



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



Université Constantine 1 Frères
Mentouri
Faculté des Sciences de la Nature et de la
Vie
Département : Biologie & Écologie Végétale

جامعة قسنطينة 1 الإخوة منتوري
كلية علوم الطبيعة والحياة

قسم : بيولوجيا النبات و علم البيئة

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques / Biotechnologies / Écologie et Environnement

Spécialité : Écologie fondamental et appliquer

N° d'ordre :

N° de série :

Intitulé

Evaluation des effets de biocompost des boues résiduelles sur la croissance des plantes et les propriétés du sol

Présenté par : **RADOUANE CHOUBEILA**

Le : 12/06/2024

BOUKENSOUS DOUNIA ZED

Jury d'évaluation :

Président : DR. SAHLI LEILA (Prof - U Constantine 1 Frères Mentouri).
Encadrant : DR. CHARCHAR NABIL (MCA – CRBT, Constantine.).
Co-encadrant : DR. TOUATI LAID (Prof- U Constantine 1 FrèresMentouri).
Examineur(s) : MME. BOUGHABA ROKIA (MAA - U Constantine 1 Frères
Mentouri).

Année universitaire
2023 – 2024

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, nous souhaitons remercier chaleureusement notre directeur de mémoire, Charchar Nabil, pour son accompagnement, ses conseils précieux et son soutien tout au long de cette recherche. Ses remarques constructives et son expertise ont été essentielles à l'avancement de notre travail.

Nous souhaitons exprimer notre reconnaissance à nos familles et amis pour leur soutien moral, leurs encouragements constants et leur compréhension durant cette période exigeante. Leur patience et leur confiance en nous ont été une source de motivation inestimable.

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire, notamment les personnes ayant accepté de répondre à nos questionnaires et entretiens. Leur disponibilité et leurs contributions ont été cruciales pour le bon déroulement de notre recherche.

Avec nos sincères remerciements,

Radouane Choubeila

Boukenssous Dounia Zed

Biologie & Écologie Végétale / science de la nature et de la vie

Université des Frères Mentouri Constantine 1

2023/2024

Dédicace

À MA FAMILLE,

(MAMAN, ABDOU. KIKI ET ASMA)

POUR LEUR AMOUR INCONDITIONNEL, LEUR SOUTIEN
INDÉFACTIBLE ET LEURS ENCOURAGEMENTS CONSTANTS
TOUT AU LONG DE MON PARCOURS.

À MES PROFESSEURS ET ENCADRANTS,

(DR. CHARCHAR, DR. TOUATI, DR. SAHLI, MME. NORA ET
MME. ALIA)

POUR LEUR PATIENCE, LEUR EXPERTISE ET LEURS CONSEILS
PRÉCIEUX QUI ONT GUIDÉ MES PAS ET ENRICHIS MON SAVOIR.

À MES AMIS ET COLLÈGUES,

(DOUNIA ZED, LAMIS, KHADIJA, ZAHRA, YOUSRA)

POUR LEUR CAMARADERIE, LEUR AIDE PRÉCIEUSE ET LES
MOMENTS DE PARTAGE QUI ONT RENDU CE VOYAGE PLUS
AGRÉABLE ET MÉMORABLE.

À TOUS CEUX QUI, DE PRÈS OU DE LOIN, ONT CONTRIBUÉ À
L'ABOUTISSEMENT DE CE TRAVAIL,

JE VOUS EXPRIME MA PROFONDE GRATITUDE ET MON
ÉTERNELLE RECONNAISSANCE.

RADOUANE.CH

الإهداء

قال رسول الله صل الله عليه وسلم: " من لم يشكر الناس لم يشكر الله "

الحمد لله حباً وشكراً وامتنان على البدء والختام، الحمد لله على احسانه والشكر له على توفيقه وامتنانه ونشهد أن لا إله إلا الله وحده لا شريك له تعظيماً لشأنه ونشهد أن نبينا محمد عبده ورسوله الداعي إلى رضوانه صل الله عليه وعلى آله وأصحابه وأتباعه وسلم

(وَآخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ)

لم تكن الرحلة قصيرة ولا الطريق محفوفاً بالتسهيلات لكنني فعلتها، فالحمد لله الذي يسرّ البدايات وبلغنا النهايات بفضلته وكرمه

اهدي هذا النجاح لنفسي الطموحة اولاً ابنت بطموح وانتهت بنجاح ثم الى كل من سعى معي لإتمام مسيرتي الجامعية دمت لي سنداً لا عمر له

بكل حب اهدي ثمرة نجاحي وتخرجي

الى النور الذي أثار دربي والسراج الذي لا ينطفئ نوره والذي بذل جهد السنين من اجل ان اعطي سلالم النجاح الى من احمل اسمه بكل فخر والى من حصد الأشواك عن دربي ليمهد لي طريق العلم لطالما عاهدته بهذا النجاح ها انا اتممت وعدي و اهديه اليك

" والدي العزيز نورالدين "

الى من علمتني الاخلاق قبل الحروف إلى الجسر الصاعد بي الى الجنة " والدتي العزيزة
فايزة "

اهدي تخرجي الى ملهم نجاحي، من ساندني بكل حب عند ضعفي وازاح عن طريقي المتاعب ممهداً لي الطريق زارعاً الثقة والإصرار بداخلي سندي والكتف الذي استند عليه دائماً لطالما كان الظل لهذا النجاح " أخي عبد الرؤوف "

إلى اخواتي "آية، آلاء، دعاء، سيلين وشوق "

كما أتوجه بالشكر الجزيل إلى من شرفني بإشرافه على مذكرة بحثي الأستاذ الدكتور " شرشار نبيل" و مهندسي مخبر البيئة لمركز البحث في البيوتكنولوجيا " نورة" و "عليا" الذي لن تكفي حروف هذه المذكرة لإيفائهم حقهم و لتوجيهاتهم العلمية التي لا تقدر بثمن، و التي ساهمت بشكل كبير في إتمام و إستكمال هذا العمل، إلى كل أساتذة قسم علوم البيئة و الطبيعة

وأحب ان اختتم الإهداء إلى أصحاب الفضل العظيم صديقات الرحلة والنجاح إلى من وقفوا بجانبتي كلما أوشكت أن أتعثر "ندى، لميس، خديجة، دارين، أحلام، ريان ونسرين "

كما أتوجه بخالص شكري وتقديري إلى كل من ساعدني من قريب او من بعيد على إنجاز وإتمام هذا العمل

واخيراً من قال أنا لها "نالها" وأنا لها إن أبت رُغماً عنها أتيت بها ما كنت لأفعل لولا توفيق من الله ها هو اليوم العظيم هنا اليوم الذي أجريت سنوات الدراسة الشاقة حاملة فيها حتى تواليت بمنه وكرمه لفرحة التمام، الحمد لله الذي به خيراً واملأ واغرقنا سروراً وفرحاً ينسيني مشقتي.

الطالبة : بوقنسوس دنيا زاد

SOMMAIRE

Page de garde	
Remerciements	
Dédicace	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux Table des matières	
Abréviation	
Abstract	

PARTIE 01

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique	page
Introduction.....	01
I. Définitions et concepts.....	03
I.1. Les boues résiduaires.....	03
I.1.1. Définition.....	03
I.1.2. Origine et types.....	03
I.1.3. Compositions des boues.....	04
I.2. Le compostage.....	05
I.2.1. Définition.....	05
I.2.2. Description du processus.....	06
I.2.3. Intérêts du compostage.....	06
I.2.4. Différentes méthodes du compostage.....	07
I.2.4.1. Compostage en andains.....	07
I.2.4.2. La méthode Indore.....	07
I.2.4.3. Vermicompostage.....	07
I.2.5. Les phases de compostage.....	08
I.2.5.1. Phase mésophile (25–40°C).....	08

I.2.5.2. Phase thermophile (35–65°C).....	08
I.2.5.3. Phase de refroidissement.....	08
I.2.5.4. Phase de maturation.....	09
I.2.6. Les principaux paramètres du compostage.....	09
I.2.6.1. La teneur en eau.....	09
I.2.6.2. Le Ph.....	09
I.2.6.3. La température.....	09
I.2.6.4. Conductivité électrique.....	10
I.2.6.5. Le rapport C/N.....	10
I.2.6.6. La teneur en matière organique totale.....	10
I.3. Le compost.....	10
I.3.1. Définition.....	11
I.3.2. Types de compost.....	11
I.3.2.1. Le compost aérobie.....	11
I.3.2.2. Le compost anaérobie.....	11
I.3.3. Composition.....	11
I.3.4. Caractéristiques.....	12
I.3.5. Les propriétés du compost.....	12
I.3.6. Les avantages et les inconvénients du compost.....	13
I.3.6.1 Les avantages du compost.....	13
I.3.6.2. Les inconvénients du compost.....	13
II. Evaluation des impacts du compost sur l’agriculture et l’environnement.....	14
II.1. Impacts sur les propriétés du sol.....	14
II.1.1. Les propriétés physiques du sol.....	14
II.1.1.2. Amélioration de la capacité de rétention d’eau.....	14

II.1.1.3. Amélioration de la structure du sol.....	14
II.1.1.4. Dynamique du sol et amélioration des échanges gazeux.....	14
II.1.2. Les propriétés chimiques du sol.....	14
II.1.2.1. Croissance et rendement des végétaux.....	15
II.1.2.1.1. Amélioration du rythme de diffusion des nutriments.....	15
II.1.2.1.2. Elimination des maladies chez les végétaux.....	15
II.1.2.1.3. Effet phytosanitaire.....	15
II.1.2.1.4. Effet sur le rendement.....	15
II.2. Impacts sur l'environnement.....	15
II.2.1. Effet sur la qualité de l'air.....	15
II.2.2. Les gaz à effet de serre.....	15
II.2.3. Les gaz malodorants et toxiques.....	15
II.2.4. Le ruissellement.....	16
II.2.5. Le lessivage.....	16
III. Compostage en Algérie.....	16
III.1. Réglementation.....	16
III.2. Les normes.....	17

Partie 02

Chapitre 02 : Matériels et méthodes

I. Echantillonnage.....	19
I.1. Le sol.....	19
I.2. Les composts.....	19
I.3. Matériel végétale.....	20
I.3.1 Préparation des pots.....	21
I.3.2. Le Site expérimentale.....	22

I.3.3. Plan d'expérience.....	22
I.3.4. Le semis.....	23
I.3.5. Conditions de culture.....	23
II. Méthodes analytiques utilisées.....	23
II.1. Analyse physique.....	24
Texture de sol (La granulométrie).....	24
II.2. Analyses chimiques.....	25
II.2. 1. Potentiel d'Hydrogène (pH).....	25
II.2. 2. Conductivité électrique (CE).....	26
II.2. 3. Dosage de la matière organique.....	27
II.2. 4. Dosage de l'azote total.....	28
II.2. 5. Phosphore assimilable.....	30
II.2. 6. Calcaire total.....	31
II.2. 7. Capacité d'échange cationique (CEC).....	33
II.3. Test de phytotoxicité.....	34
II.4. Analyse biochimique.....	36
II.4. 1. Chlorophylle.....	36
II.4. 2. Malondialdéhyde (MDA).....	37
II.5. Analyse biométrique.....	38
II.5.1. Nombres de feuilles par plant.....	38
II.5.2. La longueur de la tige finale (cm).....	38
II.5.3. La longueur de racine principale (cm).....	38

Partie 03

Chapitre 03 : résultats et discussions

I. Caractérisation physico-chimique de sol et des deux composts.....	39
II. Effet des deux composts sur les caractéristiques chimiques du sol.....	40

II.1. Le Ph.....	40
II.2. La Conductivité électrique (CE).....	41
II.3. La Matière organique (MO%).....	42
II.4. L'azote total (NT).....	43
II.5. Phosphore (P).....	44
II.5. Calcaire total.....	46
III. Tests de phytotoxicité.....	46
III.1. Taux de germination.....	47
III.2. Indice de germination.....	49
IV. Effet des deux composts sur les caractéristiques biométrique et biochimique des deux plantes.....	49
IV.1. Longueur de la tige (LT).....	49
IV.2. Nombre de feuilles (NF)	50
IV.2. Longueur des racines (LR).....	52
IV.4. Teneurs en Malondialdéhyde (MDA).....	53
IV.5. Teneurs en chlorophylle totale.....	54
Conclusion.....	56
Référence bibliographique.....	57
Page de couverture	

Liste des figures

Figure 1 : Courbe théorique d'évolution de la température et du pH au cours du compostage d'après Mustin (1987).....	26
Figure 02 : Préparation de sol.....	37
Figure 03 : Compost.....	38
Figure 04 : Préparation des graines.....	39
Figure 05 : Préparation des pots.....	39
Figure 06 : Préparation des différents traitements.....	40
Figure 07 : Semis des graines.....	41
Figure 08 : Analyse de texture du sol.....	42
Figure 09 : Mesure de pH.....	43
Figure 10 : Mesure de la conductivité (CE).....	44
Figure 11 : Dosage de la matière organique.....	46
Figure 12 : Dosage de l'azote totale.....	48
Figure 13 : Dosage de phosphore assimilable.....	49
Figure 14 : Dosage de calcaire total.....	51
Figure 15 : Dosage de la Capacité d'échange cationique (CEC).....	52
Figure 16 : Test de phyto-toxicité.....	53
Figure 17 : Dosage de la chlorophylle.....	55
Figure 18 : Dosage du MDA.....	57
Figure 19 : Mesures biométrique des tiges et des racines.....	58
Figure 20 : Variation des valeurs de pH de différents traitements des deux composts T et C et de sol.....	62
Figure 21 : Variation des valeurs de la conductivité électrique (CE) de différents traitements des deux composts T et C et de sol.....	63
Figure 22 : Variation des teneurs en matière organique MO % de différents traitements des deux composts T et C et de sol.....	64
Figure 23 : Variation des teneurs en azotes de différents traitements des deux composts T et C et de sol.....	65
Figure 24 : Variation des teneurs en phosphate de différents traitements des deux composts T et C et de sol.....	66
Figure 25 : Variation des valeurs de calcaire total de différents traitements des deux composts T et C et de sol.....	67
Figure 26 : Variation des résultats des tests de phyto-toxicité deux composts T et C.....	68
Figure 27 : Variation des résultats des de l'indice de germination.....	70
Figure 28 : Variation des résultats des longueurs des tiges des deux espèces.....	71
Figure 29 : Variation des résultats des nombres des feuilles des deux espèces.....	72
Figure 30 : Variation des résultats des longueurs des racines des deux espèces.....	73
Figure 31 : Variation des teneurs en MDA des deux espèces.....	74
Figure 32 : Variation des teneurs en chlorophylle totale des deux espèces.....	75

Listes des tableaux

Tableau 01 : Composition des boues résiduaire (Su et al., 2004 ; Adda et Chenina, 2015 ; Uggetti et al., 2010)	20
Tableau 02 : Composition d'un compost	28
Tableau 03 : Normes IANOR ; engrais et fertilisant	33
Tableau 04 : Résultats des analyses physico-chimique de sol et des deux composts.....	60

Abréviations

- MES** : matière en suspension
- P** : Phosphore
- K.** : Potassium
- Ca** : Calcium
- Mg** : Magnésium
- pH** : Potentiel d'hydrogène
- CTN** : Code techniques et norme
- IG** : Indice de germination
- TG** : Taux de germination
- LR** : Longueur racinaires
- LT** : Longueur de la tige
- NF** : Nombre de feuilles
- MDA** : Malondialdéhyde
- CE** : Conductivité électrique
- N** : Azote
- MO** : Matière organique
- C/N** : Rapport carbone/azote
- CEC** : Capacité d'échange cationique

Résumé

Ce travail étudié l'effet de deux types de bio-composts issus de boues résiduaires (T et C) sur la croissance du blé dur (*Triticum durum*) et du cresson (*Lepidium sativum*), ainsi que sur les propriétés du sol. Les essais, menés dans des pots avec un sol provenant de la région d'El Athmania, ont duré 63 jours. Les résultats montrent une faible teneur en matière organique, azote et phosphore dans le sol non traité, avec un pH alcalin et une faible capacité d'échange cationique. Les deux composts, en revanche, sont riches en matière organique, phosphore et azote, avec un pH acide et une minéralisation importante. L'amendement du sol avec ces composts montre une augmentation significative des nutriments, de la matière organique et des minéraux, avec une baisse du pH vers la neutralité. Les expériences en pots révèlent un impact positif des composts sur la germination et la croissance du blé et du cresson, améliorant leurs paramètres morphologiques.

Mots clés : biocompost, indice de germination, propriétés de sol, blé et cresson.

Abstract

This study investigated the effect of two types of bio-composts derived from sewage sludge (T and C) on the growth of durum wheat (*Triticum durum*) and cress (*Lepidium sativum*), as well as on soil properties. The trials, conducted in pots with soil from the El Athmania region, lasted 63 days. Results showed a low organic matter, nitrogen and phosphorus content in the untreated soil, with an alkaline pH and low cation exchange capacity. The two composts, on the other hand, were rich in organic matter, phosphorus and nitrogen, with an acid pH and high mineralization. Soil amendment with these composts shows a significant increase in nutrients, organic matter and minerals, with a drop in pH towards neutrality. Experiments in pots revealed a positive impact of composts on the germination and growth of wheat and watercress, improving their morphological parameters.

Keywords : biocompost, germination index, soil properties, wheat and cress.

ملخص

بحث هذا العمل في تاثير نوعين من الأسمدة الحيوية (س و ت) من حماة الصرف الصحي على نمو القمح القاسي و الجرجير، وكذلك على خصائص التربة. استمرت التجارب، التي أجريت في اوني مع التربة من منطقة العثمانية، 63يوما. تظهر النتائج تظهر النتائج انخفاض محتوى المادة العضوية والنيتروجين والفوسفور في التربة غير المعالجة، مع درجة الحموضة القلوية وسعة تبادل الكاتيون المنخفضة. من ناحية أخرى، فإن كلا السماد غني بالمواد العضوية والفوسفور والنيتروجين، مع درجة حموضة حمضية وتمعدن كبير. يُظهر تعديل التربة مع هذه السمادات زيادة كبيرة في المغذيات والمواد العضوية والمعادن، مع انخفاض الأس الهيدروجيني نحو الحياد. تكشف تجارب القدر عن تأثير إيجابي للسماد على إنبات القمح والجرجير ونموهما، مما يحسن معالماتها المورفولوجية.

الكلمات الرئيسية: المركب الحيوي، ومؤشر الإنبات، وخصائص التربة، والقمح والجرجير

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Durant ces dernières décennies, les risques de dégradation des terres constituent l'une des préoccupations majeures des environnementalistes (Xie et al., 2020). Les conditions climatiques, jumelées aux facteurs anthropiques, exposent les sols à l'érosion, détruisant ainsi leur structure (Zongo, 2013 ; Tiendrébéogo et al., 2019 ; Ouédraogo et al., 2019). Le taux de matière organique, les teneurs en éléments nutritifs facilement assimilables (N - P - K) et le pouvoir tampon du sol sont en baisse (Coulibaly et al., 2012).

L'accroissement de la population mondiale et l'industrialisation rapide entraînent une augmentation significative des déchets, y compris les boues résiduaire, qui sont les principaux déchets provenant du traitement biologique des eaux usées. L'utilisation des boues d'épuration dans le domaine agricole apparaît comme une alternative attrayante pour augmenter la production, conserver les sols et réduire les effets du déficit hydrique. Plusieurs chercheurs (Boudjabi et al., 2021) ont montré, à travers leurs expérimentations, l'apport bénéfique des boues résiduaire sur la restructuration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol ainsi que sur l'amélioration des rendements de cultures (Boudjabi et al., 2019).

Cependant, leur utilisation directe peut entraîner des risques environnementaux et sanitaires en raison de la présence potentielle de toxines. Parmi les solutions envisagées, la valorisation de ces boues en tant que biocompost offre une perspective prometteuse pour la gestion durable des déchets et l'amélioration de la qualité des sols agricoles (Harir et Nedder, 2020). Le biocompostage des boues résiduaire est un procédé qui permet de transformer ces boues en un amendement organique de qualité, stable et hygiénisé, appelé compost. L'utilisation du compost en agriculture affecte positivement le système sol-plante. De nombreuses études menées sur diverses plantes montrent l'effet bénéfique de l'apport de composts sur la nutrition des plantes grâce aux éléments fertilisants qu'ils contiennent en plus ou moins grandes quantités (N, P, K, Ca, Mg, S), ainsi que sur la croissance et la production des cultures. Les doses apportées, les sols utilisés et les durées d'expérimentation ont été variables, que ce soit en essais aux champs ou en incubations (Alvarez et al., 1995 ; Roe et al., 1997).

