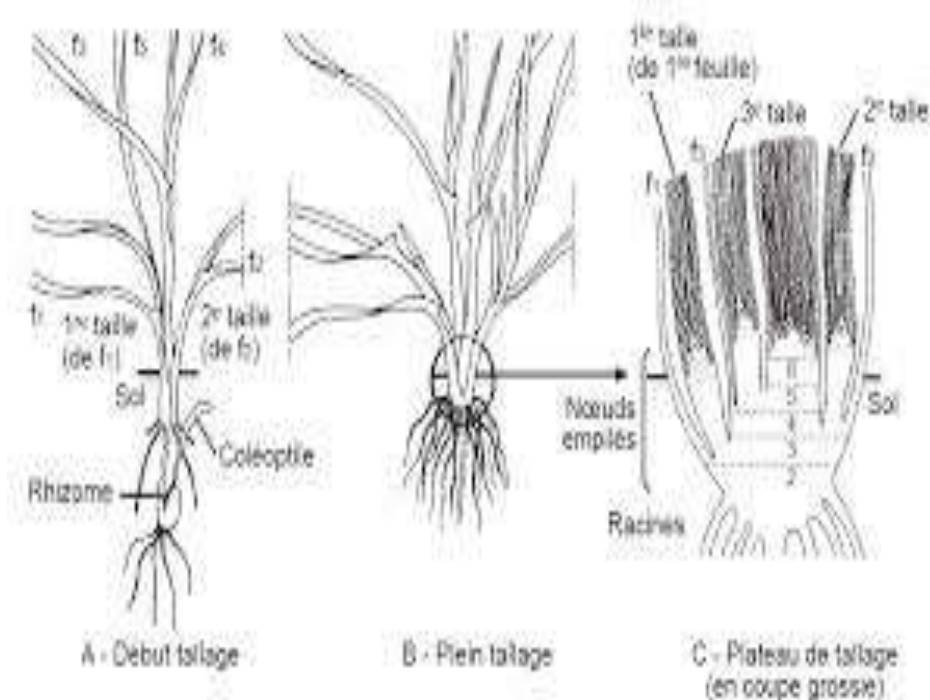


Figure N°03 : Culture de céréale au Stade de tallage (Boyeldieu, 1999).

5.3. La période reproductrice

La période reproductrice, qui désigne la formation et la croissance de l'épi pour le cas du blé de 123 à 167 jours (Soltner, 1982). D'après (Kamel et al., 2017), elle est traduite par la transformation du bourgeon végétatif en un bourgeon reproducteur. En fait, l'apex végétatif cesse de former des ébauches foliaires. Il s'allonge et se segmente en rides parallèles qui forment les ébauches des futurs épillets. Il va passer par les stades successifs suivants :

- **Initiation florale** : La période reproductrice débute par la différenciation et l'élongation des entre-nœuds de la tige principale (Moule, 1971).
- **La montaison et le gonflement** : Les entre-nœuds d'un certain nombre de talles herbacées s'allongent très rapidement, tandis que sur le demie nœud s'élève l'épi continuant à se forme. Les talles-épis entrent alors en concurrence avec celles n'ont pu monter faute de nourriture : ces dernières régressent et meurent (Soltner, 1990).
- **Le grossissement du grain** : correspond à la croissance de l'ovaire. Il s'agit d'une phase d'intense activité de la photosynthèse. Comme il n'y a plus de croissance des feuilles et des tiges, la matière sèche synthétisée dans les feuilles est entièrement destinée à l'accumulation de

la réserve. Mais à la fin de cette courte phase de 15 à 18 jours, 40 à 50% seulement de ces réserves se sont accumulées dans le grain. Celui-ci, bien qu'ayant sa taille définitive, est mou et encore vert. C'est le stade « Grain laiteux ». L'autre partie des réserves se trouve encore dans les tiges et les feuilles, qui commencent bientôt à jaunir (Soltner, 1990).

- **Fécondation et floraison** : le blé est une plante autogame, c'est-à-dire le pollen d'une fleur assure la fécondation de l'ovaire de la même fleur (Gauthier, 1991).

6. Exigences du blé

6.2.Exigences édaphique

Le blé exige un sol bien préparé, meulé et stable, résistant à la dégradation par les pluies d'hiver pour éviter l'asphyxie de la culture et permettre une bonne nitrification au printemps. Sur une profondeur de 12 à 15cm pour les terres battantes (limoneuses en générale) ou 20 à 25 cm pour les autres terres et une richesse suffisante en colloïdes, afin d'assurer la bonne nutrition nécessaire aux bons rendements (Soltner, 1990). Particulièrement un sol de texture argilo-calcaire, argilolimoneux, argilo-sableux ne présentant pas de risques d'excès d'eau pendant l'hiver. Les séquences de travail du sol à adopter doivent être fonction du précédent cultural, de la texture du sol, et de la pente. Le pH optimal se situe dans une gamme comprise entre 6 à 8. La culture de blé est modérément tolérante à l'alcalinité du sol dont la C.E.

6.3.Les exigences climatiques

- **La température**

La température à partir de laquelle un blé germe et pousse est de 0C°, cependant l'optimum se situe entre 20 et 22C°. Une température élevée est favorable au développement et à la croissance (Simon et al., 1989). Baldy (1992), Mekhlouf et al., (2001), situent les exigences en température pour les différents stades de développement du blé de la manière suivante :

-stade levée : la somme des températures = 120C°.

-stade tallage : la somme des températures = 450C°.

-stade plein tallage : la somme des températures = 500C°.

-stade épi 1cm : la somme de températures = 600C°.

- **L'eau**

L'eau joue un rôle important dans la croissance de la plante (Soltner, 1990), la germination ne se réalise qu'à partir d'un degré d'imbibition d'eau de 30%. En effet, C'est durant la phase épi 1Cm à la floraison que les besoins en eau sont les plus importants. La période critique en eau se situe entre 20 jours avant l'épiaison jusqu'à 30 à 35 jours après la floraison (Loue, 1982). C'est pour ça que le semis est toujours recommande en culture pluviale.

- **La lumière**

La lumière est le facteur qui agit directement sur le bon fonctionnement de la photosynthèse et le comportement du blé. En effet, un bon tallage est garanti, si le blé est placé dans les conditions optimales d'éclairément (Soltner, 1990). Une certaine durée du jour (photopériodisme) est nécessaire pour la floraison et le développement des plantes.

- **Fertilisation**

En particulier, dans les zones arides, l'amélioration de la fertilité et de la structure du sol peut être intégrée à travers des pratiques adéquates de la rotation des cultures (Morot Gaudry, 1997).

La fertilisation est raisonnée sur le principe de la restitution au sol des quantités d'éléments (N,P,K) fertilisants prélevés par les récoltes. Le blé à besoin de ces trois éléments essentiels et le rôle de chaque élément sur le plante de blé est le suivant (Hacini ,2014) :

-L'azote (N) : C'est un facteur déterminant du rendement, Il permet la multiplication et l'élongation des feuilles et des tiges.

-Phosphore(P) C'est un facteur de croissance qui favorise le développement des racines en cours de végétation.

-Potassium(K) Il régule les fonctions vitales de la croissance végétale, Il est nécessaire à l'efficacité de la fumure azotée, Il permet une économie d'eau dans les tissus de la plante.

1. Les amendements organiques

Les amendements organiques sont des composants minéraux ou organiques dont l'utilisation est principalement destinée à préserver ou à optimiser les caractéristiques physiques et chimiques ainsi que l'activité biologique des sols (**Schwartz *et al.*, 2005**). Il s'agit de produits qui renforcent la structure du sol avec des contributions limitées. L'objectif de cette contribution est d'obtenir un produit stable à forte teneur en humus. Ces produits fertilisants sont constitués principalement de mélanges carbonés d'origine végétale fermentée ou en cours de fermentation, destinés à la maintenance ou à la régénération du contenu organique du sol (**Soltner, 2003**).

2. La fertilité du sol

La fertilité du sol est la qualité d'un sol qui lui permet de fournir en quantités et proportions d'éléments chimiques essentiels pour la croissance de la plante (**Foth *et Ellis*, 1988; Subhash, 2014**). Elle se concentre sur un apport adéquat et équilibré d'éléments nutritifs pour satisfaire les besoins des plantes (**Foth *et Ellis*, 1988**).

3. Différents type d'amendements organiques

Le terme amendement organique englobe une vaste diversité d'intrants, présentant des caractéristiques très diverses. Les amendements organiques sont généralement des produits qui se composent principalement de résidus végétaux, qu'ils soient fermentés ou susceptibles d'être fermentés.

Cependant, on trouve également des amendements organiques qui contiennent une proportion réduite de végétaux, comme ceux fabriqués à partir de déjections animales.

3.1. Fumier

C'est l'ensemble des déjections animales mélangés avec des pailles. Ils sont utilisés depuis très longtemps en agriculture, surtout pour l'entretien du pool de matière organique dans le sol, mais possèdent aussi un effet bénéfique sur la stabilité structurale du sol. A noter que l'amendement organique se distingue de l'engrais organique, qui contient plus d'éléments fertilisants (**Villénave *et al.*, 1998**).

Il existe plusieurs types :

- Le fumier des fermes est une source importante d'humus par l'apport des déchets végétaux qu'il contient.

- Le fumier épandu en automne avant la tête de rotation doit être enfoui aussitôt pour diminuer les pertes d'azote.

- Les épandages de printemps limitent les risques d'érosion (**Bonin, 2006**).

3.2. Compost

Le compostage est un processus finalisé à la production de compost, un produit résultant de la dégradation des matières organiques en présence d'oxygène. Cette décomposition est réalisée par un écosystème complexe d'organismes vivants, comprenant des microorganismes tels que les champignons et les bactéries, ainsi que des insectes et des animaux plus grands tels que les cloportes, les larves de coléoptères, les myriapodes, les gastéropodes et les lombrics, parmi d'autres.

Selon différentes sources, le compostage peut être défini de diverses manières. Le décrivent comme la culture de la faune et de la flore naturelle du sol, stimulée par l'aération du tas de compost. (**Mustin, 1987**) le considère comme un processus biologique visant à décomposer les constituants organiques des sous-produits. Les Suisses (**Gobat et al., 1998**) décrivent le compostage comme un processus de traitement intensif des déchets organiques, optimisant les processus biologiques aérobies de dégradation et de stabilisation des matières organiques complexes.

La définition la plus précise du processus reste celle de (**Godden, 1995**), qui le décrit comme une transformation biologique des matériaux organiques divers.

3.3. Biochar

3.3.1. Définition du biochar

Le biochar est la partie solide produite par la pyrolyse, processus de dégradation d'une biomasse organique par la chaleur en absence d'oxygène. Il existe différents biochars, selon le matériel utilisé et la température de pyrolyse (**Brewer et al ; 2011**). Les biomasses organiques utilisées pour former le biochar sont d'origines végétales ou animales et riches en carbone comme le bois, les résidus de récoltes, les excréments d'animaux et les déchets organiques. Lors de la dégradation de la biomasse, trois phases sont générées par la pyrolyse.

