

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département des Sciences Agronomiques



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences Agronomiques

Option: Science du Sol

Thème

**Effet de l'apport du compost des boues d'épuration
urbaines sur les paramètres de la qualité chimique des
sols cultivés en triticale**

Présenté par:

FODIL Hocine

&

KERDOUS Salim

Devant le jury composé de:

Présidente: Mme OMARI O.

MAA à l'UMMTO

Promotrice : Mme OMOURI O.

MAA à l'UMMTO

Co promotrice: Mme ZIZA F.Z

Chercheuse INRAA

Examinatrice : Mme GHEBBI K.

MCA à l'UMMTO

Année universitaire : 2023/2024

Remerciements

Avant tout, nous remercions le bon Dieu, le tout puissant, de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour achever ce travail.

Nos vifs remerciements et notre profonde gratitude s'adressent à notre **promotrice Mme OMOURI O.** qui a accepté de nous encadrer, pour sa grande patience, ses encouragements, son aide et ses conseils judicieux durant la réalisation du présent travail.

Nos remerciements les plus sincères à notre **Co promotrice : Mme ZIZA F.Z.,** qui nous a aidées à réaliser ce travail aux laboratoires de la division sol à l'INRAA de Barraki.

Nous remercions les membres de **jury, Mme OMARI O. et Mme GHEBBI SI SMAIL K.** d'avoir accepté de présider, d'examiner, d'évaluer ce travail et pour le temps consacré, leurs critiques seront une valeur scientifique ajoutée et leurs remarques et suggestions ne feront que rehausser la qualité de ce modeste travail.

Nous exprimons nos remerciements aux personnels administratifs et techniques de l'ITMAS de Boukhalfa, en premier lieu Mr FILLALI, le Directeur et en particulier l'ingénieur Cheffe de l'exploitation Melle HADJAZ S.

Nos remerciements vont aussi à nos parents, qui ont été derrière nous avec leur soutien durant notre cursus, ainsi que toute personne qui ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Louange à Dieu le tout puissant, qui m'a permis de voir ce jour tant attendu.

A mon très cher père Achour

Tu as toujours été pour moi un exemple de père respectueux, honnête, de la personne méticuleuse, qui a servi son pays avec honneur, je tiens à honorer l'homme que tu es. Grâce à toi papa, j'ai appris le sens du travail, de la responsabilité et de devoir envers la nation. Je voudrais te remercier pour ton amour, ta générosité, ta compréhension... Ton soutien fut une lumière dans tout mon parcours. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime et le respect que j'ai toujours eu pour toi, je t'aime papa.

A ma très chère mère Ouardia

Qui m'a donné la vie, qui a œuvré pour ma réussite, par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie. Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu n'as jamais cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études.

Qu'Allah te protège et te donne la santé, le bonheur et longue vie.

A mon cher frère Kamel

Qui a toujours été là pour moi, partageant mes joies et mes peines. Ta présence constante et ton encouragement ont été une source d'inspiration pour moi tout au long de ce parcours. Tu es plus qu'un frère pour moi, tu es mon meilleur ami, mon soutien et mon bras droit.

A mes chères Sœurs

A mon binôme Hocine

Pour tous les instants inoubliables qu'on a passés ensemble.

Salim

Dédicaces

Je dédie ce travail à mon père, qui grâce à lui et à ses sacrifices que je suis arrivé à tous mes succès. « Que ce travail modeste traduit ma gratitude et mes affections ».

Ma mère, que dieu la préserve, ainsi que mon grand frère Lounes et les petits Belkacem et Sofiane « qui m'ont toujours soutenus durant mes longues années d'études »

A toi Sara, à tout ce qui me sont chers, qui ont été toujours à mes côtés et accompagnés durant cette dernière année de master

Hocine

Table des matières

Introduction générale

Chapitre I: Synthèse bibliographique

I.1. Qualité des sols agricoles

I.1. 1. Introduction.....	4
I.1.2. La qualité chimique d'un sol agricole.....	5
I. 1.3. Impact des produits exogènes (engrais, produits phytosanitaires, polluants) sur la qualité chimique des sols agricoles.....	6
I.1.4. Les paramètres de l'évaluation de la qualité chimique des sols agricoles.....	6
I.1.4.1. La capacité d'échange cationique.....	6
I.1.4.2. Le pH du sol.....	7
I.1.4.3. La conductivité électrique.....	8
I.1.5. Effet des amendements organiques sur la qualité chimique des sols agricoles.....	8
I.1.5.1. Effet sur le pH du sol.....	9
I.1.5.2. Effet sur la Conductivité électrique.....	10
I.1.5.3. Effet sur la Capacité d'échange cationique.....	10

I.2. Valorisation agricole des boues d'épuration urbaines par compostage

I.2.1. Le compostage des boues d'épuration urbaines.....	11
I.2.1.1. Définition.....	11
I.2.1.2. Intérêt de la valorisation des boues urbaines.....	12
I.2.1.2.1. Intérêt environnementale.....	12
I.2.1.2. 2. Intérêt agronomique.....	12
I.2.1.2.3. Intérêt économique.....	13
I.2.1.3. Les critères de la qualité de compost de boues d'épuration pour usage agricole.....	13
I.2.1.3.1. Le pH.....	13
I.2.1.3.2. Le rapport C/N.....	13

I.2.1.3.3. La conductivité électrique.....	14
I.2.1.3.4. La capacité d'échange cationique (CEC).....	14
I.2.1.4. Effet du compost de boues d'épuration sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol.....	14
I.2.1.5 Effet du compost de boues d'épuration sur les propriétés physiques du sol.....	14
I.2.1.6. Effet du compost de boues d'épuration sur les propriétés chimiques du sol.....	15
I.2.1.7. Effet des boues d'épuration sur les propriétés biologiques des sols.....	15

I.3. Généralités sur les cultures fourragères « triticale » en Algérie

I.3.1. Origine du triticale.....	15
I.3.2. Les caractéristiques morphologiques.....	16
I.3.2.1. Les racines.....	16
I.3.2.2. La tige.....	16
I.3.2.3. Les feuilles.....	16
I.3.2.4. Les graines.....	16
I.3.3. Classification du triticale.....	17
I.3.4. Intérêt du triticale.....	18
I.3.4.1. Intérêt agronomique.....	18
I.3.4.2. Intérêt fourrager.....	18
I.3.4.3. Intérêt économique.....	19
I.3.5. Exigences édaphoclimatiques.....	19
I.3.5.1. Températures.....	19
I.3.5.2. Besoin en eau.....	20
I.3.5.3. Texture du sol.....	20
I.3.5.4. pH du sol.....	20
I.3.5.5. Salinité (CE).....	20
I.3.5.6. Nutriments.....	20

I.3. 6. Effet de compost de boues d'épuration sur le rendement et la performance du triticales.....	20
--	-----------

Chapitre II: Matériel et méthodes

II.1. Objectif de l'étude.....	23
II.2. Localisation et caractérisation du site d'étude.....	23
II.2.1. Localisation.....	23
II.2.2. Le climat.....	24
II.2.3. Le sol.....	24
II.3. Choix des parcelles.....	24
II.4. Méthodologie	
II.4.1 Phase terrain.....	26
II.4.1.1. Prélèvement et réparations des sols.....	26
II.4.1.2. Préparations du compost	26
II.4.1.3. Préparations du végétal	28
II.4.1.4. Réalisation des mélanges (sol /compost) et transplantation du triticales.....	28
II.4.1.5. Choix du dispositif expérimental.....	28
II.4.1.6. Suivi de l'essai	29
II.4.1.6.1. Irrigation, désherbage et traitement phytosanitaire.....	29
II.4.1.7. Fauchage et échantillonnage.....	29
II.5. Phase laboratoire.....	30
II.5.1. Préparation du sol.....	30
II.5.2. Analyses physico-chimiques du sol... ..	31
II.5.2.1. La mesure du pH	31
II.5.2.1.1. Principe	31
II.5.2.1.2. Mode opératoire	31
II.5.2.1.3. Produits et matériels.....	31

II.5.2.1.4. Mesure du pH.	31
II.5.2.2. Mesure de la conductivité électrique (CE).....	32
II.5.2.2.1. Matériel.....	32
II.5.2.2.2. Étalonnage de l'appareil et mesure de la CE.....	33
II.5.2.3. Dosage du calcaire total.....	34
II.5.2.3.1. Principe de la méthode	34
II.5.2.3.2. Mode opératoire	34
II.5.2.3.3. Etalonnage de l'appareil.....	34
II.5.2.4. Dosage du calcaire de l'échantillon	35
II.5.2.4.1. Calcul.....	35
II.5.2.5. Dosage du potassium assimilable.....	35
II.5.2.5.1. Le principe.....	35
II.5.2.5.2. Mode opératoire.....	36
II.5.2.5.2.1 Matériels	36
II.5.2.5.2.3. Extraction du potassium assimilable.....	36
II.5.2.5.2.4. Préparation de la gamme d'étalonnage.....	36
II.5.2.5.2.5. Calcul.....	37
II.5.2.6. Dosage du potassium soluble.....	37
II.5.2.6.1. Mode opératoire.....	38
II.5.2.7. Calcul du potassium échangeable.....	38

III. Résultats et discussions

III.1. Résultats

III.1.1. Caractérisation du compost de boues d'épuration urbaines appliqué.....	40
III.1.1.1. Résultats des analyses physico-chimiques du compost appliqué	40
III.1.1.2. Discussion des résultats	40
III.1.1.2.1. Le pH.....	40
III.1.1.2.2. La conductivité électrique.....	40

III.1.1.2.3. Le calcaire total.....	41
III.1.1.2.4. Le potassium assimilable.....	41
III.2. Variation des paramètres physiques chimiques des sols étudiés sous l'effet du compost appliqué	41
III.2.1. Résultats du pH.....	41
III.2.2. Discussion des résultats du pH.....	42
III.2.3. Résultats du calcaire total.....	42
III.2.4. Discussion des résultats du calcaire total.....	43
III.2.5. Résultats de la conductivité électrique.....	43
III.2.6. Discussion des résultats de la CE.....	44
III.2.7. Résultats du potassium assimilable.....	45
III.2.7.1. Potassium assimilable totale.....	45
III.2.7.2. Discussion des résultats du potassium assimilable.....	45
III.2.7.3. Potassium soluble.....	46
III.2.7.4. Potassium échangeable.....	47

Conclusion générale

Référence bibliographiques

Annexes

Résumé

Liste des figures

Figure 1 : Localisation par satellite de la station expérimentale de Boukhalfa (Google earth, 2017)

Figure 2: Image satellitaire de la parcelle via Google Earth (2024)

Figure 3 : Image satellitaire de la parcelle via Google Earth (2021)

Figure 4: Concassage des mottes et séchage du sol à l'air libre

Figure 5: Tamisage du sol

Figure 6: Compost tamisé

Figure 7 : Dispositif expérimentale

Figure 8: Photo illustrant le stade laiteux-pâteux du triticale

Figure 9: Fauchage du triticale

Figure 10 : PH mètre

Figure 11: Conductimètre

Figure 12: Calcimètre de Bernard

Figure 13: Spectrophotomètre à flamme

Figure 14: Filtration de la suspension sol + eau distillée

Figure 15: Variation du pH des sols étudiés en fonction du taux de compost appliqué

Figure 16: Variation du taux de CaCO_3 total dans les sols étudiés en fonction du taux de compost appliqué

Figure 17: Variation de la conductivité électrique des sols étudiés en fonction du taux du compost appliqué

Figure 18: Variation du potassium assimilable des sols étudiés en fonction du taux du compost appliqué

Figure 19: Variation du potassium soluble des sols étudiés en fonction de taux du compost appliqué

Figure 20: Variation du potassium échangeable des sols étudiés en fonction du taux du compost appliqué

Liste des tableaux

Tableau 1: échelle de salinité du sol

Tableau 2: Classification de triticales

Tableau 3: Caractéristiques physico-chimiques du compost appliqué

Liste des abréviations

C° : Degré Celsius

Al⁺³ : Aluminium

C/N : Rapport Carbone Azote

CE : Conductivité électrique

CEC : Capacité d'échange cationique

CTO : Composé trace organique

ETM : élément trace métallique

FAO : Food and Agriculture Organisation of the United Nations (L'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture des nations unies)

Fe⁺³ : Fer trivalent

ISO : Organisation Internationale de Normalisation

ITGC : Institut technique des grandes cultures

ONA : Office national de l'assainissement

Mn⁺² : magnésium

pH : Potentiel hydrogène

SENAT : Chambre haute du parlement en France

T : Témoin

PUND : Programme des Nations Unies pour le Développement

Introduction générale

Introduction générale

En Algérie, particulièrement dans les zones arides et semi arides, les déficiences en matières organiques et éléments fertilisants constituent un deuxième facteur limitant après l'eau dans la production végétale.

Le sol est un milieu fragile et très complexe, longtemps considéré comme un simple support de l'agriculture. C'est aussi un milieu vivant, de transit, de stockage et de transport de nombreuses substances, quelle que soit leur nature, organique ou inorganique (Calvet, 2000).

Les matières organiques sont des composantes essentielles et jouent un rôle fondamental dans la conservation des sols agricoles. Pour améliorer la qualité du sol à long terme, il faut améliorer la structure du sol et accroître leur niveau de matière organique. De ce fait, il faut ajouter des engrais ou amendements organiques au sol. L'apport des boues résiduaires au sol s'avère une alternative, vue sa richesse en matière organique biodégradable et éléments fertilisants (Ouadah, 2023) et leur compost aussi s'avère être un bon engrais du fait qu'il contient une teneur en matière organique considérable et des substances nutritives (Soufi, 2021).

Le compost est défini comme étant un amendement organique stable. Il est obtenu par compostage de certains bio déchets, provenant des restes des végétaux et des déchets animaux, sous l'action combinée de bactéries et autres organismes et en présence d'oxygène (Soufi, 2021).

En l'Algérie, comme dans tous les pays du monde, les boues d'épurations s'accumulent en grande quantités à travers tout le territoire, cette accumulation peut-être fatale à l'environnement (Ben Abderrahmane, 2022). Parmi les solutions envisagées pour leur gestion, la valorisation agricole après leur compostage, car le compost des boues est un amendement organique stabilisé et hygiénisé. De plus, il offre une large gamme d'engrais organiques pour les sols agricoles, et permet de réduire les flux des déchets et minimiser leur risque sur l'environnement. Or, leur épandage à l'état brut est d'un impact négatif sur l'environnement (Ben Abderrahmane, 2022). Les boues d'épuration sont nocives pour l'environnement, mais elles peuvent être utilisées comme engrais en agriculture biologique (Jarde et al., 2003 ; Soudani, 2017).

D'un autre côté, les fourrages sont considérés comme le maillon primordial de tout développement de la production animale. Or, dans notre pays, la production fourragère est limitée et reste très insuffisante avec une influence sur le marché du lait et de viande.

L'amélioration de la qualité chimique, physique et biologique des sols agricoles et l'augmentation des rendements de cultures fourragères par apport à différentes sources organiques a fait l'objet de beaucoup de travaux de recherche. L'utilisation du compost des boues traitées en agriculture, peut réduire considérablement le coût de leur élimination, protéger l'environnement, réduire les prix par rapport aux engrais commerciaux, offrir des nutriments essentiels aux plantes et augmenter la fertilité des sols (Domingue et al., 2012). Des ajouts organiques sont nécessaires pour améliorer la fertilité et la productivité des sols à faible concentration de matière organique (Scholz, 2016).

De point de vue économique, le compost des boues peut être une alternative aux engrais chimiques, car il permet de réduire les coûts pour l'agriculteur en lui évitant l'achat d'engrais chimiques ou organiques. Les résidus des boues sont constitués de matières minérales inertes, d'azote, du phosphore et de matières organiques (Jarde et al., 2003).