L'objectif de cette étude est d'analyser de manière approfondie les impacts du biocompost issu des boues résiduaire sur la qualité d'un sol dégradé et la croissance de deux plantes (blé et cresson). Cela inclut :

INTRODUCTION

- La caractérisation physico-chimique, avec des séries d'analyses de biocompost et du sol avant et après l'application du biocompost, pour évaluer les modifications des propriétés telles que le pH, la conductivité électrique, matière organique, la capacité d'échange cationique et la teneur en nutriments (azote, phosphore).
- L'observation de la croissance des plantes en mesurant les effets du biocompost sur divers paramètres de croissance des plantes (la germination, la longueur des tiges, le nombre de feuilles, la longueur des racines, la biomasse).
- L'évaluation des avantages agronomiques : nous avons testé cinq doses de biocompost et mesuré des paramètres biochimiques pour évaluer la réponse des deux plantes choisies, en comparant les performances des cultures cultivées sur des sols amendés avec du biocompost par rapport à des sols non amendés.

Après cette introduction, notre manuscrit est divisé en deux parties distinctes :

- La première partie, de nature bibliographique, est composée de :
 - Les sujets des boues résiduaires, du compostage et du compost.
 - L'évaluation des impacts du compost sur l'agronomie et l'environnement.
 - La situation du compostage en Algérie.
- La deuxième partie du manuscrit est consacrée à la partie expérimentale et est constituée de deux chapitres distincts :
 - Le premier chapitre détaille le matériel et les méthodes utilisés dans l'étude, ainsi que les objectifs de la recherche et le déroulement de l'expérience.
 - Le deuxième chapitre présente et discute les résultats obtenus au cours de l'expérience.

Enfin, le document se clôture par une conclusion générale et des perspectives pour de futures recherches.

SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

I. Définitions et concepts

I.1. Les boues résiduaires

I.1.1. Définition

Les boues résiduaires ou les bio-solides sont des termes qui indiquent le mélange d'eau et de matières solides séparées par des procédés naturels ou artificiels de divers types d'eau qui le contiennent (**Belghaouti, 2013**).

Les boues se produisent lorsque les eaux usées d'origine domestique ou industrielle sont épurées. Elles se constituent d'eau et de matériaux secs, parmi lesquels se trouvent des substances polluantes (métaux lourds, hydrocarbures et pesticides...). De nombreux chercheurs ont montré que les boues renferment une grande quantité de matière organique et d'éléments fertilisants tels que, l'azote et le phosphore, ce qui les rend très intéressantes dans le secteur agricole (**Arthur, 1999 ; Adler, 2002 ; Jardé, 2002 ; Guy, 2003**).

I.1.2. Origine et types

Les boues résiduaires peuvent être perçues comme des substances extraites des eaux usées pour pouvoir récupérer une eau épurée et rejetée dans l'environnement (**Anred, 1982**). Les différents types de boues sont nommés en fonction de divers critères tels que la nature de l'effluent, l'analyse des eaux (primaire, physico-chimique, biologique), processus de stabilisation (aérobie, anaérobie, chaulage, compostage), état physique des boues et type de dispositif de déshydratation (filtre-pressé, centrifugeuse, table d'égouttage, ...) (**Menaam et Smail, 2021**). Parmi les types de boues disponibles pour le recyclage en agriculture, on peut citer les suivantes :

1) **Boue primaire** : Les boues primaires sont générées dans les bassins par simple décantation des matières en suspension (MES) organiques et minérales, présentes dans les eaux usées (**Benyaha, said abdessamoud et Berbache, 2020**).

2) **Boues physico-chimique** : Ces boues proviennent de l'agglomération des matières organiques particulières ou colloïdales présentes dans les eaux par l'ajout d'un réactif coagulant (**Jarde, 2002**).

3) Boues biologique (secondaire) : La formation de ces boues est due à l'activité vitale des microorganismes, elles présentent une structure floculée et sont séparées dans des décanteurs secondaires, tels que les filtres biologiques (lits bactériens) (**Emillian, 2004**).

4) Boues mixtes (boues primaires + boues biologiques) : Il s'agit de la combinaison de boues primaires et de boues activées ou issues de lits bactériens (**Emillian, 2004**).

I.1.3. Compositions des boues

La composition précise des boues dépend de l'origine des eaux usées, de la saison, du type de traitement et de conditionnement effectués dans les stations d'épuration (**Werther et Ogada, 1999 ; Singh et al. 2004**).

Tableau 01 : Composition des boues résiduaires (**Su et al., 2004 ; Adda et Chenina, 2015 ; Uggetti et al., 2010**).

Composition	Caractérisation	Constitution
Matière organique	-La concentration peut varier de 30 à 80% -Riche en carbone	- Matières particulaires - Des lipides (6 à 19% de la matière organique) - Des polysaccharides -Des protéines et des acides aminés (jusqu'à 33% de la matière organique) - La lignine
Eléments fertilisants	- Substance qui nourrit les plantes et le sol.	- Azote - Phosphore - Magnésium - Calcium et en soufre

		-Les éléments en traces (le cuivre, le zinc, le chrome et le nickel, ...)
Contaminants chimiques inorganiques et organiques	- Un élément ou un composé chimique ordinaire dont la nocivité n'apparaît qu'à partir d'une certaine concentration. (Les éléments traces métalliques indispensables au développement des végétaux et des animaux peuvent se révéler toxiques à trop fortes doses D'autres, tels que le cadmium et plomb sont des toxiques potentiels.	- Solvants - Déchets de bricolage - Eléments traces métalliques
Les micro-organismes pathogènes	-Jouent un rôle essentiel dans les processus d'épuration.	- Les bactéries, - Les protozoaires - Les métazoaires

I.2. Le compostage

Le compostage est un processus biologique aérobie de décomposition et de valorisation des matières organiques en un produit stabilisé et stérilisé ayant les propriétés d'un terreau riche en éléments humiques (**Damien, 2006**). C'est un procédé de traitement intensif des déchets organiques qui reproduit le processus aérobie naturel de gestion des déchets, comme dans une litière. Il s'agit d'une imitation accélérée du processus aérobie naturel de dégradation et de stabilisation des matières organiques (**Gobat et al., 2010**).

I.2.1. Définition

Le compostage implique un processus de dégradation aérobie des composés organiques par l'activité consécutive de microorganismes (bactéries, levures et champignons), dont les populations peuvent atteindre des millions, voire des milliards par gramme de compost (**Barje et al., 2008 ; Jouraiphy, 2007 ; Amir, 2005 ; Amir et al., 2010**) in El Fels 2014.

Plusieurs définitions du compostage se recoupent mais qui sont assez proches (**De Bertoldi et al, 1983 ; Leclerc, 2001**) et peuvent être formulées de la manière suivante « Le compostage des matières organiques suit le processus naturel de transformation des matières organiques fraîches, animales et végétales, en matière organique humifiée, aussi connue sous le nom d'humus ».

I.2.2. Description du processus

Le compostage est une biodégradation contrôlée des composés organiques végétaux et animaux. Une série de succession de communautés microbiennes, sous conditions aérobies (principalement) entraînent une hausse des températures (**Menassri,2005 in Francou, 2003**). D'autres espèces animales, comme les vers et les insectes peuvent être utilisées pour optimiser le processus de compostage. Pour pouvoir vivre, ils ont besoin de certaines conditions tel que l'humidité et l'air (**Inckel et al., 2005**).

Le pH exerce un impact significatif sur le processus de compostage en influant sur la dégradation de la lignocellulose, le développement de l'humus et l'excellence générale du compost. Les recherches indiquent que la manipulation du pH pendant le compostage peut réduire considérablement la durée de la fermentation et améliorer le processus d'humification, élevant ainsi la qualité des engrais organiques (**Aiya Tariq, 2023**).

Le bon processus de décomposition se divise en 3 étapes successives : une étape d'échauffement (fermentation) ; une étape de refroidissement et une étape de maturation. Il est difficile de distinguer les unes des autres, car le processus se déroule très lentement. Au cours de chacune de ces phases, la matière organique est transformée en compost par plusieurs types de microorganismes (**Inckel et al., 2005**).

Le compostage est caractérisé par une production de chaleur (40 à 70 °C) et à la fin du processus, une perte de volume ainsi que des composés humiques stables. Ce processus présente de nombreux avantages. Parce qu'il permet de diminuer les ordures ménagères, les ordures de exploitations agricoles et urbaines (**Houot et al., 2003**). En outre, son produit final, le compost est un moyen d'amendement des sols et de fertilisation des cultures sur sol, y compris en culture hors-sol (**M'Sadak et al., 2013**). La qualité du compost varie en fonction de plusieurs facteurs, notamment les matières de base utilisées, la durée et les conditions de décomposition (**Radwan et Ashour, 2019**).

I.2.3. Intérêts du compostage :

Le compostage permet d'utiliser un matériau en fin de vie (le déchet) comme un produit utilisable (le compost). Le principal avantage d'un compost est qu'il constitue un amendement organique, capable d'améliorer la fertilité des sols (**Kirchmann et Widen, 1994**). Le compostage présente d'autres avantages en comparaison avec les déchets non compostés :

- ✓ Le compostage permet de réduire d'environ 50% les masses et volumes des résidus de première génération. Cette diminution résulte de la minéralisation des composés organiques, de la perte d'eau et de la modification de la porosité du milieu (**Kirchmann et Widen, 1994**).
- ✓ La décomposition de la matière organique entraîne une concentration des éléments minéraux au sein du compost (**Kirchmann et Widen, 1994**).
- ✓ L'augmentation de la température permet d'éliminer les agents pathogènes (**Kirchmann et Widen, 1994**).

I.2.4. Différentes méthodes du compostage

I.2.4.1. Compostage en andains

Le compostage en andains consiste à déposer un mélange de substances non transformées dans des tas allongés et fins, appelés andains, qui sont agités ou retournés périodiquement. L'aération de ces andains se fait principalement par un flux d'air spontané. Les dimensions d'un andain peuvent être déterminées par la porosité des matières compostées. (**Misra et al., 2005 ; Albrecht, 2007**)

I.2.4.2. La méthode Indore.

La méthode Indore est très répandue dans la préparation du compost en couche. La régularisation est simple et le processus est régulier, car le tas est retourné plusieurs fois et on obtient du compost en peu de temps. Le tas est réalisé à partir de branches et de cannes. Ensuite, on y met en ordre : une couche de matériel organique peu analysable d'environ 10 cm, couche de matériel organique analysable de 10 cm, couche de fumier animal de 2 cm. Cette opération de couche successive doit être réalisée jusqu'à ce que le tas ait une hauteur de 1,5 à 2 m. Il est recommandé de procéder à cette opération dans une durée limitée, préférentiellement une semaine (**Inckel et al., 2005**).

I.2.4.3. Vermicompostage

Le concept de lombricompostage, également connu sous le nom de vermiculture, implique l'utilisation de vers de terre pour la décomposition des déchets organiques (**Misra et al., 2005**). Le processus bio-oxydant mésophile implique des vers de terre détritivores qui interagissent étroitement avec les microorganismes du sol et les invertébrés de la communauté des décomposeurs. Cette interaction a un impact significatif sur les processus de décomposition,

accélère la stabilisation de la matière organique et entraîne des changements notables dans ses caractéristiques physiques et biochimiques (**Berker, 2016**). Bien que communément appelé lombricompost ou vermicompostage, ce produit final ne subit pas de processus de décomposition régulé ; il résulte plutôt de la digestion des vers et est donc classé comme fumier de vers de terre (**Michaud, 2007**). Les matières fécales des vers de terre (turricules) sont abondantes en nitrates, ainsi que sous des formes facilement disponibles de P, K, Ca et Mg (**Misra et al., 2005**).

I.2.5. Les phases de compostage :

I.2.5.1. Phase mésophile (25–40°C) :

Au stade initial (appelé phase de démarrage), il existe une prévalence de composés riches en énergie et facilement dégradables, tels que les sucres et les protéines, qui sont décomposés par des champignons, des actinomycètes et des bactéries, communément appelés décomposeurs primaires (**Bertodli et al., 2007**). À ce stade, l'importance de la biomasse et de la diversité microbienne est considérée comme limitée, avec une prévalence plus élevée de protéobactéries et une diminution de la présence d'actinomycètes (**Pujol, 2012**).

Au cours des étapes initiales du processus de compostage, l'existence de substances organiques facilement dégradables déclenche une activité microbienne vigoureuse, composée de bactéries et de champignons, ce qui entraîne une production importante d'énergie thermique et une augmentation rapide de la température interne du tas de compost (**Francou, 2003**).

I.2.5.2. Phase thermophile (35–65°C) :

Rapidement, la température atteint des niveaux de 60 °C, voire 75 °C. En ce qui concerne le pH, il augmente progressivement pour atteindre un état stable compris entre 7 et 8, un état qui persistera pendant toute la durée du processus de compostage (**Michaud, 2007**).

I.2.5.3. Phase de refroidissement :

Au cours de cette étape, une décélération des processus biologiques se produit en raison de la diminution de la présence de substances organiques rapidement dégradables. Par conséquent, la réintroduction de microorganismes mésophiles a lieu dans le tas de compost (**Pujol, 2012**). Le processus de refroidissement peut se produire à un rythme variable, soit progressivement, soit rapidement, en fonction des facteurs climatiques dominants ou des

dimensions du tas de compost. Pendant cette période, les microorganismes mésophiles rétablissent leur présence dans le compost (**Dekaki, 2008**).

I.2.5.4. Phase de maturation :

L'étape finale du compostage, appelée phase de maturation ou de stabilisation, est caractérisée par les processus biochimiques impliquant la synthèse de macromolécules humiques. Au cours de cette étape, les champignons et les actinomycètes jouent un rôle dominant (**Pujol, 2012**). La part des champignons augmente de nombre généralement, tandis que la part des bactéries diminue (**Bertodli et al., 2007**).

I.2.6. Les principaux paramètres du compostage.

I.2.6.1. La teneur en eau.

Il est crucial que le substrat utilisé pour le compostage soit humide afin de garantir la survie des organismes vivants impliqués dans le processus (**Yulipriyanto, 2001**). La dégradation de la matière organique est ralentie lorsque la concentration en eau est inférieure à 20%. En revanche, lorsque la concentration dépasse 70%, l'eau commence à combler les vides des déchets, ce qui entrave les échanges d'oxygène et favorise l'anaérobie (**Ramdani, 2015**).

I.2.6.2. Le pH

Le pH joue un rôle essentiel dans la majorité des réactions biochimiques initiées par les enzymes, ce qui a un impact sur la disponibilité des nutriments et la solubilité des minéraux pour les micro-organismes (**Chennaoui et al., 2016**). Les composts immatures ont généralement des pH acides, tandis que les composts matures ont des pH compris entre 7 et 9 (**Forster et al, 1993**).

I.2.6.3. La température

La température du compost varie en fonction de la chaleur produite par les microorganismes, qui est influencée par la capacité du substrat à se dégrader et sa teneur en nutriments (**Lashermes, 2010**). Le compostage s'effectue en quatre étapes différentes, influencées par les fluctuations de température (**Francou, 2003**).

Dans cette situation, la figure 1 illustre les différentes étapes successives du processus de compostage, dont une phase particulièrement thermophile.

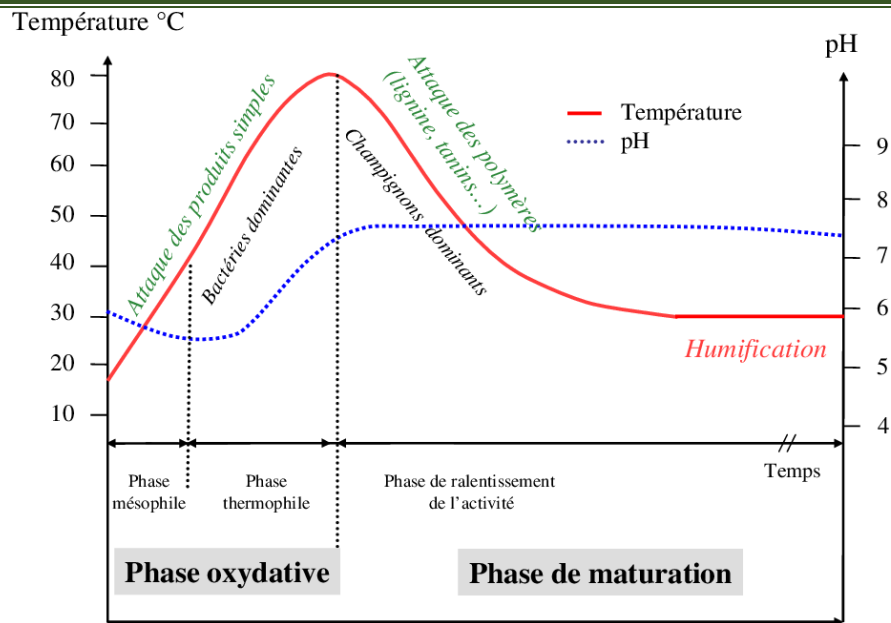


Figure 1 : Courbe théorique d'évolution de la température et du pH au cours du compostage d'après **Mustin (1987)**

I.2.6.4. Conductivité électrique

La conductivité du compost est directement proportionnelle à sa teneur en sels. La conductivité du compost dépend fortement de sa composition en nutriments (**Slimani ,2005**).

I.2.6.5. Le rapport C/N

Le rapport carbone/azote (C/N) joue un rôle essentiel, étant donné que la composition des matériaux utilisés dans le compostage et le degré de maturation du compost sont à la fois influencés. L'azote du sol peut être immobilisé dans le compost lorsque le rapport C/N est élevé, car les micro-organismes du compost utilisent l'azote pour dégrader les substances ligneuses (**Larbi, 2006**).

I.2.6.6. La teneur en matière organique totale

La minéralisation du compost désigne la diminution de la quantité totale de matière organique lors de la dégradation biologique du substrat (**Houot et al., 2002**). Pendant le processus de compostage, les pertes en matière organique totale peuvent s'élever de 20 à 60 % du poids initial de la matière organique totale (**Charnay, 2005**). Le compostage implique inévitablement deux étapes dans l'évolution de la matière organique : la dégradation et l'humification (**Leclerc, 2001**).

I.3. Le compost

I.3.1. Définition

Le produit final issu de compostage est une matière organique bien décomposée contenant de l'humus et des substances nutritives. C'est ceci que nous appelons compost (**Azzouzi et Khene, 2021**). Le compost, également connu sous le nom de compost organique ou biocompost, est une matière brunâtre semblable à du terreau. Il résulte de la décomposition contrôlée des matières organiques par des millions d'organismes vivants, allant des bactéries microscopiques aux vers de terre.

Un bon compost provient d'un équilibre entre des matériaux riches en azote et pauvres en carbone (déchets organiques, fumiers), riche en carbone et pauvre en azote (matière végétale sèche, bois broyé) et intermédiaires entre les deux (matière végétale verte) (**Couplan et Marmy, 2009**).

I.3.2. Types de compost

Il en existe deux catégories :

I.3.2.1. Le compost aérobie

Il s'agit d'un compost sans odeur désagréable ; il se maturera beaucoup plus rapidement (il peut être prêt en environ six mois). Les graines des mauvaises herbes et les germes pathogènes sont détruits par la fermentation qui entraîne une augmentation de la température. Toutefois, son seul désavantage réside dans le fait qu'il exige une intervention humaine plus importante que le compost anaérobie (**Couplan et Marmy 2009**).

I.3.2.2. Le compost anaérobie

Il s'agit d'un compost produit par l'accumulation de débris végétaux qui se décomposent sur sa surface. Les désavantages d'un tel compost incluent : Les mauvaises odeurs causées par la pourriture, l'évolution est plus lente que celle d'un compost aérobie (il faut environ un an pour être prêt), ce qui signifie que les problèmes phytosanitaires peuvent survenir car sa température reste basse et que les organismes pathogènes ne sont pas détruits (**Saoudi K Boussalia D, 2023**).

I.3.3. Composition

La réussite d'un compost repose sur un mélange équilibré de divers déchets.