Il y a une partie solide (biochar), une partie liquide organique (bio-huile) et une partie gazeuse. La quantité de chaque composante (gaz, liquide et biochar) est différente selon la méthode de pyrolyse utilisée. Plusieurs systèmes de pyrolyse existent. Les systèmes les plus utilisés sont les pyrolyseurs rapides et lents (**Brewer et al ; 2012, Bruun et al ; 2012**).

3.3.2. Les propriétés physiques et chimiques de biochar

3.3.2.1 Les propriétés physiques

- **La structure de biochar**

La structure du biochar est principalement amorphe, mais présente des structures cristallines locales composées de liaisons aromatiques. Le squelette carboné issu de la pyrolyse de matières organiques résulte en une porosité élevée du biochar. Les biochars dérivés de matériaux à base de bois ont tendance à être plus grossiers en raison de la structure du xylème, tandis que ceux produits à partir de résidus de cultures sont plus fins et présentent une structure plus résistante.

- **Surface spécifique**

Le biochar présente une grande surface spécifique, selon le matériau de base et le traitement. Obtenus à partir de la pyrolyse, les surfaces atteignent $20 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ jusqu'à $3000 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$

La quantité d'eau absorbée dépend directement de la surface, donc le biochar peut absorber de grandes quantités d'eau. Le processus d'adsorption d'eau sur la surface du biochar est régi par les groupes fonctionnels (Antal *et Grønli.*, 2003).

- **La porosité**

Les vides sont formés en tant que pores présents sous forme de macro- ($> 50 \mu\text{m}$), méso ($2-50 \mu\text{m}$) et micropores ($< 2 \mu\text{m}$) comme on le voit sur la figure... cidessous. Les ($< 2 \times 10^3$ grandes proportions de micropores de diamètre) est responsable de la zone de surface croissante, ce qui permet de réduire la mobilité du sol l'eau. La structure microporeuse du biochar est avantageuse pour la rétention d'eau dans le sol La structure microporeuse fournit un habitat pour la prolifération des organismes bénéfiques du sol. ()

- **La densité**

La densité apparente est liée directement à la porosité. En effet, plus il y a de vides dans un biochar, plus la densité apparente sera faible. Les relevés maximaux de densité réelle pour des biochars sont entre 2 et $2,1 \text{ g.cm}^{-3}$. La densité réelle augmenterait en fonction de la température de pyrolyse. Mais les valeurs moyennes de densité réelle se situeraient entre $1,5$ et $1,7 \text{ g.cm}^{-3}$.

Les densités apparentes sont en moyenne de $0,30$ à $0,43 \text{ g.cm}^{-3}$ (Downie *et al* ; 2009). Ce qui signifie que le biochar est un matériau très poreux avec 79 à 85 % de porosité.

3.3.2.2. Les propriétés chimiques

- **Le PH**

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

- **Conductivité électrique**

Les biochars produits à haute température (700 °C) présentent un pH et une conductivité électrique (CE) plus élevés que ceux fabriqués à basse température (550 °C).

- **Le CEC**

La grande surface du biochar augmentera la capacité d'échange d'ions et l'absorption des nutriments (**Lehmann et Joseph, 2009**). La CEC du biochar est dépendante à la fois de précurseur et de la taille de ces derniers. Les auteurs donnent des valeurs comprises entre 29,2 et 51,1 cmole.kg⁻¹ (mesures faibles à l'acétate d'ammonium). Les valeurs de CEC tendent à diminuer en fonction des températures de pyrolyse (**Song et Guo, 2012**). Ces valeurs de CEC sont variables de par le matériau d'origine et de la méthode de mesure utilisée.

3.3.3. Effet du biochar sur les propriétés physiques et chimiques du sol

Le biochar a une structure poreuse ce qui lui confère des propriétés d'absorption et de rétention en eau (**Brodowski et al, 2006 ; Liang et al, 2006**). Le biochar augmente la porosité du sol, permettant l'approvisionnement en l'oxygène dans le sol sous un large éventail de conditions hydriques et diminue les microsites anaérobiques favorables à la dénitrification (**Yanai et al, 2007**). Le volume poral du sol étant rempli soit d'air soit d'eau, son augmentation peut donc conduire à une élévation de la capacité de rétention en eau des sols. Cependant, l'importance des changements va dépendre des caractéristiques de la porosité de chaque type de biochar et des taux d'application. La distribution de la taille des pores du biochar dépend de la structure anatomique de la matière première et des conditions de pyrolyse notamment

la température de carbonisation. Par ailleurs, l'interaction entre le biochar, l'argile et la matière organique du sol peut amener à la formation de micro agrégats au cours du temps (**Brodowski *et al*, 2006 ; Cheng *et al*, 2006 ; Liang *et al*, 2006**), qui contribueront aussi à un changement de porosité. A l'instar des résidus de végétaux brûlés, le biochar peut contenir des concentrations variées de cendres alcalines qui pourraient être facilement libérées et lessivées dans le sol et atténuer son acidité (**Raison, 1979 ; Brennan *et al*, 2004**). Cependant, l'oxydation du biochar peut abaisser le pH du sol à proximité des particules de biochar (**Cheng *et al*, 2006**). L'effet du biochar sur le pH du sol est conditionné par la teneur et la nature des cendres, en relation directe avec la matière première et le procédé de production utilisé.

Le biochar peut enrichir le sol en lui apportant des nutriments. Il permet aussi une meilleure rétention des nutriments par le sol et peut servir aussi à améliorer la qualité de ses propriétés physiques et biologiques (**Glaser *et al*. 2002 ; Lehmann *et Rondon*, 2006**). (**Lehmann *et al* ;2011**) pense qu'il existe une co-localisation des nutriments et des microorganismes à la surface du biochar. Ceci permettrait une meilleure efficacité de microorganismes dans l'utilisation du carbone organique.

3.3.4 Technique et méthode de production du biochar

La production du bio-charbon est connue depuis longtemps. Actuellement, dans le cadre de la protection de l'environnement et la valorisation des déchets, elle est très encouragée dans le but de diminuer les déchets, réduire l'utilisation des engrais chimiques et la création des petites entreprises par les jeunes pour le développement économique.

Comme exemples de techniques utilisées dans des entreprises semi industriel nous mettons en évidence deux méthodes qui vont nous permettre de penser à l'installation d'une petite entreprise de fabrication des produits biochar.

3.3.4.1. Technique de production de biochar de très haute qualité développée par Pro-Natura (pro-Nature)

La technologie de la carbonisation en continu développée par Pro-Natura consiste à récupérer des résidus agricoles inutilisés ou d'autres types de biomasse renouvelable non valorisable d'une autre façon, pour les carboniser par pyrolyse.

Le bois peut également être carbonisé sous toutes ses formes, y compris la sciure avec un rendement environ 3 fois supérieur aux procédés de carbonisation classiques pour fabriquer le bio-char. ()

Cette technologie innovante est basée sur l'utilisation d'une cornue chauffée à 550°C au travers de laquelle s'écoule la biomasse en l'absence d'oxygène. Des machines de nouvelle génération, appelée Carbo-Char, produisent du bio-char de très haute qualité de manière écologique. Le processus a les caractéristiques suivantes :

- Le fonctionnement est continu, 7 jours sur 7, 24 heures sur 24.
- Après allumage, l'unité est chauffée en brûlant les gaz émis pendant la carbonisation.
- Toutes sortes de biomasses peuvent être utilisées. Au besoin, un séchoir et un broyeur ; peuvent être rajoutés afin de préparer la biomasse pour la pyrolyse.
- La température et le temps de séjour de la biomasse dans la machine sont réglables pour produire le bio-char optimisé en fonction de chaque type de résidus.

Ce processus est donc pratiquement autonome en termes d'énergie et son rendement (poids de charbon vert produit par rapport au poids de la biomasse à 15% d'humidité) atteint 30% à 45% suivant le type de biomasse. En plus des avantages du procédé de carbonisation en cornue, le coût de fonctionnement du réacteur est réduit par la production en continu. Ce procédé permet aussi d'obtenir un rendement énergétique optimum, en ce qui concerne la carbonisation en cornue, grâce à l'excellente maîtrise de la combustion des gaz de pyrolyse assurant l'autonomie de fonctionnement du réacteur. ()

Il existe trois modèles de CarboChar avec des productions journalières s'étageant entre 1 et 5 tonnes et avec des rendements d'environ 40 %.

- CarboChar-1 produit une tonne de bio-char par jour et une machine transportable car il pèse seulement une tonne.
- CarboChar-3 permet de produire environ 5 tonnes de bio-char par jour.

3.3.4.2. Méthode : Carbonisation par la Machine carbo char

Le bio-charbon est obtenu en soumettant de la biomasse à un procédé de décomposition thermique, la pyrolyse. Une très grande variété de types de biomasse peut être utilisée pour produire du bio-charbon, incluant les résidus forestiers, agricoles, horticoles et de jardinage, les fumiers, et certains résidus industriels de biomasse. La pyrolyse consiste à chauffer la biomasse dans un environnement qui exclut totalement ou partiellement l'oxygène. Le manque d'oxygène prévient la combustion complète du matériel (**Major, 2011**).

La pyrolyse qui produit le biochar utilise une biomasse riche en cellulose comme matière première telle des copeaux de bois, des résidus de maïs, de riz et des résidus de l'agriculture ou

de la foresterie. La biomasse riche en carbone est brûlée dans un four industriel sous haute température et dans un environnement pauvre en oxygène (**Laurin- Lanctôt, 2015**).

Cette pyrolyse génère 50% du carbone sous forme de biochar qui est utilisé principalement comme amendement au sol et un autre 50% du carbone sous forme de bioénergie telle des gaz synthétiques ou des huiles pouvant être utilisées pour produire de la chaleur et/ou de l'énergie (**Laurin- Lanctôt, 2015**).

L'industrie de la pyrolyse et de la production de biochar connaît un certain essor depuis une dizaine d'années, au Québec (**Sébastien, 2017**)



Deuxième Partie : Etude Expérimentale



Chapitre I : Matériels et Méthodes

1. L'objectif de l'essai

L'étude est une suite aux travaux de Negrech Rabia (2023), qui porte sur l'effet de biochar activé par des engrais chimiques et du compost sur les caractéristiques et le rendement de blé dur. Notre expérience vient pour confirmer l'effet de biochar après deux ans de son épandage, en utilisant les mêmes doses et les mêmes parcelles.

2. Expérimentation sur terrain et caractéristique technique du champ expérimental

2.1. Préparation du site expérimental

Le site expérimental (parcelle agricole) est situé à l'université 20 Aout 1955 Skikda, c'est ex champs d'arboriculture, Abattu et délaissai pendant plus de 10 ans. Sur le plan géomorphologique, le profil apparait dans les sols situés sur des terrasses alluviales de pente très faible, à quelques mètres d'oued Zeramna. Un profil pédologique a été effectué pour caractériser le sol. Les caractéristiques morphologique analytiques de sol sont indiqués dans le chapitre résultats et discussion (Chapitre III).

2.2. Les amendements et engrais d'épandage

- **Le biochar**

Le biochar fabriqué avec des résidus de bois comme des branches et des écorces de chêne vert (*Quercus ilex*), est finement broyé et tamisé ($\leq 2\text{mm}$).