Dans ce contexte, le présent travail contribue à la gestion et à la valorisation agricole du compost de boues d'épuration dont l'objectif principal est d'évaluer la qualité chimique du compost de boues d'épuration et l'effet sur quelques paramètres chimiques, à savoir ; le pH, CE, CaCO₃ total et le potassium assimilable (soluble et échangeable) de deux sols agricoles différant par la texture et cultivés en triticales fourragères.

Notre mémoire est divisé en trois chapitres: le premier chapitre porte sur une synthèse bibliographique abordant la qualité des sols agricoles, la valorisation agricole des boues d'épuration urbaines par compostage et généralités sur la culture fourragère « triticales » en Algérie. Le second chapitre est consacré à la présentation du site d'étude, matériel et les méthodes utilisées. Le troisième chapitre présente les résultats obtenus et leur discussion. Une conclusion générale synthétisant les résultats essentiels.

CHAPITRE I

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1. Qualité des sols agricoles

I.1.1. Introduction

Le sol agricole est «un corps naturel dynamique à la surface de la terre dans lequel poussent les plantes, composé de matières minérales et organiques et de formes vivantes (Brady, 1974).

Beaucoup de définitions de la qualité des sols ont été proposées entre les années 1990 et 2000 (Arshad et Martin, 2002).

En fait, la qualité des sols a été reliée uniquement à la production pour certains (Hornick, 1992 ; Karlen et al., 1997) et uniquement à l'environnement pour d'autres (Johnson et al., 1997, Warkentin, 1995). Ces deux composantes ont été intégrées par Doran et Parkin (1994), en la définissant comme étant la capacité d'un sol à fonctionner en maintenant la productivité biologique, la qualité de l'environnement et la santé des plantes et des animaux ». Cette définition est la plus citée aujourd'hui. D'autres précisions l'ont enrichi, comme l'intégration de la notion de la durabilité (Doran et Zeiss, 2000) et l'importance de considérer la qualité du sol dans un contexte donné (Doran et Safley, 1997) et une utilisation donnée (Martin et al., 1999).

La qualité chimique d'un sol dépend en partie de la qualité physique et de la qualité biologique des sols et le contraire aussi est vrai.

La texture est définie comme un facteur déterminant de la fertilité des sols puisqu'elle influence les propriétés physiques (économie en eau et en air, structure, perméabilité, résistance à l'érosion etc...) et chimiques (capacité des échanges des sols) (Halitim, 1988).

La structure du sol constitue un facteur déterminant de fonctionnement des sols, de sa capacité à supporter la vie et à affecter la qualité de l'environnement, particulièrement à travers la séquestration du carbone et l'amélioration de la qualité de l'eau (Bronick et al., 2005).

I.1.2. La qualité chimique d'un sol agricole

Il est d'abord important de préciser, que le sol fonctionne avant tout comme un système chimique ouvert. Cela signifie qu'une bonne partie des éléments chimiques du sol peuvent soit : être exportés soit par les récoltes, soit par les eaux (Duchaufour, 1995 et Robert, 1996).

Les apports atmosphériques mais aussi les pratiques humaines, peuvent contribuer à enrichir le sol au plan chimique (Duchaufour, 1995 et Robert, 1996). Dans le bilan des éléments chimiques, il est nécessaire de prendre en compte les réserves naturelles du sol. Selon Morel (1989a), la fertilité d'un sol répond de la facilité avec laquelle la racine peut en quantité suffisante bénéficier dans ce sol des différents facteurs de la croissance végétale, chaleur, eau, ensemble des éléments chimiques nécessaires à la plante, substances organiques de croissance.

La production d'éléments nutritifs et de facteurs de croissance par les actions microbiennes recouvre les processus de minéralisation et de transformation de la matière organique, elle a des implications principalement sur la qualité chimique du sol, au niveau de la fourniture d'azote minérale, mais également de soufre et de phosphore assimilable par les plantes, respectivement sous forme d'ions sulfates et orthophosphate. On rattache également la fixation d'azote peu à ce volet « production ». La fixation symbiotique de l'azote peut atteindre plusieurs dizaines de kg N/ha, mais inféodée à un type de culture particulière (légumineuse) ; la fertilité est dans ce cas liée à l'abondance et à l'efficacité des souches de rhizobium présent dans le sol (Amarges, 1980).

L'implication des microorganismes dans le transport des éléments vers les plantes concerne essentiellement les champignons mycorhiziens (Planchette, 1991), ces champignons interviennent dans le transport des éléments peu mobiles tel que le phosphore et les oligo-éléments leurs rôles est particulièrement important dans les sols pauvres ou affectés par la sécheresse (Nouaim et chaussed, 1996).

I.1.3. Impact des produits exogènes (engrais, produits phytosanitaires, polluants) sur la qualité chimique des sols agricoles

Un nombre de problèmes actuels de chimie des sols sont liés aux sciences de l'environnement. Que se passe-t-il lorsqu'un produit chimique est accidentellement renversé dans le sol ? À quelle vitesse se décompose-t-il ? En quoi cela se décompose-t-il ? Où va-t-il et à quelle vitesse se déplace-t-il ? Les spécialistes en chimie du sol, peuvent poser ces

questions, ils recherchent dès les solutions aux préoccupations concernant la contamination organique et inorganique des sols, des pesticides et autres polluants et les risques sur la santé environnementale (<https://www.aquaportail.com>).

La cause la plus ubiquiste de la contamination des sols, résulte d'une pollution diffuse due à l'usage systématique des pesticides en agriculture (Ramade, 2005).

L'impact des produits phytosanitaires est incontestable. Ils influent sur l'environnement par l'infiltration dans le sol, propagation dans l'air, comme ils polluent l'eau. Les produits phytosanitaires ne sont pas uniquement nocifs sur l'environnement, mais ils présentent aussi des risques sanitaires pour l'homme (Mehri, 2008).

Les produits phytosanitaires dans le sol, varient selon leur nature et de leur composition chimique. Le risque sur l'environnement est d'autant plus grand que ces produits toxiques sont utilisés sur des surfaces et à des doses fréquentes élevées et qu'ils sont persistants et mobiles dans les sols, ainsi, ils sont, soient dégradés par les microorganismes ; ou par hydrolyse, ou adsorbés par les sédiments ou bien par les racines des plantes (Ais et Ouamrane, 2018).

I.1.4. Les paramètres de l'évaluation de la qualité chimique des sols agricoles

Ils représentent des mesures qualitatives ou quantitatives qui permettent d'évaluer l'état des fonctions des sols à un instant et ses variations dans le temps. Le terme « paramètre » renvoie à la fois à la mesure des propriétés. Dans la littérature, un paramètre peut être utilisé, seul ou agrégé, comme un indicateur de l'état des fonctions des sols (Nortcliff, 2002 ; Bremer et Ellert, 2004).

I.1.4.1. La capacité d'échange cationique

Il s'agit de la quantité de cations qu'un sol peut retenir à la surface de ses agrégats (complexe argilo-humique) à un pH donné (selon la méthode d'analyse choisie). La CEC est un des indicateurs de la fertilité chimique du sol. Elle indique sa capacité de rétention des éléments nutritifs (sous forme de cations). Généralement, plus un sol est riche en argile et en matière organique, plus sa CEC est importante. Ces deux éléments, chargés négativement, sont liés par des cations (calcium, magnésium, oxyde de fer, etc.) et forment ensemble le complexe argilo-humique (Collaud et al., 1990).

Les charges négatives « restantes » (qui ne servent pas aux liaisons argile-humus), confèrent une charge négative à l'ensemble du complexe argilo-humique et vont permettre de fixer les cations K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ... de la solution du sol (Collaud et al., 1990).

Les cations ainsi fixés sont protégés de la lixiviation (migration des éléments vers le bas du profil). Ils restent disponibles pour les plantes comme éléments nutritifs et peuvent être échangés selon les besoins. Le nombre des charges négatives du complexe argilo-humique détermine l'importance de la CEC. L'analyse de la CEC renseigne donc sur la taille du réservoir potentiel de fixation de cations (Collaud et al., 1990).

La CEC est fonction du taux de matière organique, y'a une relation étroite entre la teneur en carbone organique total et la capacité d'échange cationique, donc nous pouvons expliquer la diminution de la capacité d'échange cationique par le décroissement de carbone organique (matière organique) du sol par la minéralisation (Thuriès et Baize, 2000). Selon Baize (2000), la capacité d'échange cationique augmente aussi avec le degré d'humification.

I.1.4.2. Le pH du sol

Le pH exprime la réaction acide, neutre ou basique du sol, selon qu'il renferme beaucoup ou peu d'ions H^+ libres en solution. Au niveau du sol, le pH est variable et il influe sur ses propriétés. Ces variations sont cependant limitées car si, en chimie, le pH varie de 0 à 14. Le pH des sols a pour extrêmes 4,5 à 5 pour les sols plus acides et pH8 pour les terres très basiques (Makhlouf, 2022)

Le pH est fortement influencé par la roche mère et la composition de la litière joue aussi un rôle en particulier à travers son rapport C/N (Makhlouf, 2022).

Le pH du sol est une expression synthétique des conditions physico-chimiques qui président en partie à la structuration du sol, à l'activité microbienne et à la disponibilité des éléments nutritifs (Genot et al., 2007). Il provient du matériau d'origine pendant la formation du sol, mais les humains peuvent ajouter des éléments aux sols pour le modifier, pour mieux s'adapter à la croissance des plantes (<https://www.aquaportail.com>).

I.1.4.3. La conductivité électrique

La conductivité électrique (salinité) est la mesure du degré de la salinité du sol. La détermination de la conductivité électrique se fait sur extrait de sol (rapport sol /eau =1/5) et mesurée à l'aide d'un conductimètre (Delaunois, 1976).

Tableau 1: Echelle de salinité du sol

Conductivité électrique (mS/cm)	Classification
0 – 0,6	Non salé
0,6 – 1,4	Peu salé
1,4 – 2,4	Salé
2,4 – 6	Très salé

Source: (USSL, 1981)

La conductivité électrique augmente avec l'apport de la matière organique, par ailleurs, elle décroît avec l'augmentation des doses pour atteindre 5,83 et 5,92 mS/cm avec la dose 113,4 t/h respectivement pour le fumier ovin et bovin (Mallouhi, 1979). Dans les sols salés, la matière organique fraîche améliore la stabilité structurale et par conséquent facilite le lessivage des sels (Mallouhi, 1979).

I.1.5. Effet des amendements organiques sur la qualité chimique des sols agricoles

Snapp et al., (1998) montre qu'en se décomposant, la matière organique libère plusieurs éléments nécessaires à la croissance des plantes. C'est en effet, la source de presque la totalité de l'azote et du soufre absorbés par les plantes dans un sol n'ayant pas reçu d'apport de ces éléments sous forme d'engrais.

La décomposition de la matière organique fournit aussi d'importantes quantités de phosphore, de potassium, de calcium, de magnésium, de bore, de molybdène ainsi que du cuivre et du zinc. La libération de ces éléments est lente et progressive, en harmonie avec les besoins nutritionnels de la plante qui sont échelonnés dans le temps. Le rythme de libération maximum a lieu en saison de pluies lorsque les conditions de température et d'humidité sont favorables à la fois pour l'activité des microorganismes du sol et pour la croissance rapide des cultures. Ceci confère à la matière organique un avantage certain sur les engrais minéraux azotés et soufrés, qui tendent à être drainés par les eaux de lessivage (Terman et al., 1973).

Ces auteurs expliquent ceci par l'hypothèse selon laquelle les colloïdes humiques ont une capacité d'échange cationique élevée qui confère à la matière organique la capacité de mieux retenir les engrais, assurant ainsi une meilleure nutrition des cultures. Cette hypothèse est vérifiée par Bengtson et Cornette (1973) qui signalent un modeste accroissement de la capacité d'échange cationique (CEC) d'un sol argileux après épandage de doses importantes de composts.

En se décomposant, les amendements organiques libèrent certains anions (citrate, oxalate, tartrate, lactate) qui ont plus d'affinités avec les cations Fe^{+3} , Al^{+3} , Mn^{+2} et autres métaux lourds que l'ion $H_2PO_4^{-4}$. Ainsi, les anions organiques vont se combiner avec ces métaux lourds libres pour former des molécules complexes, débarrassant ainsi la solution du sol de ces cations métalliques. Partis sur cette hypothèse, Vishnu et al. (2008) montrent que l'enrichissement d'un compost avec des oxydes de fer réduit la capacité d'absorption du cuivre par une graminée (*Lolium perenne L.*).

Les engrais organiques améliorent l'état chimique du sol, par l'apport de nombreux minéraux et éléments nutritifs aux organismes du sol et aux plantes. De plus, ils permettent la formation de complexes argilo-humiques qui sont indispensables à la rétention des minéraux dans le sol (<https://www.insectosphere.fr>).

I.1.5.1. Effet sur le pH du sol

Le pH est un paramètre important de la dynamique du sol, car leur degré d'acidité ou de basicité joue un rôle très important sur l'assimilation des éléments nutritifs par la plante (Soltner, 2000). Il a une influence sur trois composantes importantes de la fertilité d'un sol : la biodisponibilité des nutriments, l'activité biologique et la stabilité structurale.

La variation de pH dépend des variations saisonnières et du pouvoir tampon du sol (le nombre d'ions en réserve sur le complexe argilo-humique), l'état hydrique du sol, sa température et la présence ou non d'une culture en période de croissance active (Dinon et al., 2008).

Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans le sol (Soufi, 2021).

L'augmentation et la diminution des valeurs du pH observé en réponse à l'apport organique sont dues à la nature de la matière organique utilisée ou à la libération des éléments minéraux qui augmente ou diminue l'alcalinité du sol (Busnot et al., 1995).

L'effet des amendements organiques sur le pH des sols varie selon la nature d'amendements utilisés, car on remarque que le pH du sol amendé par le fumier et débris de culture bananier diminue le long du profil, par rapport au sol témoin, par contre le sol amendé par le compost connaît une petite augmentation de 7.8 à 8.2 dans les horizons de surface et une diminution de 8.7 à 8.2 dans les horizons profonds (Ait m'hamed, 2016).

La diminution ou l'augmentation du pH dans les sols amendés, lié à la nature et le mode de dégradation de matière organique et à l'origine d'amendement apporté. Ces facteurs favorisent l'état acido-basique des sols selon les éléments libérés après la minéralisation et l'humification de la matière organique apportée (Ait m'hamed, 2016).

I.1.5.2. Effet sur la Conductivité électrique

Les sols amendés par le fumier et débris de végétaux, les horizons sont généralement non salés, avec une augmentation de leurs valeurs de CE notamment dans l'horizon de 0-18 qui a dépassé 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Ait m'hamed, 2016)

Les sols amendés avec le compost, leurs valeurs de CE des horizons superficiels (0-20 et 20-35 cm) ont diminué, par contre ceux qui sont plus en profondeur de 35-65 et 80-110 cm augmentaient jusqu'à 125 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Ait m'hamed, 2016).

I.1.5.3. Effet sur la capacité d'échange cationique

Les matières organiques agissent sur la fourniture et la disponibilité des éléments minéraux à l'égard des plantes ainsi que sur la capacité d'échange cationique du sol (Villain, 1987). La capacité d'échange cationique est reliée aux complexes argilo-humiques formés de l'humus et des particules minérales par l'intermédiaire des cations Ca^{2+} , Fe^{2+} et Al^{3+} ; responsables de l'amélioration des propriétés du sol (Charland et al., 2001).

Le compost contribue à former les complexes «Organo-minéraux» formés à la suite d'apports de matières organiques, augmenteront la capacité d'échange cationique du sol, de ce fait c'est à dire le nombre de sites où les plantes peuvent puiser leurs éléments nutritifs (Meridja, 2008).