Tableau 02 : Composition d'un compost.

Composition	Exemple
Déchets de jardin et d'entretien des espaces verts	Les fleurs fanées, les plantes, Les feuilles, les tailles de haies et d'arbustes ...
Déchets de cuisine, de cantines et de restauration	Restes de légumes, de fruits, Coquilles d'œufs, Filtres et marc de café, sachets d'infusions ...
Déchets de marchés de fruits et légumes	Marchandises non vendues ou en début de décomposition.
Autres déchets	Sciures, copeaux (non traités), Papiers et cartons, Fumiers d'animaux d'élevage.

I.3.4. Caractéristiques :

Il se distingue par trois caractéristiques principales :

- La stabilité de la composition, garantissant l'invariance du produit.
- L'efficacité agronomique.
- L'innocuité, c'est-à-dire l'absence de risques sanitaires liés aux germes pathogènes, parasites ou divers polluants présents dans les déchets solides. **(Tahraoui, 2013).**

I.3.5. Les propriétés du compost

Les effets positifs de l'utilisation du compost sur le sol et sur les plantes sont nombreux **(Michaud ,2007).**

-
- ✓ Le compost nourrit le sol en les plantes ;
 - ✓ Le compost augmente la capacité à retenir l'eau et les éléments minéraux ;
 - ✓ Le compost améliore la structure des sols ;
 - ✓ Le compost contribue à minimiser les écarts du pH du sol ;
 - ✓ Le compost augmente la résistance du sol au compostage ;
 - ✓ Le compost augmente la résistance du sol à l'érosion par le vent, par l'eau de ruissellement ;
 - ✓ Le compost contribue à maintenir les plantes en santé ;
 - ✓ Le compost favorise un réchauffement au sol plus rapide au printemps.

I.3.6. Les avantages et les inconvénients du compost

La mise en œuvre du compost offre de nombreux avantages, mais présente également quelques inconvénients qu'il convient de prendre en compte au préalable.

I.3.6.1 Les avantages du compost

L'utilisation du compost en agriculture pourrait aider à lutter contre la dégradation des sols. En effet, il est généralement reconnu que les composts contribuent à l'entretien de la matière organique des sols, améliorant ainsi leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques, tout en fournissant des éléments fertilisants aux cultures (**Leclerc, 2001**). Il permet en un mot à la « restauration » des sols.

- Aide à décomposer les résidus de pesticides ou autres résidus synthétiques.
- Diminue la disponibilité de certains métaux lourds.
- Se caractérise comme étant un fertilisant et un amendement organique contenant peu, voire aucun pathogène (champignons, bactéries, insectes, etc.) et mauvaises herbes.
- Amélioration de la structure des sols par augmentation des agrégats et des espaces vides.
- Effet isolant de la matière organique si les sols sont bien drainés.
- Effets sur la biologie des sols : augmentation de l'activité des microorganismes.
- Meilleur développement racinaire et par conséquent, des plantes entières (**Matra, 2005**).

I.3.6.2. Les inconvénients du compost

Disponibilité

Le compost n'est pas toujours facilement disponible, et sa disponibilité peut varier. Les agriculteurs et les producteurs recherchent souvent des caractéristiques spécifiques dans le compost. De plus, son poids et son volume rendent le transport sur de longues distances coûteux. (Alfred et Vincent, 2020)

Qualité et contamination

Si le compost ne répond pas aux normes de qualité requises pour une application spécifique, il est préférable de reconsidérer son utilisation plutôt que d'incorporer du compost de qualité médiocre dans la parcelle. Il existe plusieurs méthodes pour évaluer la qualité, en prenant en compte diverses caractéristiques telles que le déséquilibre des nutriments, la présence d'acides humiques, ainsi que la contamination organique et inorganique. (Alfred et Vincent, 2020).

II. Evaluation des impacts du compost sur l'agriculture et l'environnement

II.1. Impacts sur les propriétés du sol

II.1.1. Les propriétés physiques du sol

II.1.1.1. Amélioration de la porosité du sol

Le compost étant composé de particules de tailles différentes, il offre une structure poreuse qui améliore la porosité du sol. L'amélioration de la porosité entraîne également une meilleure aération du sol et ainsi le développement de l'activité biologique (Charnay, 2005).

II.1.1.2. Amélioration de la capacité de rétention d'eau

La matière organique présente dans le compost a la capacité d'absorber l'eau, ce qui améliore la capacité de rétention d'eau du sol. (Zurbrugg et Ahmed, 1999).

II.1.1.3. Amélioration de la structure du sol

Le compost améliore la structure du sol en augmentant les agrégats (pénétration plus facile des racines et meilleure utilisation du sol. Il assure une perméabilité à l'air et à l'eau (Zurbrugg et Ahmed, 1999).

II.1.1.4. Dynamique du sol et amélioration des échanges gazeux

La présence de nombreux microorganismes dans le compost augmente l'activité biologique du sol et permet un bon échange gazeux entre le sol, l'air, l'eau et les plantes. L'ajout

de compost permettra au sol d'être plus poreux, améliorant ainsi les échanges gazeux et développant de nouvelles racines (Zurbrugg et Ahmed, 1999).

II.1.2. Les propriétés chimiques du sol

Grâce à la minéralisation, le compost fournit les nutriments que les plantes absorberont progressivement. Le compost mûr empêche l'acidification du sol ou corrige l'acidité du sol par un stockage temporaire. Le compost ne contient pas des éléments ou des substances chimiques pouvant contaminer la chaîne alimentaire (Idder et Bellaloui, 1990).

II.1.2.1. Croissance et rendement des végétaux

II.1.2.1.1. Amélioration du rythme de diffusion des nutriments

Le compost permet de redonner ses nutriments au sol et de prolonger sa présence dans le sol afin de nourrir les plantes plus longtemps (Hoitink et Grebus, 1994).

II.1.2.1.2. Elimination des maladies chez les végétaux

Il a été démontré que certains composts améliorent la résistance des plantes à certaines maladies (Hoitink et Grebus, 1994).

II.1.2.1.3. Effet phytosanitaire

L'effet direct du compost sur la santé des plantes entraîne une diminution des maladies du sol et des feuilles, et cette action est principalement due à la microflore bénéfique. L'absence des graines des mauvaises herbes protègent la santé des plantes (Hoitink et Grebus, 1994).

II.1.2.1.4. Effet sur le rendement

Selon certaines études, il est possible d'obtenir une importante concentration de composés azotés indispensables aux plantes, qu'ils soient organiques ou inorganiques, après l'ajout de compost (Iglesias Jimenez et Alvarez, 1993). Le compost fournit efficacement du phosphore, du potassium et des oligo-éléments au sol et aux plantes. (Soumare et al., 2003 ; Zhang et al., 2006)

II.2. Impacts sur l'environnement

II.2.1. Effet sur la qualité de l'air

L'ensemble des processus biochimique du compostage va entraîner la formation de nombreux gaz, présentant des impacts sur l'aire de différente nature (Peine, 2001).

II.2.2. Les gaz à effet de serre

Mis en cause dans le phénomène de changement climatique. Exemple : dioxydes de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), protoxyde d'azote(N₂O) (**Peine, 2001**).

II.2.3. Les gaz malodorants et toxiques

Ces gaz posent essentiellement des problèmes de santé pour l'homme (**Peine, 2001**).

II.2.4. Le ruissellement

Lors de fortes précipitation, l'eau peut ruisseler sur le tas de compost et se charger en éléments (nitrate, phosphore, etc...). Sous les tas proviennent immédiate de source d'eau seront de pollution (**Peine, 2001**).

II.2.5. Le lessivage

Les eaux de pluies qui percolent dans le tas et l'eau formé lors de compostage, tout comme le ruissellement, les eaux de lessivage sont généralement faiblement chargées en éléments polluants, le principal problème est lié à l'accumulation d'élément sous le tas de compost si celui-ci est maintenu (**Peine,2001**).

III. Compostage en Algérie**III.1. Réglementation**

En Algérie, la gestion, le contrôle et l'élimination des déchets sont régis par la loi 01-19 du 12 décembre 2001.

Concernant les installations de compostage et la production de compost, aucun texte de loi spécialement décrété dans ce sens n'existe en Algérie. Cependant, les unités de compostage étant considérées comme des installations classées, elles doivent systématiquement répondre aux dispositions des décrets suivants :

- Décret exécutif n°04-410 du 2 Dhou El Kaada 1425 Correspondant au 14 décembre 2004 fixant les règles Générales d'aménagement et d'exploitation des installations de traitement des déchets et les conditions d'admission de ces déchets au niveau de ces installations.

- Décret exécutif n°06-104 du 29 Moharram 1427 correspondant au 28 Février 2006 fixant la nomenclature des déchets,

- Décret exécutif n°06-198 du 31 mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement : l'activité de compostage nécessite une autorisation d'exploitation, délivrée par le WALI territorialement compétent (la

classe de l'installation de compostage classe II selon la codification nomenclature des IC conformément à son article 3)

- Décret exécutif n°07-144 du 2 Joumada El Oula 1428 correspondant au 19 mai 2007 fixant la nomenclature des établissements classés pour la protection de l'environnement.

III.2. Les normes

De même que pour la réglementation, les normes nationales relatives aux compostages sont inexistantes.

Les normes citées par l'IANOR dans son programme de normalisation 2017 concernent les engrais et fertilisant de façon générales. A savoir

- Norme Algérienne NA 17671 2010 : Matières fertilisantes, boues des ouvrages de traitement des eaux épurées urbaines, Dénominations et spécifications

- Norme Algérienne NA 17731 2017 : Valorisation des boues résiduaires en agriculture

Par conséquent, en matière de compostage, c'est les normes internationales qui sont suivies, en attendant le développement des normes adaptés aux conditions de notre pays. Dans ce contexte, on retrouve deux principales normes :

- Norme 44 095 depuis Mars 2004 qui concerne le compost de boues apparentés aux amendements organiques

- Norme 44 051 depuis Avril 2005.

Tableau 03 : Normes IANOR ; engrais et fertilisant

REF.	SOURCE DOCUMENTAIRE	INTITULE	THEME PROPOSE PAR	POUR LES BESOINS DE
NA 7977	NF U 44- 051 :1981	Amendement organique Dénominations et spécifications	CTN	REVISION
NA 7986	NF U 42- 002-1 : 1990	Engrais - Engrais à teneur(s) Déclarée(s) en oligo-éléments sous forme de combinaisons chimique exclusivement minérales - Dénomination et spécifications	CTN	REVISION
NA 7987	NF U 42-	Engrais - Engrais à teneur(s)	CTN	REVISION

	003-1 : 1990	Déclarée (s) en oligo-éléments pour pulvérisation foliaire - oligo-éléments Sous forme de Combinaisons Chimique exclusivement Minérales - Dénominations et Spécifications		
NA 7991	NF U 42- 002-2 : 1992	Engrais - Engrais à teneur(s) Déclarée (s) en oligo-éléments destinés à être Apportés au sol - oligo-éléments sous forme de Combinaisons organiques - Dénominations et spécifications	CTN	REVISION
NA 7992	NF U 42- 003-2 : 1992	Engrais - Engrais à teneur(s) Déclarée (s) en oligo-éléments pour pulvérisation foliaire - oligo-éléments Sous forme de combinaisons Organiques – Dénominations et spécifications	CTN	REVISION
NA 14623	NF U 44- 771 : 1986	Matières fertilisantes - Dénomination de l'anhydride sulfurique total et soluble	CTN	REVISION
NA 14624	NF U 44- 551 : 2002	Supports de cultures - Dénomination, spécifications, marquage	CTN	REVISION

**MATÉRIELS
ET
MÉTHODES**

I. Echantillonnage

I.1. Le sol

Le sol utilisé dans notre expérimentation est un sol agricole, provient de la région El Athmania wilaya de Mila. Le prélèvement du sol a été effectué dans des bacs en plastique au niveau de l'horizon superficiel « A », juste à une profondeur environ 10 à 25cm de la surface, dans une parcelle non cultivée. Il est ensuite homogénéisé et transporté au laboratoire. Les échantillons ramenés au laboratoire, sont séchés à l'aire libre dans la serre pendant quelques jours, puis broyés et tamisés à 2 mm afin d'éliminer les résidus non broyés et avoir un matériau homogène.



Figure 02 : Préparation de sol

Le type d'échantillonnage suivi dans le travail pour la caractérisation physico-chimique est un échantillonnage aléatoire, dont lequel on a prélevé le sol à partir des points différents à fin d'obtenir un échantillon moyen représentatif.

I.2. Les composts

Les deux composts étudiés sont élaborés par Dr. Nourine Heidar et Dr. Dahdah kamal en septembre 2023 comme suit.

Ils ont procédé à un co-compostage des boues d'épuration et des déchets d'entretien d'espaces vert :

- ✓ Les boues d'épuration âgées d'environ 1 an ont été ramenées de la station d'Oued Athmania.
- ✓ Les tiges (avec feuilles) de *Myoporum* (*Myoporum laetum*) vertes ont été découpées en petit morceau inférieur à 2 cm.

Le rapport du mélange boues déchets vert est de 1/1 (v/v). La quantité totale par bac de 50 litres est estimée à environ 13Kg du mélange. Nous avons appliqué deux traitements et chaque traitement et répliqué 06 fois.

Le premier traitement (compost T) comporte une inoculation d'un consortium nommé VMC2 (Dahdah, K *et al*, 2022) à raison de 4% (v/p), et comportant :

- *Penicillium* sp.: 10^7 UFC/ml.
- *Aspergillus* sp.: 10^7 UFC/ml.
- *Aspergillus* sp.: 10^6 UFC/ml.

Le deuxième traitement (compost C) comporte une solution de métabolites du même consortium VMC2, récupéré après élimination des micro-organismes par autoclavage.

L'humidité pendant le compostage a été contrôlé régulièrement, par une sonde d'humidité portative, pour la maintenir supérieur à 50 %.

Les déchets sont mélangés tous les 3 jours dans les deux premières semaines, puis une fois par semaine le reste de la durée fixée pour le compostage qui est de 2 mois.



Figure 03 : compost

I.3. Matériel Végétal

Le matériel végétal ayant fait l'objet de cette étude, est composé de graines d'une variété de blé tomate *Triticum durum* et de cresson *Lepidium sativum*. Les deux plantes ont été choisies, en raison de leurs larges utilisations dans le domaine de l'écotoxicologie comme des modèles

végétaux, ainsi suit aux résultats des tests de phytotoxicité des deux composts appliqué sur plusieurs modèles végétales.

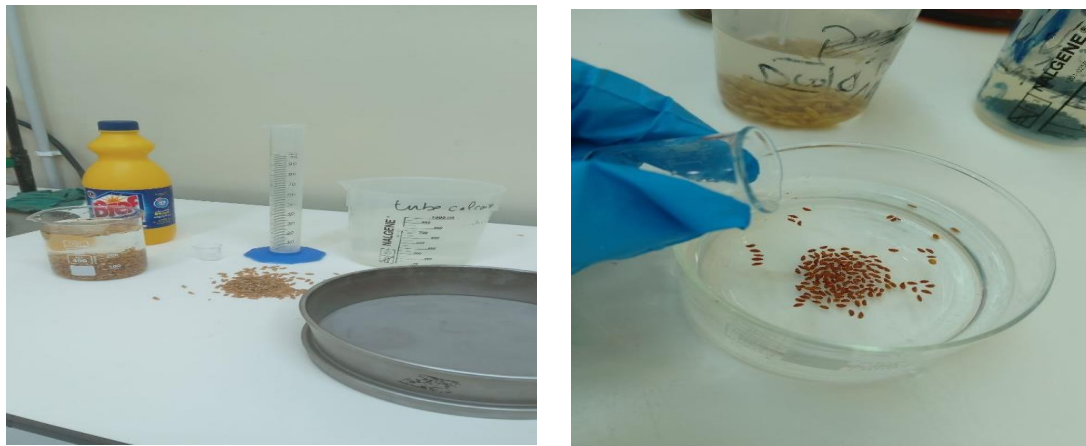


Figure 04 : Préparation des graines

Les graines des deux plantes sont sélectionnées et désinfectées à l'hypochlorite de sodium à 1% pendant 5 minutes, pour éliminer toute contamination fongique. Puis rincées rigoureusement et abondamment à l'eau distillée 3 à 4 fois, séchées à l'air libre à température du laboratoire avant d'être mises en germination.

I.3.1 Préparation des pots

Les pots utilisés dans les expérimentations sont en plastique, d'une capacité de 0,5 Kg et un diamètre supérieur maximum de 10,5cm et un diamètre inférieur de 09 cm. Afin de laisser drainer l'eau en excès et éviter l'asphyxie des plantules, les fonds des pots ont été perforés et remplis d'une couche de gravier moyen. Ces pots sont désinfectés par l'hypochlorite de sodium, rincés plusieurs fois à l'eau de robinet afin d'éliminer tous types de contaminants fongiques.



Figure 05 : Préparation des pots

I.3.2. Le Site expérimentale

Notre dispositif expérimental a été réalisé ecotoxicologie et expertise environnementale, au niveau de Centre National de Biotechnologie (CRBt), nouvelle ville Ali Mendjli, Constantine, dont les conditions de cultures : la température, la luminosité et l'humidité sont bien contrôlées.

I.3.3. Plan d'expérience

L'essai est conduit selon un dispositif expérimental en blocs complètement aléatoires (Charchar *et al*, 2020), comportant 6 traitements. Chaque traitement est répété 3 fois (3 pots/traitement). Chaque série de 3 pots reçoit une quantité de boues, désignées par et dans un rapport boues/sol respectivement de : et (p/p). Les traitements appliqués sont :

- Traitement 1 (T0) : constitué de pots contenant les échantillons de sols sans apport de de composts (Témoin).
- Traitement 2 (T1) 0,5% : constitué de pots contenant les échantillons de sols amendés par du compost.
- Traitement 3 (T2) 1% : constitué de pots contenant les échantillons de sols amendés par de compost.
- Traitement 4 (T3) 2% : constitué de pots contenant les échantillons de sols amendés par de compost.
- Traitement 5 (T4) 4% : constitué de pots contenant les échantillons de sols amendés par de compost.
- Traitement 6 (T5) 8% : constitué de pots contenant les échantillons de sols amendés par de compost.



Figure 06 : Préparation des différents traitements

I.3.4. Le semis

Les deux plantes testées sont choisies après avoir obtenu les résultats de test de phytotoxicité, le blé et le cresson ont montré les meilleurs indices de germination par rapport les autres espèces (colza, tomate et oignon). Les graines ont été semées dans les pots (20 mars jusqu'au 7 mai 2024), en raison de 10 graines pour le blé et 20 graines pour le cresson. La germination des graines, a commencé dès le 4^{ème} jour de semis jusqu'au 7^{ème} jours, où la croissance des plantes a progressé par l'apparition des feuilles.



Figure 07 : Semis des graines

I.3.5. Conditions de culture

Les pots ainsi préparés, sont placés sur une table (h=90cm) et subissent régulièrement des rotations. Les cultures sont conduites sous des conditions de températures et de luminosité de laboratoire (température de (20 ; 2) °C avec une photopériode jour-nuit 16/8h. L'irrigation a été faite, de manière à maintenir le sol dans une humidité suffisante et éviter tout stress hydrique durant l'expérimentation (entre 60 et 70 %).

II. Méthodes analytiques utilisées

Afin d'établir les différentes caractéristiques des échantillons étudiés ; sol, composts, mélanges (sol + composts) et plantes, nous avons effectué plusieurs analyses. Dans cette

expérimentation, les analyses physico-chimiques et biochimiques de es échantillon ont été réalisées au niveau de CRBt (laboratoire d'analyses environnementales).

II.1. Analyse physique

Texture de sol (La granulométrie)

❖ Principe

Après suppression des substances organiques la méthode ROBINSON est utilisée pour déterminer la fraction des particules les plus petites. La méthode est basée sur la différence de vitesse de sédimentation entre les particules légères et les plus grosses. La sédimentation des particules résulte des deux forces opposées : gravité et friction entraînant un mouvement dans un milieu fluide. Dans la méthode "ROBINSON", un échantillon est pipeté à différentes périodes et à différentes profondeurs de la suspension du prélèvement dans une éprouvette.