- **Le compost**

Le compost composite issu d'un mélange de 5 différents composts, fabriqués à Skikda, broyé et tamisé à 2mm pour avoir un mélange homogène.

- **L'engrais**

Les engrais utilisés dans cette expérimentation sont :

Le MAP

L'urée

K₂SO₄

Les doses d'engrais apportés sont calculées à base des besoins nutritionnels de la culture de blé en NPK.

2.3. Les traitements et activation de biochar

Les traitements sont basés sur la dose de biochar apportée et le type d'activation de biochar (engrais chimiques ou compost). L'activation de biochar est réalisée au laboratoire pendant deux semaines, qui représente les traitements appliqués sur les parcelles expérimentales (Tableau et figure). Les traitements ont été réalisés sur des parcelles de 1m, en raison de trois répétitions pour chaque.



Figure (4) : Le site expérimental, présentation des blocs de traitements (randomisation total) et la mise en place de la culture de blé

Tableau(2) : Protocole expérimental de notre étude

T5 R1	T3 R2	T5 R3
T1 R1	T4 R2	T0 R3
T2 R1	T5 R2	T3 R3
T3 R1	T0 R2	T2 R3
T4 R1	T1 R2	T1 R3
T0 R1	T2 R2	T4 R3

T0 : Témoin sol sans apport

T1 : Traitement 1 (1kg de biochar + engrais)

T2 : Traitement 2 (2kg de biochar + engrais)

T3 : Traitement 3 (1kg de biochar + engrais + compost)

T4 : Traitement 4 (engrais seul)

T5 : Traitement 5 (compost seul)

2.4. Méthodes d'analyse du sol au laboratoire

Des analyses de sol en laboratoire ont été effectuées au niveau de département d'Agronomie de l'université 20 Août 1955. Ces analyses ont porté sur le pH et la matière organique et la conductivité, le carbone organique, la densité apparente et la capacité de rétention en eau.

- **La densité apparente du sol**

La densité apparente du sol est la mesure de terrain de la masse du sol par rapport à son volume apparent. Elle a été calculée pour les échantillons de sol non perturbés prélevés à l'aide d'un cylindre métallique de 116.86 cm³ (h = 5.3 cm, d = 5.3), à bord tranchant. Le sol a été prélevé et séché à l'étuve à 105 °C jusqu'à l'obtention d'un poids constant utilisé pour déterminer la masse sèche du volume de sol du cylindre complet. Les éléments grossiers sont récupérés et pesés. La densité apparente est exprimée en g/cm³. Les éléments grossiers sont exprimés en %.



Figure (5) : Détermination de la densité apparente par la méthode de cylindre.

- **La capacité de rétention en eau du sol**

Les échantillons à étudier. Préalablement saturés d'eau, sont soumis à une pression naturelle et ressuyage naturel. L'eau en excès est donc éliminée jusqu'à la réalisation d'un équilibre entre la force appliquée et la force de rétention de l'eau par le sol. On détermine alors la teneur en eau de l'échantillon par différence de poids humide et poids sec à 105°C.

- **Le pH eau**

Le pH est mesuré avec un pH mètre, il est déterminé après l'équilibre des sols avec l'eau distillée en utilisant le rapport sol/eau 1/2,5.

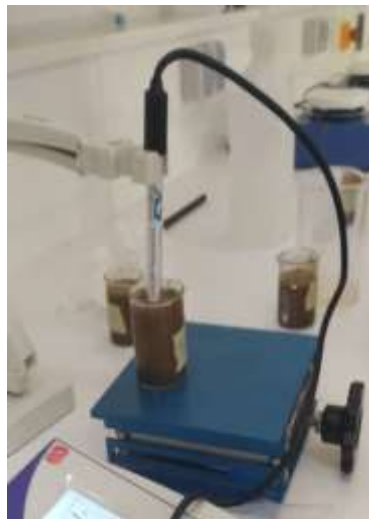


Figure (6) : La mesure de pH.

- **La conductivité électrique CE**

La détermination se fait à l'aide de conductimètre après l'équilibre du sol avec l'eau, en utilisant le rapport sol/eau 1/5.



Figure (7) : La Mesure de CE.

- **La matière organique**

La teneur en MO peut s'obtenir par la méthode de la perte au feu. Cette méthode est déconseillée pour les échantillons possédants beaucoup de calcaire. le domaine d'étalonnage de cette méthode varie de 1 à 50% de MO (Fournier, 2012). L'échantillon de sol doit être broyé et tamisé à 2 mm pour cette méthode :

- Prendre le poids du creuset vide « Mo » ajouter 10 g de sol séché. Noter le poids final.
- Sécher l'échantillon de sol pendant une 24 h à l'étuve à 105 °c. Puis laisses refroidis au dessiccateur pendant du 10 minutes et noter le poids final (M1).
- Calciner le sol au four à moufle a 250 °C pendant 4h.
- Laisser refroidir dans un dessiccateur et peser le creuset contenant le sol calciné (M2).
- Calciner une autre fois le sol au four à moufle à 450 °c pendant 4h.
- Laisser refroidir dans un dessiccateur et peser le creuset contenant le sol calciné (M3)

La matière organique se calcul comme suit :

$$MO\% = \frac{M2-M3}{M1-M0} * 100$$

**Figure (8) : La Mesure de MO.**

3. Matériel végétal

L'expérience a été menée sur une variété précoce de blé standard VITRON (Voir Photo). L'origine, le type variétal et les caractéristiques de la variété étudiée sont regroupés dans le tableau (3). Semences utilisées pour évaluer l'effet de divers traitements au Biochar sur les paramètres de germination et de croissance sur la qualité du blé testé Par Constantine caroube.



Figure (9) : Photos originale de la variété de blé dur *Triticum durum* Desf. (VITRON)

Tableau (3) : l'origine et caractéristique (Ait –kaki, 2008).

Variété	Origine	Caractéristique
Virton	Espagne	Paille haute à moyenne cycle végétatif tallage demi-précoce, moyen, mieux adaptée aux régions arides et semi-arides, sensible aux maladies, bonne productivité

4. Méthode de mesure des différentes caractéristiques de la culture

- **La surface foliaire (SF)**

La surface foliaire est estimée par la méthode de (Paul et al.1979), qui consiste à :

- Placer les feuilles sur du papier calque.
- Découper les contours de la feuille.
- Peser le papier du calque représentant la feuille (PF) à l'aide d'une balance de précision.
- Déterminer par pesée le poids (PQ) correspondant à une surface SQ connue d'un carré de 1 cm de côté du même papier calque.
- Déduire la surface de la feuille SF par la formule suivante :

$$SF = (PF - SQ) / PQ$$

- **Teneur relative en eau TRE (%)**

La teneur en eau relative (TRE) est calculée selon l'étude de **(Baoji et al. 2001)** par Bars (1968). L'avant-dernière feuille de chaque plantule est retirée et placée dans du papier d'aluminium pour réduire la perte d'eau transpiration. Les échantillons de feuilles sont pesés directement pour déterminer le poids frais (PF). Ils sont ensuite placés dans des tubes à essai remplis à moitié d'eau distillée et conservés dans un endroit frais et sombre. Le poids turgide (PT) est déterminé 24 heures plus tard. Le poids sec (PS) est déterminé après avoir placé les échantillons de feuilles dans une étuve ventilée dont la température a été portée à 90°C, pendant 48 heures.

La TRE est déduit par la formule suivante : $TRE (\%) = 100 [(PF-PS) \div (PT-PS)]$

- **Longueur de la plante**

Elle est mesurée du ras du sol jusqu'au sommet de la plante à l'aide d'un ruban mètre.

- **Longueur de l'épi avec barbe**

Elle est mesurée à partir de la base de l'épi (1ier article du rachis) jusqu'à l'extrémité supérieur des barbes

- **Longueur de l'épi sans barbe**

Elle est mesurée sur des épis avec des barbes coupées à partir de la base de l'épi jusqu'au Sommet de l'épillet terminal.

- **Longueur du col**

La longueur du col est mesurée en centimètre de la base du col à la base de l'épi.

- **Longueur de tige**

La hauteur de la tige est mesurée en centimètre de la base de la tige à la base de l'épi.

- **Nombre d'épis par m²**

Le nombre d'épi par mètre carré pour les différents traitements a été déterminé au stade formation des grains, en comptant tous les épis de chaque plante se trouvant dans un cadran d'un mètre carré pour chaque parcelle d'essai.

- **Nombre de grains par épis**

Le nombre de grains a été évalué au stade maturité physiologique par le comptage des moyennes de grains d'un échantillon de 25 épis prise au hasard pour chaque parcelle.

- **Teneur en chlorophylle**

Pour le dosage des pigments chlorophylliens, on a suivi le protocole suivant :

Les teneurs moyennes en chlorophylle a et b sont déterminés par la méthode de (Rao et le blanc 1965). Donc :

- ✓ Couper les feuilles de variétés de blé de façon grossière avec une paire de ciseaux.
- ✓ Peser 0,5g à l'aide d'une balance.
- ✓ Placez les feuilles coupées dans un mortier.
- ✓ Ajouter 20ml d'acétone 80%.
- ✓ Broyer avec carbonate de calcium plusieurs fois (pour faciliter le broyage) jusqu'à ce que le solvant prenne une teinte verte marquée.
- ✓ Filtrer le broyat sur papier filtre à l'aide d'un entonnoir sur les tubes à essais.
- ✓ Lecture en spectrophotomètre dans la longueur d'onde 645nm et 663nm.
- ✓ Le calcul de la quantité de la chlorophylle est obtenu par les formules suivantes :

Chl a : 12,07 (DO 663) - 2,69 (DO 645)

Chl b : 22,09 (DO 645) - 4,86 (DO 663)

Chl (a+b) : 8,02 (DO 645) + 20,20 (DO 663)



Figure (10) : préparation pour mesurer la chlorophylle.



Chapitre II : Résultats et Discussion

1. Effet de biochar sur les caractéristiques du sol

1.1. Caractéristiques morphologiques et analytiques du profil pédologique de la parcelle agricole du site expérimental (Sol témoin)

1.1.1. Description morphologique

Nom du profil : Université 1

Numéro du profil : P1

Date de description : Avril 2023

Localisation : 36°50'55.25"N, 6°53'45.68"E

Physiographie : Terrasse alluviale.

Topographie : Pente à 2%

Matériau parental : Dépôt alluvionnaire sous

Micaschiste.

Occupation des sols : Champs expérimental, l'année de description (Sol délaissé pendant plus de 10 ans, ex champ d'arboriculture).

Drainage : Mauvais.

Classification USDA 2022 : CumulicHaploxeroll. profil.

Classification CPCS 1967 : Sol peu évolué d'apport alluvial humifié.

Horizon Ap (0 – 25cm) : Horizon labouré, frais, brun à brun foncé, Brown (7,5YR 3/3) à l'état sec, Dark Brown (7,5YR 2,5/2) à l'état humide. Limoneux argileux, structure polyédrique fine, friable, collant, enracinement moyennement dense, végétation herbacée, très peu d'éléments grossiers (1%), pas d'effervescences à l'HCl, transition diffuse.