I.2. Valorisation agricole des boues d'épuration urbaines par compostage

Le fonctionnement des stations d'épuration génère des quantités énormes des boues résiduaire. en Algérie notamment les quantité des boues produit annuellement sont très importante selon l'Office national d'assainissement, la quantité générées à l'échelle national est de plus de 15 million de m³ par mois, ainsi le volume globale d'eaux usé rejetée est évalué à près de 600m³, ce chiffre passerait près de 1,15 million de m³ (Chouial et al., 2017). Donc la valorisation des boues d'épuration est toute fois, dans l'intérêt de protéger l'environnement mais aussi un intérêt agronomique, économique et biologique.

2.2.1. Le compostage des boues d'épuration urbaines

II.2.1.1. Définition

La valorisation consiste dans le réemploi, le recyclage ou toutes autres actions visant à obtenir ; à partir des déchets des matériaux réutilisables ou de l'énergie (anonyme, SENAT les nouvelle techniques de recyclages, 1995) ; ainsi que la composition des boues urbaines dépend du type de traitement des eaux usées, de la station dont elles sont issues et de la présence éventuelle d'effluents industrielles. Elles possèdent néanmoins des caractéristiques communes. Les boues urbaines contiennent toutes de l'azote, du phosphore et de la matière organique, elles peuvent aussi contenir des substances indésirables, telle que des éléments traces métalliques (ETM), les composés traces organiques (CTO), les micro-organismes pathogènes et les résidus pharmaceutiques. Il faut donc adopter un traitement des boues d'épuration en fonction de leurs caractéristiques (quantité, composition, pH, et humidité...) et des modes d'élimination ou de valorisation choisi (Ademe, 1997). Ainsi que le compostage des boues d'épuration ce fait sous plusieurs condition en suivant aussi plusieurs paramètres et respectant aussi des normes d'hygiène. Donc, le compostage des boues urbaines peut se faire confectionner dans tous sorte d'endroits on peut accumulés les matières en petite ou en grande tas, les mettre en fur et à mesure dans des fausses dans un pavillon muni d'un toit ou même dans une enceinte totalement close, cependant quel que soit l'endroit, les principes de compostage des boues urbaines doivent toujours rester les mêmes : il faut créer les conditions optimales d'un environnement dans lequel les microorganismes qui se produit en deux phases : une phase d'activation des microorganismes qui se produit à une température inférieur à 50°C et une second phase d'activation des microorganismes qui se produit à haute température 70°C. La phase à haute température contribue tout particulièrement à la désactivation des graines de mauvaises herbes et des œufs de parasites (c'est l'hygiénisation

du compost). En plus de la température, on peut citer comme conditions importantes du compostage des boues les éléments suivants : l'aération (condition d'oxygène), l'humidité, le pH, le rapport carbone sur l'azote (C/N) et la forme des composés carbonique (Tangra, 2012).

I.2.1.2. Intérêt de la valorisation des boues urbaines

I.2.1.2.1. intérêt environnementale

La valorisation des boues urbaines permet la protection de la ressource hydrique car la gestion des eaux épurées est la meilleure approche pour la mise en valeur de potentiel hydrique, et satisfaire la demande croissant de la population (Bouchaala, 2017). Ainsi la mise en valeurs des boues d'épuration permet de minimisé le risque de pollution du sol et l'environnement car l'épandage directe de ces boues provoque des risques sanitaires éventuel qu'implique du fait de la présence d'agents pathogènes, d'éléments traces métalliques et des organismes toxiques (Amirs, 2005). Cela aussi contribue à la protection des nappes phréatiques contre les maladies hydriques et la propagation d'épidémies (Amir, 2005).

Le recyclage des boues urbaines est une technique et une solution d'éliminer les polluants organiques et de retenir les résidus toxiques et les ETM et le résultat de ce processus permet d'avoir un produit sain, qui joue un rôle d'améliorer la biodiversité et la santé de notre micro et macro-environnement (Vannier, 1985).

I.2.1.2. 2. Intérêt agronomique

Le produit issu de la valorisation des boues urbaines est un produit bénéfique, riche en éléments nutritifs et en matière organique permettant d'enrichir les sols et d'améliorer la biodiversité des microorganismes du sol, ainsi que l'activité microbienne. Ce qui permet à la culture de s'épanouir dans les conditions favorables de nutrition (Chen, 1992). Aussi le composte des boues urbains peut améliorer la texture des sols destiner à l'agriculture et les rends aussi fertiles pour la croissance et le des plantes (Chen, 1992).

La valorisation des boues d'épuration contribue à la lutte de certaines pathologie et maladies de plantes causée par les virures et les parasites issu par l'épandage des boues urbains dans les sols agricoles (Mike, 2023). Ainsi l'immobilisation de certains éléments nutritifs dans les sols, qui provoque la mort des plantes (Boisson, 1998).

I.2.1.2.3. Intérêt économique

La valorisation des boues urbaines est principalement une solution de réduire les dépenses d'investissement dans l'achat d'engrais (produits chers) (Toure,2022) ;ce qui permet d'avoir des amendements pour satisfaire les besoins et les frais couteux des cultures, Selon une étude en Basse Normandie, le compostage des déchets et des boues résiduairees 40000-50000 tonnes d'amendements organiques par an (Stéphanie, 1998-1995).

Aussi le compost des boues d'épuration joue un rôle crucial dans l'augmentation de rendement des grandes cultures et de production d'intérêt économique le plus important (Toure, 2022).

I.2.1.3. Les critères de la qualité de compost de boues d'épuration pour usage agricole

I.2.1. 3.1. Le pH

C'est le premier paramètre qu'il faut étudier malgré que la qualité de pH des boues d'épuration diffère d'une compagnie à une autre, il se situe généralement entre 4,5-5 (Zaime, 2007), au début de compostage mais après avoir valorisé les boues par compostage, le pH doit être entre 7-8 quel que soit le compost (Devisscher, 1997).

I.2.1.3.2. Le rapport C/N

L'apport massique carbone azote ou le rapport C/N est un paramètre qui permet de suivre l'évolution de la matière organique d'un compost, quel que soit son origine, c'est à dire son aptitude à se décomposer plus au moins rapidement dans le sol. Cet indicateur est fréquemment utilisé dans le compostage des boues urbaines pour préciser l'utilisation de ce dernier, il est utile pour toute fabrication d'un bon compost, car pour que le compostage se fasse dans les conditions optimales, le rapport Carbone/azote doit être situé entre 15 et 30 (Giroux et Audess, 2004).

En effet, si le produit composté est trop faible en azote, il ne chauffera pas donc pas de dégradation de la matière organique. Si la proportion d'azote est trop élevée, le compost peut surchauffer et éliminer les microorganismes. Il faudra donc veiller à équilibrer les apports. Le C/N doit donc être considéré comme un indicateur partiel de qualité tel que (le pH, la CE, la CEC ...ect) (Giroux et Audess, 2004).

I.2.1.3.3. La conductivité électrique

Les boues d'épuration peuvent avoir une conductivité électrique variable en fonction de leur composition et des éléments présents ; elle peut être influencée par la teneur en matière organique et minérale et autres composés. Les boues d'épuration ont une conductivité électrique généralement inférieure à 2000dS /m (Maimouna, 2019).

L'OMS n'a pas exigé une norme de conductivité électrique pour le compost (Mrabet, 2011), mais la salinité des sols en terme de conductivité électrique augmente progressivement en présence de compost ; cette augmentation est d'autant plus importante que la concentration de compost est plus élevée (Mrabet, 2011).

I.2.1.3.4. La capacité d'échange cationique (CEC)

Tout comme la conductivité électrique, la CEC des boues d'épuration est variable en fonction de sa composition ; aussi elle est influencée par la teneur en matières organiques et la fraction minérale (l'argile), donc il est intéressant d'étudier la CEC d'un compost pour comprendre comment il peut contribuer à la chimie de sol et à sa fertilité (Aloumi, 2023).

Aussi l'ajout du compost au sol joue le rôle important dans l'enrichissement de ce dernier en matière organique, qui est indispensable pour la vie des micro-organismes ; donc le compost joue un rôle indirect dans l'assemblage des éléments constituant le sol et leurs qualités, et on peut concrétiser un sol pour la CEC qui est proportionnelle à la qualité de charge électrique portée par le complexe d'échange, plus la CEC est élevée plus le sol peut absorber et désorber des cations et donc les restituer à la plante (anonyme, 2023). La CEC dépend aussi de la nature et de l'association des argiles avec les composés humiques (Devisscher, 1997).

I.2.1.4. Effet du compost de boues d'épuration sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol

I.2.1.4.1. Effet du compost de boues d'épuration sur les propriétés physiques du sol

Tandis que le compost de boues d'épuration est riche en matière organique (Jarde, 2002), cela joue un rôle crucial dans l'amélioration des propriétés physiques du sol ainsi que dans la formation des agrégats et leur stabilité (Socue, 1990 ; Stevenson, 1994). Aussi la fraction organique du compost des boues urbaines permet d'augmenter la cohésion entre les particules du sol par la formation du complexe argilo-humique et induire une hydrophobicité qui permet par l'humification de la résistance du sol à l'éclatement (Chenu, 2000).

I.2.1.4.2 Effet du compost de boues d'épuration sur les propriétés chimiques du sol

Le compost des boues urbaines est un produit riche en éléments nutritifs et joue un rôle très important dans la valorisation de la qualité chimique des sols (jarde, 2004). Son utilisation comme amendement en agriculture permet de corriger et de redresser les carences en nutriments et établir l'équilibre chimique des sols (El Kadiri, 2016). Le compost améliore la capacité d'échange cationique et joue un rôle dans l'équilibre de pH du sol en le rendent neutre (FAO, 2013 et WIKIPIDIA, 2024).

I.2.1.4.3. Effet des boues d'épuration sur ses propriétés biologiques des sols

L'apport répété de compost de boues résiduaires permet l'augmentation de la teneur en matière organique de 30-50% par rapport à une fertilisation minérale et agit aussi sur l'augmentation de la biomasse microbienne et l'activité des microorganismes du sol (FAO, 2013). Ainsi les boues urbaines jouent un rôle d'un amendement ou fertilisant pour apporter les éléments nutritifs qui améliorent la vie de la faune et la flore du sol, il en est de même pour les propriétés du sol favorable à son activité biologique et aux croissances des plants (Boutmmedjet, 2015).

1.3. Généralité sur une culture fourragère en Algérie « triticale »

I.3 .1. Origine du triticale

Le triticale est une plante annuelle de la famille des Poaceae (graminées). Première céréale créée par l'être humain, c'est un hybride (amphiploïde) entre le blé (dur ou tendre) et le seigle, dont la culture s'est développée depuis les années 1960. Il est cultivé surtout comme céréale fourragère (Yvonne Cauderon et André Cauderon, 1993). Yvonne et André Cauderon (Académie d'Agriculture, Ac des Sciences) en 1993, estiment que le triticale risque d'acquérir une grande importance économique, en compétition avec les céréales classiques (Muntzing, 1979). C'est dans la deuxième moitié du XIXe siècle, que les biologistes et les sélectionneurs commencent à croiser le blé tendre et le seigle. La première publication décrivant la réussite expérimentale de cette hybridation date de 1876. Elle est due au botaniste écossais Wilson qui ne fait état d'aucun objectif agronomique et explicite simplement son souci de comprendre les mécanismes de la stérilité des Fl (Wilson, 1876).

Le triticale sort de ce cadre naturel. Produit de la science, il représente une rupture ; il possède une structure génétique artificielle qui a été progressivement bâtie, comprise et

perfectionnée au prix d'un effort international de recherche qui a débuté il y a près d'un siècle. (Muntzing, 1979)

I.3.2. Les caractéristiques morphologiques

Etant l'hybride interspécifique entre le blé et le seigle, le triticales présente des caractéristiques souvent intermédiaires entre ses deux parents (Houideg et Ben Moussa, 2020). Le triticales possède un cycle voisin de celui du blé, il est caractérisé par son épi, grand et barbu, ressemble fortement à celui du seigle (Simon et al., .1989) ; les feuilles semblables à celles des autres céréales et de longueur égale à celles du blé.

I.3.2.1. Racines

Le système racinaire des triticales est fasciculé, constitué de trois types de racines :

- Radicules : racines embryonnaires

- Racines adventices embryonnaires

- Racines adventices qui apparaissent au niveau du premier ou du second entre nœud (Gasper et Bunatru, 1985)

I.3.2.2. Tige

La tige lui donne aspect robuste et vigoureux par rapport à ses deux parents. La tige a une longueur intermédiaire à celle de ces deux parents : 1,20 m à 1,30 m, mais son diamètre est de 2 à 6 mm chez les variétés courantes et 5 à 8 mm chez les variétés naines (Zemerline, 1990).

I.3.2.3. Feuille

Les feuilles sont semblables à celles des autres céréales de sa tribu, leur longueur est égale à celles du blé, entre 15 à 25 cm mais leur diamètre est supérieur à celui des deux parents (Simon et al., 1989)

I.3.2.4.Graines

D'après Bernard (1992), le grain du triticales est un caryopse qui rappelle la forme du grain de seigle, alors que sa couleur ressemble plutôt à celle du blé. C'est un grain qui est très sensible à la germination sur pied et est sujette à un échaudage fréquent, caractère hérité

surtout de la forte activité de l'alpha amylase pendant la maturation, l'hétérochromatine télomérique (L'indice télomérique T/S est déterminé par analyse du matériel génétique (ADN)) des chromosomes du seigle, à l'aneuploïdie et à l'environnement cultural comme les disponibilités du plateau de remplissage (Houideg et Ben Moussa, 2020) .

I.3.3. Classification du triticales

Les différents scientifiques qui ont travaillé sur l'amélioration du triticales ont au fil du temps proposé leurs appellations. Mac Key (1991), proposent les appellations triticum krolowi, triticum turgido secale et triticum rimpai pour les trois souches en considérant les niveaux de ploïdies. Cependant le nom sur lequel la majorité des auteurs se sont mis d'accord (Bernard, 1992 et Cauderon, 1981) est celui qui souligne la double origine de cet hybride.

Le nom que la majorité des scientifiques ont validé est celui « TriticosecaleWittmack » avec comme nom commun « Triticale » qui mentionne son double origine (Blé et Seigle) : Triti du genre Triticum et Cale du genre Secale.

L'organisation des différentes espèces du triticales, appartenant donc à deux genres différents (Triticum et Sécale). En effet, il existe de nombreuses classifications différentes, très inconsistantes selon qu'elles se basent sur des critères botaniques ou génétiques.

Tableau 2: Classification du triticales

Embranchement	Angiospermes
Classe	Monocotyledons
Ordre	Poales
Famille	Poaceae
Sous-famille	pooideae
Genre	pooideae
Espèce	TriticosecaleWittmack

(Houideg et Ben Moussa, 2020)

I.3.4. Intérêt de triticales

La résistance du triticales aux maladies, telles que la rouille et les charbons lui confère un autre avantage surtout dans les régions en altitude. Sa résistance notamment à la septoriaTritici (maladie fongique) lui offre un avantage considérable dans les régions où la maladie affecte négativement le rendement (Varugese et al., 1987). Les qualités nutritives du

triticale sont telles qu'en combinaison avec ses divers usages et sa capacité de développement dans des conditions du milieu peu propices, aussi il constitue une excellente option pour la production de céréales du monde entier (Varugese et al., 1987).

I.3.4.1. Intérêt agronomique

Le triticale est assez résistant à la sécheresse, il se développe sous une pluviométrie supérieure à 250 mm (Anonyme, 2006). Sa résistance à la sécheresse est meilleure que celle du blé mais moins bonne que celle du seigle (Laroche et al., 1994).

Le triticale tolère le froid, sa culture est possible dans les altitudes dépassant les 1000 mètres, il peut être cultivé dans toutes les zones céréalières du Nord du pays, en fin de cycle, le triticale supporte mieux que le blé et l'orge les températures élevées. (ITGC, 2006).