❖ Mode opératoire

Sur une prise d'essai de 30 g du sol tamisé à 2 mm, rajouter 100 ml d'eau oxygéné à 1% et laisser reposer (attaque à froid) puis chauffer et accélérer l'attaque à chaud en rajoutant de l'eau oxygéné 30% successivement jusqu'à disparition des fumés et que le chauffage ne produit plus de réaction (Utiliser l'éthanol pour éliminer la mousse). Laisser refroidir et récupérer la terre après séchage. Peser 20 g de la terre sèche dans un flacon de 1000 ml et rajouter 30 ml de la solution hexa-métaphosphate et 5 ml d'ammoniac, compléter à 500 ml ensuite agiter pendant



Figure 08 : Analyse de texture du sol.

2h. Transférer dans une allonge et ajuster à 1000 ml. Effectuer les prélèvements à 10 cm de la surface et à 31 °C. Un prélèvement pour un échantillon témoin est indispensable.

II.2. Analyses chimiques

II.2. 1. Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le potentiel d'hydrogène (pH) est défini comme le logarithme de la concentration des ions H⁺ dans une solution. Il est basé sur la détermination de la différence de potentiel existant entre deux électrodes plongées dans l'échantillon liquide.

❖ Principe

Le principe de mesure repose sur la mise en équilibre ionique d'un certain solide avec un volume donné d'eau déminéralisée. La mesure de pH se fait fréquemment dans une suspension aqueuse en équilibre, le rapport de masse de sédiments au volume d'eau variant selon les méthodes et la texture du milieu. Le ratio le plus souvent rencontré est de 1/2,5.

❖ Mode opératoire

10 g des échantillons (sol, composts, mélange composts+ sol) pesés pour l'analyse sont mis dans un bécher, en ajoutant 25 ml d'eau distillée. Ensuite, on agite pendant 1 heure pour mettre en suspension la totalité de l'échantillon et obtenir un équilibre entre la phase solide et la phase liquide. La suspension est ensuite laissée au repos pendant 2 heures à l'abri de l'air.

Résultat

La mesure de pH se fait par l'emploi d'un pH-mètre à électrode de verre préalablement étalonné à l'aide des solutions tampons de pH connu

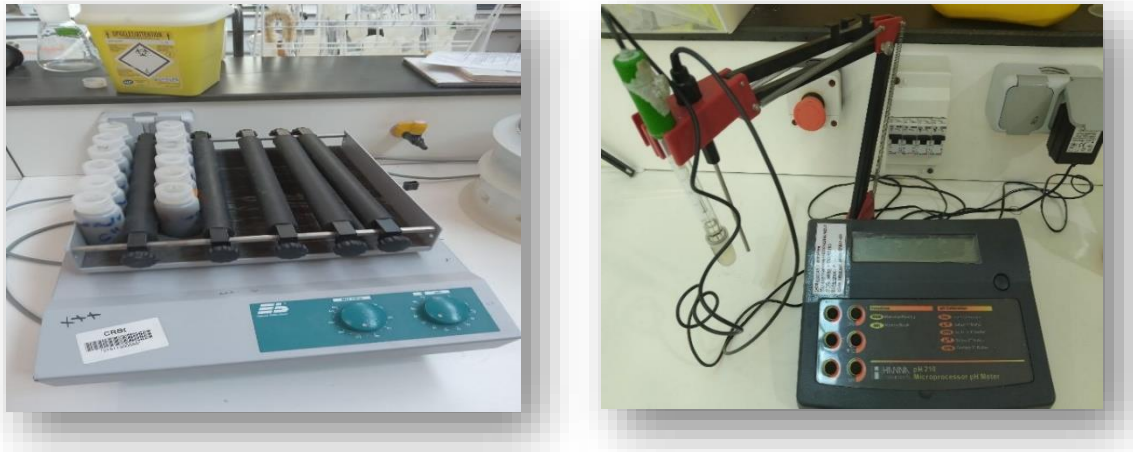


Figure 09 : Mesure de pH.

II.2. 2. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est une approximation de la teneur en sels solubles présents dans l'échantillon. Le rapport de l'extraction est de 1:5 (m/V) avec de l'eau distillée, afin de dissoudre les électrolytes.

❖ Principe

Le principe est basé sur l'extraction des sels d'un échantillon soluble dans l'eau, dans des conditions bien définies et avec un rapport sédiments secs/eau de 1/5.

❖ Mode opératoire

10 g de l'échantillon de sédiments préparés pour l'essai sont pesés et placés dans un flacon en polyéthylène fermé, puis 50 ml d'eau distillée sont ajoutés. Le mélange est bien agité pendant 30 minutes, laissé à décanter, puis filtré.

❖ Résultat

La conductivité électrique de l'extrait filtré est mesurée à l'aide d'un conductimètre et exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Le résultat est corrigé à une température de 25 °C

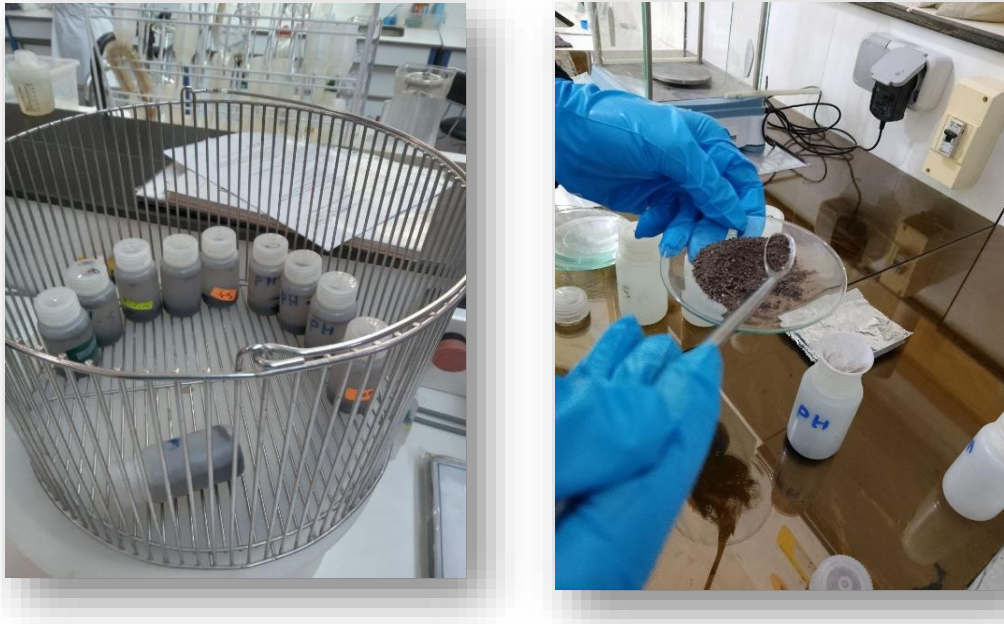


Figure 10 : Mesure de la conductivité (CE)

II.2. 3. Dosage de la matière organique (Walkley et Black)

❖ Principe

La teneur en matière organique totale du sol s'obtient généralement en mesurant la teneur en carbone. La détermination du carbone organique (CO) du sol revêt une importance particulière. En effet, les anions RCOO issus de l'apport de matière organique contribuent à la disponibilité du phosphore (P) car ils entrent en concurrence avec le phosphore pour les sites d'adsorption (**Dubus, 1997**). Il se peut même que la matière organique accroisse la dissolution du phosphore en formant des complexes avec le fer (Fe) et l'aluminium (Al), sur lesquels le phosphore subit une précipitation (**Radersma, 1996**).

Le dosage du carbone peut s'opérer par voie humide en faisant agir sur le sol dans des conditions bien définies une quantité connue d'un corps oxydant. La technique suivie dans ce travail c'est la technique de **Walkley et Black (1934)**.

Le carbone de la matière organique est oxydé par un mélange de bichromate de potassium et d'acide sulfurique. On admet que l'oxygène consommé est proportionnel au carbone que l'on veut doser, l'excès de bichromate inutilisé dans la réaction est dosé par le sel de Mohr, on estime que le rapport matière organique/carbone est à peu près constant et égal :

$$\text{MO \%} / \text{C\%} = 1,72$$

❖ Mode opératoire

Peser 0,25 g de sol (ou 0,5 g de compost séchée et tamisée) dans une fiole conique, puis ajouter 10 mL de solution de bichromate de potassium. Agiter d'un mouvement de va-et-vient, puis verser 20 mL d'acide sulfurique et agiter pendant une minute. Laisser reposer 30 minutes, puis ajouter 150 mL d'eau distillée. La quantité de bichromate de potassium n'ayant pas réagi à l'oxydation est déterminée en ajoutant 6 gouttes de ferroïne, puis en titrant avec le sel de Mohr en le laissant couler goutte à goutte au centre de la suspension, tout en agitant continuellement.

❖ Résultats

Un échantillon normal prend la couleur sombre au contact de la ferroïne, et vire finalement vers le rouge.

$$\text{C \%} = (\text{V}_T - \text{V}_E) \times 0,4 / \text{p}$$

Les résultats sont exprimés en % de carbone total par la relation suivante :

- V_T : volume du sel de Mohr versé pour le témoin.
- V_E : volume du sel de Mohr versé pour l'échantillon.
- P : poids de l'échantillon.

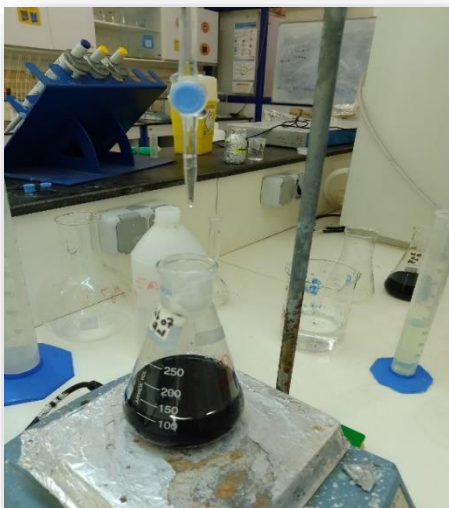


Figure 11 : Dosage de la matière organique

II.2. 4. Dosage de l'azote total (NF ISO 11261, 1995) :

❖ Principe

Le sol finement broyé est chauffé avec de l'acide sulfurique concentré ($d = 1,63$), qui, à ébullition, détruit la matière organique azotée. Le carbone et l'hydrogène se dégagent sous forme de CO_2 et H_2O , tandis que l'azote est transformé en ammoniacque et fixé par l'acide sulfurique sous forme de sulfate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Cette transformation nécessite l'emploi d'un catalyseur, le plus couramment utilisé étant un mélange de sulfate de cuivre et de sélénium en poudre. Il est également nécessaire d'élever la température d'ébullition de l'acide sulfurique en ajoutant du sulfate de potassium. Enfin, l'ammoniacque formé est libérée de sa combinaison par la soude concentrée, puis distillé par entraînement de vapeur, recueilli dans une solution d'acide borique et dosé avec de l'acide sulfurique titré.

❖ Mode opératoire

Pour cette analyse, trois répétitions doivent être effectuées pour chaque échantillon.

Préparation de l'échantillon :

- Introduire dans un matras de 300 ml, 2 g de terre finement broyée et 2 ou 3 g de catalyseur.
- Homogénéiser le mélange et ajouter ensuite 15 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré.
- Mélanger soigneusement, puis coiffer le matras d'un petit entonnoir ou d'une boule de verre pour favoriser la condensation des vapeurs sulfuriques et empêcher les projections.

Chauffage :

- Chauffer le matras incliné en deux phases successives :
 - Phase 1 : à $150\text{ }^\circ\text{C}$ pendant 60 minutes.
 - Phase 2 : à $420\text{ }^\circ\text{C}$ pendant 60 minutes.
- Maintenir le chauffage jusqu'à décoloration complète du contenu du matras.

Refroidissement et rinçage :

- Laisser refroidir.
- Rincer l'entonnoir et le col du matras avec quelques millilitres d'eau distillée (environ 20 ml).

Distillation :

- Adapter le matras à un appareil de distillation avec entraînement de vapeur.
- Avant l'arrivée de la vapeur, introduire environ 60 ml de lessive de soude (10 N) en circuit fermé si possible (un précipité brunâtre dû à l'hydroxyde apparaîtra).
- Faire arriver la vapeur dans le matras et effectuer la distillation.
- Recueillir l'ammoniaque dans un bécher contenant 20 ml de solution d'acide borique et quelques gouttes d'indicateur (Tashiro). Le tube de dégagement d'ammoniaque doit tremper dans l'acide borique.
- L'opération d'entraînement dure environ 15 minutes.

Titrage :

- Titrer avec de l'acide sulfurique. 1 ml d'acide sulfurique N/10 correspond à 1,4008 mg d'azote.

❖ Résultat

Après le titrage, le volume de l'acide sulfurique qui convient au virage de couleur est déterminé afin de calculer la concentration de l'azote présent dans l'échantillon traité. Pour le calcul, on applique la formule suivante :

$$[\text{Azote Totale}] = (14 \cdot N \cdot V) / P.$$

Les résultats de l'azote sont exprimés en mg/kg.

- ✓ **[Azote Totale]** : la concentration de l'azote totale en mg/kg.
- ✓ **N** : Normalité de l'acide sulfurique.
- ✓ **V** : le volume marqué de H₂SO₄ lors de titrage.

✓ **P** : la masse de l'échantillon pesé.

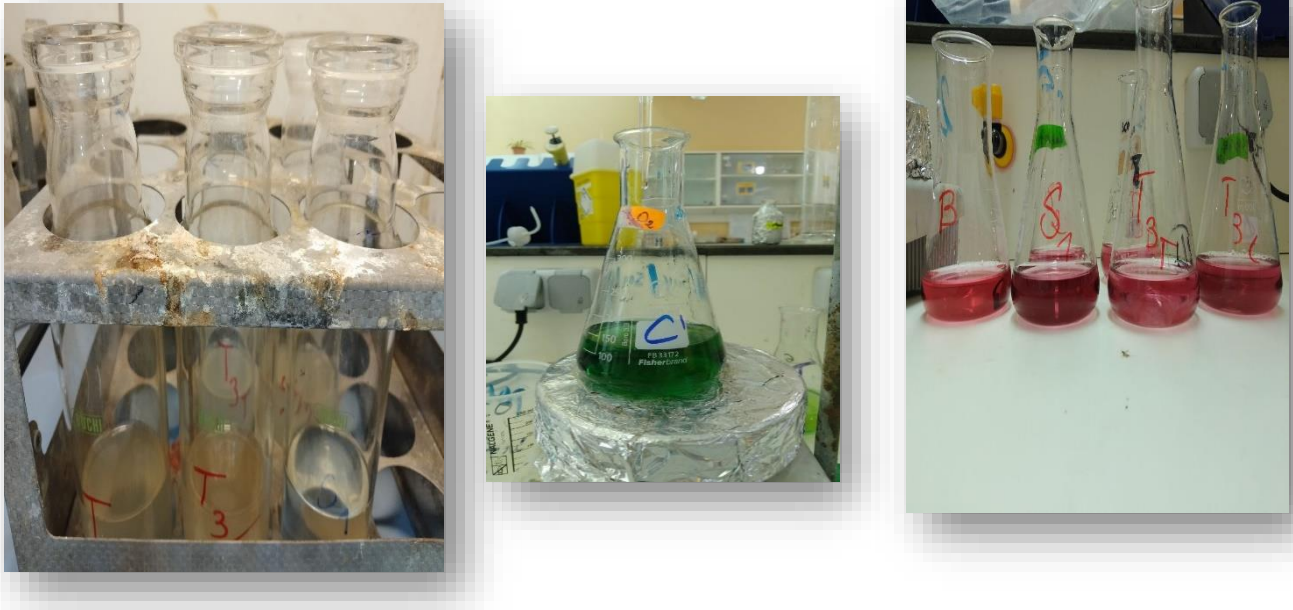


Figure 12 : Dosage de l'azote totale

II.2. 5. Phosphore assimilable NF ISO 11263 :

❖ Principe

Le phosphore assimilable, également appelé réserve assimilable ou fraction libre, est le phosphore susceptible d'être absorbé par les racines. La détermination du phosphore assimilable repose sur la mise en contact de la terre avec une solution d'hydrogénocarbonate de sodium, conformément à la norme internationale **NF ISO 11263**. L'extrait obtenu est ensuite dosé par spectrophotométrie.

❖ Mode opératoire

Peser 1 g de sol et y ajouter une quantité de charbon actif. Ensuite, ajouter 20 ml de la solution d'extraction et agiter mécaniquement pendant 30 minutes. Filtrer au papier Whatman jusqu'à l'obtention d'une solution claire. Prélever 10 ml du filtrat dans une fiole de 50 ml et y rajouter 5 ml d'acide sulfurique. Laisser reposer une nuit ou agiter pendant une heure. Ajouter ensuite 10 ml d'eau distillée et 3 ml de molybdate d'ammonium. Puis, ajouter 0,25 ml de la solution chlorure stanneux et ajuster à 50 ml. Agiter pour homogénéiser le mélange et doser au spectrophotomètre UV-vis à 660 nm.

❖ Résultat

Les résultats obtenus sur UV-vis sont des concentrations massiques C en ppm (mg/l) Masse du phosphore en mg/g du sol :

$$M = (C \cdot 20) / 10$$



Figure 13 : Dosage de phosphore assimilable

II.2. 6. Calcaire total (Bernard ISO 10693)**❖ Principe**

Calcaire total par la méthode du calcimètre de **Bernard (ISO 19693)**. Un calcimètre permet de mesurer le volume de CO₂ dégagé par l'action de l'acide chlorhydrique (HCl) sur le carbonate de calcium (CaCO₃) présent dans un échantillon de sol.

❖ Mode opératoire

Préparez une solution saturée de NaCl en dissolvant 95 g dans 250 ml d'eau distillée et colorez la solution. Ensuite, placez dans l'erlenmeyer 0,5 à 1 g de sol et un tube à essai. À l'aide d'une pipette, versez 5 ml de l'essai dans le tube à essai. Bouchez l'erlenmeyer et ajustez la hauteur de l'ampoule pour que l'eau salée soit au même niveau dans l'ampoule et le tube gradué, assurant ainsi que le contenu de l'erlenmeyer est à la pression atmosphérique. Notez le niveau. Inclinez ensuite l'erlenmeyer pour faire couler l'acide sur l'échantillon. Reposez l'erlenmeyer et attendez la fin de l'effervescence. La pression dans le tube gradué est alors supérieure à la

pression atmosphérique. Ajustez la hauteur de l'ampoule jusqu'à ce que le niveau soit identique dans l'ampoule et le tube, rétablissant ainsi la pression atmosphérique. Le CO₂ dégagé est maintenant à pression atmosphérique, et vous pouvez procéder à la mesure. Pour le témoin, répétez l'opération en remplaçant l'échantillon par 0,3 g de CaCO₃.

❖ Résultat

Soit la formule suivante pour la calcul des résultats :



$$\text{CaCO}_3\% = (V \cdot 0,3 \cdot 100) / (V_2 \cdot P)$$

V₂ : volume de CO₂ produit par 0.3 g de CaCO₃ sec et pur en ml

V : volume de CO₂ produit par la quantité de CaCO₃ contenu dans un poids P de sol en ml

P : prise d'essai en g

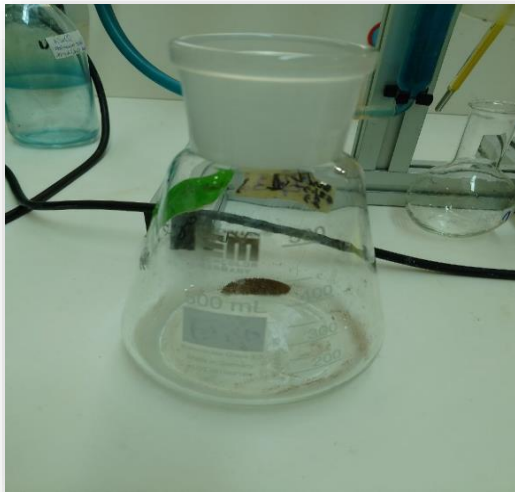


Figure 14 : Dosage de calcaire total.

II.2. 7. Capacité d'échange cationique (CEC)

❖ Principe

La capacité d'échange cationique (CEC) correspond à la quantité de charges positives portées par les cations susceptibles d'être fixés, de façon réversible, sur les sites chargés négativement de certains constituants du sol. On distingue les sites à charges permanentes, dont le nombre varie peu avec les conditions du milieu, et les sites à charges variables (comme la matière organique), dont la quantité est fortement liée au pH.