Horizon AC (25 – 40 cm) : Frais, brun à brun foncé, Brown (7,5YR 3/5) à l'état sec, Dark Brown (7,5YR 3/5) à l'état humide. Limoneux argileux, structure polyédrique moyenne, compact, collant, faible enracinement, pas d'éléments grossiers, pas d'effervescences à l'HCl, transition diffuse.



Figure (11) : Photo représentative du

Horizon IIC1 (40 - 60cm) : Frais, brun foncé, Brown (7,5YR 5/3) à l'état sec, VeryDark Brown (7,5YR 2,5/1) à l'état humide. Argileux limoneux, structure polyédrique moyenne, très compact, collant, très peu de racine, pas d'éléments grossiers, pas d'effervescences à l'HCl, transition diffuse.

Horizon IIC2 (60-80 cm) : Frais, brun foncé, Brown (7,5YR 5/3) à l'état sec, VeryDark Brown (7,5YR 2,5/2) à l'état humide. Argileux limoneux, structure polyédrique moyenne, compact, collant, très peu de racine, pas d'éléments grossiers, pas d'effervescences à l'HCl.

1.1.2 Résultats analytiques du profil

Tableau (4) : Résultats des analyses physiques et chimiques du profil 01.

Horizon	H1	H2	H3	H4
Profondeur (cm)	0-25	25-40	40-60	60-80
Argile %	32.0	37.2	44.0	46.5
Limon %	47.8	52.2	47.0	40.8
Sable %	21.0	10.6	9.0	12.8
Texture	Limoneux-argileuse	Limoneux-argileuse	Argilo-limoneuse	Argilo-limoneuse
Élément grossiers %	1	0	0	0
Da	1.30	1.32	1.42	1.42
Dr	2.18	2.08	2.21	1.85
Porosité %	40.37	36.55	35.99	23.31
Humidité à pF 3%	24.23	23.84	31.13	19.08
Humidité à pF 4.2%	13.94	13.90	21.85	11.51
RU (mm)	33.44	19.69	26.35	23.56
MO %	1.52	2.96	2.22	1.49
Carbone %	0.88	1.72	1.29	0.86
Azote %	0.1	0.108	0.0821	0.069
C/N	8.8	15.92	15.71	12.46
Ph eau	6.6	6.2	5.85	6.02
Ph KCl	5.82	5.41	5.19	5.81
Calcaire total %	0	0	0	0
CEC (c mol/kg)	12.8	14.9	16.5	17.5
Ca ⁺⁺ (c mol/kg)	6.6	6.7	7.5	7.1
Mg ⁺⁺ (c mol/kg)	4.1	4.5	4.7	5.4
Na ⁺ (c mol/kg)	0.5	0.4	0.5	0.5
K ⁺ (c mol/kg)	0.7	1.3	1.5	1.5
V%	95	86.57	86.06	82.85

1.1.3 Caractéristiques synthétiques et interprétation du profil pédologique

Le Profil est localisé dans un champ expérimental (parcelle agricole) à l'université 20 Aout 1955 Skikda, c'est ex champs d'arboriculture, Abattu et délaissai pendant plus de 10 ans. Sur le plan géomorphologique, le profil apparait dans les sols situés sur des terrasses alluviales de pente très faible, à quelques mètres d'oued Zeramna. Selon la classification USDA, il appartient à l'ordre des Mollisols – CumulicHaploxeroll (Ap/C/IIC1/IIC2), sol peu évolué d'apport alluvial noirci-humifère, selon la classification française CPCS. C'est un sol profond, brun foncé, compact, moyennement poreux, caractérisé par une structure polyédrique fine à moyenne, de texture limono-argileuse en surface à argilo- limoneuse en profondeur, avec un taux d'argile qui varie de 32 % en surface à plus de 37 % en profondeur, contribuant à une bonne réserve et rétention en eau, cependant le drainage interne très mauvais favorise la stagnation d'eau en surface et le problème d'asphyxie. Le sol est marqué par un taux d'azote faible et un taux de carbone organique faible à moyen, qui varie de 0,88 % à 0,72 %, ce dernier présente des fluctuations en profondeur traduisant le caractère alluvial de ces sols. La CEC du sol est faible en surface à moyenne en profondeur, variant de 12 à 17 c mol /kg, avec un complexe adsorbant riche en calcium. En effet le sol est non salé, non calcaire à pH légèrement acide.

1.1.4 Effet des amendements organique sur les caractéristiques physiques et chimiques du sol des différents traitements

Tableau (5) : Caractéristiques physiques et chimiques du sol des différents traitements (T0 : Sol témoin, T1 : Sol traité en 1kg biochar + engrais minéral, T2 : Sol traité en 2kg biochar + engrais minéral, Sol traité en 1 kg biochar + 1 kg compost + engrais minéral, T4 : Sol traité en engrais minéral seul, T5 : Sol traité en compost seul)

Caractéristiques du sol	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Matière organique (%)	3.3	3.5	3.8	2.9	3.5	3.9
Carbone %	1.88	2	2.17	1.65	2	2.22
pH	6.61	6.58	6.60	6.32	6.59	6.46
Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	111.9	80.8	58.8	84.9	67.7	61.1
Capacité de rétention en eau (%)	56	53	54	57	54	55
Densité apparente	0.54	0.51	0.54	0.55	0.56	0.46

Les résultats des analyses du sol, présentés dans le tableau ci-dessus, montrent que :

Le taux de carbone a augmenté de manière significative dans les parcelles traitées avec du biochar et du compost, en particulier dans les traitements T2 (sol amendé avec 2 kg de biochar + engrais minéral) et T5 (sol traité avec compost), enregistrant respectivement 2,17 % et 2,22 %. Les valeurs les plus faibles ont été observées dans le sol témoin non amendé (1,88 %). Cela souligne le rôle important du biochar et du compost dans le stockage à long terme du carbone dans le sol.

Le pH du sol témoin tend vers la neutralité, avec une légère acidité (6,61). Il varie peu dans les autres traitements, mais diminue légèrement dans ceux amendés avec du compost (T3 et T5). La conductivité électrique (CE) reste généralement très faible dans l'ensemble des traitements, indiquant un sol non salé. Toutefois, une légère augmentation de la CE a été observée dans le sol témoin (T0).

La capacité de rétention en eau est particulièrement élevée dans la parcelle traitée avec une combinaison de biochar et de compost (T3), atteignant 57 %. Cela confirme l'effet positif du biochar et du compost sur la rétention d'eau dans le sol, contribuant ainsi à protéger les plantes contre le stress hydrique.

2. Effet des amendements organiques sur caractéristiques morphologiques et la production du blé dur

2.1. Effet sur la teneur en eau

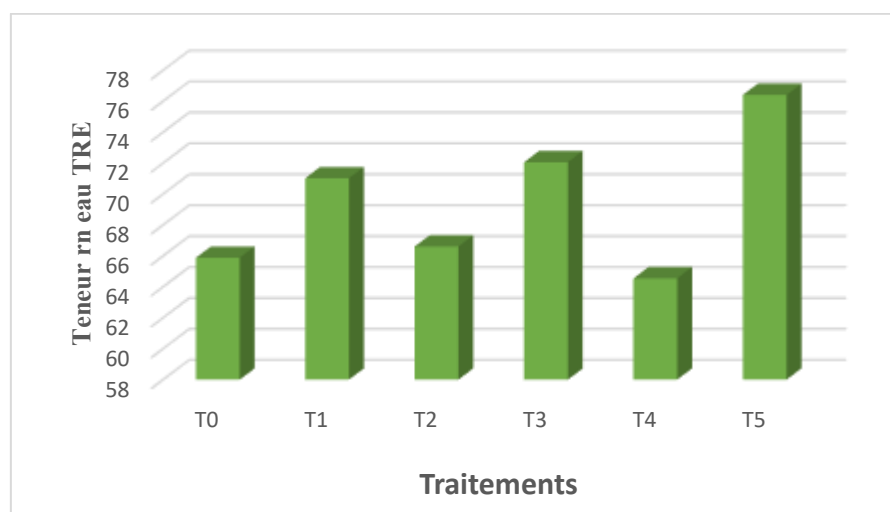


Figure (12) : Effet des amendements organique sur la teneur en eau chez le blé dur.

Les mesures de la teneur en eau dans les feuilles selon les différents traitements montrent que le T5 (Sol traité en compost seul) a enregistré les teneurs les plus élevées en eau avec 76 %, suivi immédiatement par le T3 (Sol traité par 1kg de biochar + engrais minéral + compost), notant ainsi 72 %. Viennent ensuite le traitement T1 (Sol traité en 1kg biochar + engrais minéral) qui ont enregistré 71 % d'eau. Les teneurs les plus faibles sont signalés dans les traitements T2 et T0 et T4 (Sol traité en 2kg biochar + engrais minéral ; Sol témoin ; et Sol traité en engrais minéral seul), notant successivement 66, 65 et 64 %.

2.2. Effet sur la longueur de la plante

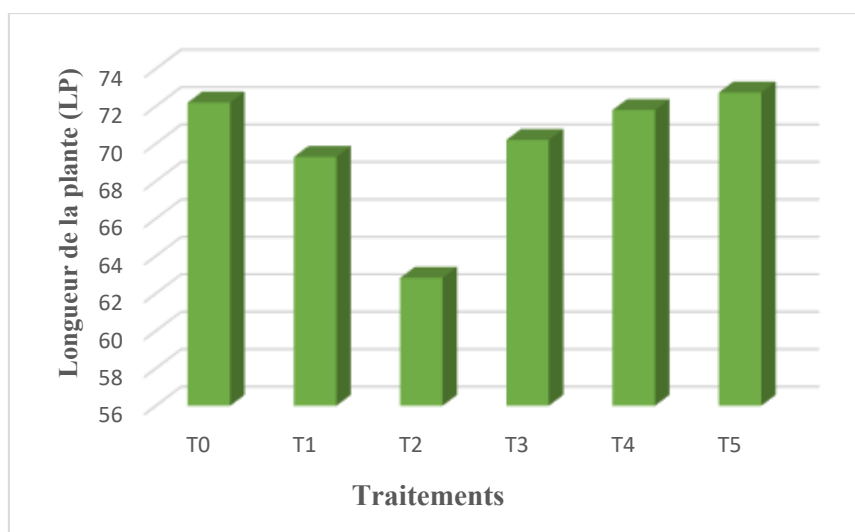


Figure (13) : Effet des amendements organique sur la longueur de la plante chez le blé dur.

Les hauteurs de la plante enregistrées sont très convergentes, la longueur de la plante que la parcelle T5 (Sol traité en compost seul) montre que la longueur de la pointe est plus élevée, enregistrant 72.73cm. Suivi par les parcelles T0 et T4 traitées avec (Sol témoin et sol traité en engrais minéral seul) où la longueur de pointe atteint successivement 72.2 et 71.8cm. Suivi immédiatement T3 et T1 (Sol traitée en 1 kg biochar + 1 kg compost + engrais minéral et sol traité en 1kg biochar + engrais minéral) où il a atteint 70.2 et 69.3cm successivement. Les longueurs les plus faible sont enregistré dans la parcelle T2 (Sol traité avec 2kg biochar + engrais minéral) avec 62.83 cm.