Le triticale est peu exigeant et supporte même certains types particuliers de sols tels que les sols acides, les sols à forte capacité de rétention et les sols à salinité assez élevée. Cependant, il faut éviter les sols peu profonds pour assurer une forte production en vert (ANONYME, 2006). Egalement dans les sols argileux, lourds où le travail du sol n'est pas toujours bien réalisé et l'enracinement des céréales souvent aléatoire en raison de l'asphyxie, le triticale peut se développer (Laroche et al., 1994).

I.3.4.2. Intérêt fourrager

D'après de nombreuses études en alimentation, le triticale utilisé dans la composition d'aliments destinés aux animaux constitue un élément aussi bon, et parfois meilleur que le blé et peut même remplacer avantageusement le blé, maïs, sorgho, orge et seigle. En tant que culture fourragère, il est apparu que le potentiel du triticale et son contenu protéinique sont supérieurs à ceux de l'avoine et que son rendement à l'ensilage et en fourrage dépasse les rendements du blé, du seigle, de l'avoine et de l'orge. On sait également que le pacage de triticale dure davantage que celui de seigle (Varugese et al., 1987).

Enfin, il a été prouvé que de jeunes taurillons d'un an auquel on faisait pâturer du triticale augmentaient de 0,72 kg par jour contre 0,69 kg pour ceux qui ne mangeaient que du blé et 0,59 kg pour ceux nourris au seigle (Varugese et al., 1987).

I.3.4.3. Intérêt économique

Les excellentes performances du triticales lui offrent la possibilité d'améliorer la productivité des ressources destinées à la production d'aliments dans des contrées où l'augmentation de cette dernière peut avoir une importance vitale. Cette céréale qui, il fut un temps, était considérée comme une curiosité botanique est aujourd'hui une réalité commerciale et peut devenir un facteur d'amélioration du bien-être des populations rurales dans les régions de production agricole les plus difficiles du monde (Varugese et al., 1987).

La place qu'occupe aujourd'hui le triticales en tant que culture commerciale est un succès, dont le mérite revient aux sélectionneurs. Ce succès a été obtenu grâce au labeur acharné des chercheurs et à la coopération de sélectionneurs de tous les pays du monde, Des solutions ont été apportées aux problèmes du rendement (Varugese et al., 1987).

Le triticales possède une meilleure productivité (meilleur rendement en grains) que les autres céréales d'hiver, les résultats d'essais en grains effectués au niveau des stations de l'ITGC ont montré un net avantage du triticales (60 qx/ha) au cours de certaines bonnes campagnes agricoles (ITGC, 1975 et Bouzerzour, 2006).

I.3.5. Exigences édaphoclimatique

En général, le triticales est peu exigeant, il s'adapte au sol difficile, tels que les sols à forte capacité de rétention, les sols à salinité assez élevée et les sols acides, pour produire d'avantages de vert il est conseillé de se garer des sols profonds (anonyme ; 2004). Il peut aussi se développer dans les sols argileux lourds, où le travail du sol ne se réalise pas toujours. Ainsi le triticales se caractérise par l'enracinement souvent aléatoire à cause de l'étouffement (Larouche, 1994).

I.3.5.1. Températures

Le triticales est une espèce résistante aux différentes conditions environnementales et climatiques, peut être cultivé dans tous les zones céréalières arides dont la température est trop élevée, ainsi dans les zone humide dont la température moyen est très basse ou les altitudes sont importantes (Abbas, 2014).

I.3.5.2. Précipitations (besoin en eau)

Le triticale est une plante qui peut être cultivé dans les différentes conditions hydrauliques, connue pour sa résistance à la sécheresse, tel que dans les zones arides ou la pluviométrie est faible (Hayek, 2000). Sa résistance à la sécheresse est meilleure que celle du blé mais moins bonne que le seigle (Larouch, 1994).

I.3.5.3. Texture

Le triticale est une espèce qui peut être cultivé tout type du sol, mais il préfère les sols argileux, calcaires, sableux puis les sols limoneux, caillouteux (article agro-legue, 2022).

I.3.5.4. pH du sol

Le triticale est une culture robuste avec un potentiel de rendement élevé, en plus de sa valeur nutritionnelle, cette plante est connue pour sa tolérance en différents conditions environnementales ; supporte bien les sols légèrement acides et la salinité du sol. Il est parmi les céréales qui s'adapte mieux aux sols gorgés d'eau et ceux à pH élevé (alcalins). Le triticale tolère également les sols au faible pH (acide) et pousse bien dans les sols sodiques (Edouard, 2015).

I.3.5.5. Salinité

Le triticale est une plante parmi les espèces résistantes à la salinité aussi élevée (Benmoussa, 2022).

I.3.5.6. Nutriments

Le triticale est une plante peu exigeante en terme de nutriments par rapport aux autre céréales, telle que : le blé et l'avoine, il nécessite 20% moins d'azote que le blé. Les besoins nutritionnels du triticale aussi bien de l'azote NH_4 et NO_3 et phosphore P_2O_5 , de la potasse K_2O et du soufre mais en petite quantité (Anonyme, 2022).

I.3. 6. Effet de compost des boues d'épuration sur la performance du triticale

Le compost de boues d'épuration est un produit riche en éléments nutritifs indispensables au développement de la plante et agissent comme amendement organique en améliorant la plupart des caractéristiques physicochimiques du sol (El Kadiri, 2016).

Le compost de boues d'épuration joue un rôle important dans le développement des teneurs en biomasse riches tant pour la masse foliaire que pour les racines (El Kadiri, 2016).

L'utilisation de compost d boues d'épuration peut aider la plante à résister à des situations de stress, maintient les conditions de fertilité du sol et améliore la qualité de la culture (El Kadiri, 2016). Son utilisation pour la culture du triticales permet d'avoir de meilleurs rendements par l'apport de matières organiques et l'amélioration des propriétés physico-chimiques et biologique du sol (Claire, 2022).

Chapitre II

Matériels et méthodes

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.1. Objectif de l'étude

Notre essai a été mené au niveau de l'institut technologique moyen agricole spécialisé (ITMAS) de Boukhalfa, wilaya de Tizi-ouzou (figure 1).

L'objectif de l'étude est de déterminer l'effet d'un compost à base de boues d'épuration urbaines, de sous-produits oléicoles et de fumier, sur la qualité chimique de sols de textures différentes, sous culture fourragère (triticale).

II.2. Localisation et caractérisation du site d'étude

II.2.1. Localisation

La station expérimentale (ITMAS) est située dans la commune de Boukhalfa à 5km du chef-lieu de la wilaya de Tizi-ouzou au Nord-Ouest de la ville de Tizi-ouzou. Sa surface totale est de 30,67 ha. La station est entourée:

- Au Nord, par la route menant vers Tizirt
- Au Sud, par l'exploitation agricole Sbahi
- A l'Est, par la route reliant la commune Boukhalfa à la ville de Tizi-Ouzou
- A l'Ouest, par la route reliant la commune de Boukhalfa à Draa Ben Khedda



Figure 1 : Localisation par satellite de la station expérimentale de Boukhalfa (ITMAS) (Google earth, 2017)

II.2.2. Le climat

Le climat de la région est de type méditerranéen, caractérisé par deux saisons bien contrastées : un hiver humide et froid et un été sec et chaud. Les précipitations varient en générale, entre 600 et 1000 mm/an, la neige tombe principalement sur les régions montagneuses, les gelées son fréquentes en février à travers la totalité du territoire de la wilaya. Les températures obéissent à un gradient altitudinale et on distingue un « climat montagnard » où les températures sont moins importantes et un « climat tellien » où les températures sont extrêmes (Kadi et al., 2016).

II.2.3. Le sol

Les deux types des sols utilisés dans cette expérimentation sont : sol alluvial avec une texture sablo-limoneuse (SS) et sol argilo-limoneux (SA).

II.3. Choix des parcelles

En fonction de l'objectif fixé, deux parcelles ayants des textures différentes et cultivées en agrumes ont été choisies. La parcelle localisée à l'ITMAS de Boukhalfa (figure 2), dont les coordonnées géographiques sont les suivantes:

Latitude : 36°44'40"N

Longitude : 4°00'59"E

Altitude : 80m

Elle est d'une superficie de 9600 m², de densité de plantation de 7*7, avec au total 196 arbres de trois variétés d'agrumes : orangers, citronnier et clémentine, Sans culture intercalaire.

Le sol de cette parcelle est caractérisé par un pH faiblement basique de 7,5 .une faible teneur en matière organique d'ordre de 1,2 % (résultats de Ibarsienne et Abbane en cours de soutenance) et une texture argileuse en surface, limono-argileuse en profondeur selon l'Institut National des Sols et de l'Irrigation et Drainage (INSID, 2017).

Selon la cheffe de l'exploitation Mme HADJAZ S., communication orale, le fertilisant chimique apporté en novembre est de type : 0-20-20- (0 azote, 20% phosphore et 20% potassium).

La parcelle 2 appartenant à l'exploitation agricole des frères OUMLLIL, se situe à environ 7Km à l'Ouest du chef-lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou (Boukhalfa) (figure 3), localisée selon les coordonnées Lambert suivantes :

Latitude : 36°45'03"N

Longitude : 04°00'42"E

Altitude : 48m

Cette parcelle est caractérisé par un sol alluvial de texture sableuse, avec un faible taux en matière organique (<1,2%) et un pH alcalin (>7,5). La spéculacion agricole est l'arboriculture (agrumes (orangers)) avec cultures intercalaires (chou vert en été, fève ou avoine en hiver).



Figure 2: Image satellitaire de la parcelle des agrumes de l'ITMAS (Google Earth, 2024)

Les amendements pratiqués sont de type chimique (0-20-20) appliqué autour des arbres et un amendement organique appliqué de façon aléatoire. Les coordonnées géographiques de la parcelle :



Figure 3 : Image satellitaire de la parcelle des agrumes de l’exploitation des frères OUMLIL (Google Earth, 2021)

II.4. Méthodologie

II.4.1 Phase terrain

II.4.1.1. Prélèvement et préparation des sols

Le prélèvement des sols a été fait d’une façon aléatoire sur les 20 premiers cm au niveau des deux parcelles étudiées. Après les prélèvements, les sols sont acheminés vers le site d’expérimentation, représenté par un hangar à ciel ouvert au niveau de l’ITMAS. Les sols ont été étalés pour séchage à l’air ambiant pendant quelques jours, puis ils sont nettoyés manuellement de tout intrus (cailloux, racines, plastiques, verre ...) et puis tamisés avec un tamis à maille de 4 à 5mm (figure 4 et 5).

II.4.1.2. Préparations du compost utilisé

Le compost utilisé dans cette expérimentation est préparé par madame OMOURI, par mélange (co-compostage) de boues d’épuration urbaines avec des sous-produits oléicoles et du fumier de bovins. Il est préalablement caractérisé par madame OMOURI lors de ses travaux de recherches scientifiques. Du point de vue phytotoxicité, un test sur le cresson alénois a été réalisé par Yefsah-Bouzourene et Medane en 2022 , le résultat a révélé un effet non toxique.



Figure 4: Concassage des mottes et séchage du sol à l'air libre



Figure 5: Tamisage du sol



Figure 6: Compost tamisé

II.4.1.3. Préparation du végétal

La plante fourragère est le triticale (variété Ecosium), est semée dans des alvéoles en novembre 2023. Cette plante fourragère a été choisie en raison de sa grande résistance aux conditions défavorables (sécheresse, maladies...) et aussi pour sa bonne qualité fourragère. Elle est d'ailleurs cultivée surtout comme céréale fourragère.

II.4.1.4. Réalisation des mélanges (sol /compost) et transplantation du triticale

Le sol tamisé est mélangé avec du compost et homogénéisé parfaitement pour bien. Puis, les mélanges sont introduits dans des sacs à semis. Pour chaque type des sols étudiés, nous avons opéré comme suit :

8 sacs du sol sans compost (4 SST et 4 SAT) pour servir de témoin.

8 sacs du sol mélangés avec un taux de 25% du compost (4 SS25 et 4 SA25)

8 sacs du sol mélangés avec un taux de 50% du compost (4 SS50 et 4 SA50).

En tout, un dispositif de 24 échantillons.

Après cette opération, la transplantation des plants préalablement semés dans les alvéoles est effectuée en décembre, à raison de deux plants par sac.

II.4.1.5. Choix du dispositif expérimental

Les 24 échantillons ont été placés dans un hangar ouvert, à l'ITMAS, avec une disposition de 4sacs *6 sacs. Le dispositif expérimental auquel nous avons opté est factoriel

avec 2 facteurs : type de sol et taux de compost de boues et quatre répétitions pour chaque traitement (SAT, SA25, SA50, SST, SS25, SS50).

SS 50	SA 25	SS 25	SST	SST	SA 25
SST	SS 50	SA 50	SA 50	SAT	SS 25
SAT	SA 25	SAT	SS 50	SAT	SS 25
SA 25	SS 25	SA 50	SS 50	SA 50	SST

Figure 7 : Schéma du dispositif expérimental

II.4.1.5.1. Suivi de l'essai

II.4.1.5.1.1. Irrigation, désherbage et traitement phytosanitaire

L'irrigation du triticale a été faite avec l'eau du robinet, avec une fréquence de 2 à 3 fois par semaine, depuis le jour de semis jusqu'au stade laiteux-pâteux. Notons qu'en cas de pluie, on n'a pas irrigué. Le désherbage a été fait manuellement d'une façon régulière.

Au stade épiaison, la culture est attaquée par des pucerons, d'où, un traitement a été appliqué une seule fois avec de la deltaméthrine (D6).

II.4.1.5.2. Fauchage et échantillonnage

Au stade laiteux-pâteux, la partie aérienne du triticale a été mesuré du bas jusqu'au haut de la tige et puis coupée manuellement avec un sécateur et conservées dans des sacs pour étude de la qualité fourragère au laboratoire (mémoire de Master des étudiantes : AMIRI L. et ZEMOUCHE S. Spécialité : production végétale).

Le sol de chaque échantillon a été mis en sachet, étiqueté et acheminé au laboratoire pour faire l'objet des analyses chimiques (pH, CE, Calcaire total et les formes du potassium).



Figure 8: Photo au stade laiteux-pâteux du triticale



Figure 9: Fauchage du triticale

II.5. phase laboratoire

II.5.1. Préparation du sol

Les sols prélevés sont acheminés au laboratoire, où ils ont subi : séchage à l'air libre, broyage et tamisage à 2mm. Par la suite, ils sont conservés dans des sachets étiquetés dans des endroits secs à une température ambiante jusqu'aux moment des analyses.

II.5.2. Analyses physico-chimiques

II.5.2.1. La mesure du pH

La mesure du pH permet de caractériser la réaction du sol. La réaction du sol traduit l'état d'acidité ou d'alcalinité du sol (Jeane, 2021).

II.5.2.1.1. Principe

Le pH est mesuré par la méthode potentiométrique sur une suspension (terre/liquide) égale à 1/2,5. Le liquide utilisé c'est de l'eau distillée.

II.5.2.1.2. Mode opératoire

II.5.2.1.3. Produits et matériels

- pH-mètre ;
- Agitateur ;
- Solution 1N de KCl (74,5g de KCl / litre) ou du KCl en poudre ;
- Solution tamponnées à pH 7 et à pH 9 ;
- Eau distillée dégazée ;
- Flacons d'agitation de 100 à 250 ml.

II.5.2.1.4. Mesure du pH

- Peser 20 g de terre tamisée à 2mm et les introduire dans le flacon d'agitation ;
- Ajouter 50 ml d'eau distillée dégazée (bouillie pendant 30minutes et refroidie) ;
- Agiter pendant 2 heures ;
- Etalonner le pH-mètre avec les solutions d'étalonnage à pH 7 et à pH 9 (valeurs de pH proches de celles de nos sols) ;
- Agiter la suspension à la main, mesurer le pH en plongeant l'électrode dans la suspension.