❖ Mode opératoire

Prenez un échantillon de 5 g de sol et ajoutez-y 0,0075 g de carbonate de calcium dans un flacon. Ensuite, ajoutez 50 ml de solution d'oxalate d'ammonium et agitez pendant 3 heures. Laissez reposer pendant 16 heures, puis filtrez. Prélevez 20 ml de la solution dans un matras et ajoutez-y 10 ml de NaOH et 190 ml d'eau distillée, ainsi que quelques gouttes de phénolphaléine. Distillez jusqu'à obtenir 100 ml et récupérez le distillat dans un bécher contenant 20 ml d'acide borique et des gouttes d'indicateur Tashiro. Titrer avec de l'acide sulfurique jusqu'au changement de couleur persistant.

❖ Résultats

Soit la formule suivante pour la calcul des résultats :

$$T = ((V2-V1) * C * 2 * 100) / (P * F)$$

T : capacité d'échange cationique exprimé en meq/100d du sol

V2 : volume de titration du témoin en m.l

V1 : volume de titration d'échantillon en ml.

C : concentration de l'acide de titration en mol/l.

P : prise d'essai en g.

F : volume du filtrat en ml



Figure 15 : Dosage de la Capacité d'échange cationique (CEC)

II.3. Test de phytotoxicité

❖ Principe

La phytotoxicité est l'un des derniers phénomènes permettant de faire la différence entre un compost mûr et un compost immature (**Mustin, 1987 ; Epstein, 1997**).

Pour évaluer la maturité des composts obtenus, nous avons déterminé l'effet de l'extrait aqueux du compost sur la germination des graines de cresson (*Lepidium sativum*), de blé (*Triticum aestivum*), la tomate (*Solanum lycopersicum*), colza (*Brassica napus*) et l'oignon (*Allium cepa*)

Le test est un test rapide qui donne une réponse en 5 jours. La maturité est évaluée suivant le pourcentage de germination.

❖ Mode opératoire

L'extrait du compost est préparé selon la méthode (**DI.VA.P.R.A, 1998**). Une proportion 1/5,7 (M/V) (compost (g de matière sèche) / eau distillée (ml)) est préparée pour chaque test de compost. Le compost/eau distillée est laissé en contact pendant 2 heures. Ce mélange est ensuite centrifugé à 600 rpm pendant 15 minutes. Le surnageant est filtré 2 fois sur papier filtre de diamètre 0.8 μm . cinq dilutions sont préparées à partir du filtrat final pour avoir une concentration de 5, 25, 50, 75 et 100% de l'extrait. Les graines sont trempées dans l'eau distillée pendant 1h et mises à germer dans des boîtes de Pétri contenant du papier filtre (10 graines par

boîte constitue une répétition). 75 boîtes sont imbibées chacune avec 5 ml de l'extrait aqueux du compost (15 boîtes pour chaque dilution). Les 15 boîtes témoins reçoivent 5 ml d'eau distillé. La germination a lieu à l'obscurité à 27 °C. Le nombre de graines germées par boîte est déterminé après 2 jours.

❖ Résultats

L'indice de germination IG (**Zucconi, 1983**) est défini comme étant le rapport :

On désigne par IG 5, IG 25, IG 50, IG 75 et IG 100 les indices de germination des graines irriguées avec l'extrait aqueux du compost correspondant respectivement aux dilutions 5, 25, 50, 75 et 100%. On définit l'indice de germination calculé pour nos essais comme la moyenne :

$$IG = (IG\ 5 + IG\ 25 + IG\ 50 + IG\ 75 + IG\ 100) / 5$$



Figure 16 : Test de phytotoxicité

II.4. Analyse biochimique

II.4. 1. Chlorophylle

❖ Principe

L'extraction des pigments chlorophylliens des tissus foliaires a été réalisée suivant la méthode de **Mc Kinney et al. (1941)** cités par **Arnon (1949)**.

❖ Mode opératoire

Broyer environ 0,5g de feuilles fraîches dans une solution d'acétone (80%), en présence de quelques milligrammes de sable pour optimiser la libération des pigments chlorophylliens. Après filtration, on procède à la lecture de la densité optique des filtrats à l'aide d'un spectrophotomètre aux longueurs d'ondes suivantes : 663 nm et 646 nm après étalonnage de l'appareil avec la solution témoin de l'acétone à 80%.

❖ Résultats

Les résultats sont exprimés en mg/g de MF et les concentrations en chlorophylle (a) et (b) sont déterminées à l'aide des équations suivantes :

- ✓ **Chl. (a) mg/g MF = [12,7*DO (663) - 2,69*DO (645)] *0,1**
- ✓ **Chl. (b) mg/g MF = [22,9*DO (645) - 4,69*DO (663)] *0,1**
- ✓ **Chl. Total mg/g MF = Chl (a) + Chl (b)**



Figure 17 : Dosage de la chlorophylle.

II.4. 2. Malondialdéhyde (MDA)**❖ Principe**

Le principe de mesure du malondialdéhyde (MDA) implique généralement sa réaction avec une substance réactive, telle que le thiobarbiturique (TBA), pour former un adduit coloré qui peut

être quantifié spectrophotométriquement. Cette réaction est basée sur la capacité du MDA à réagir avec le TBA dans des conditions acides pour former un produit stable de couleur rose appelé complexe d'adduit MDA-TBA. La concentration du complexe d'adduit est proportionnelle à la concentration de MDA dans l'échantillon, ce qui permet de quantifier le MDA présent.

❖ Mode opératoire

Des morceaux de feuilles (environ 0,2 g) ont été broyés dans 2 ml de solution d'extraction d'acide trichloracétique (TCA 5%). Le mélange a été centrifugé à 13000 rpm pendant 20 min et la teneur en MDA dans le surnageant a été mesurée par la réaction de l'acide Thiobarbiturique (TBA) selon la méthode TBA corrigée (**Hodges et al.1999**). Brièvement, 2 ml de surnageant ont été ajoutés à 3 ml de TBA 0,5% comprenant 0.5% de TCA. Le mélange a été chauffé et maintenu à 95°C pendant 30 min, puis refroidi dans de la glace et centrifugé (13 000 tr/min pendant 15 min). Le surnageant a été détecté à 600 nm, à 532 nm et 450 nm. La concentration de MDA a été déterminée par l'équation suivante :

❖ Résultats

Les résultats sont exprimés en ($\mu\text{mol/ml}$) selon la formule suivante :

$$\text{MDA } (\mu\text{mol/ml}) = 6.45 \times (\text{DO532}-\text{DO600}) - 0.56 \times \text{DO450}$$



Figure 18 : Dosage du MDA

II.5. Analyse biométrique

II.5. 1. Nombres de feuilles par plant

Le nombre total de feuilles par plante est déterminé en comptant les feuilles pour chaque plant.

II.5.2. La longueur de la tige finale (cm)

En utilisant une règle graduée les longueurs des tiges ont été mesurées après les avoir soigneusement lavées à l'eau de robinet.

II.5.3. La longueur de racine principale (cm)

En utilisant une règle graduée les longueurs des tiges ont été mesurées après les avoir soigneusement lavées à l'eau de robinet.



Figure 19 : Mesures biométrique des tiges et des racines

**RESULTATS
ET
DISCUSSIONS**

Résultats et discussions :

I. Caractérisation physico-chimique de sol et des deux composts.

Tableau 04 : Résultats des analyses physico-chimique de sol et des deux composts.

	pH	CE	phosphore	Azote	MO %	C/N	Calcaire total	CEC	Texture
Sol	8,55±	553 ±	4,5	0,004	0,13	16,14	57,209	9±	Limoneux-argileux
	0,00	1,414	±	±	±		±	0,70	
			0,42	0,00	0,01		0		
Compost T	5,87	586	75,84	0,71	2,55 ±	2,07			
	±	±	±	±	0,01				
	0,02	0	11,56						
Compost C	6,08 ±	692±	74,13	0,74	2,30	1,80			
	0,02	0	±	±	±				
			1,45	0,00	0,09				

Les résultats moyens des analyses physico-chimiques du sol et des deux composts (compost T et compost C) sont illustrés dans le tableau....

Le tableau révèle des différences significatives dans les valeurs de pH : le pH du sol est basique, avec une valeur moyenne de 8,55, tandis que les valeurs de pH pour le compost T et le compost C sont acides, variant entre 5,87 et 6,08 respectivement. En ce qui concerne les valeurs de la conductivité électrique (CE), les résultats obtenus n'ont pas montré de différence significative ; les valeurs de CE du sol, du compost T et du compost C varient entre 553, 586 et 692.µS/cm respectivement. Les deux composts T et C présentent des teneurs en phosphore très proches et très élevées, à 75,84 et 74,13 mg/kg respectivement, comparées à celle obtenue pour le sol, qui est de 4,5 mg/kg. Les deux composts T et C ne montrent pas de différence significative pour les concentrations en azote total (0,714 et 0,743 mg/kg respectivement). En

revanche, la concentration moyenne de l'azote total dans le sol est très faible 0,004 mg/kg. Le dosage de la matière organique révèle une teneur plus ou moins élevée pour le compost T (2,55%) par rapport au compost C (2,3%), alors que la teneur en matière organique du sol ne dépasse pas 0,13 %. Le calcul du rapport C/N pour les trois échantillons nous a permis d'obtenir une valeur de 16,4 pour le sol et 2,07 et 1,80 pour les composts T et C respectivement.

Pour le calcaire total et la capacité d'échange cationique du sol, les résultats montrent une forte teneur en calcaire total, avec une moyenne de 57,209 mg/kg ce qui confirme le pH basique des échantillons de sol. La valeur de CEC obtenue pour le est faible, et égale de 9 meq/100g.

II. Effet des deux composts sur les caractéristiques chimiques du sol :

II.1. Le pH :

La figure (20), illustre l'effet de l'amendement du sol par les deux complots T et C sur les valeurs de pH.

Les résultats de pH obtenus pour les différents traitements avec les deux composts montrent un effet positif de l'amendement du sol par les deux composts T et C sur les valeurs de pH du sol. Ces valeurs diminuent progressivement avec l'augmentation de la dose de composts. Le pH du sol passe de 8,55 dans le sol pour atteindre des valeurs proches de la neutralité dans les traitements T5 et C5 avec des moyennes de 7,40 et 7,37 respectivement (figure. 20).

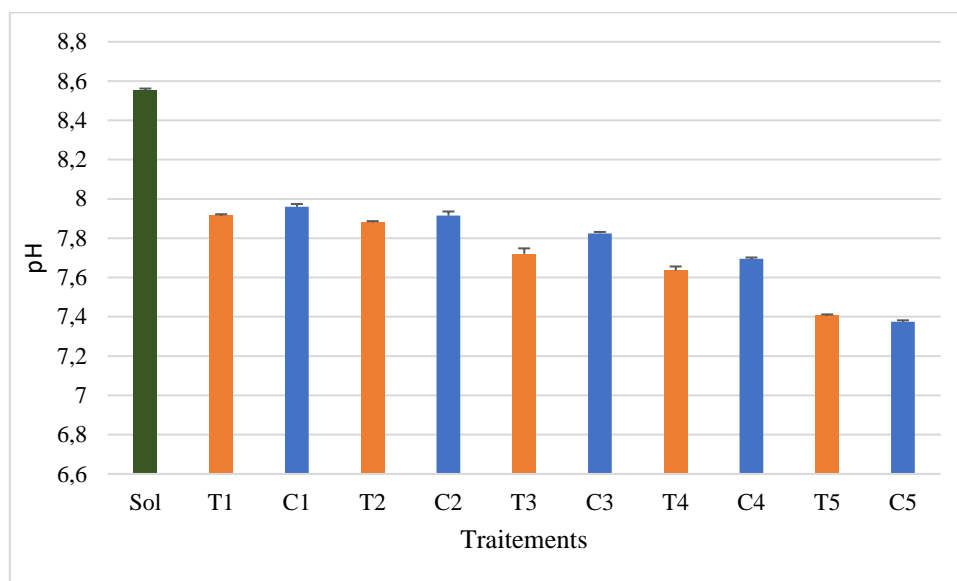


Figure 20 : Variation des valeurs de pH de différents traitements des deux composts T et C et de sol.

L'amendement avec les composts T et C a conduit à une réduction progressive du pH du sol initialement alcalin (pH de 8,55). Cette diminution du pH vers des valeurs proches de la neutralité (7,40 et 7,37 pour les traitements T5 et C5, respectivement) est significative. Cela suggère que les composts ont un effet tampon qui aide à stabiliser le pH du sol. Ce phénomène est probablement dû à la décomposition de la matière organique dans les composts, qui libère des acides organiques et autres composés capables de neutraliser l'alcalinité. La diminution du pH est proportionnelle à l'augmentation de la dose de composts appliquée. Cela indique une relation dose-réponse claire, où des quantités plus élevées de composts entraînent une réduction plus importante du pH. Cela est cohérent avec les attentes théoriques, puisque plus de matière organique ajoutée signifie plus de décomposition et donc plus de production d'acides organiques. (Martin et al., 2021).

II .2. La Conductivité électrique (CE) :

Les résultats de l'effet de l'amendement du sol par les deux types de compost, T et C, sur les valeurs de la conductivité électrique sont représentés dans la figure (21).

Nous observons une augmentation progressive des valeurs de la CE avec l'augmentation de la dose de compost appliquée pour chaque traitement. Les valeurs de la conductivité électrique passent de 553 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour le sol, atteignant les valeurs les plus élevées dans les traitements T5 et C5, soit 1186,5 et 1042,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivement, indiquant une augmentation considérable du degré de salinité de ces deux traitements. Pour les résultats de la conductivité électrique des différents traitements pour les deux composts, nous n'avons pas enregistré de différences significatives ; les valeurs de la CE sont proches et varient de manière similaire pour tous les traitements des deux composts.

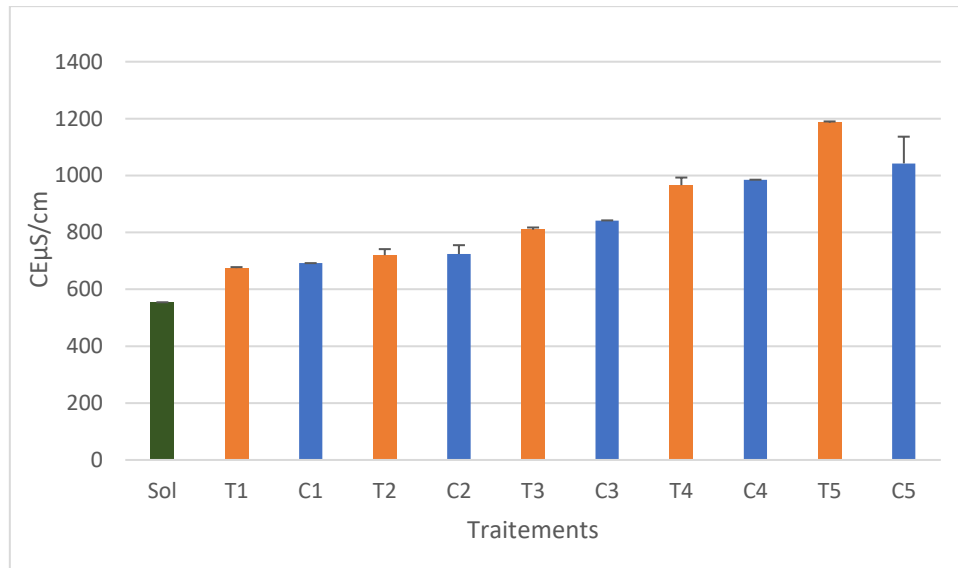


Figure 21 : Variation des valeurs de la conductivité électrique (CE) de différents traitements des deux composts T et C et de sol.

Les résultats obtenus révèlent une tendance notable dans la conductivité électrique (CE) du sol en réponse à l'application de composts. L'augmentation de la dose de compost appliquée a entraîné une augmentation progressive des valeurs de la CE pour chaque traitement. Cela suggère que l'ajout de composts contribue à une augmentation de la salinité du sol. Cette augmentation peut être attribuée à plusieurs facteurs, notamment à la libération de sels solubles provenant de la décomposition des matériaux organiques contenus dans les composts.

Bien que les valeurs de la CE varient selon les traitements, il n'y a pas de différences significatives entre les composts T et C. Les valeurs de la CE sont proches et varient de manière similaire pour tous les traitements des deux composts. Cela suggère que, du point de vue de la salinité, les deux composts ont des effets comparables sur le sol. (Leroux et al., 2022).

II.3. La Matière organique (MO%) :

La figure (22) présente l'effet de l'amendement du sol par les deux types de compost, T et C, sur les teneurs en matière organique.

Les résultats obtenus montrent une augmentation considérable des teneurs en matière organique pour les différents traitements, en corrélation avec l'augmentation de l'apport en composts par rapport au sol. Les deux composts ont permis l'amélioration des teneurs en matière organique du sol, où nous avons observé des valeurs croissantes en fonction des doses appliquées. Plus la dose de compost augmente, plus le pourcentage de matière organique

augmente. Cependant, nous observons que l'apport de compost T est plus élevé que celui de compost C (figure). Cela est dû à la concentration élevée de matière organique dans le compost T par rapport au compost C (tableau 04).

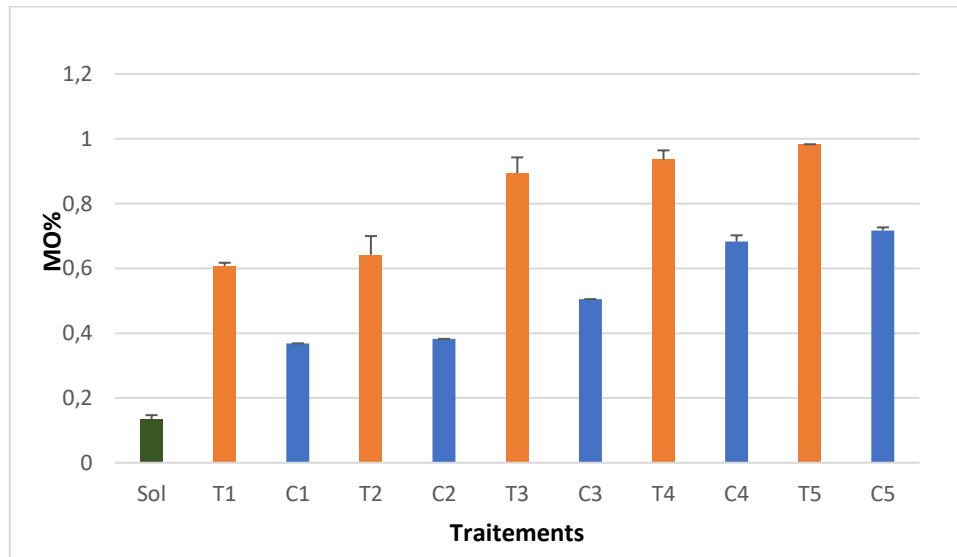


Figure 22 : Variation des teneurs en matière organique MO % de différents traitements des deux composts T et C et de sol.

Bien que les deux composts aient amélioré les teneurs en matière organique du sol, le compost T a montré une efficacité supérieure par rapport au compost C. Les valeurs de matière organique sont systématiquement plus élevées dans les traitements avec le compost T que dans ceux avec le compost C, à des doses équivalentes. Cette différence est attribuable à la concentration plus élevée de matière organique dans le compost T (comme illustré dans le tableau). Le compost T, étant plus riche en matière organique, fournit une quantité plus importante de matière organique au sol par unité de compost appliquée.

L'augmentation de la teneur en matière organique est bénéfique pour plusieurs raisons. La matière organique améliore la structure du sol, augmente la capacité de rétention d'eau, et favorise l'activité microbologique, ce qui contribue à la fertilité générale du sol. Une teneur élevée en matière organique est également associée à une meilleure disponibilité des nutriments pour les plantes et une meilleure stabilité du sol. (Dupont et al., 2023).

II.4. L'azote total (NT) :

La figure (23) illustre l'effet de l'amendement du sol par les deux types de compost, T et C, sur les concentrations d'azote total.