2.3. Effet sur la longueur de l'épi avec barbe

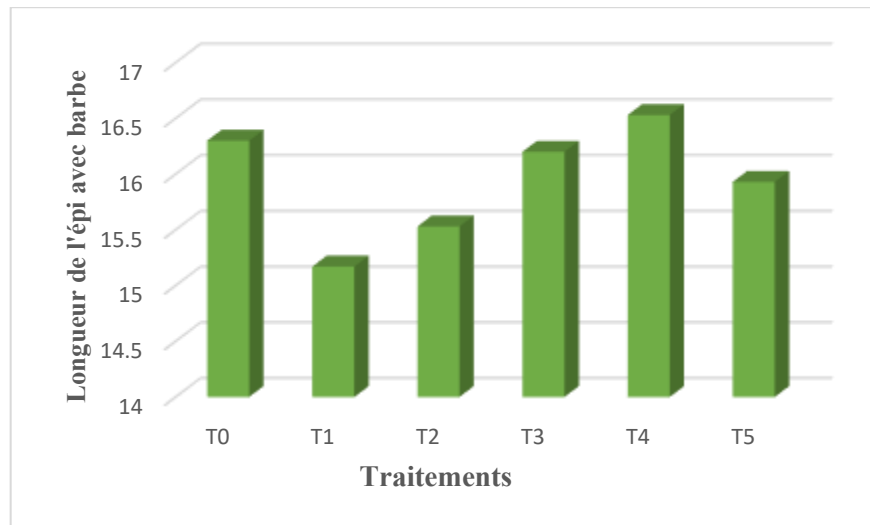


Figure (14) : Effet des amendements organique sur la longueur de l'épi avec barbe chez le blé dur.

La longueur d'épi montent que le sol traité par engrais minéral seul et le sol témoin enregistrent les longueurs de la pointe les plus élevés de 16.53cm et 16.3cm, immédiatement suivies par les sols traités avec 1 kg biochar + 1 kg compost + engrais minéral et compost seul où il a atteint 16.2 cm et 15.93 immédiatement après les sols traités avec 2kg biochar + engrais minéral et par 1kg biochar + engrais minéral où il a atteint 15.53 cm et 15.17 cm.

2.4. Effet sur la longueur de l'épi sans barbe

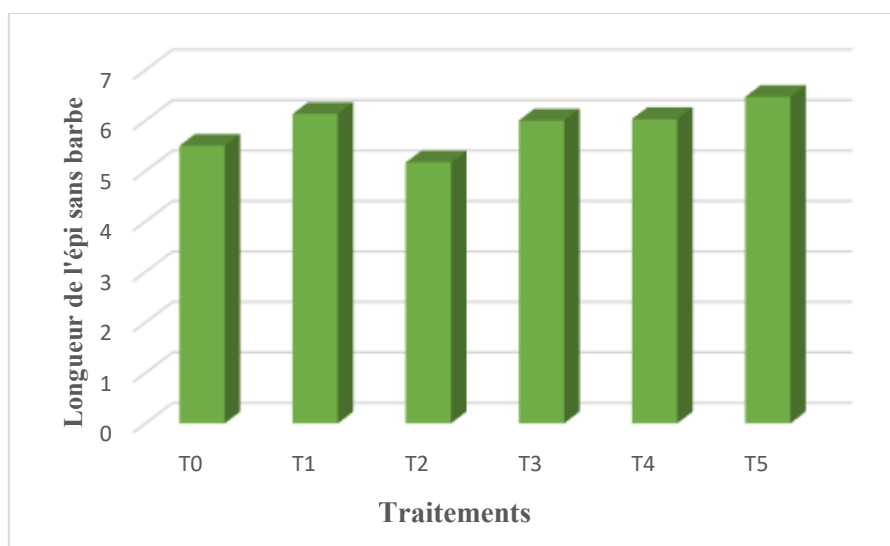


Figure (15) : Effet des amendements organique sur la longueur de l'épi sans barbe chez le blé dur.

La longueur de l'épi sans barbe montrent que la parcelle T5 traitée avec compost seul a enregistré le pic le plus long de 6.47cm, suivi immédiatement par les parcelles T1, T4 et T3 traités par 1kg biochar + engrais minéral, sol traité en engrais minéral seul et sol traitée en 1 kg biochar + 1 kg compost + engrais minéral, avec une longueur de 6,13cm, 6.03cm et 6cm. Les longueurs les plus faibles sont enregistrés dans les parcelles T0 et T2.

2.5. Effet sur la longueur du col

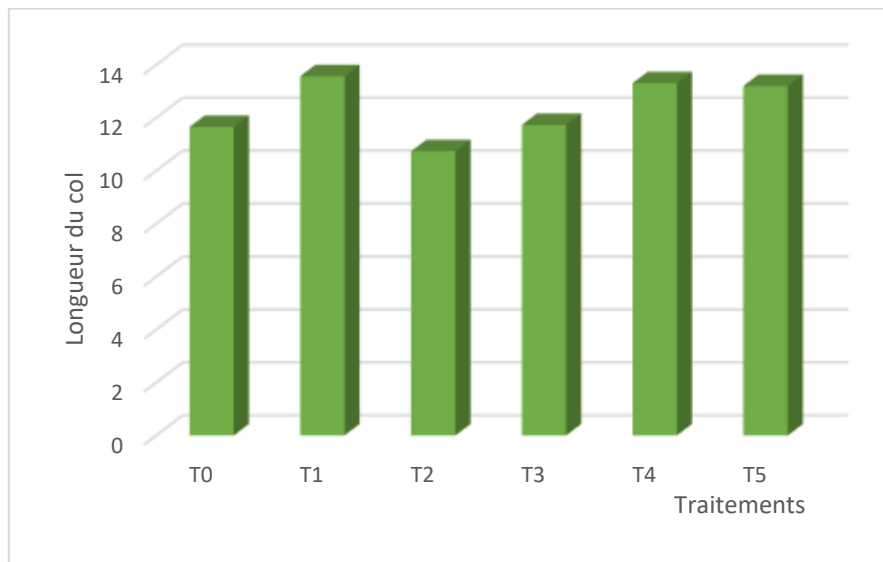


Figure (16) : Effet des amendements organique sur la longueur du col chez le blé dur.

La longueur des cols marque des fluctuations chez les parcelles. La longueur de col que la parcelle T1 (Sol traités par 1kg biochar + engrais minéral) montrent que la longueur de la pointe est plus élevée, enregistrant 13,57cm. Suivi par les parcelles T4, T5 (Sol traité en engrais minéral, sol traité en compost seul) où la longueur de pointe atteint successivement 13,3 et 13,2cm. Suivi immédiatement T3 et T0 (Sol traitée en 1 kg biochar + 1 kg compost + engrais minéral et sol témoin) où il a atteint 11,73 et 11.65cm. Les longueurs les plus faible sont enregistré dans la parcelle T2 (sol traité avec 2kg biochar + engrais minéral) avec 10,73cm.

2.6. Effet sur la longueur de la tige

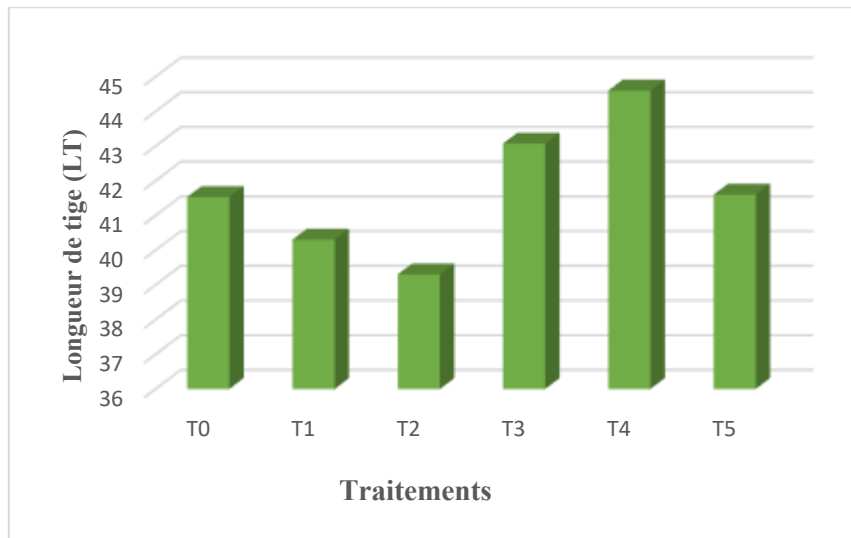


Figure (17) : Effet des amendements organique sur la longueur de la tige chez le blé dur.

Les mesures de la longueur de tige selon les différents traitements montrent que le T4 (Sol traité en engrais minéral seul) a enregistré les longueurs les plus élevés avec 44.6cm, suivi immédiatement par le T3 (Sol traité par 1kg de biochar + engrais minéral + compost), notant ainsi 43.07cm. Viennent ensuite les traitements T5, T0 et T1 (Sol traité en compost seul, sol témoin et 1kg biochar + engrais minéral) notant successivement 41.6, 41.53 et 40.3cm La longueur le plus faible sont signalé dans le traitement T2 (Sol traité en 2kg biochar + engrais minéral), avec 39.3cm.

2.7. Effet sur la surface foliaire

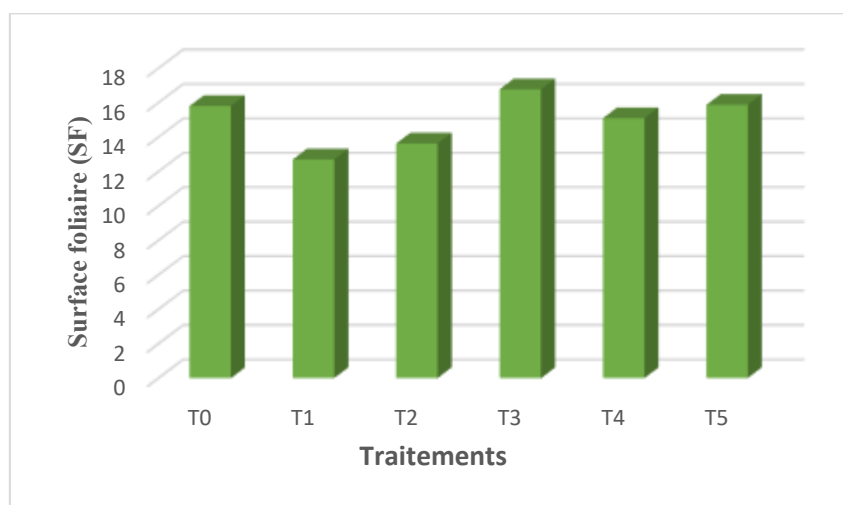


Figure (18) : Effet des amendements organique sur la surface foliaire chez le blé dur.

La surface foliaire selon les différents traitements varie de 12.7cm² à 16.77cm². Les traitements T3, T0 et T5 (Sol traité en 1 kg biochar + 1 kg compost + engrais minéral, sol témoin et sol traité en compost seul) possèdent les valeurs les plus élevées de 16.77, 15.8 et 15.1cm² respectivement, alors que les surfaces des traitements T4, T2 et T1 (Sol traité en engrais minéral seul, sol traité en 2kg biochar + engrais minéral et sol traité en 1kg biochar +engrais minéral) sont faibles respectivement de 15.1, 13.63 et 12.7 cm².