Lire la valeur quand la lecture est stabilisé (figure 10).



Figure 10 : PH mètre

II.5.2.2. Mesure de la conductivité électrique

- Peser 50g de terre tamisée à 2mm et les transférer dans une fiole d'agitation de 250ml ;
- Ajouter 250ml d'eau distillée (si l'humidité résiduelle est inférieure à 5%, elle est négligée dans ce cas) ;
- Agiter pendant 2 heures et laisser reposer pendant 1heure. Si l'échantillon contient du gypse, il est nécessaire d'ajouter un cristal de thymol et de laisser reposer une nuit pour permettre la dissolution du gypse ;
- Filtrer la suspension, si le filtrat est trouble, recommencer la filtration ou centrifuger ;
- Ajouter une goutte d'héxamétaphosphate de sodium à 0,1% ;
- Mesurer la conductivité électrique et réaliser le bilan ionique.

II.5.2.2.1. Matériel

Nous avons utilisé :

- Le conductimètre avec électrode (figure 11)
- La verrerie

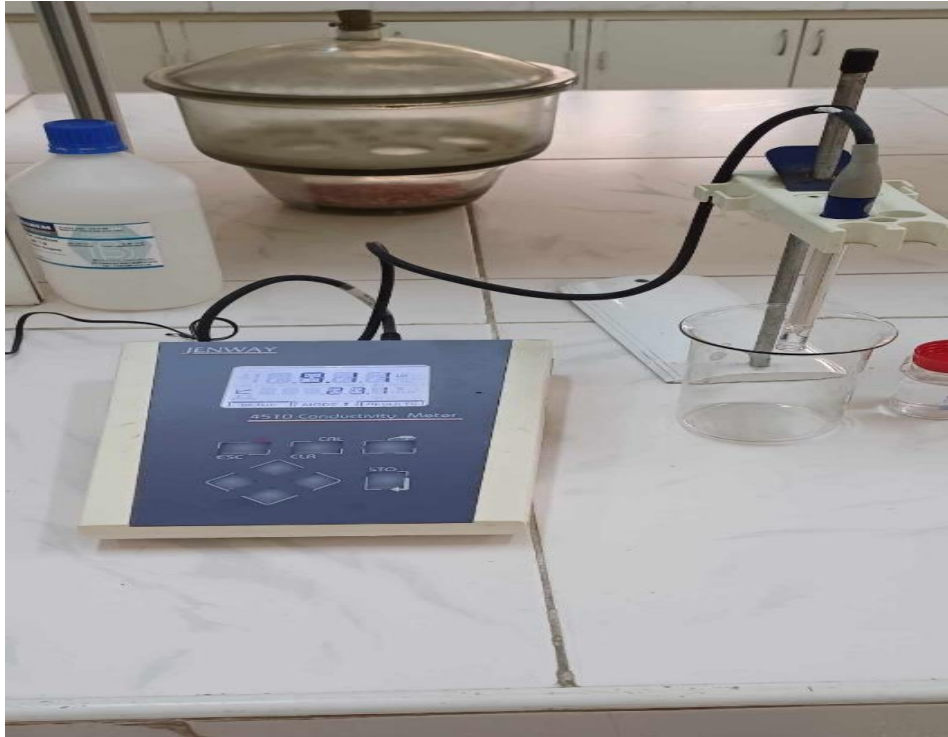


Figure 11 : Conductimètre

II.5.2.2.2. Étalonnage de l'appareil de mesure

Mesure de la conductivité électrique de la solution extraite

Calcul de la constante de la cellule :

$$K = CE1 \times f(t) / CE.2$$

- CE1 = valeur de la CE de la solution de KCl lue sur l'appareil à la température t
- CE2 = CE de la solution de KCl 0.02N à 25°C et qui est de 2.76 dS/m
- F(t) = coefficient de correction de l'effet de la température
- K = constante de la cellule

Calcul de la conductivité électrique

- CE3 = conductivité électrique de la solution à analyser lue sur l'appareil de mesure à la température t ;

CE = conductivité électrique de la solution à 25°C.

$$CE \text{ (dS/m)} = CE3 \times f(t) / K$$

II.5.2.3. Dosage du calcaire total

II.5.2.3.1. Principe de la méthode

La méthode volumétrique décrite ici utilise le calcimètre de Bernard, elle est basée sur la réaction caractéristique des calcaires en présence de l'acide chlorhydrique (Boumaaza, 2022). Il s'agit de comparer le volume de gaz carbonique dégagé par le contact d'un certain poids connu de terre à analyser avec un acide fort à celui dégagé par la même réaction du même acide avec du carbonate de calcium pur et sec en quantité connue, à température et pression constante. Le dosage est basé sur la réaction suivante :



Figure 12: Calcimètre de Bernard

II.5.2.3.2. Mode opératoire

II.5.2.3.3. Etalonnage de l'appareil

Il se fait par :

- Introduction de 0,300g de CaCO_3 pur et sec (séché à l'étuve) au fond de l'erenmeyer et les mouiller par quelques gouttes d'eau distillée ;
- Mise de 5ml d'HCl (6N) dans in petit tube et l'introduire dans l'erenmeyer en évitant de faire couler l'acide ;
- Boucher convenablement l'erenmeyer en le raccordant au calcimètre ;

- La pince étant ouverte, ajuster la position de l'ampoule mobile jusqu'à ce que le niveau du liquide coloré soit au niveau zéro de la colonne graduée. Maintenir l'ampoule à ce niveau, fermer la pince et incliner l'erenmeyer pour verser 14HCl sur le CaCO₃
- Agitation pour favoriser la réaction. Le CO₂ dégagé comprime le liquide de la colonne ;
- Pour abaisser l'ampoule mobile et ramener au même niveau la hauteur du liquide dans l'ampoule et dans la colonne, noter le volume en ml de CO₃, dégagé.

II.5.2.4.. Dosage du calcaire de l'échantillon

- Faire un essai avec des prises de terre tamisé à 2mm de 10g pour déterminer la prise de terre qui dégagerait un volume de CO₂ suffisant en opérant de la même façon que précédemment mais en utilisant l'échantillon de terre au lieu du CaCO₃
- Faire le dosage sur la prise de terre retenue, répéter l'opération 3 fois, noter le volume de CO₂ dégagé.

II.5.2.4.1. Calcul

Le volume de CaCO₃ total est calculé selon la formule suivante :

$$\text{CaCO}_3 \text{ total en\%} = \frac{0,3 \times U \times 100}{V \times P}$$

Où

- V : volume en ml de CO₂ dégagé par 0,300 g de CaCO₃ pur ;
- U : volume un ml de CO₂ dégagé par l'échantillon ;
- P : Prise d'essai en g

II.5.2.5. Dosage du potassium assimilable

II.5.2.5.1. Le principe

Le principe de la méthode consiste à extraire le potassium soluble et échangeable avec une solution d'acétate d'ammonium (1N) à pH 7. Le potassium soluble est dissout et extrait par la solution d'acétate d'ammonium. Le potassium échangeable est déplacé par l'ammonium et il est libéré dans la solution d'extraction. Le potassium extrait, qui consiste le potassium assimilable, est dosé par spectrophométrie.



Figure13: Spectrophotomètre à flamme

II.5.2.5.2. Mode opératoire

II.5.2.5.2.1. Matériel

Le matériel utilisé est :

- Fiole d'agitation de 200ml
- Fiole jaugées de 50ml et de 100ml
- Spectrophotomètre à flamme

II.5.2.5.2.3. Extraction du potassium assimilable

- Peser 5g de terre et les placer dans une fiole d'agitation de 200ml
- Ajouter 50ml de la solution d'acétate d'ammonium
- Agiter pendant 2 heures
- Filtrer la suspension dans une fiole jaugée de 50ml, compléter au trait de jauge à l'eau distillée
- Après le passage de la gamme d'étalonnage, passer l'échantillon au spectrophotomètre à flamme

II.5.2.5.2.4. Préparation de la gamme d'étalonnage

- Solution mère à 1000 ppm : introduire 1,907g de KCl dans une fiole jaugée de 1000ml, bien agiter et compléter au volume.
- Solution fille à 100 ppm : prendre 10ml de la solution mère, les introduire dans une fiole de 100ml, compléter au volume.
- Solution d'étalonnage : prendre des fioles de 100 ml et introduire successivement, à partir de la solution fille à 100 ppm, les volumes suivants : 0 – 0.5 – 1 – 2 – 4 – 8 – 12 – 16 – 20 ppm.

- Passer la gamme d'étalonnage au spectrophotomètre et noter la lecture obtenue pour chaque concentration.
- Après le passage de la gamme d'étalonnage, passer les extraits des échantillons au spectrophotomètre à flamme.

II.5.2.5.2.5. Calcul

- Calculer le coefficient d'étalonnage en divisant la somme des lectures par la somme des concentrations (C)
- Calculer K assimilable en cmole (+)Kg-1 de terre.

$$\mathbf{K \text{ en cmole (+)Kg-1} = \frac{L \times D \times V \times 100}{C \times 1000 \times P \times 39}}$$

- **L** : lecture correspondant à l'échantillon
- **C** : coefficient d'étalonnage (= somme des lectures / somme des concentrations)
- **D** : inverse du rapport de dilution (= 1 dans le cas où aucune dilution n'est réalisée)
- **V** : volume extrait (50ml)
- **P** : prise d'essai (5g)

II.5.2.6. Dosage du potassium soluble

II.5.2.6.1. Mode opératoire

- Peser 5g de terre et les placer dans une fiole d'agitation de 200ml
- Ajouter 50ml d'eau déminéralisée
- Agiter pendant 2 heures
- Filtrer la suspension dans une fiole jaugée de 50ml (figure14), compléter au trait de jauge à l'eau distillée
- Après le passage de la gamme d'étalonnage, passer l'échantillon au spectrophotomètre à flamme



Figure 14: Filtration de la suspension sol

II.5.2.7. Calcul du potassium échangeable

La teneur des sols en potassium échangeable est déterminée par la loi suivante :

$$\text{K échangeable} = \text{K assimilable} - \text{K soluble}$$

CHAPITRE III

Résultats et discussions

Chapitre III: Résultats et discussions

III.1. Résultats

III.1.1. Caractérisation du compost de boues d'épuration urbaines

III.1.1.1. Résultats des analyses physico-chimiques du compost appliqué

Le compost appliqué a fait l'objet des analyses chimiques telles que : le pH, la CE, le CaCO_3 total et les formes du potassium assimilable. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Caractéristiques physico-chimiques du compost appliqué

Paramètres	pH	CE (dS/m)	CaCO ₃ total (%)	Potassium assimilable (cmole (+)Kg ⁻¹) de terre sèche	
				K soluble	K échangeable
Résultats	6 ± 0,0153	1,04±0,715	4,947± 1,649	0,233±0,043	0,673±0,132

III.1.1.2. Interprétation et discussion des résultats du compost étudié :

III.1.1.2.1. le pH

D'après les résultats obtenus et en se référant aux normes proposées par PUND/FAO (2014), le compost à base de boue d'épuration urbaine utilisé est peu acide. En se basant sur les critères d'évaluation du compost, ce dernier est qualifié aux valeurs physico-chimiques d'un compost mur, car selon Divisscher (1997), les valeurs moyennes du pH d'un compost mur se situent en moyenne entre 6 et 8. Par contre les résultats obtenus sont comparables à ceux de Zaim et al. (2007) qui ont travaillé sur un compost des boues d'épuration urbaine. Il est donc conseillé d'utiliser ce compost pour des sols alcalins, car il joue un rôle très important dans la neutralisation du pH des sols (Guerfi, 2012), ce qui favorise la disponibilité des éléments nutritifs dans les sols et leur absorption par la plante.

En sols cultivés en triticales, ce compost peut être proposé vu que cette espèce supporte l'acidité (Edouard, 2015).

III.1.1.2.2. la conductivité électrique

En se référant aux normes ISO (1994) et selon M'sadak et al (2012), le compost de boues d'épuration urbaine est peu salé. En effet, les résultats obtenus par Menaam et Smail (2021), confirment l'absence de risque de salinisation des sols agricoles. Cette salinité faible

ne peut impacter les rendements du triticale vu qu'elle est résistante à la salinité élevée (Benmoussa, 2022).

III.1.1.2.3. Le calcaire total

Les taux de calcaire total du compost de boues d'épuration urbaines appliqué révèlent que ce dernier est peu calcaire en se référant aux normes ISO (2002). Ces résultats sont conformes à ceux de Bousliman et Hallouz (2017).

III .1.1.2.4. Potassium assimilable

Les teneurs en potassium assimilable (échangeable, soluble) du compost des boues d'épuration se situent au-dessous de la concentration admissible, selon ESCO MAFOR (2014). Malgré les faibles teneurs caractérisant le compost des boues d'épuration étudié, le peu de potassium présent est facilement assimilable par les plantes (Saby et Hart, 1975) et (Garcia et al, 1986).

III.2.Variation des paramètres physico-chimiques des sols étudiés sous l'effet du compost appliqué

III.2.1. Résultats du pH

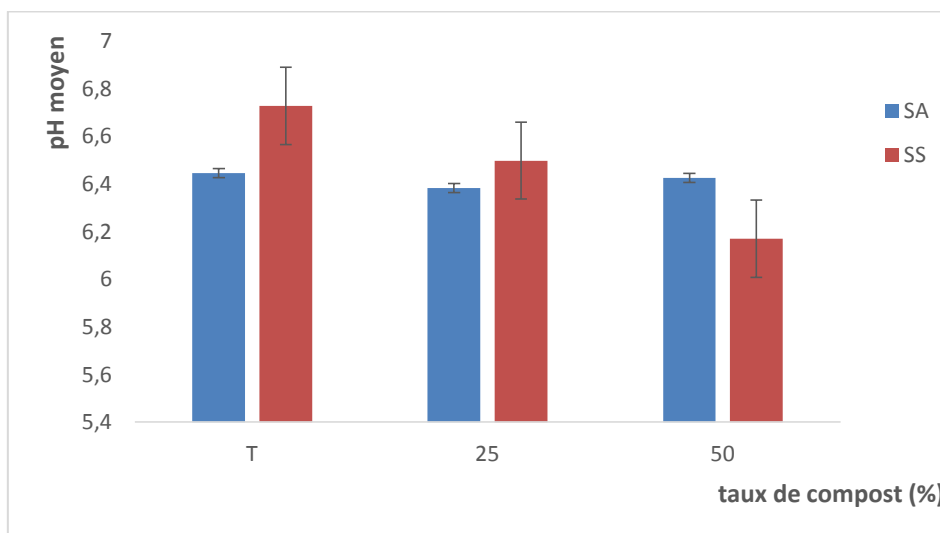


Figure 15 : Variation du pH des sols étudiés en fonction du taux du compost appliqué

Les résultats présentés par la figure 15 illustrent la variation du pH des sols argileux et sableux en fonction des taux de compost de boues d'épuration urbaines appliqués. La valeur moyenne du pH des sols argileux non amendé est de 6,44%, alors que celui de ceux amendés avec 25% de compost et de 50%, sont de 6,38% et 6,42% respectivement. A partir de ces résultats, les valeurs tendent à diminuer avec l'augmentation du taux de compost. En se

référant à la norme proposée par l'échelle d'interprétation du pH, les sols argileux étudiés sont peu acides PUND/FAO (2014). Les résultats obtenus pour le cas des sols sableux sont illustrés par la figure 15.

Les valeurs moyennes du pH est de 6,72 pour les sols non amendés, alors que celui des sols amendés avec 25% de compost et de 50%, sont respectivement de 6,49% et 6,17%. A partir de ces résultats et en se référant à la norme proposée par l'échelle d'interprétation du pH, les sols argileux étudiés sont peu acides PUND/FAO (2014). À travers ces résultats, les sols sableux non amendés et amendés avec des taux de compost de 25 et 50% sont neutre à peu acides.