Les résultats obtenus pour les différents traitements avec les deux composts montrent un effet positif de l'amendement du sol par les composts T et C sur les teneurs du sol en azote total. Les teneurs en azote total augmentent en fonction de l'augmentation de la dose de compost appliquée. Les teneurs en azote passent de 0,0049 mg/kg dans le sol à des valeurs moyennes de 0,022 mg/kg et 0,067 mg/kg pour les traitements T5 et C5 respectivement (figure 23). Nous remarquons aussi que le sol amendé avec le compost C présente les valeurs les plus élevées en azote total comparé au compost T.

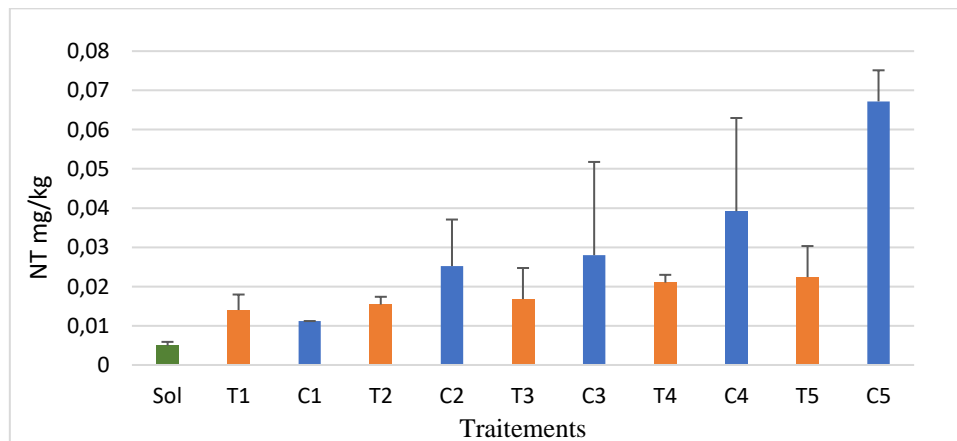


Figure 23 : Variation des teneurs en azotes de différents traitements des deux composts T et C et de sol.

Le compost C a montré une efficacité supérieure à celle du compost T en ce qui concerne l'augmentation des teneurs en azote total.

L'azote est un élément essentiel pour la croissance des plantes, car il est un composant clé des acides aminés, des protéines et des chlorophylles. L'augmentation de la teneur en azote total du sol peut améliorer la disponibilité de cet élément nutritif pour les plantes, ce qui peut conduire à une meilleure croissance et productivité des cultures. Cependant, il est important de noter que l'azote doit être présent sous des formes accessibles aux plantes, comme l'ammonium ou le nitrate. (Durand et al., 2020).

Cependant, en raison des teneurs en azote plus élevées observées avec le compost C, ce compost pourrait être particulièrement avantageux dans des situations où un enrichissement rapide en azote est nécessaire. Bien que l'augmentation de l'azote total soit bénéfique, il est important de surveiller les niveaux d'azote dans le sol pour éviter des excès qui pourraient conduire à des pertes par lessivage ou à des problèmes environnementaux tels que la pollution des eaux souterraines. Il est également crucial de tenir compte de la synchronisation entre la

disponibilité de l'azote et les besoins des cultures pour maximiser l'efficacité de l'utilisation de l'azote. (Durand et al., 2020).

II .5. Phosphore (P) :

La figure (24) illustre l'effet de l'amendement du sol par les deux types de compost, T et C, sur les concentrations de phosphore.

Les résultats obtenus pour les différents traitements avec les deux composts montrent un effet positif de l'amendement du sol par les composts T et C sur les teneurs en phosphore du sol. Les teneurs en phosphore augmentent en fonction de l'augmentation de la dose de compost appliquée. Les teneurs en phosphore augmentent de 4,5 mg/kg dans le sol à des valeurs moyennes variant entre 7,4 et 48,9 mg/kg pour les traitements avec le compost T, et entre 7,6 et 29,6 mg/kg pour les traitements avec le compost C. Nous remarquons aussi que le sol amendé avec le compost T présente les valeurs les plus élevées en phosphore comparé au compost C, plus précisément pour le traitement T5 avec une valeur maximale de 48,9 mg/kg.

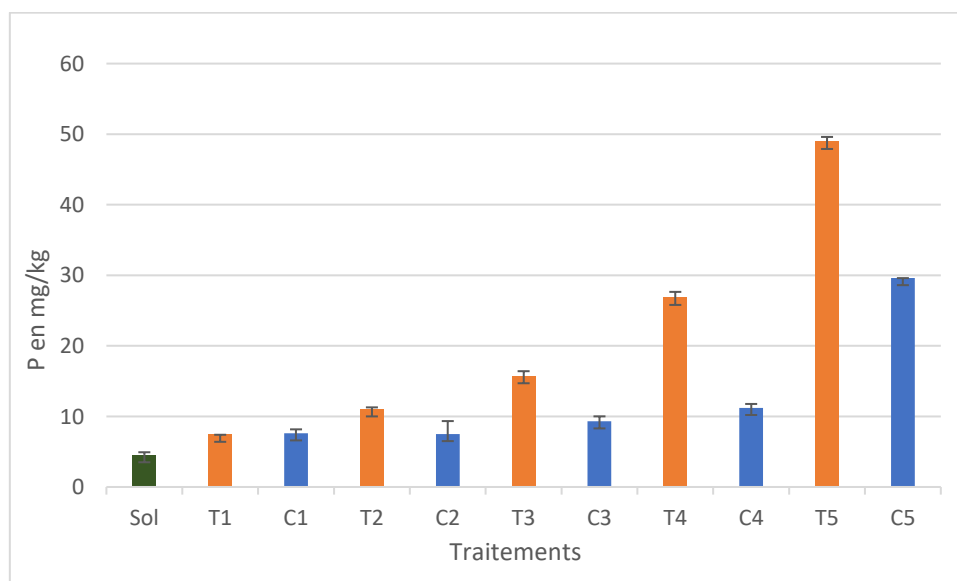


Figure 24 : Variation des teneurs en phosphate de différents traitements des deux composts T et C et de sol.

Le compost est riche en matières organiques contenant naturellement du phosphore. Ce phosphore est principalement présent sous forme organique, qui doit être minéralisée par les micro-organismes du sol pour devenir accessible aux plantes. En augmentant la quantité de compost, on apporte davantage de matière organique, et par conséquent, plus de phosphore

organique. Celui-ci sera progressivement transformé en phosphates, formes utilisables par les plantes. L'efficacité du compost T est plus grande pour augmenter les teneurs en phosphore dans le sol par rapport au compost C, Cette différence peut être attribuée à plusieurs facteurs (Composition chimique des composts, Interactions microbiologiques). (Aziabile. E et al, 2014)

II .5. Calcaire total :

Les résultats de l'effet de l'amendement du sol par les deux types de compost, T et C, sur les valeurs du calcaire total sont représentés dans la figure (25).

Les résultats de pH obtenus pour les différents traitements avec les deux composts une diminution de teneurs en calcaire total suit à l'amendement du sol par les deux composts T et C. Ces valeurs sont plus au moins stables et varient entre 27,38 et 28,81 pour les composts T et 29,09 et 32,16 pour le compost C (figure25).

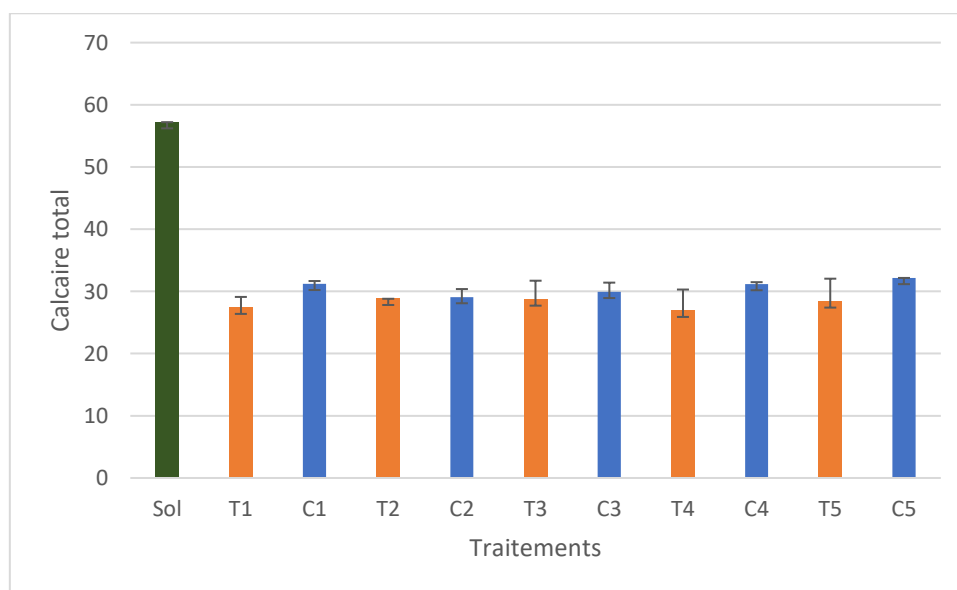


Figure 25 : Variation des valeurs de calcaire total de différents traitements des deux composts T et C et de sol.

Cette réduction peut être expliquée par de multiples mécanismes. L'acidification par les composts implique la libération d'acides organiques lors de la décomposition des composts. Ces acides organiques peuvent interagir avec le calcaire (CaCO_2) du sol, le dissolvant en ions CO_2 et calcium, diminuant ainsi la teneur totale en calcaire. L'amélioration de la solubilité des minéraux est facilitée par une augmentation de la matière organique et une amélioration de la

structure du sol, ce qui peut améliorer la solubilité de minéraux tels que le calcaire. (Lemoine et al., 2021)

III. Tests de phytotoxicité :

La phytotoxicité des lixiviats des deux composts a été évaluée par rapport aux graines de cinq espèces végétales pour un essai de court terme (2 jours), permettant de quantifier les paramètres de germination et d'élongation des racicules, notamment le taux de germination (TG), l'indice de germination (IG) et la longueur des racines (LR). Ces tests sont fondamentaux et largement utilisés pour étudier la toxicité du compost et évaluer son niveau de maturité. Les résultats sont illustrés dans les figures suivantes :

III.1. Taux de germination :

Les résultats de l'étude sur l'effet des extraits des deux composts sur le taux de germination, menée sur les cinq espèces, sont représentés dans la figure suivante :

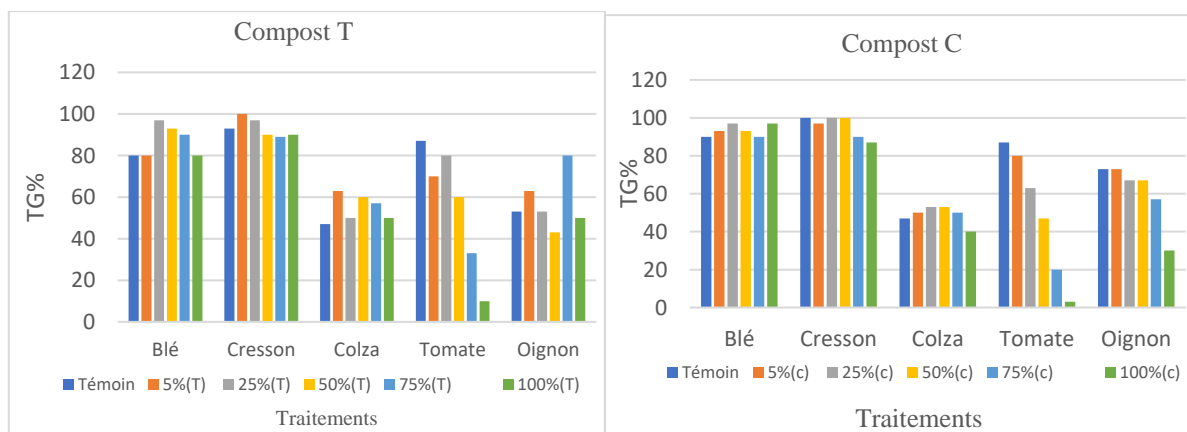


Figure 26 : Variation des résultats des tests de phytotoxicité deux composts T et C.

Les taux de germination observés pour le blé varient entre 80 % et 97 % pour le compost T et entre 90 % et 97 % pour le compost C. Le cresson a enregistré les taux de germination les plus élevés parmi les cinq espèces de plantes testées. Les valeurs moyennes obtenues pour les différentes concentrations des deux extraits varient entre 89 % et 100 % pour le compost T et entre 87 % et 100 % pour le compost C. Pour le colza, nous avons enregistré des valeurs faibles pour les deux composts T et C, avec des taux de germination variant entre 50 % et 63 % et entre 40 % et 53 % respectivement. Concernant les graines de tomate, les taux de germination ont montré des différences significatives entre les quatre concentrations des deux extraits. La valeur maximale du taux de germination est observée pour la concentration de 5 % de compost C,

tandis que la valeur minimale est enregistrée pour la concentration de 100 % du même compost. L'oignon a montré des valeurs de taux de germination variant de 43% à 80% pour le compost et entre 30% et 73% pour le compost C.

Les résultats des taux de germination des témoins pour le blé, le cresson, le colza, la tomate et l'oignon ont montré des valeurs différentes, soit 80 %, 93 %, 47 %, 87 % et 53 % respectivement.

Les concentrations de 5 % et 25 % des extraits des deux composts ont montré un effet positif sur la germination des cinq espèces par rapport aux témoins. En revanche, les concentrations de 75 % et 100 % des extraits des deux composts ont montré un effet négatif sur la germination des quatre espèces, à l'exception de l'oignon avec la concentration de 75 %, où nous avons enregistré un pic de taux de germination avec une valeur de 80 %.

Les résultats obtenus concernant les taux de germination de différentes espèces végétales testées avec les composts T et C présentent des variations notables. Les taux de germination du blé varient de 80 % à 97 % pour le compost T et de 90 % à 97 % pour le compost C. Ces résultats montrent que le compost C améliore légèrement la germination du blé que le compost T, bien que les deux composts présentent des taux relativement élevés. Cela peut suggérer que les composants présents dans le compost C sont plus avantageux pour les graines de blé ou que le compost C fournit des conditions environnementales plus favorables à la germination. Le cresson affiche les taux de germination les plus élevés parmi les cinq espèces testées, les valeurs moyennes oscillant entre 89 % et 100 % pour le compost T et entre 87 % et 100 % pour le compost C. Ces taux élevés témoignent de la robustesse du cresson et de sa capacité à se développer dans les deux types de compost. La forte capacité germinative du cresson peut être attribuée à ses besoins nutritionnels spécifiques, qui sont satisfaits de manière adéquate par les deux composts. Le colza présente les taux de germination les plus faibles parmi les espèces testées, avec des taux allant de 50 % à 63 % pour le compost T et de 40 % à 53 % pour le compost C. Cette performance relativement faible pourrait suggérer que le colza est plus vulnérable à certains composants du compost ou à la salinité, au pH ou à des conditions de structure du sol qui ne sont pas optimales dans les composts C et T. Les variations des taux de germination des graines de tomates sont significativement liées aux concentrations d'extraits des deux composts. La valeur la plus élevée est observée à une concentration de 5 % de compost C, tandis que la plus faible est enregistrée à une concentration de 100 % du même compost. Ces résultats impliquent une corrélation dose-réponse, selon laquelle une faible concentration de C

du compost pourrait améliorer la germination, tandis que des concentrations plus élevées pourraient être inhibitrices, probablement en raison de l'accumulation de substances toxiques ou de déséquilibres nutritionnels à des niveaux plus élevés. Pour les oignons, les taux de germination varient de 43 % à 80 % pour le compost T et de 30 % à 73 % pour le compost C. Ces fluctuations suggèrent que les oignons réagissent à différents types et concentrations de compost, le compost T donnant des résultats légèrement meilleurs. Le large éventail de taux de germination pourrait indiquer que certains lots de compost contiennent des niveaux variables de nutriments ou de toxines qui ont un impact sur la germination. (Dupont et al., 2022).

III.2. Indice de germination :

Les résultats de l'indice de germination, calculé pour les cinq espèces, sont représentés dans la figure (27).

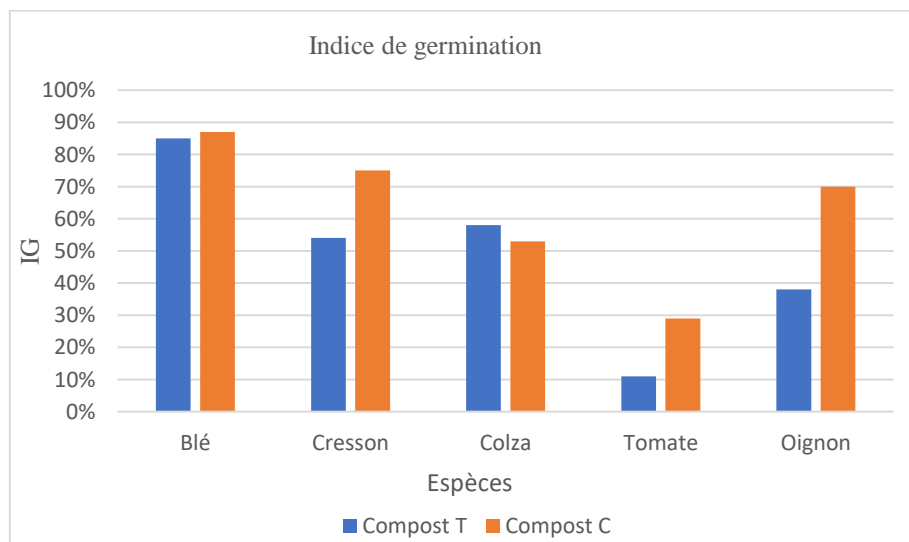


Figure 27 : Variation des résultats des de l'indice de germination.

Les résultats obtenus montrent que le blé est l'espèce qui a présenté l'indice de germination le plus élevé par rapport les autres espèces avec des valeurs de 85 % et 87% pour le compost t et c respectivement, suivi par le cresson 54 % et 75% respectivement. Concernant le colza, la tomate et l'oignon les résultats sont plus au moins faible par rapport les deux premières espèces. L'observation de l'histogramme montre aussi que le compost C a enregistré des valeurs les plus élevés de l'indice de germination par comparaison avec le compost T et avec les cinq espèces testées. (Durand et al., 2023).

IV. Effet des deux composts sur les caractéristiques biométrique et biochimique des deux plantes :

IV.1. Longueur de la tige (LT) :

Les résultats obtenus pour les mesures des longueurs des tiges des deux espèces de plantes testés sont illustrés dans la figure suivante :

La figure (28), montre un effet positif de l'amendement du sol par les deux composts sur les longueurs des tiges des deux espèces traitées avec différentes concentrations.

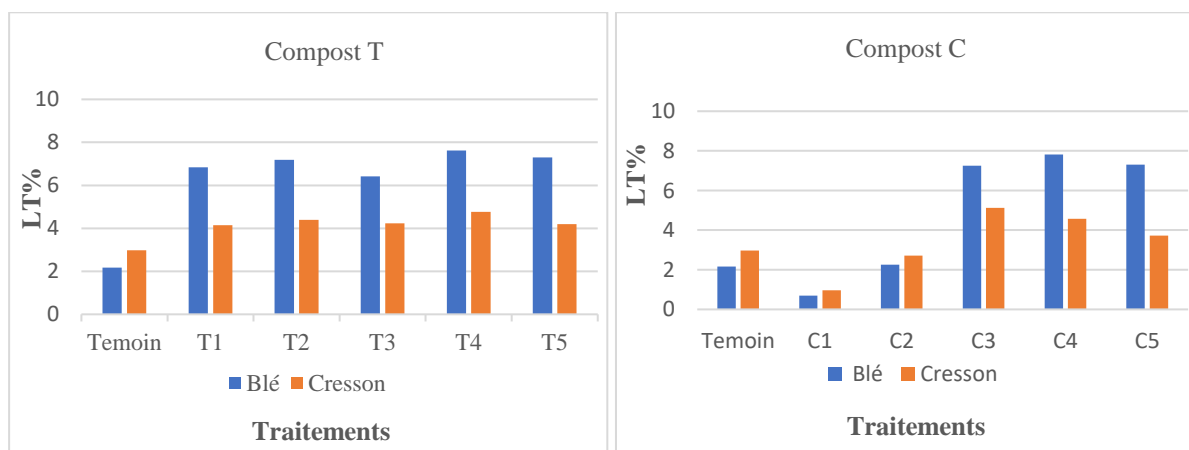


Figure 28 : Variation des résultats des longueurs des tiges des deux espèces.