2.8. Effet sur la teneur en chlorophylle a

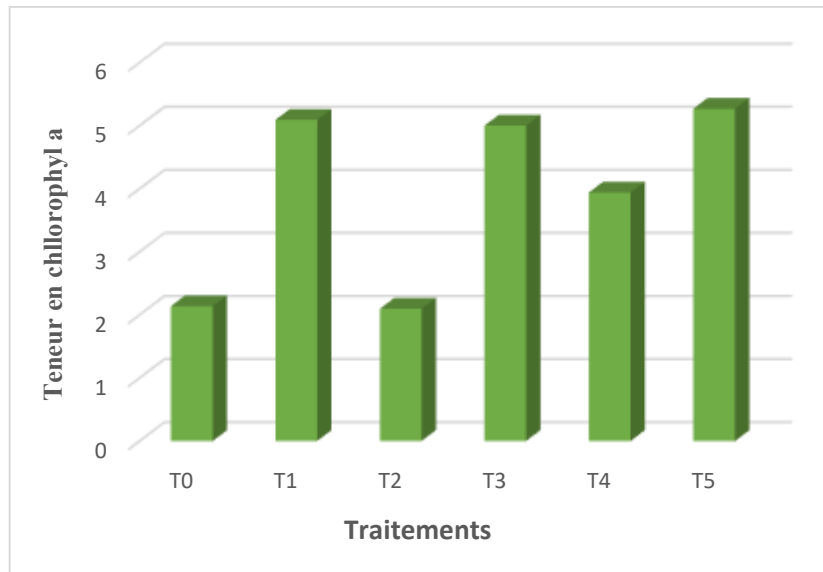


Figure (19) : Effet des amendements organiques sur la teneur en chlorophylle a chez le blé dur.

L'observation de la (**Fig 19**) précise clairement que les parcelles T5, T1 et T3 (Sol traité en compost seul, sol traité en 1kg biochar + engrais minéral et sol traité en 1 kg biochar + 1 kg compost + engrais minéral) a enregistré les teneurs les plus élevés en chlorophylle a avec 5.27, 5.09 et 5 µg/g MF. Par contre les trios parcelles, T4, T0 et T2 (Sol traité en engrais minéral seul, sol témoin et sol traité en 2kg biochar + engrais minéral) on observe une diminution présentaient avec 3.94, 2.14 et 2,1 µg/g MF respectivement.

2.9 Effet sur la teneur en chlorophylle b

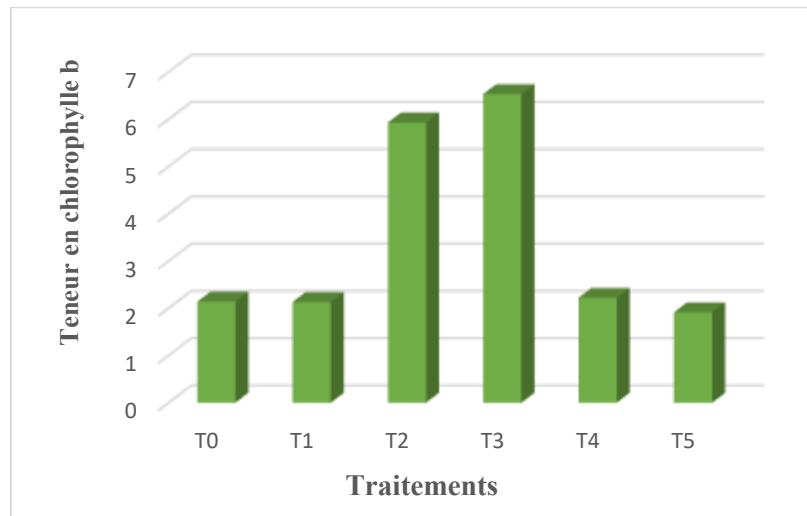


Figure (20) : Effet des amendements organique sur la teneur en chlorophylle b chez le blé dur.

L'observation de la (**Fig 20**) précise clairement que les parcelles T3 et T2 (Sol traité en 1 kg biochar + 1 kg compost + engrais minéral et sol traité en 2kg biochar + engrais minéral) a enregistrés les teneurs les plus élevés en chlorophylle b avec 6.53 et 5.93 µg/g MF. Par contre les quatre parcelles, T4, T0, T1 et T5 (Sol traité en engrais minéral seul, sol témoin, sol traité en 1kg biochar + engrais minéral et sol traité en compost seul) on observe une diminution présentaient avec 2.22, 2.14, 2.13 et 1.91 µg/g MF respectivement.

2.10 Effet sur la teneur en chlorophylle a+b

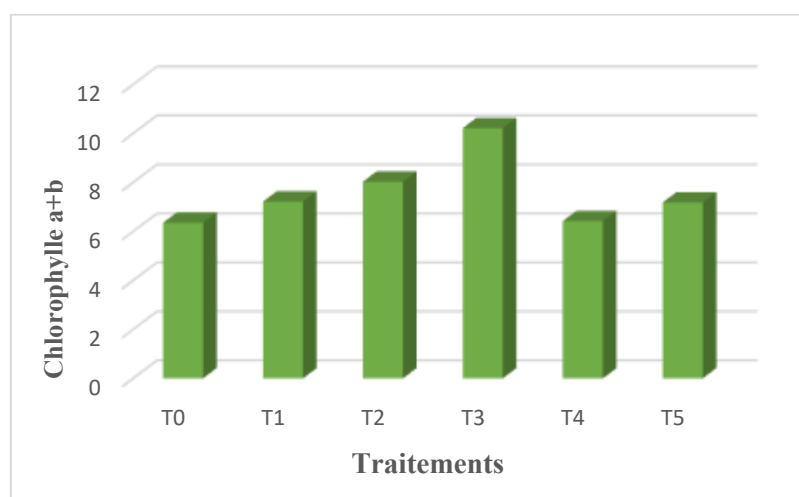


Figure (21) : Effet des amendements organique sur la teneur en chlorophylle a+b chez le blé dur.

L'analyse de la variance de la teneur de chlorophylles a+b indique une différence entre les six traitements testés.

L'observation de la (Fig21) précise clairement que la parcelle T3 traitée avec 1 kg biochar + 1 kg compost + engrais minéral a enregistré le pic le plus avec 10.22 ug/g MF. Suivi immédiatement par les parcelles T2, T1 et T5 (Sol traité en 2kg biochar + engrais minéral, sol traité en 1kg biochar + engrais minéral et sol traité en compost seul) avec 8.03, 7.22 et 7.18 ug/g MF. Par contre les deux parcelles, T4 et T0 (Sol traité en engrais minéral seul et sol témoin) on observe une diminution présentaient avec 6,42 et 6,36 µg/g MF respectivement.

2.11 Effet sur le nombre d'épis

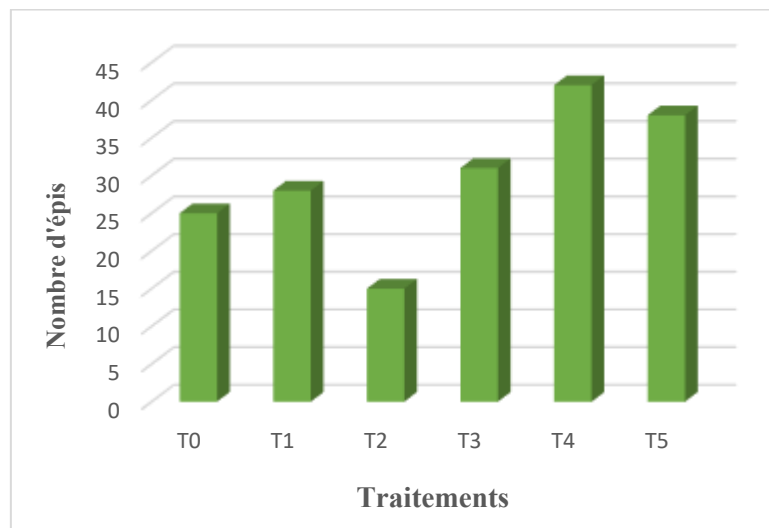


Figure (22) : Effet des amendements organique sur le nombre d'épis chez le blé dur.

Les calculs de nombre d'épis selon les différents traitements montrent que les parcelles T4 (Sol traité en engrais minéral seul) et T5 (Sol traité en compost seul) ont donné le nombre d'épis le plus élevé par rapport aux autres traitements, enregistrant successivement 42 et 38 épis, suivi par les parcelles T3 et T1 (Sol traité en 1 kg biochar + 1 kg compost + engrais minéral et sol traité en 1kg biochar + engrais minéral) avec 31 et 28 épis. Le nombre d'épis le plus faible sont enregistré dans les parcelles T0 (Sol témoin) et T2 (Sol traité en 2kg biochar + engrais minéral) donnant successivement 25 et 15 épis.

2.12 Effet sur le nombre des graines par épi de blé dur

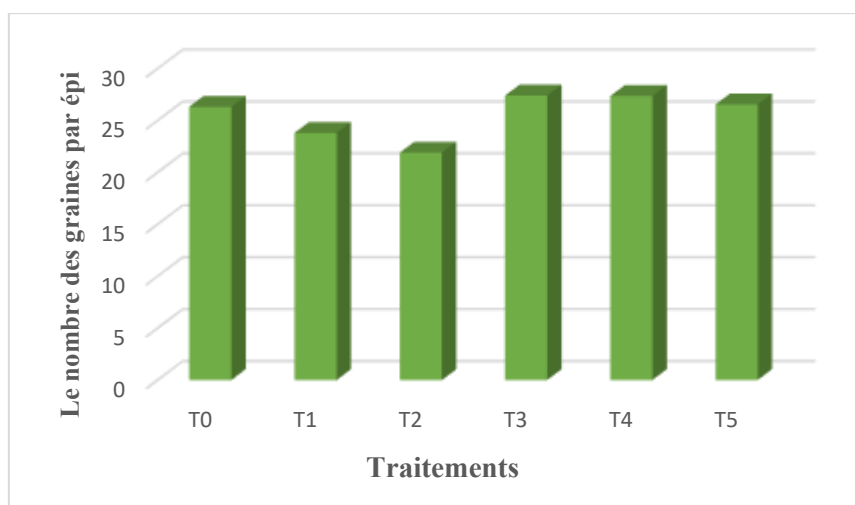


Figure (23) : Effet des amendements organique sur le nombre des graines par épi chez le blé dur.

Le graphique illustre l'impact des différents traitements sur le rendement de blé dur (Q/ha). Les données mettent en évidence que les parcelles T3 (Sol traité en 1 kg biochar + 1 kg compost + engrais minéral) et T4 (Sol traité en engrais minéral seul) a enregistrant les rendements les plus élevés (27.4Q/ha) et (27.35Q/ha) successivement. Suivi par les parcelles T5 et T0 (Sol traité en engrais minéral seul et sol témoin) avec (26.55Q/ha) et (26.31Q/ha). Les rendements les plus faibles sont enregistrés dans les parcelles T1 et T2 (Sol traité en 1kg biochar + engrais minéral et sol traité en 2kg biochar + engrais minéral) donnant successivement 23.8 et 21.9Q/ ha.