III.2.2. Discussion des résultats du pH

Le paramètre pH des sols étudiés tend à diminuer avec l'augmentation des taux de compost de boues d'épuration urbaines apportés, Ce qui explique que l'apport du compost à base de boues d'épuration urbaines joue un rôle important dans la modification des paramètres physico-chimique des sols tel que le pH (Boutendjet et al, 2015). Le compost étudié ne peut être apporté et conseillé que pour les sols alcalins afin de neutraliser le pH du sol (baissé le pH), d'enrichir ce dernier en matière organique et d'améliorer sa fertilité (Guerfi, 2012) et sous cultures de triticale vu sa résistance à l'acidité des sols (Edouard, 2015).

III.2.3. Résultats du calcaire total

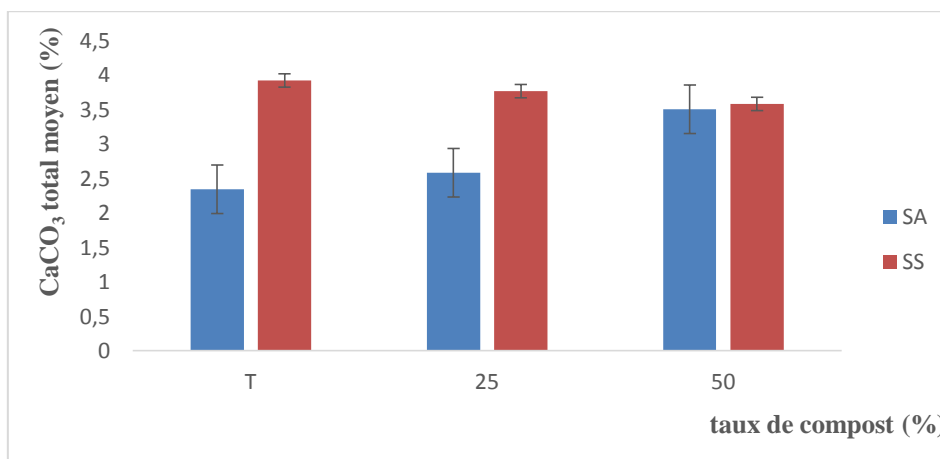


Figure 16 : Variation du taux de CaCO_3 total moyen dans les sols étudiés en fonction du taux de compost appliqué

La figure 16 représente la variation du calcaire total dans les sols argileux et sableux en fonction du taux de compost appliqué. Le taux moyen en calcaire total des sols argileux non amendés est de 2,34%, d'où le sol est calcaire selon les normes (NF ISO 10693) (annexe 03). L'apport du compost a fait augmenter le taux de calcaire total des sols amendés avec 25% du compost à une valeur de 2,57% et les sols amendés avec 50% compost à 3,5%. L'augmentation de ce paramètre n'est pas importante et les sols amendés et non amendés sont peu calcaires. Contrairement aux résultats de Guerfi (2012), qui ont montrés que l'apport du compost des boues d'épuration à modifie certain paramètres physico-chimiques du sol excepté le calcaire total.

La variation du taux de CaCO_3 total dans les sols sableux en fonction du taux du compost appliqué (figure 16) montre que le taux moyen de CaCO_3 total des sols sableux non amendés est de 3,92%, l'apport de 25% du compost a fait diminuer le calcaire total du sol à 3,76%, et celui de 50% à 3,57%.

III.2.4. Discussion des résultats du calcaire total

L'apport du compost de boues d'épuration dans les sols argileux tend à augmenter légèrement le taux de calcaire, contrairement, dans les sols sableux où c'est le contraire qui se produit. Selon la norme (NF ISO 10693), les sols étudiés sont peu calcaires et l'apport du compost de boues d'épuration n'a aucun effet significatif sur l'augmentation ou la diminution du calcaire des sols étudiés. Ces résultats sont conformes à ceux de Guerfi (2012) où l'apport du compost des boues d'épuration est sans effet sur le paramètre calcaire total.

III.2.5. Résultats de la conductivité électrique

La variation de la conductivité électrique des sols étudiés sous l'effet de l'apport des taux croissants de compost de boues d'épuration urbaines est représentée par la figure 17.

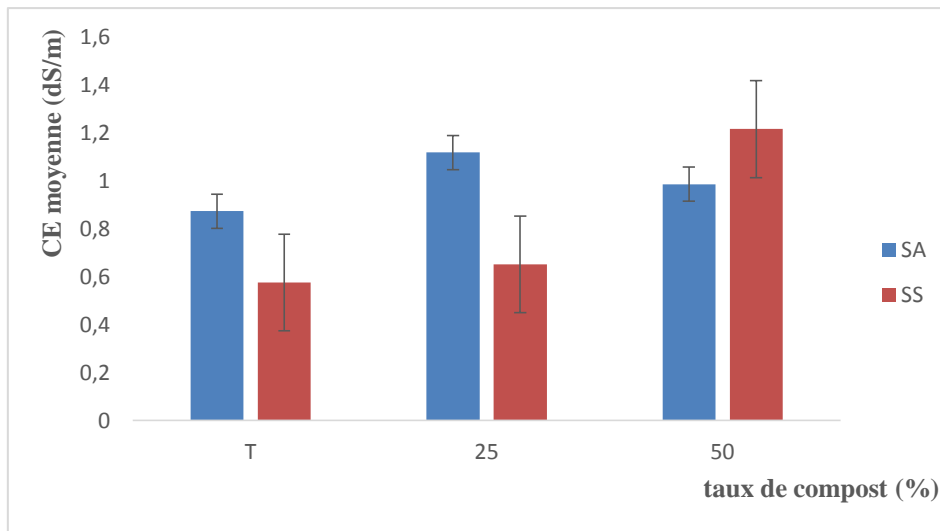


Figure 17 : Variation de la conductivité électrique moyenne des sols étudiés en fonction du taux du compost appliqué

Les résultats présentés par la figure 17 illustrent la variation de la conductivité électrique des échantillons de sols en fonction de deux paramètres qui sont la texture du sol (argileux et sableux) et le taux de compost des boues d'épuration appliqué. En effet, la valeur moyenne de la CE des échantillons de sols argileux témoins est de 0,87dS/m, cette valeur varie en fonction du taux de composte apporté. Elle est de 1,11 dS/m pour un taux de compost de 25 % et de 0,98 dS/m pour un taux de 50% de compost. A partir de ces résultats et on se référant à la norme (ISO 11265 : 1994), les échantillons de sols argileux étudiés sont qualifiés de non salés (annexe 01). Par ailleurs, la valeur moyenne de la CE du sol sableux témoin non amendé est de 0,57dS/m, et suite à l'apport de 25% et 50% du compost, les valeurs moyennes ont atteint 0,65dS/m et 1,21dS/m respectivement. A partir de ces résultats et en se référant à la norme (ISO 11265, 1994), les sols sableux étudiés sont qualifiés de non salés.

III.2.6. Discussion des résultats de la CE

L'apport du compost des boues d'épurations urbaines aux sols peut entrainer une augmentation légère de la salinité (Boutendjet et al., 2015), or dans notre étude, les valeurs de la salinité obtenues sont en dessous du seuil de salinité fixé par la norme (ISO 11265, 1994) et par conséquent, les sols amendés ne sont pas affectés par la salinité. Ces résultats corroborent avec ceux de Menaam et Smail (2021), qui révèlent que l'apport de compost des boues d'épuration urbaines de la station de Boukhalifa ne présente pas risque de salinisation des sols.

III.2.7. Les résultats du potassium assimilable

III.2.7.1. Potassium assimilable totale

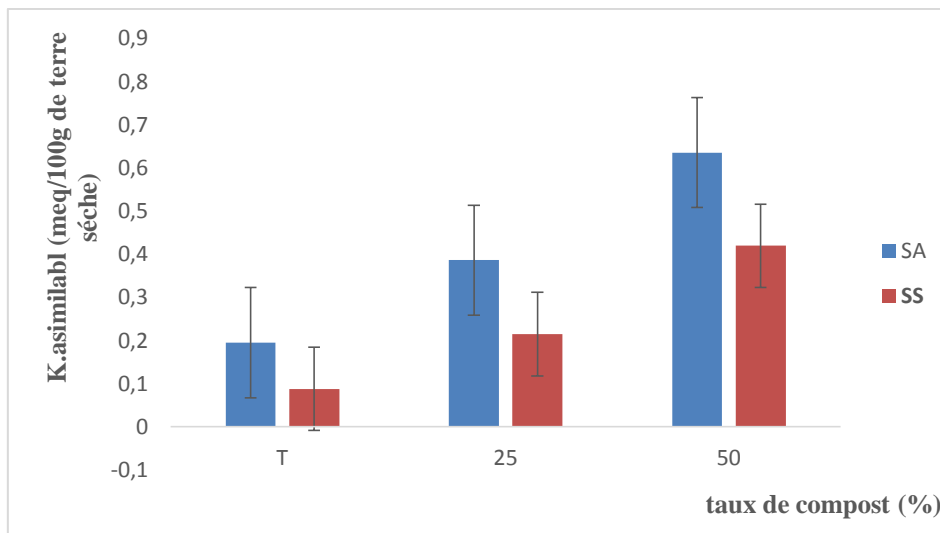


Figure 18 : Variation du potassium assimilable moyen des sols étudiés en fonction du taux du compost appliqué

Les résultats représentés par la figure 18 illustrent la variation du potassium assimilable des échantillons de sols argileux et sableux en fonction du taux de compost appliqué. Les teneurs moyennes en potassium des deux sols montrent une augmentation très remarquable suite à l'apport du compost. La teneur la plus élevée caractérise les sols argileux amendés avec 50% du compost (0,63 cmole (+)Kg-1 de terre sèche), après celle du sol sableux amendés avec 50% du compost (0,41 cmole (+)Kg-1 de terre sèche). Par contre, les teneurs moyennes en potassium assimilable des échantillons de sols amendés avec 25% du compost, sont inférieures à ceux des sols amendés avec 50% de compost avec respectivement 0,38 et 0,21meq/100g de terre sèche. Les teneurs moyennes les plus faibles sont celles caractérisant les échantillons de sols témoins non amendés avec des valeurs moyennes de l'ordre de 0,19 et 0,21meq/100g de terre sèche respectivement pour les sols argileux et sableux.

D'où, L'augmentation du taux d'apport en compost de boues d'épuration aux sols entraîne une augmentation significative de leurs teneurs en potassium assimilable (tableau 1, annexe 4).

III.2.7.2. Discussion des résultats du potassium assimilable

La variation de teneurs en potassium assimilable en fonction des taux de compost de boues d'épuration appliqués aux deux sols étudiés est probablement due à la richesse du compost en cet élément chimique majeur (annexe05).

Les résultats obtenus montrent que le compost des boues d'épuration urbaines à base de coproduits oléicoles joue un rôle très important dans l'enrichissement du sol en potassium assimilable ce qui permet de fournir suffisamment de K au sol pour répondre aux exigences de la culture. Ainsi, les résultats obtenus sont conformes à ceux de Yefsah et Mouali (2017). Karbout et al. (2021) et Benhachem (2023) qui ont travaillé sur l'effet du compost de boues urbaines sur le sol sableux et argileux, ont montrés que la teneur en potassium assimilable augmente suite à l'apport de compost de boues d'épuration urbaines.

III.2.7.3. Potassium soluble

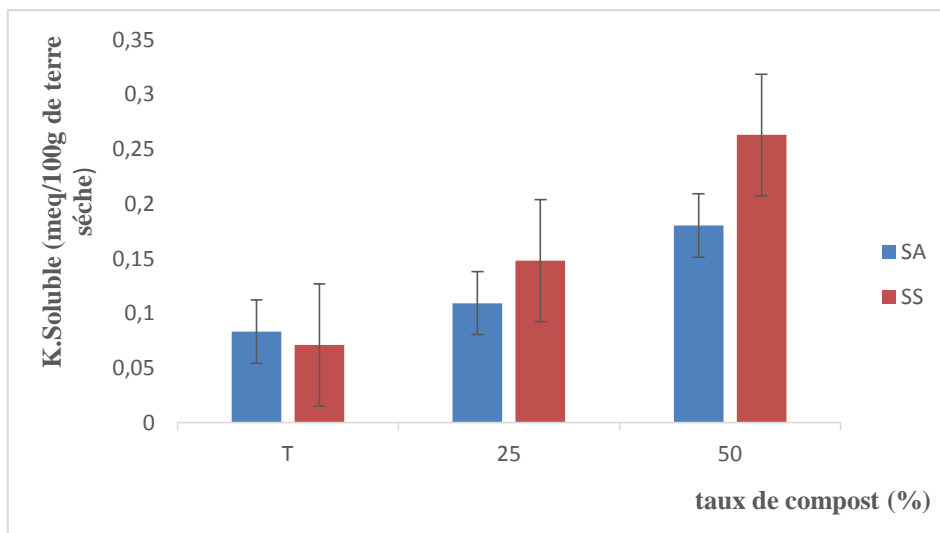


Figure 19 : Variation du potassium soluble des sols étudiés en fonction du taux du compost appliqué

Les résultats de la figure 19 Représentent la variation du potassium soluble des sols argileux et sableux en fonction du taux de compost appliqué. Les teneurs moyennes en potassium soluble des deux sols montrent une augmentation significative (Annexe 4, tableau 2) suite à l'apport du compost. La teneur la plus élevée est celle de sol sableux amendés avec 50% du compost (0,26meq/100g de terre sèche), suivie par celle du sol argileux amendés avec 50% du compost (0,18meq/100g de terre sèche). Par contre, les teneurs moyennes en potassium soluble des sols amendés avec 25% du compost, sont inférieures à celles des sols amendés avec 50% de compost avec respectivement 0,14 et 0,10meq/100g de terre sèche.

Les teneurs moyennes les plus faibles sont celles caractérisant les sols non amendés « sols témoins » avec des valeurs moyennes de 0,07 et 0,08meq/100g de terre sèche respectivement.

Les échantillons de sols sableux sont les mieux pourvus en potassium en les comparants au sol argileux. Cela s'explique probablement par la faible capacité des sols sableux à retenir le

potassium apporté par l'amendement en compost, ce dernier se trouve dans sa majorité à l'état soluble dans la solution du sol.

III.2.7.4. Potassium échangeable

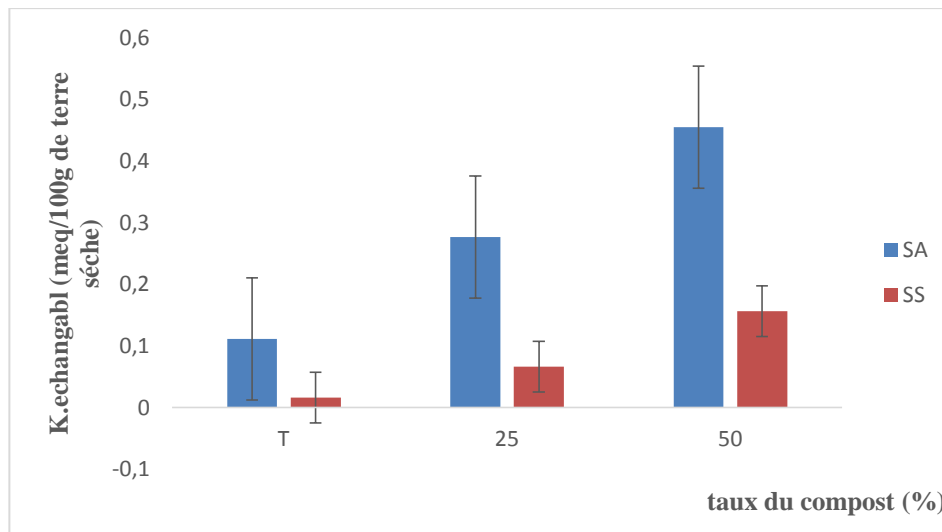


Figure 20 : Variation du potassium échangeable des sols étudiés en fonction du taux du compost appliqué

Les résultats de la figure 20. Représentent les variations du potassium échangeable des sols argileux et sableux en fonction du taux de compost appliqué.