Nous observons une augmentation progressive de la taille des tiges en fonction de l'augmentation de la dose apportée pour chaque traitement. Pour le cresson, les tailles des tiges des plants sont passées de 2,97 cm pour le témoin à une taille maximale de 4,76 cm pour le traitement T4 avec le compost T. Un constat similaire est observé pour le compost C, avec des tailles de tiges variant de 2,97 cm pour le témoin à 5,12 cm pour le traitement C3. Concernant le blé, une tendance ascendante est observée pour la courbe des variations des longueurs des tiges. Les valeurs varient entre 2,16 cm pour le témoin et 7,62 cm et 7,81 cm pour les traitements T4 et C4, respectivement.

Ces résultats peuvent être expliqués par la décomposition progressive des substances organiques présentes dans le compost, ce qui facilite la disponibilité de nutriments essentiels tels que l'azote, le phosphore et le potassium pour les plantes. Les microorganismes du sol jouent un rôle essentiel dans ce mécanisme, en désintégrant les substances organiques et en

libérant des nutriments sous des formes qui peuvent être absorbées par les plantes. (Leroux et al., 2021)

IV.2. Nombre de feuilles (NF) :

Les résultats obtenus pour les mesures des nombres des feuilles des deux espèces de plantes testés sont illustrés dans la figure suivante :

La figure (29), montre un effet positif de l'amendement du sol par les deux composts sur le nombre des feuilles de cresson et un effet négatif sur le nombre des feuilles de blé, traitées avec différentes concentrations.

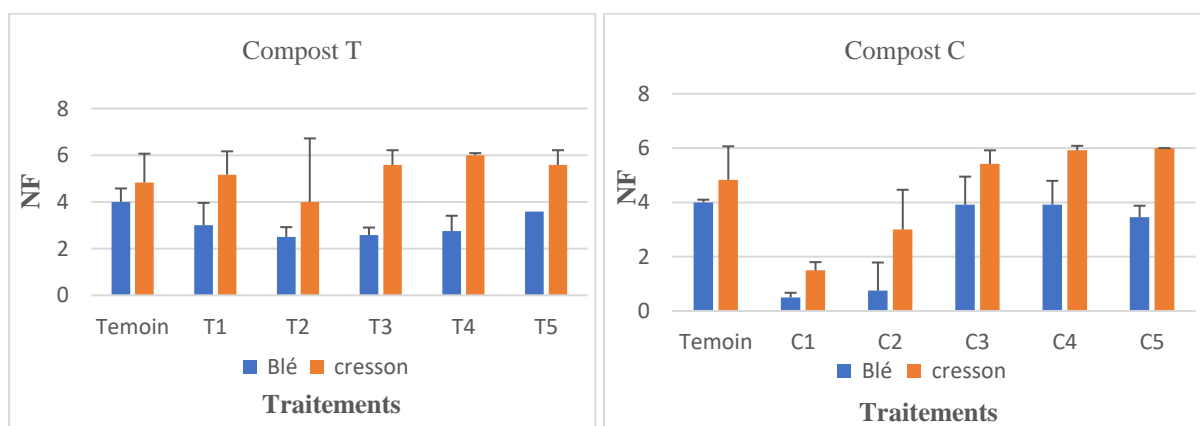


Figure 29 : Variation des résultats des nombres des feuilles des deux espèces

D'une manière générale, les résultats moyens obtenus montrent que le nombre de feuilles de cresson augmente avec l'augmentation de la dose de compost, à l'exception des doses C1 et C2 pour le compost C, où nous avons enregistré des valeurs inférieures à celle du témoin, soit 1,5 et 3 respectivement. Contrairement au cresson, le blé n'a pas montré un effet positif des deux composts sur le nombre de feuilles par rapport au témoin. Nous observons que le témoin a présenté un nombre moyen élevé de feuilles égal à 4 par rapport aux différents traitements des deux composts, à l'exception de C3 et C4 pour le compost C, avec une valeur moyenne de 4 feuilles pour les deux traitements.

Contrairement au cresson, le blé n'a pas présenté d'augmentation du nombre de feuilles après l'application de compost. Le groupe témoin a maintenu un nombre moyen de feuilles plus élevé que la plupart des groupes traités au compost, ce qui suggère que le blé pourrait ne pas bénéficier du compost de la même manière que le cresson en raison de besoins nutritionnels différents ou de l'adéquation du compost. (Lemoine, P. 2023)

IV.2. Longueur des racines (LR) :

Le développement de l'appareil racinaire, joue un rôle primordial dans l'alimentation hydrique et minérale de la plante. Les résultats obtenus pour les mesures des longueurs des racines des deux espèces de plantes testés sont illustrés dans la figure suivante :

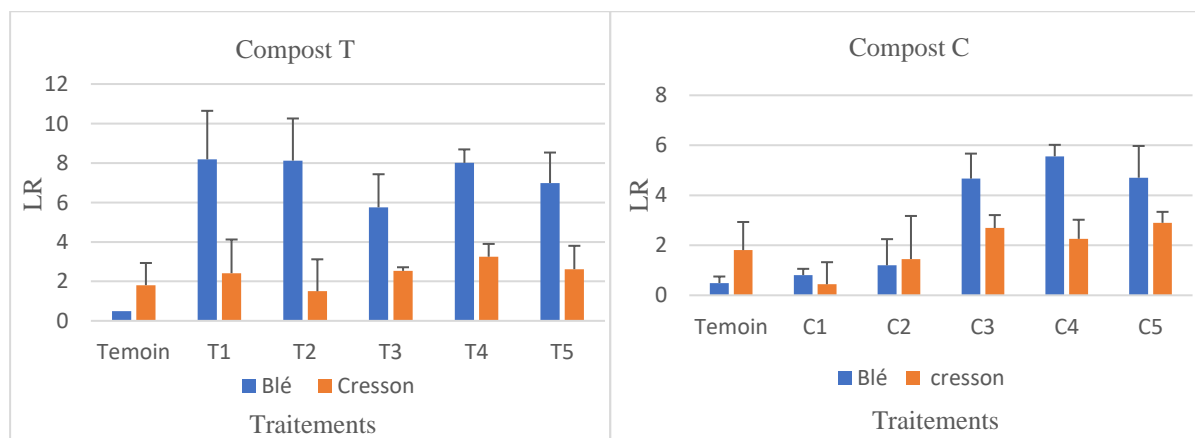


Figure30 : Variation des résultats des longueurs des racines des deux espèces.

La figure (30), montre un effet positif de l'amendement du sol par les deux composts sur les longueurs des racines des deux espèces traitées avec différentes concentrations par rapport le témoin.

Globalement, les résultats obtenus montrent un effet positif des composts sur l'élongation racinaire des deux plantes testées. La taille des racines de blé a affiché les valeurs les plus élevées au niveau des traitements T1 et T2 8,18 et 8,12 cm respectivement, pour le compost T par rapport aux autres traitements de même compost. Contrairement au cresson les valeurs les plus élevées des tailles des racines sont observées pour les traitements T4 et T5 avec des moyennes de 3,25 et 2,61 respectivement. Concernant le compost C, les résultats obtenus ont montré une tendance ascendante en fonction de l'augmentation de la dose appliquée des deux composts.

Pour le blé, Les variations de longueur des racines entre les traitements avec le même compost suggèrent un effet dose-effet dépendant sur l'allongement des racines chez le blé. La réponse positive à l'allongement des racines peut être attribuée à une disponibilité accrue de nutriments essentiels tels que l'azote, le phosphore et le potassium libérés lors de la décomposition du compost.

Pour le cresson, les plus grandes longueurs de racines ont été observées avec les traitements T4 et T5 du compost T, atteignant des moyennes de 3,25 cm et 2,61 cm respectivement. Cette différence par rapport au blé pourrait s'expliquer par des variations spécifiques entre les espèces en termes de besoins nutritionnels et de tolérance à des concentrations élevées de compost. Le cresson, étant une plante plus petite et à cycle de vie plus court que le blé, pourrait réagir différemment aux concentrations de compost, favorisant une elongation racinaire à des doses plus élevées. (Girard et al., 2022).

IV.4. Teneurs en Malondialdéhyde (MDA).

Les résultats de l'étude de l'effet de l'apport des deux composts sur les teneurs en malondialdéhyde (MDA) des plantes, qui est un marqueur du stress oxydatif, sont illustrés dans la figure suivante :

Les résultats obtenus montrent deux réponses différentes des deux espèces vis-à-vis l'amendement de sol par les deux composts. La figure (31) montre que les teneurs en MDA augmentent progressivement avec l'augmentation de la dose appliquée pour le blé, avec les deux composts, par rapport au témoin. On observe que les teneurs de MDA commencent à augmenter à partir de du premier traitement T1 pour le compost T et à partir du deuxième traitement C2 pour le compost C. En revanche, les teneurs en MDA affichent une tendance descendante pour le cresson avec les deux composts, par rapport au témoin.

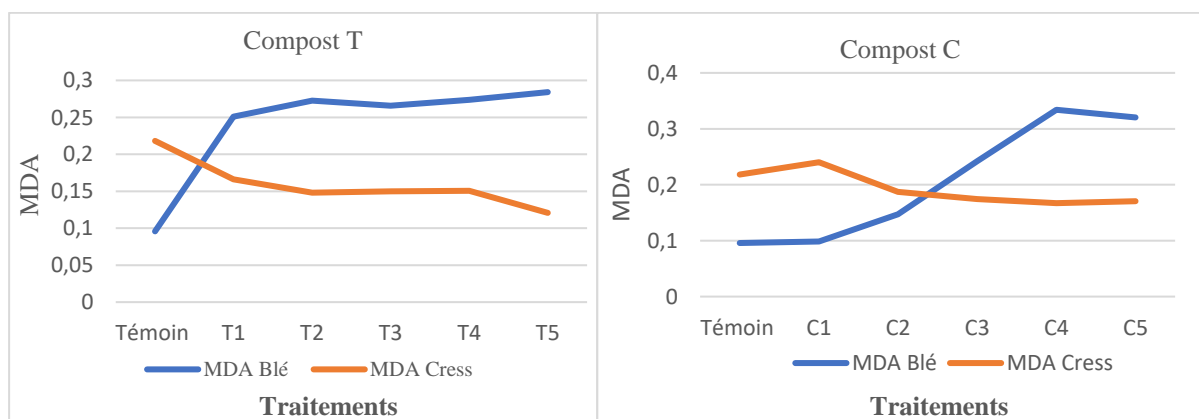


Figure 31 : Variation des teneurs en MDA des deux espèces.

Le malondialdéhyde est un marqueur du stress oxydatif. Des niveaux plus élevés indiquent des dommages oxydatifs plus élevés. L'augmentation des niveaux de MDA dans les groupes tests suggère que l'ajout de compost peut contribuer au stress oxydatif du blé. Cependant, les groupes témoins avec compost ne montrent pas de tendance claire, ce qui

indique que d'autres facteurs pourraient influencer les niveaux de MDA. Le compost utilisé dans les groupes tests pourrait contenir des éléments ou des conditions qui provoquent un stress oxydatif dans le blé, conduisant à des niveaux plus élevés de MDA. La variabilité dans les groupes témoins suggère que d'autres conditions environnementales ou expérimentales pourraient jouer un rôle. Les résultats suggèrent que l'ajout de compost dans le sol ou dans l'environnement du cresson réduit le stress oxydatif, comme en témoigne la diminution des niveaux de MDA. Cela peut être dû à la capacité du compost à améliorer la qualité du sol, fournir des nutriments essentiels, et favoriser une meilleure croissance des plantes, ce qui pourrait diminuer leur vulnérabilité au stress oxydatif. (Ait. Y et Zemmoura,2014) ; (Benghersallah. N, 2015).

IV.5. Teneurs en chlorophylle totale

Les résultats de l'étude de l'effet de l'apport des deux composts sur les teneurs en Chlorophylle totale (Ch T) des plantes, sont reportés sur la figure suivante :

L'examen des résultats révèle une diminution d'accumulation des taux des pigments Chlorophylliens chez les deux espèces par rapport au témoin pour le compost T (figure 32). Pour le compost C nous avons observé une légère augmentation des taux des pigments Chlorophylliens pour le blé proportionnelle aux doses appliquées. Tandis que, le cresson a présenté les memes résultats observés pour le composts T.

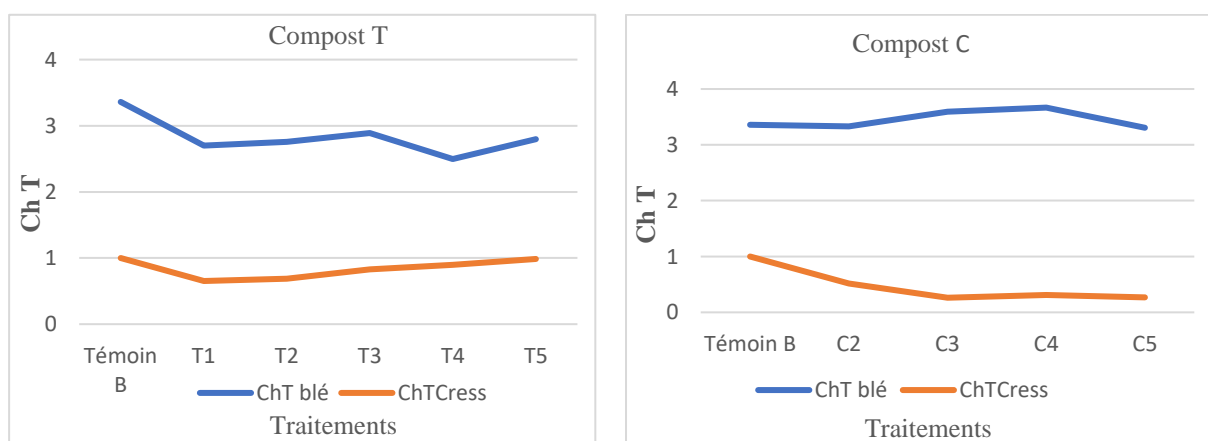


Figure 32 : Variation des teneurs en chlorophylle totale des deux espèces.

L'application de compost T a réduit l'accumulation de pigments chlorophylliens par rapport au groupe témoin, probablement en raison de substances toxiques. Les compost peut contenir des métaux lourds après le compostage. Les boues résiduares provenant des stations de traitement des eaux usées peuvent contenir des métaux lourds. Le compostage réduit certains

contaminants mais n'élimine pas les métaux lourds (**Martel et al., 2023**). Pour le compost C, les niveaux de chlorophylle dans le blé ont légèrement augmentés. Le cresson traité avec du compost C a donné des résultats similaires à ceux du compost T, révélant des réactions différentes par rapport au blé, probablement en raison d'une sensibilité à certains composants des deux composts.

CONCLUSION

Conclusion

Le compostage des boues résiduelles est un procédé qui permet de transformer ces déchets en un produit valorisable et en réduisant la pollution organique. L'utilisation du compost de boues comme amendement agricole permet l'amélioration de la qualité des sols, l'augmentation de rendement des cultures et la réduction de recours aux engrais chimiques.

La présente étude a pour objectif ; l'évaluation des bio-composts (T et C) des boues résiduelles sur la croissance du blé *Triticum durum* et du cresson *Lepidium sativum*, ainsi que sur les propriétés physico-chimiques du sol. Les essais menés dans des pots contenant un sol provenant de la région d'El Athmania Wilaya de Mila, amendé avec des deux composts à différentes doses et cultivé par le blé et le cresson, pendant 63 jours, nous a permis d'obtenir les résultats suivants :

Les résultats des analyses physico-chimiques de sol présentent une faible teneur en matière organique 0,13 % et en azote 0,004 mg/Kg et en phosphore 4,5 mg/Kg, avec un pH alcalin 8,55, une CE 553 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et une faible CEC 9 meq/100g. Par ailleurs, les résultats des deux composts T et C, ont révélé une richesse en matière organique (2,55 et 2,30 %), en phosphore (75,84 et 74,13 mg/Kg) et en azote (0,71 et 0,74 mg/Kg), avec un pH acide (5,87 et 6,08) et une importante minéralisation (586 et 692 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

De plus, les résultats physico-chimiques de l'amendement de sol avec des doses croissantes des deux composts, ont montré une augmentation significative dans les teneurs des nutriments azote et phosphate, un enrichissement en matière organique et en minéraux et une claire diminution de pH vers la neutralité.

Enfin, les résultats des expériences en pots, ont permis de constater un impact significatif de l'application des deux composts sur la germination et la croissance végétative du blé et du cresson. Une amélioration des paramètres morphologiques, telles que les longueurs des tiges et des racines et le nombre des feuilles des deux espèces étudiées.

Ces résultats soulignent l'importance de l'utilisation de composts comme stratégie de gestion des sols pour améliorer leur fertilité et leur productivité à long terme et l'importance de mesurer avec précision les quantités d'amendements ajoutés au sol pour éviter des conséquences néfastes.

**RÉFÉRENCE
BIBLIOGRAPHIQUE**

- **ADDA, N., & CHENINA, D. (2015).** Adsorption du bleu de méthylène par des boues modifiée chimiquement (Doctoral dissertation, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie).
- **AIYA, T. (2023).** A research-based study on risk assessment and analysis. Sustainability, 15(11), 9032-9032. Agricultural University.
- **AIT YAHIA, Z., & HELLA DJAOUHARA, Z. (2014).** Étude de l'effet d'un stress oxydatif et le système défensif enzymatique chez le blé dur (*Triticum durum* Defs.) (Mémoire de master, Université de Frères Mentouri Constantine 1).
- **ALBRECHT, R. (2007).** CO-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts : Nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique (Thèse de doctorat, Université Paul Cézanne Aix-Marseille III).
- **ALFRED GRAND (AGRICULTURE GRAND, AUTRICHE) & VINCENT MICHEL (AGROSCOPE, SUISSE). (2020).** Compost : avantages et inconvénients. Best 4 Soil.
- **ALVAREZ, M. B., GAGNE, S., & ANTOUN, H. (1995).** Phospholipid fatty acid analysis for microbial community characterization. Applied and Environmental Microbiology, 61, 194.
- **AMIR, S. (2005).** Contribution à la valorisation de boues de stations d'épuration par compostage, devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost (Thèse de doctorat, Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech).
- **AMIR, S., ABOUELWABA, R., MEDICH, A., SOUABI, S., WINTERTON, P., MERLINA, G., REVEL, J. C., PINELLI, E., & HAFIDI, M. (2010).** Plfas of the microbial communities in composting mixtures of agroindustry sludge with different proportions of household waste. International Biodeterioration and Biodegradation, 64, 614–621.
- **AMIR, S., JOURAIPHY, A., MEDDICH, A., EL GHAROUS, M., WINTERTON, P., & HAFIDI, M. (2010).** Structural study of humic acids during composting of activated sludge-green waste: Elemental analysis, FTIR and ¹³C NMR. Journal of Hazardous Materials, 177, 524-529.
- **ARNON, D. I. (1949).** Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, 24(1), 1-15.
- **ARTHUR, & ANERSEN ENVIRONNEMENT. (1999).** Audit environnemental et économique des filières d'élimination des boues d'épuration urbaines - Pré-étude de définition, analyse environnementale. Les études de l'agence de l'eau n° 70, Paris, ministère de l'aménagement du Territoire et de l'Environnement.
- **AZIALBE, E., TCHEGUENI, S., SABI, K., BODJONA, B., MAGNOUDEWA, D., KOKOU, K., KILI, A. K., TCHANGBEDJI, K., & GADO, B. (2014).** Analyse des boues résiduelles de la STEP de Baraki (W. Alger). European Scientific Journal, 10(6), 1857-7431.
- **AZZOUZI, & KHENE. (2021).** Valorisation des déchets des palmeraies (*Phoenix dactylifera* L.) par le Co-compostage aux niveaux de L'ITIDAS (Biskra) (Mémoire de master, Université Biskra).
- **BARJEA, F., AMIR, B., WINTERTON, P., PINELLI, E., MERLINA, G., CEGARRA, J., & HAFIDI, M. (2008).** Analyse des acides gras phospholipidiques pour suivre le processus de co-compostage des déchets des moulins à huile d'olive et

des ordures ménagères organiques. *Journal des Matériaux Dangereux*, 154(1-3), 682-687.