3 .Discussion

Les résultats de l'essai montrent une variation significative des effets des traitements (biochar, compost, engrais minéraux et leurs combinaisons) sur les caractères morphologiques et physiologiques du blé dur. Le traitement **T5 (compost seul)** a donné les meilleurs résultats en termes de hauteur de plante et de teneur en eau des feuilles. Quant au traitement **T3 (biochar + compost + engrais minéraux)**, il a montré les valeurs les plus élevées de chlorophylle totale et de surface foliaire, tout en assurant un bon équilibre nutritionnel et une amélioration de la structure du sol.

Ces résultats montrent le rôle primordial de biochar et de compost dans l'amélioration des caractéristiques morphologiques et physiologiques de la culture de blé. Cela concorde avec plusieurs travaux de recherche :

- Selon **El Kadiri Boutchich *et al.* (2016)**, l'apport de composts a stimulé la germination, la croissance des tiges et racines, la teneur en sucres solubles et en chlorophylle, ainsi que la matière fraîche et sèche. Le compost agit comme une source lente de nutriments essentiels, permettant un développement régulier de la culture.
- **Djaouga *et al.* (2020)** ont également observé une amélioration des paramètres morphologiques avec le biochar, notamment l'indice foliaire et la biomasse aérienne.
- **Jeffery *et al.* (2011)** ont démontré que le biochar améliore la structure du sol, augmente la capacité de rétention d'eau et améliore la disponibilité des éléments nutritifs, ce qui est visible dans le traitement T3 qui combine biochar, compost et engrais.

Cependant, le traitement **T2 (2 kg de biochar + engrais minéraux)** a présenté des résultats inférieurs. Cela pourrait être attribué à une dose excessive de biochar qui limite la disponibilité de certains nutriments, phénomène également signalé par **Smider & Singh (2014)**.

Des études complémentaires (**Schulz *et al.*, 2013 ; Varela Milla *et al.*, 2013 ; Khan *et al.*, 2013**) ont confirmé ces effets sur différentes cultures : avoine, épinard, tomate, maïs, en fonction du type de biochar utilisé.

De plus, **Glaser *et al.* (2002)** ont mis en évidence que le biochar améliore significativement la rétention des nutriments (N, P, K) ainsi que la capacité d'échange cationique (CEC) des sols tropicaux, ce qui peut entraîner une augmentation des rendements allant jusqu'à 200 %, en particulier

lorsqu'il est combiné au compost. **Gross *et al.* (2021)** ont montré que l'ajout de biochar permet de séquestrer entre 29 % et 75 % de carbone organique supplémentaire dans les sols agricoles, notamment en présence de compost ou dans les sols à texture fine. Les recherches récentes renforcent ces conclusions : **Bhardwaj *et al.* (2025)** ont démontré que la combinaison biochar + compost + micro-organismes bénéfiques (PGPM) augmente considérablement la densité nutritionnelle des légumes (+48 % en zinc, +32 % en fer), ainsi que leur teneur en antioxydants. D'autre part, **Chiaramonti *et al.* (2024)** ont confirmé la stabilité millénaire du carbone contenu dans le biochar, comparable à celle de l'inertinite géologique, ce qui conforte son rôle dans la lutte contre le changement climatique.

Nos résultats s'inscrivent également dans le contexte mondial. **Sadegh-Zadeh (2018)**, dans une étude sur le riz en sol sableux calcaire, a obtenu une augmentation de 321 % du rendement grâce à l'application conjointe de biochar (0,9 %) et de compost (3 %), attribuée à une amélioration de la fertilité et de la rétention en eau – en particulier avec un biochar de paille de riz riche en silicium. En revanche, **Carvalho (2016)**, travaillant sur un sol argileux brésilien, a constaté que l'application de biochar de bois (32 t/ha) a réduit l'eau disponible dans le sol (-0,6 % par tonne), affectant négativement la culture du riz en conditions sèches malgré un meilleur stockage du carbone.

Enfin, l'utilisation conjointe du compost et du biochar permet non seulement d'améliorer la croissance et le rendement, mais aussi de réduire la dépendance aux engrais chimiques, en minimisant les impacts environnementaux négatifs.



Conclusion

Conclusion

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la recherche agronomique visant à améliorer la productivité du blé dur (*Triticum durum Desf.*) dans des conditions pédoclimatiques difficiles. L'essai a été mené à l'Université du 20 Août 1955 à Skikda sur une ancienne parcelle d'arboriculture abandonnée. Six traitements ont été appliqués (**T0 à T5**), combinant biochar, compost et engrais minéraux, afin d'étudier leur effet sur les caractéristiques du sol et de la plante, ainsi que le rendement.

Les paramètres évalués sont :

1. Sol (physico-chimiques) : matière organique, carbone organique, pH, conductivité électrique, densité apparente, capacité de rétention en eau.
2. Plante (morphologiques) : hauteur totale, longueur de la tige, de l'épi (avec et sans barbe), longueur du col, tallage.
3. Plante (physiologiques) : teneur relative en eau des feuilles, surface foliaire, teneur en chlorophylle (a, b, a+b).
4. Rendement : nombre d'épis, nombre des graines par épie.

Les résultats ont révélé que le traitement **T3 (1 kg de biochar + 1 kg de compost + engrais)** a montré un effet bénéfique global, surtout sur la chlorophylle totale et la surface foliaire. Le **T5 (compost seul)** s'est démarqué par une bonne croissance végétative et une haute teneur en eau.

Les résultats ont révélé que le traitement T3 (1 kg de biochar + 1 kg de compost + engrais) a présenté l'effet global le plus bénéfique, particulièrement en termes de surface foliaire, de teneur en chlorophylle totale. Le T5 (compost seul) s'est distingué par une forte teneur en eau des feuilles (76 %) et une croissance végétative vigoureuse. En revanche, le traitement T2 (2 kg de biochar + engrais minéral) a enregistré des performances moindres, probablement dues à une dose excessive de biochar réduisant la disponibilité de certains nutriments.

Concernant le sol, les traitements organiques ont significativement amélioré la porosité, la densité apparente, la matière organique (jusqu'à 3,9 % dans T5) et le carbone organique (2,22 % dans T5), ainsi que la capacité de rétention en eau, atteignant 57 % dans le traitement T3. Le biochar a également favorisé le stockage du carbone à long terme, contribuant à la séquestration du CO₂ et à l'augmentation de la CEC.

Conclusion

En résumé :

L'utilisation conjointe du biochar et du compost s'avère une solution prometteuse pour améliorer la fertilité des sols, favoriser la croissance des cultures et réduire la dépendance aux intrants chimiques, tout en s'inscrivant dans une démarche d'agriculture durable. Cependant, il est important de noter qu'au moment du semis, de fortes précipitations ont entraîné une perte partielle des graines, ce qui a impacté négativement le rendement final. Cette contrainte climatique souligne la nécessité d'adapter les pratiques culturales aux conditions locales pour optimiser les résultats.



Références bibliographiques

Reference Bibliographique

A.C.I.A., (2006). Agence canadienne d'inspection des aliments. La biologie de (*Triticum turgidum* ssp. *Durum*) (blé dur. Bureau de la biosécurité végétal, 13p.

Abeledo, L. G., Savin, R., & Slafer, G. A. (2008). Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. *European Journal of Agronomy*, 28(4), 541-550.

Anonyme., (2002). Conseil international des céréales. International Grains Council. World Grains Statistics: 13-17 p.

Antal, M. J., & Grønli, M. (2003). The art, science, and technology of charcoal production. *Industrial & engineering chemistry research*, 42(8), 1619-1640.

Bajji, M. (1999). Etude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.): caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés in vitro (Doctoral dissertation, UCL-Université Catholique de Louvain).

Baldy C. (1992). Effet du climat sur la croissance et le stress hydrique du blé en Méditerranée Occidentale. In *Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne, diversité génétique et amélioration variétale*. Montpellier, 1992.

Bhardwaj, R. L., Nandal, U., Meena, P., & Choudhary, K. (2025). Recovery of the original nutritional and nutraceutical quality of different vegetables for human nutrition and health security. *Academia Nutrition and Dietetics*, 2(1).

Bonin, H. (2006). Histoire de la Société générale (Vol. 1). Librairie Droz.

Boyeldieu J., 1997. Blé tendre. Techniques agricoles, éditions Techniques. Fascicule 2020.

Boyeldieu, J. (1999). Encyclopédie des techniques agricoles : production végétale-Blé Tendre. *Ed : Paris. 20, 20.*

Bozzini A. (1988) Origin, distribution and production of durum wheat in the world. In : Fabriani G et Lintas C. (éd) *Durum: Chemistry and Technology*. AACC (Minnesota). EtatsUnis : 1-16.

Brennan R F, Bolland M D A and Bowden J W, (2004). Potassium deficiency, Molybdenum deficiency and Aluminum toxicity due to soil acidification, have become problems for cropping

Reference Bibliographique

sandy soils in south-western Australia. *Australian journal of experimental agriculture*, 44, 1031-1039.

Brewer, C. S., Kovner, C. T., Greene, W., Tukov-Shuser, M., & Djukic, M. (2012). Predictors of actual turnover in a national sample of newly licensed registered nurses employed in hospitals. *Journal of advanced nursing*, 68(3), 521-538.

Brewer, J. A., Worhunsky, P. D., Gray, J. R., Tang, Y. Y., Weber, J., & Kober, H. (2011). Meditation experience is associated with differences in default mode network activity and connectivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), 20254-20259.

Brodowski S, John B, Flessa H, and Amelung W, (2006). Aggregate-occluded black carbon in soil. *European journal of soil science*, 57, 539-546.

Carvalho, M. T. M., Madari, B. E., Bastiaans, L., Van Oort, P. A. J., Leal, W. G. O., Heinemann, A. B., ... & Meinke, H. (2016). Properties of a clay soil from 1.5 to 3.5 years after biochar application and the impact on rice yield. *Geoderma*, 276, 7-18.

Chehat F. (2007) Analyse macroéconomique des filières, la filière blés en Algérie. Projet PAMLIM « Perspectives agricoles et agroalimentaires Maghrébines Libéralisation et Mondialisation » Alger : 7-9 avril 2007.

Cheng C H, Lehmann J, Thies J E, Burton S D and Engelhard M H, (2006). Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. *Organic geochemistry*, 37, 1477-1488.

Chiaromonti, D., Lehmann, J., Berruti, F., Giudicianni, P., Sanei, H., & Masek, O. (2024). Biochar is a long-lived form of carbon removal, making evidence-based CDR projects possible. *Biochar*, 6(1), 81.

Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T. E., Malo, D. D., & Julson, J. L. (2014). Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(3), 393-404.

Clark J.M., Norvell W.A., Clark F.R. & Buckley T.W., 2002. Concentration of cadmium and other elements in the grain of near-isogenic durum lines. *Can. J. Plant Sci./Revue canadienne de phytotechnie*. 82: 27-33 p .