Les teneurs moyennes en potassium échangeable des deux types de sols montrent une augmentation très remarquable suite à l'apport du compost. La teneur la plus élevée est celle de sol argileux amendés avec 50% du compost (0,45meq/100g de terre sèche), après celle du sol sableux amendés avec 50% du compost (0,15meq/100g de terre sèche). Par contre, les teneurs moyennes en potassium échangeable de ceux amendés avec 25% du compost, sont inférieures à celles des sols amendés avec 50% de compost avec respectivement 0,27 et 0,06meq/100g de terre sèche pour sol argileux et sableux.

Les teneurs moyennes les plus faibles sont celles caractérisant les sols non amendés « sols témoins » avec des valeurs moyennes de 0,11 et 0,01meq/100g de terre sèche respectivement.

Les sols argileux sont les plus riches en potassium échangeable que les sols sableux (figure 20). La richesse des sols argileux est due à la capacité de la fixation sur les sites négatifs des feuillets d'argiles (Mahri, 2002). En effet ces résultats sont confirmés par karbout et al. (2021)

qui ont montré que le potassium échangeable apparaît lorsque le pourcentage de compost de boue ajouté dans le sol arrive à 20%. Ces résultats sont conformes à ceux de Bahri et al. (1987) et ceux de Yefsah et Moulai, (2017).

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif principal de ce travail est de valoriser le compost de boues résiduaire comme amendement organique sur les sols agricoles. De ce fait, nous avons étudié l'effet de l'amendement de sols de texture argileuse et ceux de texture sableuse par le compost de boues d'épurations sur l'évaluation de quelques paramètres physico-chimiques, indicateurs de la qualité chimique des sols.

L'étude est réalisée en pot de végétation sur deux types du sol, l'un à texture argileuse et l'autre de texture sableuse.

Les résultats obtenus montrent que l'apport du compost de boues d'épuration urbaine, a contribué à l'amélioration de certains paramètres chimiques des sols étudiés.

En effet, nous avons constaté que :

- Les résultats obtenus lors de cette étude montrent que l'ajout du compost de boues d'épuration urbaines, a contribué à l'amélioration de certains paramètres chimiques des sols étudiés. En effet, son application a entraîné :
- Une diminution légère du pH des sols, d'où, il est préférable de l'utiliser que dans les sols alcalins, ce qui favorise une meilleure assimilation des éléments nutritifs par la plante.
- Une augmentation légère du taux de calcaire total, mais les deux types du sol sont peu calcaires.
- Une augmentation légère de la conductivité électrique en fonction du taux de compost appliqué, mais sans causer la salinisation des sols.
- Une amélioration en potassium biodisponible, où les teneurs du potassium assimilable (soluble + échangeable) dans les sols ont augmentés avec l'augmentation des taux du compost apporté.
- Le taux de 50% du compost est celui qui augmente le plus les teneurs en K assimilable comparativement à celui de 25% et témoin.
- Les teneurs moyennes les plus faibles en potassium assimilable sont celles des sols témoin (non amendés), cela veut dire que l'effet de compost est enrichissant en cette forme du potassium.
- Les sols argileux sont plus riches en potassium assimilable que les sols sableux, d'où la biodisponibilité de cet élément majeur est plus élevée.

- Les sols argileux sont plus riches en potassium échangeables que les sols sableux.

Le compost des boues d'épuration de 50% apportée au sol est d'un effet positif considérable sur la fertilité chimique des sols étudiés et par voie de conséquence, améliore le rendement de la culture fourragère du triticale (voir les résultats sur la performance, paramètres morphologiques, qualité fourragère, mémoire de master production végétale en cours de réalisation) et les figures 1,2 et 3 Présentées en annexe.

Ce travail n'est qu'une contribution à la gestion et valorisation agricole des boues d'épuration urbaines par leur Co-compostage. Le compost obtenu est un bon engrais organique intéressant du fait qu'il a amélioré le niveau de fertilité potassique des sols étudiés.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

1. **Abbas Khaled. 2014** : un fourrage promoteur pour sécuriser les systèmes d'élevages dans la zone semis aride d'Algérie, pp3.
2. **Ademe. 1997** : le compostage des déchets organiques municipaux, mars 1997.
3. **Ais R. ; Ouamrane H. 2018** : Enquête sur l'utilisation des produits destinés à la protection phytosanitaires des céréales dans la wilaya de Bouira. Mémoire : Biodiversité et Environnement. Bouira. Université akli mohand oulhadj, pp35.
4. **Ait M'hamed O. 2016** : Effet des amendements organiques sur la structure des sols et sa fertilité physico-chimique, Cas des sols de la région de Chtouka (Sous Massa, Maroc), PP 51-53.
5. **Aloumi I. ; Triki F. ; Choukal O. 2023** : Caractérisation et valorisation de déchet organique application pour amendements des sols 29/10/2023, pp5.
6. **Amerger N. 1980** : Aspect microbiologique de la culture des légumineuses. le sélectionneur français 28, PP 61-66.
7. **ANONYME, 2006**: La culture du triticale. Ed ITGC.
8. **Anonyme, 2004** : Aperçu climatologique pour les années culturales 2004-2005 (récolte 2005) et 2005-2006, pp4-5-6.
9. Anonyme, 2006 ; bouzarzour H. ; Mabane S. ; Makhoulouf M. 2006 : association pour une agriculture de conservation sur les hauts plaines orientales semis aride d'Algérie. 2006 Seri A 69, pp107-111.
10. **Anonyme, 2022** : La relocalisation des terres agricoles en ville, les sols et les paysages a (re) connaître Aut claire Aragau 2022, pp-5.
11. **Anonyme, 2023** : Caractérisation et valorisation de déchet organique application pour amendements des sols 29/10/2023, pp8-9.
12. **Anonyme, 1999** : SENAT les nouvelles techniques de recyclage. 1995 rapports n : 415 (1998_1995) déposé le 10/06/1999.
13. **Arshad M.A. ; Martin S. 2002**; Identifying triticale limits for soil quality indicators in agro-ecosystems agric . ecosyst . environ 88, pp 153-160.
14. **Article de l'université de chef Haciba Ben Bouali** (sur les quantités des boues d'épuration gérées en Algérie année par l'ONA, 2011).
15. **Aseniuk A. 2015** : Stresse abiotique du triticale, un aperçu .2015, pp 69-81.
16. **Bahri A. ; Houman B. 1987** : Effet de l'épandage des eaux usées traitées et des boues résiduaires sur les caractéristiques d'un sol sableux de Tunisie 1987, pp 272-277.
17. **Baize D. 2000** : Guide des analyses en pédologie. Choix, Expression, Présentation. Interprétation, 2e Ed, INRA, Paris, pp257.
18. **Baize D. ; Courbe C. ; Suc O. ; Schwartz C. ; Tercé M. ; Bispo A. ; Sterckman T. ; Ciesielski H. 2006** : Courrier de l'environnement de l'INRA. N°53, 35épandages de boues d'épuration urbaines sur des terres agricoles. impacts sur la composition en éléments en traces des sols et des grains de blé tendre. Décembre2006, pp35, 36, 41, 44,50.

19. **Ben Abderrahmane A. 2022** : Effet de l'utilisation des amendements organiques sur les paramètres physiques et chimiques du sol dans la région de Biskra. Université Mohamed Khider de Biskra, pp1.
20. **Bengtson G. W. ; Cornette J. J. 1973** : Disposal of composted municipal waste in a plantation of young slash pine. Effect on soil and tree, J. Environ. Qual 2, pp441-444.
21. **Benhachem I. 2023**: Effets du compost urbain sur les paramètres physico-chimiques et sur la biodiversité d'un sol sableux du plateau de Mostaganem, 06/07/2023, pp14-66.
22. **Benmoussa H.; Luedeling E.; Ghrab M.; Ben Mi-moun M. 2020**: Severe winter chill decline impacts Tunisian fruit and nut orchards. Climatic.
23. **Bernard M. ; Bernard S. 1992**: Développement et application des techniques de coloration différentielle des chromosomes chez les végétaux: caryotype et structures des chromosomes, identification des espèces et relations phylétiques. Société Française de génétique.8 (3).X-II.
- **Bouchala L. ; Charchar N. ; Ghrib A.E.F. 2012** : ressource hydrique, traitement réutilisations des eaux usées en Algérie 12 mai 2012, pp10-12.
24. **Bouslimani W. ; Hallouz F. 2017** : Analyse des boues de station d'épuration d'eaux urbaines et leur épandage agricole dans la wilaya de Ain Defla, pp45.
25. **Boutmedjet A. ; Boukaya N. ; Houyou Z. ; Ouakid M. ; Biolders C. :** 235, Revue des Régions Arides - Numéro Spécial. N° 36 (1/2015) Étude des effets de l'application de boues d'épuration urbaines sur un sol érodé cultivé dans la région de Laghouat. janvier 2015, pp242-243.
26. **Boutmedjet A. ; Boukaya N. ; Houyou Z. ; Ouakid M. ; Charles Biolders C. :** 235, Revue des Régions Arides - Numéro Spécial. N° 36 (1/2015) Étude des effets de l'application de boues d'épuration urbaines sur un sol érodé cultivé dans la région de Laghouat. janvier 2015, pp240-248.
27. **Boutmedjet A. ; Boukaya N. ; Houyou Z. ; Ouakid M. ; Charles Biolders C. :** 235, Revue des Régions Arides - Numéro Spécial. N° 36 (1/2015) Étude des effets de l'application de boues d'épuration urbaines sur un sol érodé cultivé dans la région de Laghouat. janvier 2015, pp248-255.
28. **Busnot A. ; Busnot F. ; Le Querler J. ; Yazbeck J. 1995** : Caractérisation de matériel humique, d'origine terrestre de la région Bas-Normande. Thermochemica Acta, pp254- 319–330.
29. **Calvet R. 2000** : Le sol propriétés et fonctions, constitution et structure, phénomènes aux interfaces. Tome 1. Edition France Agricole. Paris (France), pp83- 90.
30. **Castex J. 2021** : Décret n°2021-1179 du 1^{er} septembre 2021 relatif au compostage des boues d'épuration et digestats de boues d'épuration avec des structurants, 14/09/2021 texte N°2.
31. **Cauderon Y. 1981** : Origine et évolution des triticales. Industrie des céréales, pp10-39.
32. **Cauderon Y. ; Cauderon A. 1993** : « Le triticales : première céréale créée par l'homme », Nature, sciences et société 1993.

33. **Charland, M. ; Cantin S. ; St Pierre M.A. ; Côté L. 2001** : Recherche sur les avantages à utiliser le compost. Dossier CRIQ 640-PE27158 (R1), Rapport final. Recyc-Quebec, pp35.
- **Chen y. ; Inbar y. ; Hadar y. 1992** : compost reduce pest and pesticide use biocycle 1992, pp8-11,51.
 - **Chen Y.; Inbar y.; Hadar y. 1992** : compost reduce pest and pesticide use biocycle 1992, pp6,51.
34. **Chenu C.; Le Bissonnais Y.; Arrouays D. 2000**: Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. Soil Science Society of America Journal, pp64, 1479-1486.
- **Chouial M. ; beni Amirouche S. ; Belbeldi O. 2017**: revue agriculture vol. n°1 2017, pp 55-67.
35. **Chouinard O. ; Courchesne D. ; Martin G. 2010**: Document de travail no 2009-03 L'utilisation de compost comme pratique visant une plus grande viabilité des sols chez les fermiers du Sud-Est du Nouveau-Brunswick 2010, pp 2-9.
36. **Chouinard O. ; Courchesne D. ; Martin G. 2010**: Document de travail no 2009-03 L'utilisation de compost comme pratique visant une plus grande viabilité des sols chez les fermiers du Sud-Est du Nouveau-Brunswick 2010, p 2-11.
37. **Clarholm M. 1985**: Interaction of bacteria, Protozoa and plants leading to mineralization of soil nitrogen. Soil Biology and Biochemistry 17, pp181-187.
38. **Collaud G. ; Ryser J.P. ; Schwarz J.J. 1990** : Capacité d'échange des cations. Revue suisse Agric 22, pp285- 289.
39. **Composition organique de boues résiduaires de stations d'épuration lorraines : Caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation (03-01-2005)**.
40. **Devisscher S. 1997** : Le compost. Mémoire. D.E.S.S., université de Picardie, 1997 pp 61-64.
41. **Devisscher S. 1997** : Le compost. Mémoire. D.E.S.S., université de Picardie, pp60.
42. **Devisscher S. 1997** : Le compost. Mémoire. D.E.S.S., université de Picardie, pp59-61.
43. **Dinon E. ; Gerstmans 2008** : L'Influence du pH sur l'assimilation des éléments nutritifs du sol par les plantes et sur la variété des plantes. Université de Liège.
44. **Dominguez NF. ; Losada MRM. ; Rodriguez AR. 2012**: Residual effects of lime and sewage sludge inputs on soil fertility and tree and pasture production in a *Pinus radiata* D. Don silvo- pastoral system established in a very acidic soil J. Agric. Ecosystème. Environ 161:12, pp165-173.
45. **Doran J.W. ; Safley M. 1997**:Defining and assessing soil health and sustainable productivity. In Defining and assessing soil health and sustainable productivity, eds. C. Pankhurst, B.M. Doube et V.V.S.R. Gupta, Biological Indicators of soil health, CAB International, Wallingford. Oxon. UK, PP1-28.
46. **Doran J.W.; Parkin B. 1994**: Defining and assessing soil quality. Madison, WI: SSSA Spec. publ. No. 35, Soil Sci. SOC/ Am. Inc, and An. SOC. Agron. Inc.
47. **Doran J.W.; Zeiss M.R. 2000**: Soil health and Sustainability: managing the biotic component of soil quality. Appl. Soil Ecol 15, PP36-11.

48. **Duchaufour Ph. 1995** : Pédologie, Sol, Végétation, Environnement. Abrégés 4ème édition, Masson éd, pp324.
49. **El kadriri B. ; tahiri S. ; Mahi M. ;Sisouane M. ; Kabil EM. ; El Krati M. :** Effets de différents composts matures à base des boues d'épurations et des substrats organiques sur les propriétés morphologiques et physiologiques de deux variétés de blés 2016, pp23-58.
50. **El kadriri B. ; tahiri S. ; Mahi M. ;Sisouane M. ; Kabil EM. ; El Krati M. :** Effets de différents composts matures à base des boues d'épurations et des substrats organiques sur les propriétés morphologiques et physiologiques de deux variétés de blés 2016, pp13-58.
51. **El kadriri B. ; tahiri S. ; Mahi M. ;Sisouane M. ; Kabil EM. ; El Krati M. :** Effets de différents composts matures à base des boues d'épurations et des substrats organiques sur les propriétés morphologiques et physiologiques de deux variétés de blés 2016, pp45-58.
52. **El kadriri B. ; tahiri S. ; Mahi M. ;Sisouane M. ; Kabil EM. ; El Krati M. :** Effets de différents composts matures à base des boues d'épurations et des substrats organiques sur les propriétés morphologiques et physiologiques de deux variétés de blés 2016, pp55-58.
53. **Fillali S. 2019:**Evaluation des teneurs en phosphore assimilable et en potassium assimilables des boues urbaines destinées à l'amendement des sols agricoles dans la wilaya de Tizi-Ouzou 2019, pp58-60.
54. **Fillali S. 2019** : Evaluation des teneurs en phosphore assimilable et en potassium assimilables des boues urbaines destinées à l'amendement des sols agricoles dans la wilaya de Tizi-Ouzou 2019, pp56,58-60.
55. **Gaspar J. ; Bunatru G. 1985:** Triticale Onova cereal. Edition Académie Romania Bucaresti, pp11-120.
56. **Genot V. ; Colinet G. ; Bock L. 2007:** Fertilité des sols agricoles et forestiers en région Wallonne. Dossier scientifique, rapport analytique 2006- 2007 sur l'état de l'environnement Wallonne. Faculté universitaire agronomiques de Gembloux, pp13.
57. **Giroux M. ; Audesse 2004** : Comparaison de deux méthodes de détermination des teneurs en carbone organique, en azote total et du rapport C/N de divers amendements organiques et engrais de ferme. Agrosol, 2004, pp15, 107-110.
58. **Giroux, M. ; Audesse 2004** : Comparaison de deux méthodes de détermination des teneurs en carbone organique, en azote total et du rapport C/N de divers amendements organiques et engrais de ferme. Agrosol, 2004, pp15, 100-102-103-109.
59. **Guerfi Z. ; Benslama M. 2012** : Impact de l'utilisation des boues résiduaires sur les propriétés physico-chimiques des sols de la haut vallée de la Medjerda Wilaya de Souk Ahras 2012. Bibliogr, pp73-84.
60. **Guerfi Z. ; Benslama M. 2012** : Impact de l'utilisation des boues résiduaires sur les propriétés physico-chimiques des sols de la haut vallée de la Medjerda Wilaya de Souk Ahras 2012. Bibliogr, pp73-76,84.
61. **Guerfi Z. ; Benslama M. 2012** : Impact de l'utilisation des boues résiduaires sur les propriétés physico-chimiques des sols de la haut vallée de la Medjerda Wilaya de Souk Ahras, 2012. Bibliogr, pp73, 74, 80,88.