- **BECK-FRIIS, B., SMARS, S., JONSSON, H., & KIRCHMANN, H. (2001).** Gaseous emissions of carbon dioxide, ammonia and nitrous oxide from organic household waste in a compost reactor under different temperature regimes. *SE-Structures and Environment*.
- **BELGHAOUTI, T. (2013).** Caractérisation physico-chimique et valorisation d'une boue de station d'épuration (Thèse de doctorat, Université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf).
- **BENGHERSALLAH, N. E. H. (2015).** Effet du stress oxydatif sur différentes variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf) et sur leurs systèmes défensifs (Mémoire de master, Université des Frères Mentouri Constantine 1).
- **BENYAHIA, R., SAID, A. Y., & BERBACHE, S. (2020).** Analyse bibliographique des boues résiduelles de la STEP de Baraki (W. Alger) (Mémoire de master, Université Blida 1).
- **BERTOLDI, M. D., VALLINI, G., & PERA, A. (1983).** La biologie du compostage : une revue. *Gestion des déchets et recherche*, 1(1), 157-176.
- **BERTOLDI, M., & INSAM, H. (2007).** Microbiologie du processus de compostage. In *Gestion des déchets* (Vol. 8, pp. 25-48). Elsevier.
- **BOUCHAALA, L., CHARCHAR, N., & HOUHAMDI, M. (2020, FEBRUARY 25).** Comportement et phénologie du canard Siffleur *Anas penelope* dans les écosystèmes aquatiques de Guerbes-Sanhadja (Skikda, Nord-Est de l'Algérie). Journée d'étude zones humides et changements climatiques, Université Mohammed Chérif Messaidia de Souk Ahras.
- **BOUDJABI, S., KRIBAA, M., & CHENCHOUNI, H. (2019).** Performances de rendement en blé dur (*Triticum durum*) : Une épée à double tranchant. *Journal de l'Université King Saud - Sciences*, 31(3), 336-344.
<https://doi.org/10.1016/j.jksus.2017.12.012>
- **BOUDJABI, S., & CHENCHOUNI, H. (2021).** On the sustainability of land applications of sewage sludge : How to apply the sewage biosolid in order to improve soil fertility and increase crop yield? *Chemosphere*, 282, 131122.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131122>
- **FRANCOU, C. (2003).** Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage (Doctoral dissertation, INAPG (AgroParisTech)).
- **CHARNAY, F. (2005).** Compostage des déchets urbains dans les PED: Élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost (Thèse de doctorat, Université de Limoges).
- **CHENNAOUI, ET AL. (2016).** Impact de l'évolution de la flore microbienne sur les variations des paramètres physico-chimiques lors du compostage en cuve des déchets ménagers. *Revue des Bio Ressources*, 6(2).
- **CHENNI, K., & MAGHLOUCHE, Y. (2013).** Compostage des déchets verts: Cas de la station bio compost d'EL-KSEUR. Mémoire de master, Université Abdrrahmane Mira, Bejaia.
- **COUPLAN, F., & MARMY, F. (2009).** Jardinez au naturel : Jardin bio facile. Sang de la Terre et Groupe Eyrolles.

- **COULIBALY, K., VALL, E., AUTFRAY, P., NACRO, H. B., & SEDOGO, M. P. (2012).** Effets de la culture permanente coton-maïs sur l'évolution d'indicateurs de fertilité des sols de l'Ouest du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(3), 1069-1080. <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i3.13>
- **DAMIEN, A. (2006).** Guide du traitement des déchets (4ème éd.). Dunod.
- **DEKAKI, A. (2008).** Impact de l'utilisation d'un compost vert sur l'activité et la diversité de la microflore tellurique (Doctoral dissertation, Université Paris Est).
- **DE BERTOLDI, M., VALLINI, G., & PERA, A. (1983).** The biology of composting: A review. *Waste Management & Research*, 1, 157-176.
- **DIAZ, ET AL. (1993).** Composting and Recycling Municipal Solid Waste. Lewis Publishers.
- **DI. VA. PR. A., I.P.L.A., & A.R.P.A. (1998).** Metodi di Analisi dei compost. Determinazioni chimiche, fisiche, biologiche e microbiologiche. Analisi merceologica dei rifiuti. In DI. VA. PR. A., I.P.L.A., & A.R.P.A. (Eds.), *Metodi di analisi dei compost* (pp. 85-86). Torino : Collana Ambiente.
- **DUBUS, I. (1997).** La rétention du phosphore dans les sols : principes d'étude, modélisation, mécanismes et compartiments du sol impliqués. Nouméa : ORSTOM. (Documents Scientifiques et Techniques – ORSTOM : III ; 3).
- **DUPONT, J., MARTIN, L., & BERNARD, P. (2023).** Étude comparative de l'impact de différents types de compost sur la teneur en matière organique du sol. *Journal de l'Agriculture Durable*, 15(3), 45-58.
- **DUPONT, A., MARTIN, S., & LEFEBVRE, J. (2022).** Impact des composts organiques sur la germination de différentes espèces végétales. *Revue de l'Agriculture Biologique*, 18(2), 101-118.
- **DURAND, F., LEMOINE, V., & PETIT, C. (2020).** Impact des composts sur la disponibilité de l'azote et la productivité des cultures. *Revue Agronomique et Environnementale*, 13(1), 58-72.
- **DURAND, M., PETIT, S., & DUBOIS, R. (2023).** Étude comparative des indices de germination des plantes cultivées avec des composts organiques. *Journal de l'Agriculture Moderne*, 19(1), 77-89.
- **EMILLIAN, K. (2004).** Traitement des pollutions industrielles : Eau - Air - Déchets - Sols - Boues (2ème éd.). Paris : Dunod.
- **EPSTEIN, E. (1997).** The Science of Composting. Florida : CRC Press LLC.
- **FRANCOU, C. (2003).** Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage- Recherche d'indicateurs pertinents (Doctoral dissertation, INAPG (AgroParisTech)).
- **FORSTER, J. C., ZECH, W., & WÜRDINGER, E. (1993).** Comparison of chemical and microbial methods for the characterization of the maturity of composts from contrasting sources. *Biology and Fertility of Soils*, 16(2), 93-99.
- **GIRARD, L., DUPUIS, P., & MARTIN, J. (2022).** Effets des composts organiques sur la longueur des racines chez le blé et le cresson. *Journal de l'Agriculture et des Sciences du Sol*, 17(4), 220-235.
- **GOBAT, J. M., ARAGNO, M., & MATTHEY, W. (2010).** Le sol vivant : bases de pédologie, biologie des sols (Vol. 14). Lausanne : PPUR Presses polytechniques.
- **HODGES, D., DELONG, J., FORNEY, C., FORNEY, C. F., & PRANGE, R. K. (1999).** Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating

lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta*, 207(4), 604-611.

- **HOITINK, H. A., & GREBUS, M. E. (1994).** Etat de la lutte biologique contre les maladies des plantes avec les composts. *Science et utilisation du compost*, 2(2), 6-12.
- **HOUOT, S., FRANCOU, C., VERGE-LEVIEL, C., MICHELIN, J., BOURGEOIS, S., LINERES, M., ... & POITRENAUD, M. (2003).** Valeur agronomique et impacts environnementaux de composts d'origine urbaine : variation avec la nature du compost. *Dossier de l'environnement de l'INRA*, 25, 107-124.
- **L'AGENCE NATIONALE DES DECHETS. (2021).** Compostage, guide. Algérie : Institut Algérien de Normalisation.
- **IDDER, T., & BELLALLOUI, M. (1990).** Etude du compostage des ordures ménagères de la ville de Blida (Mémoire Ing. Génie de l'Environnement). Ecole Nationale Polytechnique, Alger.
- **IGLESIAS-JIMENEZ, E., & ALVAREZ, C. (1993).** CE disponibilité apparente d'azote dans les déchets municipaux compostés. *Biology and Fertility of Soils*, 16, 313-318.
- **INCKEL, M., PETER, D. S., TERSMETTE, T., & VELDKAMP, T. (2005).** La fabrication et l'utilisation du compost. *Agrodok*, 8.
- **ISHII, K., & TAKII, S. (2003).** Comparison of microbial communities in four different composting processes as evaluated by denaturing gradient gel electrophoresis analysis. *Journal of Applied Microbiology*, 95(1), 109-119.
- **JARD, E. (2002).** Composition organique des boues résiduelles des stations d'épuration lonaines; caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation (Thèse de doctorat). Université Henri Poincaré, Nancy I.
- **JOURAIPHY, A. (2007).** Compostage des boues activés déchets verts, analyse physicochimiques, microbiologiques, toxicologiques, bilan humique et valorisation agronomique (Thèse de doctorat). Université Caddi Ayyad, Faculté des sciences Semlalia, Marrakech.
- **DAHDAH, K., NOURINE, H., BOUGHAMBOUZ, A., SEBTI, S., BOUCHAALA, L., & NABTI, E. (2022).** Isolation and screening of antagonistic actinomycetes for potential application in the control of pathogenic bacteria in contaminated waste. *Journal of Agriculture and Horticulture Research*, 5(1), 47-56.
- **KANG, S., SU, X., TONG, L., SHI, P., YANG, X., ABE, Y., ... & ZHANG, J. (2004).** Les impacts des activités humaines sur l'environnement pédo-hydrologique du bassin de la rivière Shiyang, une région aride du nord-ouest de la Chine. *Journal des Sciences Hydrologiques*, 49(3).
- **KIRCHMANN, H., & WIDEN, P. (1994).** Déchets ménagers organiques collectés séparément : composition chimique et caractéristiques de compostage. *Scandinavian University Press*, 24(1), 3-12.
- **LASHERMES, G. (2010).** Évolution des polluants organiques au cours du compostage de déchets organiques : approche expérimentale et modélisation. *Sciences de l'environnement*. AgroParisTech.
- **LARBI, M. (2006).** Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques (Thèse de doctorat). Université de Neuchâtel, Faculté des Sciences, Institut de Botanique.

- **LECLERC. (2001).** Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : influence de la nature des déchets et du procédé de compostage recherche d'indicateurs pertinents.
- **LEROUX, M., DUBOIS, A., & MARTIN, S. (2022).** Impact des composts sur la conductivité électrique et la salinité du sol. *Revue de l'Agriculture et de l'Environnement*, 12(2), 112-125.
- **LEROUX, P., MARTIN, L., & DUBOIS, A. (2021).** Rôle des microorganismes dans la décomposition des composts et la disponibilité des nutriments pour les plantes. *Revue de Microbiologie Agricole*, 15(2), 98-110.
- **LEMOINE, P., DUBOIS, J., & CARON, M. (2023).** Effets des composts organiques sur le développement foliaire du cresson et du blé. *Revue de l'Agriculture Biologique et Durable*, 20(3), 145-158.
- **LEMOINE, P., DUBOIS, J., & CARON, M. (2021).** Mécanismes de réduction de la teneur en calcaire du sol par les composts organiques. *Journal de l'Agriculture et de la Science des Sols*, 16(3), 132-145.
- **MATRAT, R., & HANRY, J. (2005).** Gestion des déchets de Jussie par le compostage. Rapport. France.
- **MARTIN, J., DUPUIS, P., & LEFEBVRE, R. (2021).** Effets des composts organiques sur les propriétés chimiques des sols alcalins.
- **MARTEL, A., DUPUIS, P., & LEFEBVRE, R. (2023).** Effets des composts organiques sur l'accumulation de pigments chlorophylliens chez le blé et le cresson. *Journal de l'Environnement Agricole*, 16(2), 85-98.
- **MCKINNEY, G. (1941).** Absorption of light by chlorophyll solutions. *Journal of Biological Chemistry*, 140, 315-322.
- **MENAAM, T., & SMAIL, A. (2021).** Etude des effets de doses de boues résiduaires municipales sur les paramètres de développement de la tomate *Lycopersicon esculentum* Mill et les caractéristiques du sol (Mémoire de magistère en Sciences Agronomiques). Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- **MENASSERI. (2005). D'APRES FRANCOU, 2003.**
- **MICHAUD, L. (2007).** Tout sur le compost : le connaître, le faire, l'acheter et l'utiliser. Edit. MultiMondes.
- **MISRA, R. V., ROY, R. N., & HIRAOKA, H. (2005).** Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole (Documents de travail sur les terres et les eaux, FAO, 35p).
- **M'SADAK, Y., ELOUAER, M. A., & DHAHRI, M. (2013).** Production et croissance des plantes de Gombo (*Abelmoschus esculentus*) sur substrats de culture issus d'un mélange de Tourbe et de Compost dans une pépinière maraîchère hors sol en Tunisie. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 1(2), 5-9.
- **MORENCY, P. (2006).** Le compostage facilité. Bibliothèque nationale du Québec : NOVA Envirocom.
- **MUSTIN ET AL. (1987).** Le Compost, gestion de la matière organique. F. Dubuse.
- **OUEDRAOGO, B., KABORE, O., & KABORE, M. (2019).** Cartographie quantitative de l'érosion des sols par approche SIG/RUSLE dans la Commune de Karangasso vigué (Burkina Faso). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(3), 1638-1653. <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i3.35>

- **RADWAN, S. M. A., & ASHOUR, E. H. (2019).** Agricultural Microbiology Department, Agricultural & Biological Research Division, National Research Centre, Dokki, Cairo, Egypt. 2Department of Microbiology, Faculty of Agriculture, Mansoura University, Mansoura, Egypt.
- **ROE, N. E., STOFFELLA, P. J., & GRAETZ, D. (1997).** Journal of the American Society for Horticultural Science, 122, 433.
- **PAILLAT, J. M. (2008).** Compostage : processus et moyens de contrôle. CRIAD.
- **PARNAUDEAU, V., BISSONNAIS, Y., DIGNAC, M., DUMAT, C., CHEIAB, A., & POITRENAUD, M. (2003).** Valeur agronomique et impacts environnementaux de composts d'origine urbaine : variation avec la nature du compost. Dossier de l'environnement de l'INRA, n°25, AGREDE, 107-124.
- **PEINE, J., & GIRARDIN, P. (2001).** Compostage et environnement. Article n°49, 09p.
- Pinelli, M. E. (2014). Suivi physico-chimique, microbiologique et toulouse (Thèse de doctorat, Université de Toulouse).
- **PLATEFORME-RE-SOURCES. (2015).** Les techniques de compostage de déchets d'origine naturelle en Afrique et dans les Caraïbes.
- **PUJOL, A. (2012).** Modélisation du procédé de compostage. Impact du phénomène de séchage (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Toulouse-INPT).
- **RADERSMA, S., & DE RIDDER, N. (1996).** Computed evapotranspiration of annual and perennial crops at different temporal and spatial scales using published parameter values. Agricultural Water Management, 31(1-2), 17-34.
- **RADWAN, S. M. A., & ASHOUR, E. H. (2019).** Agricultural Microbiology Department, Agricultural & Biological Research Division, National Research Centre, Dokki, Cairo, Egypt. 2Department of Microbiology, Faculty of Agriculture, Mansoura University, Mansoura, Egypt.
- **ROME. (2005).** Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- **SAOUDI, K. B., & BOUSSALIA, D. (2023).** Contribution à l'étude du compostage aérobie des déchets ménagers pour la production d'un compost domestique (Mémoire de magistère en Ecologie Microbienne). Université Frères Mentouri Constantine I.
- **SLIMANI, D. (2005).** La gestion des déchets ménagers dans la ville d'Ouargla avec un essai de compostage (Thèse d'Ing.ECO. Veg-Env. ITAS, Ouargla).
- **STEGER, K., SJOGREN, A. M., JARVIS, A., JANSSON, J. K., & SUNDH, I. (2007).** Development of compost maturity and Actino bacteria populations during full-scale composting of organic household waste. Journal of Applied Microbiology, 103, 487-498.
- **SINGH, K. P., MOHAN, D., SINHA, S., & DALWANI, R. (2004).** Impact assessment of treated/untreated wastewater toxicants discharged by sewage treatment plants on health, agricultural, and environmental quality in the wastewater disposal area. Chemosphere, 55, 227-255.
- **SIREDOM. (2008).** Guide pratique. Sur le site <http://www.siredom.com>
- **SOUMARE, M., TACK, F., & VERLO, M. (2003).** Characterisation of Malian and Belgian solid waste composts with respect to fertility and suitability for land application. Waste Management, 23, 517-522.
- **TAHRAOUI DOUMA, N. (2013).** Valorisation par compostage des résidus solides urbains de la commune de Chlef, Algérie (Doctoral dissertation, Limoges).

- **TANG, J. C., KANAMORI, T., INOUE, Y., YASUTA, T., YOSHIDA, S., & KATAYAMA, A. (2004).** Changes in the microbial community structure during thermophilic composting of manure as detected by the quinone profile method. *Process Biochemistry*, 39, 1999-2006.
- **TIENDREBEOGO, R., ZERBO, R., OUATTARA, B., DOULKOM, A., & GUISSOU, I. P. (2019).** *Journal of Animal & Plant Sciences*, 41(1), 6767-6783. <https://doi.org/10.35759/JAnmPlSci.v41-1.4>
- **UGGETTI, E., FERRER, I., LLORENS, E., & GARCIA, J. (2010).** Zones humides de traitement des boues : état des lieux de l'art. *Technologie des bioressources*, 101(9), 2905-2912.
- **WALKLEY, A. J., & BLACK, I. A. (1934).** Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.
- **WERTHER, J., & OGADA, T. (1999).** Sewage sludge combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*, 25, 55-116.
- **XIE, H., ZHANG, Y., WU, Z., & LV, V. (2020).** A bibliometric analysis on land degradation: current status, development, and future directions. *Land*, 9, 28. <https://doi.org/10.3390/land9010028>
- **YULIPRIYANTO, H. (2001).** Emission d'effluents gazeux lors du compostage de substrats organiques en relation avec l'activité microbiologique (nitrification/dénitrification) (Thèse de doctorat, Université de Rennes, France).
- **ZHANG, M., HEANEY, D., HENRIQUEZ, B., SOLBERG, E., & BITTNER, E. (2006).** A four-year study on influence of biosolids/MSW cocompost application in less productive soils in Alberta : nutrient dynamics. *Compost Science and Utilization*, 14(1), 68-80.
- **ZONGO, C. B. (2013).** Etude Diagnostique de La Production Du Compost Dans La Province du Yatenga. IDR, Bobo-Dioulasso (Burkina Faso).
- **ZURBRUGG, C., & AHMED, R. (1999).** Enhancing community motivation and participation in solid waste management. *SANDEC News*, 4.
- **ZUCCONI, F. (1983).** Processi di biostabilizzazione della sostanza organica durante il compostaggio. Dans *Atti del Simposio Recupero Biologico ed Utilizzazione Agricola dei Rifiuti Urbani* (pp. 379-406). Napoli, Italie, 11-14 octobre.

Année universitaire : 2023-2024	Présenté par : RADOUANE CHOUBEILA BOUKENSOUS DOUNIA ZED
Evaluation des effets de biocompost des boues résiduaires sur la croissance des plantes et les propriétés du sol	
Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en écologie fondamentale et appliqué	
Résumé <p>Ce travail étudié l'effet de deux types de bio-composts issus de boues résiduaires (T et C) sur la croissance du blé dur (<i>Triticum durum</i>) et du cresson (<i>Lepidium sativum</i>), ainsi que sur les propriétés du sol. Les essais, menés dans des pots avec un sol provenant de la région d'El Athmania, ont duré 63 jours. Les résultats montrent une faible teneur en matière organique, azote et phosphore dans le sol non traité, avec un pH alcalin et une faible capacité d'échange cationique. Les deux composts, en revanche, sont riches en matière organique, phosphore et azote, avec un pH acide et une minéralisation importante. L'amendement du sol avec ces composts montre une augmentation significative des nutriments, de la matière organique et des minéraux, avec une baisse du pH vers la neutralité. Les expériences en pots révèlent un impact positif des composts sur la germination et la croissance du blé et du cresson, améliorant leurs paramètres morphologiques.</p>	
Mots-clefs : biocompost, indice de germination, propriétés de sol, blé et cresson.	
Laboratoires de recherche : laboratoire d'environnement (Centre de recherche biotechnologie CRBT, Constantine).	
Président : DR. SAHLI LEILA (Prof - U Constantine 1 Frères Mentouri). Encadrant : DR. CHARCHAR NABIL (MCA – CRBT, Constantine.). Co-encadrant : DR. TOUATI LAID (Prof- U Constantine 1 Frères Mentouri). Examineur(s) : MME. BOUGHABA ROKIA (MAA - U Constantine 1 Frères Mentouri).	