Dias, T., Bronze, M. R., Houghton, P. J., Mota-Filipe, H., & Paulo, A. (2010). The flavonoid-rich fraction of *Coreopsis tinctoria* promotes glucose tolerance regain through pancreatic function recovery in streptozotocin-induced glucose-intolerant rats. *Journal of ethnopharmacology*, 132(2), 483-490.

DJAOUGA, N. T., DIOGO, R. V. C., BAIMEY, H., & GODAU, T. (2020). Développement du gboma (*Solanum macrocarpon* L.) sous l'influence du biochar, de la fréquence d'arrosage et des nématodes à galles en conditions de serre. *Annales de l'Université de Parakou-Série Sciences Naturelles et Agronomie*, 10(1), 33-40.

Djermoun A., (2009). La Production céréalière en Algérie: les principales caractéristiques.

Downie, L. E., Vessey, K., Miller, A., Ward, M. M., Pianta, M. J., Vingrys, A. J., ... & Fletcher, E. L. (2009). Neuronal and glial cell expression of angiotensin II type 1 (AT1) and type 2 (AT2) receptors in the rat retina. *Neuroscience*, 161(1), 195-213.

E Boutchich, G. E. K., Tahiri, S., Mahi, M., Sisouane, M., Kabil, E. M., & El Krati, M. (2016). Effets de différents composts matures à base de boues d'épuration et des substrats organiques sur les propriétés morphologiques et physiologiques de deux variétés de blé. *J. Mater. Environ. Sci*, 7(12), 5810-5827. Kadiri Boutchich *et al.* (2016),

Feillet P., (2000). Le grain de blé : composition et utilisation. INRA. Paris.

Feldman, M., & Sears, E. R. (1981). The wild gene resources of wheat. *Scientific American*, 244(1), 102-113.

Ferhat, I. (2018). Socialistes et enseignants : le Parti socialiste et la Fédération de l'Education nationale de 1971 à 1992. Presses universitaires de Bordeaux.

Foth, H. D., & Ellis, B. G. (1988). Soil fertility. Wiley.

Gauthier J., 1991. Notions d'agriculture. Rue Michel-Haidy, 575p.

Glaser B, Lehmann J and Zech W, (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – A review. *Biology and fertility of soils*, 35, 219-230.

Glaser, B., Lehmann, J., & Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review. *Biology and fertility of soils*, 35, 219-230.

Gobat, J. I. (1998, September). WHOI cable: Time domain numerical modeling of moored and towed oceanographic systems. In *IEEE Oceanic Engineering Society. OCEANS'98. Conference Proceedings (Cat. No. 98CH36259) (Vol. 3, pp. 1681-1685).* IEEE.

Godden, M. R. (1995). The trouble with Sodom: literary responses to biblical sexuality. *Bulletin of the John Rylands library*, 77(3), 97-119.

Gross, A., & Glaser, B. (2021). Meta-analysis on how manure application changes soil organic carbon storage. *Scientific reports*, 11(1), 5516.

Henry Y., De Buysse J., (2001). L'origine des blés. In : Belin. Pour la science (Ed.). De la graine à la plante. Ed. Belin, Paris, pp. 69-72.

Jeffery, S., Verheijen, F. G., van der Velde, M., & Bastos, A. C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, ecosystems & environment*, 144(1), 175-187.

Jeffery, S., Verheijen, F. G., van der Velde, M., & Bastos, A. C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, ecosystems & environment*, 144(1), 175-187.

Kamel, M., Stastny, T., Alexis, K., & Siegwart, R. (2017). Model predictive control for trajectory tracking of unmanned aerial vehicles using robot operating system. *Robot Operating System (ROS) The Complete Reference (Volume 2)*, 3-39.

Khan, S., Wang, N., Reid, B. J., Freddo, A., & Cai, C. (2013). Reduced bioaccumulation of PAHs by *Lactuca sativa* L. grown in contaminated soil amended with sewage sludge and sewage sludge derived biochar. *Environmental pollution*, 175, 64-68.

Laurin-Lanctôt, S. (2015). Effet de l'amendement en biochar des sols biologiques pour une culture de tomates sous serre: rétention en nutriments, activité biologique et régie de fertilisation.

Reference Bibliographique

Lecheheb, O., Ahmed Seghir, A., Lamri, M., Bouhdiba, I., (2024). Effet de l'apport du biochar sur les propriétés du sol et la production du blé dur (*Triticum durum* Desf.).

Lehmann J and Joseph S, (2009). Biochar for environmental management: science and technology. In Earthscan Publishers Ltd, London, 448 p.

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.

Liang ,B., Lehmann, J., Solomon D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J. O., Thies, J., Luizao, F. J., Petersen, J and Neves E G, (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil science society of America Journal*, 70, 1719-1730.

Loue, A. (1982). comparaison entre le blocage de la fumure potassique en tête de rotation et sa répartition sur les céréales. *Revue potasse S*, 16, 1-5.

Major J. (2011). Le biochar : outil pour la gestion des résidus de biomasse et la fertilité des sols. *Bio Tendances*. 2p

Mekhlouf A. Bouzerzour H. et Dehbi F/. (2001) Rythme de développement et variabilité de réponses du blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux basses températures. Tentatives de sélection pour la tolérance au gel. In : *Proceedings séminaire sur la valorisation des milieux semi-arides*. Oum El Bouaghi, 23 : 75-80.

Mouellef A., (2010). Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*T. durum* Desf.) au stress hydrique. Mémoire magister Université Constantine 82 pages .

Moule C., (1971). Céréales II. Phytotechnique spéciale. Ed. La maison rustique, Paris, 236 p.

Mustin, M. (1987). Le compost : gestion de la matière organique.

Naville M, 2005. La biodiversité des espèces cultivées : Analyse dans le cas du blé, Paris: Université Paris XI, Paris, 20p.

Negerech, R. (2023), Valorisation des déchets ménagers et agricoles en biochar pour l'agriculture et la production d'énergie renouvelable.

Raison R J, (1979). Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformations: a review. *Plant and soil*, 51, 73-108.

Ricroch, A. E., Bergé, J. B., & Kuntz, M. (2011). Evaluation of genetically engineered crops using transcriptomic, proteomic, and metabolomic profiling techniques. *Plant physiology*, 155(4), 1752-1761.

Ruel T., (2006), Document sur la culture du blé, édition Educagri.

Sadegh-Zadeh, F., Tolekolai, S. F., Bahmanyar, M. A., & Emadi, M. (2018). Application of biochar and compost for enhancement of rice (*Oryza sativa* L.) grain yield in calcareous sandy soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(5), 552-566.

Sallah edin A & all ,2008; Production de grandes cultures, Dar al-Fikr al-Arabi, p105- 112

Schulz-Menger, J., Bluemke, D. A., Bremerich, J., Flamm, S. D., Fogel, M. A., Friedrich, M. G., ... & Nagel, E. (2013). Standardized image interpretation and post processing in cardiovascular magnetic resonance: Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) board of trustees task force on standardized post processing. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*, 15(1), 35.

Schwartz, C., Decroux, J., & Muller, J. C. (2005). Guide de la fertilisation raisonnée : grandes cultures et prairies. France Agricole Editions.

Sébastien L. (2017).BIOCHAR, LA RÉALITÉ QUÉBÉCOISE. CONFÉRENCE INTERNATIONNALE SUR LE BIOCHAR : MISSION ITALIE, « BIOCHAR : PRODUCTION, CHARACTERIZATION AND APPLICATIONS », Biopierre, 5p

Simon H., Codaccio P., Lequeur X., (1989). Produire des céréales à paille. Coll. Agriculture d'aujourd'hui. Science, Techniques, Applications. pp. 63 – 67 ; pp. 292 - 296.

Smider, B., & Singh, B. (2014). Agronomic performance of a high ash biochar in two contrasting soils. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 191, 99-107.

Soltner D., (1990). Les grandes productions végétales : Céréales, plantes sarclées.

Soltner D., 1998. Les grandes productions végétales. Céréales, plantes sarclées, prairies. Sainte Gemme-sur-Loire, Sciences et Techniques Agricoles.

Soltner D., 2005. La grande production végétale 20ème ED. Paris.472p.

Soltner, D. (2003). Les bases de la production végétale.

Reference Bibliographique

Song, W., & Guo, M. (2012). Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 94, 138-145.

Subhash, C. (2014). Terminology of soil fertility, fertilizer and organics.

Varela Milla, O., Rivera, E. B., Huang, W. J., Chien, C., & Wang, Y. M. (2013). Agronomic properties and characterization of rice husk and wood biochars and their effect on the growth of water spinach in a field test. *Journal of soil science and plant nutrition*, 13(2), 251-266.

Villenave, E., Lesclaux, R., Seefeld, S., & Stockwell, W. R. (1998). Kinetics and atmospheric implications of peroxy radical cross reactions involving the CH₃C(O)O₂ radical. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 103(D19), 25273-25285.

Wadley G., Martin A., (1993). The Origins of Agriculture? A Biological Perspective and New Hypothesis. *Australian Biologist* 6: 96-105.

Yanai, Y., Toyota, K., & Okazaki, M. (2007). Effects of charcoal addition on N₂O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiments. *Soil science and plant nutrition*, 53(2), 181-188.

Yves, H et Buyer, J., (2000), l'origine des blés. Pour les sciences hors série n° 26,60 - 62 pp.

Haddad Malak

Kedaderia Amel

Hacida Abd El Malek

Titre : Etude de l'effet de différents types d'amendement organique sur les paramètres morphologiques et physiologiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.)

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en Amélioration des plantes.

Résumé :

Cette étude vise à évaluer l'effet des amendements organiques (biochar et compost) et minéraux (engrais chimiques) sur les caractéristiques morphologique et physiologique, ainsi que le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) variété vitron . L'essai a été conduit dans les serres pédagogiques de l'Université du 20 Août 1955 à Skikda. Six traitements (T0 à T5) ont été appliqués, combinant différentes doses de biochar, compost et engrais minéraux.

Les résultats ont montré que le traitement **T3 (biochar + compost + engrais)** a permis les meilleures performances globales : augmentation de la surface foliaire, des teneurs en chlorophylle a+b (jusqu'à 10.22 µg/g MF), amélioration de la rétention d'eau (57 %), et meilleur rendement (27.4 q/ha). Le traitement **T5 (compost seul)** s'est distingué par une forte teneur en eau foliaire (76 %) et un taux élevé de matière organique (3.9 %) et de carbone organique (2.22 %). Les effets négatifs d'une forte dose de biochar (**T2**) ont également été constatés, en lien avec la réduction de la disponibilité de certains nutriments

En conclusion, l'utilisation conjointe du biochar et du compost constitue une stratégie durable et efficace pour améliorer la fertilité du sol, stimuler la croissance des cultures et réduire la dépendance aux intrants chimiques.

Mots-clés : Biochar, Compost, Blé dur (*Triticum durum* Desf.), Sol, Rendement, Chlorophylle, Amendement organique.

Jury d'évaluation :

Présidente :	M ^{me} Souilah Nabila	Université du 20 Août 1955 – Skikda
Examinatrice :	M ^{me} Bounouara Zohra	Université du 20 Août 1955 – Skikda
Promotrice :	M ^{me} Larit Sabah	Université du 20 Août 1955 – Skikda

Année Universitaire : 2024 /2025