62. **Halitim A. 1988** : Sols de régions arides d'Algérie, Alger, pp384.
63. **Hayk T. ; Bensalem M. ; Zid E.** : Mécanisme ou stratégie de résistance à la sécheresse : cas du blé, de l'orge et du triticale. Option méditerranéenne, 2000, pp40, 287-290.
64. **Houideg F. ; Ben Moussa A. 2020** : Contribution à l'étude du comportement des quelques variétés du triticale dans la région d'el-oued ; université de echahid Hamma Lakhdar -El oued.
65. **Hornick S.b. 1992**: Factors affecting the nutritional quality of crops- amer. J. alternative agric, 7, pp63-68.
66. **Jardé E. 2004**: PY-GC/AED and chemometric correlation to Characterize sewage sludges of different origins ; Volume 71, Issue 2, June 2004, pp553-567.
67. **Jardé E. 2004**: Application of thermo desorption and pyrolysis-GC-AED to the analysis of river sediments and sewage sludges for environmental purpose 2002, pp297-318.
68. **Jarde E. ; Mansuy L. ; Faure P. 2003** : Characterization of the macromolecular organic content of sewage sludges by thermally assisted hydrolysis and methylation-gas chromatography-mass spectrometer (THM-GC/MS). J. Anal. Appl. Pyrol, pp68-69, 331-350.
69. **Jenkson D.S.; Powlson D.S.W.; Edderburn R.W.M. 1976**: The effect of boicidal treatments on metabolism in soil. 3) The relationship between soil bio volume measured by optical Microscopy and the flush of decomposition caused by fumigation soil biology and biochemistry 8, pp189-202.
70. **Johnson D.E. ; Ambrose S.H. ; Bassett T.J. ; Bowen M.L. ; Gurney D.E. ; Issacson J.S. ; Johnson D.N. 1997**: Meanings of environmental terms. J. environs Qual 26, pp581-589.
71. **Kadi S. ; Djellaba F. ; Mouhous A. 2016** : Pratique alimentaire dans l'élevage caprin dans ma région montagneuse de Tizi-Ouzou en Algérie. Option méditerranéennes, série A, pp249-252.
72. **Karbout N. ; Zribe Z. ; Lamarou H. ; Moussa M. 2021**: Effete of sludge from sewage treatments plants on major elements and organic compounds in sandy soil in arid regions : case of Medenine Sandy soil 02-1/2021, pp4691-4694..
73. **Karlen D.L. ; Mausbach M.J. ; Doran J.W. ; Cline R.G. ; Harris R.F. ; Schuman G.E. 1997**: Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation, soil Sci. Am .J. 61, pp4-10.
74. **Mrabet L. ; Belghyti D. ; Loukili A. ; Attarassi B. 2011** : Étude de l'effet du compost des déchets ménagers sur l'amélioration du rendement de Maïs et de la Laitue 07 février 2011, pp74, 84.
75. **Mrabet L. ; Belghyti D. ; Loukili A. ; Attarassi B. 2011** : Étude de l'effet du compost des déchets ménagers sur l'amélioration du rendement de Maïs et de la Laitue ; 07 février 2011, pp85-87.
76. **Laroche G. ; Grosjean F. ; Gate P. ; Bernicot M.H. 1994** : Le triticale Du débouché à la culture In revue Perspective Agricole N°188, pp1-24.

77. **Laroche G. 1994:** How triticale is doing in France. IN. Triticale topics .N°12. Triticale Assoc Armidale, pp4-6.
78. **Laroche G. 1994:** How triticale is doing in France. IN. Triticale topics .N°12. Triticale Assoc Armidale1994, pp7-9, 15.
79. **Laroche G. 1994:** How triticale is doing in France. IN. Triticale topics .N°12. Triticale Assoc Armidale 1994, pp56
80. **Laroche G. 1994:** How triticale is doing in France. IN. Triticale topics .N°12. Triticale Assoc Armidale1994, pp58,59
81. **M'Sadak Y. ; Elouaer M.A. ; El Kamel R. 2012 :** Evaluation des substrats et des plants produits en pépinières forestières 2012, pp65.
82. **Mahri A. 2002 :** Le potassium dans les sols de Tunisie 10/12/2002, pp18-20.
83. **Mahri A. 2002 :** Le potassium dans les sols de Tunisie 10/12/2002, pp19, 20,22.
84. **Maïmouna L. ; El hadji M.S. ; Diomaye D. ; Saliou N. ; Cheikh D.; Alsane S.; Amadou G.:** Co-compostage de boues de vidange domestiques avec des déchets maraîchers et des déchets de poissons à Dakar (Sénégal) Jan 23, 2020, pp-1.
85. **Makhlouf K. 2022 :** Contribution à l'évaluation des caractéristiques.
86. **Mallouhi N. 1979 :** Contribution à l'étude d'évolution du compost urbain dans les sols salés carbonatés, Thèse, Doct, Ing, pp104.
87. **Martin S. ; Baize D. ; Bonnoue M. ; Chaussod R. ; Ciesielski H. ; Gautier G.P. ; lavelle P. ; J.P. Legros J.P. ; le prêtre A. ; Sterckeman T. 1999 :** le suivie de la qualité des sols en France, la contribution de l'observation de la qualité des sols. Etude et gestion des sols, 6, pp215- 230.
88. **Mehri M. 2008 :** Etude de l'impact de l'exposition à des mélanges de pesticides à faible doses : caractérisation des effets sur des lignées cellulaires humaines et sur le système hématopoïétique marin. Thèse de doctorat. Université de Toulouse, pp140.
89. **Menaam T. ; Smail A. 2021 :** Etude des effets de doses de boues résiduaire municipales sur les paramètres de développement de la tomate *Lycopersicum esculentum* Mill et les caractéristiques du sol 2021, pp7.
90. **Menaam T. ; Smail A. 2021 :** Etude des effets de doses de boues résiduaire municipales sur les paramètres de développement de la tomate *Lycopersicum esculentum* Mill et les caractéristiques du sol 2021, pp8-10.
91. **Menaam T. ; Smail A. 2021 :** Etude des effets de doses de boues résiduaire municipales sur les paramètres de développement de la tomate *Lycopersicum esculentum* Mill et les caractéristiques du sol 2021, pp11-13.
92. **Meridja O. 2008 :** Etude de l'influence des matières organiques (paille, engrais vert) et d'un engrais (Urée) sur la dynamique de l'azote (minéralisation, pool organique) dans un sol brun calcaire de la région de Batna. Incidence sur le comportement d'une graminée fourragère '*Lolium Multiflorum*' (biomasse minéralomasse).
93. **McRae M. :** (plante fungus infects humain in first reporte dea f t « science alerte »3 avril 2023.Boisson y (institut national de la recherche agronomique, Villenave l'Ornon (France) centre de Bordeaux, agrpnomie1998.
94. **Morel R. 1989a :** Analyse des facteurs de la croissance de la plante pour la définition du concept de fertilité des sols. In : SISS et SICA, Eds, pp57-73.

95. **Müntzing A. 1979**: Triticale: results and problems. Advances in Plant Breeding. Supplément No. 10 du Zeitschrift für Pflanzenzüchtung.
96. **Nortcliff S. 2002**: Standardization of soil quality attributes. Agriculture. Ecosystèmes & Environnement 88, pp161-168. bonf, Fnedt, 2017 – Pratic' Sols. Guide sur la praticabilité des parcelles forestières https://www.fcba.fr/sites/default/files/files/GUIDE%20PRACTIC'SOLS_WEB%20vdef.pdf.
97. **Nouain R. ; Chaussod R. 1996** : Rôle des mycorhizes dans l'alimentation hydrique et minérale des plantes, notamment des légumineuses de zones arides. Options méditerranéennes 20, pp9-26.
98. **Ouadah S. 2023** : Valorisation des boues résiduares de la station d'épuration de Tiaret pour l'agriculture, Université Ibn Khaldoun –Tiaret, pp 2.
99. **Planchette 1991** : utilisation des Mycorhizes en agriculture et horticulture. In : les mycorhizes des arbres et plantes cultivées. D.G. Sturelle coordonnateur, la voisiner Tech et DOC (Paris), pp131-196.
100. **PUND/FAO 2014** : Food and Agriculture Organization of the United Nations (L'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture des nations unies)/ programme des nations unies pour le développement, 2014 url 432.
101. **Ramade 2005** : Eléments d'écologie : écologie fondamentale. DUNOD, Paris, 3^{ème} édition, pp864.
102. **Rhbal H. ; Salah Souabi S. ; Safi M. ; Terta M. ; Arad M. ; Anouzla A. ; Hafid M. 2020** : Décontaminations des sols pollués par les hydrocarbures de contamination. Of soil polluted by hydrocarbons. January 22, 2020, pp1.
103. **Robert M. 1996** : Le sol : interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Masson éd, pp244.
104. **Robet F.J. ; Carbone B.A. 1972** : water repellence in sandy soils of southwestern Australia : II some chemical characteristics of the hydrophobic skins Aust.J.soil 1972, pp34-42 .
105. **Sabey B.R. ; Hart W.E. 1975** : Land application of sewage sludge : Effect on growth and chemical composition of plants journal of Environmental quality 1975 pp252-256.
106. **Saidane A. ; De Waele N. ; Van De Velde R.1979** : Contribution à l'étude du compostage de Plantes marines en vue de la préparation d'un Amendement organique et d'un substrat horticole 1979. 6 pp1 – 4,133-150.
107. **Scholz M. 2016**: "Chapter 21 - Sludge Treatment and Disposal." In Wetlands for Water Pollution Control (Second Edition), pp157-68.Elsevier.<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63607-2.00021-6>.
108. **Simon, M. ; Ghez A. ; Leinert M. ; Cassar C. ; Chen L. ; Howell W.P. ; Jameson R.R. ; Matthews R. F. ; Neugebauer K. ; Richichi G. 1995, Astrophys. J.** pp443-625.
109. **Snapp S. ; MAFONGOYA, P.L. ; WADDINGTON S. 1998** : Organic matter technologies for integrated nutrient management in smallholder cropping systems of Southern Africa. Agric. Ecosyst. Environ. 71, pp185 -200.

110. **Socue B.D.1990**: the role of organique matier in soil compactibility .a review of some partical aspectes .qual 1990. 3, pp152-156.
111. **Soltner D. 2000** : Les bases de la production végétale. Tome I, Le sol et son amélioration.Coll sc. et Techniques agricoles, pp472.
112. **Soudani L. 2017**: Fertilisation du sol de plantation d'Eucalyptus camaldulensis. Dehnh par les boues résiduaires issues de la station d'épuration de Tiaret (Algérie). Thèse de doctorat. Fac SNV. Univ Tiaret, pp114.
113. **Soufi S. 2021**. Etude comparative entre le compost du palmier dattier et quelques amendements organiques sur le sol et végétal (orge).Mem,univ.Biskra. 66pp.
- **Soumia A. 2005** : contribution à la valorisation des boues des stations d'épuration par compostage , devenir des micropolluants métalliques et organique du composts 14 mars 2005, pp15-341 .
114. **Soumia A. 2005** : contribution à la valorisation des boues des stations d'épuration par compostage , devenir des micropolluants métalliques et organique du composts 14 mars 2005, pp15-18/341 .
115. **Soumia A. 2005** : contribution à la valorisation des boues des stations d'épuration par compostage , devenir des micropolluants métalliques et organique du composts 14 mars 2005, pp 17-19.
116. **Larrue S. 1998** : intérêt de compostage 1995-1998, pp23.
117. **Larrue S. 1998** : intérêt de compostage 1995-1998, pp05.
118. **Tangara T. 2012** : Élevage, CNRA, Mali : MINISTERE DE L'AGRICULTURE REPUBLIQUE DU MALI : technique de compost 2012, pp11-12.
- **Tangara T. 2012** : élevage, CNRA Mali techniques de compostage, décembre 2012 pp7-21.
119. **Terman G.L. ; Soileau J.M. ; Allen S.E. 1973**: Municipal waste compost: effects on crop yields and nutrient content in greenhouse pot experiments. J. Environ. Qual., 2, pp84-89
- **Vannier G. 1985** : journal Bulletin d écologies ., mode d'exploitation et de partage de ressources alimentaires dans le système saprophage par les microarthropodes du sol, volume 16 datte 1985.
120. **Varugese, G. ; Barker T. ; Saari E. 1987**: Triticale. CIMMYT, Mexico1987. D.F. pp32.
121. **Varugese, G. ; Barker T. ; Saari E. 1987**: triticale Cimmyt . Mexico 1987. DF, pp33-35.
122. **Varugese, G. ; Barker T. ; Saari E. 1987** : triticale Cimmyt . Mexico 1987. DF, pp36-39.
123. **Varugese, G. ; Barker T. ; Saari E. 1987** : triticale Cimmyt . Mexico 1987. DF, pp40-43.
124. **Varugese, G. ; Barker T. ; Saari E. 1987** : triticale Cimmyt . Mexico 1987. DF, pp44-47.
125. **Varugese, G. ; Barker T. ; Saari E. 1987** : triticale Cimmyt . Mexico 1987. DF, pp32.

126. **Vishnu P.G. ; Sabeha K.O. Tony H. 2008:** Remediation of copper and cadmium in contaminated soil using compost with inorganic amendments, *Water Air Soil Pollut., Springer Sci. + Business Média*, pp14.
127. **Warskten B.P 1995:** the changing concept of soil quality *J. Soil water conserve* 50, pp226-228.
128. **Wilson A.S. 1876:** Wheat and Rye hybrids, *Proceedings Bot.Soc. Edinburgh*, 12, pp286-288
129. **Yefsah M. ; Mouali H. 2017:** Effet de l'épandage des boues résiduaires sur la biodisponibilité du potassium dans le sol alluvial (cas d'orangerie de Boukhalfa), 03/10/2017, pp12, 24-26,53.
130. **Zaim N. Moulay A.A. ; Souabi S. ; Morvan B. 2007 :** Compostage des boues produites à la station d'épuration d'une huilerie, en mélange avec des déchets de jardin janvier 2007, pp2.
131. **Zaïm N. ; Souabi S. ; Aboulhassan A. ; Aboulam S. ; Morvan B. 2007 :** Compostage des boues produites à la station d'épuration d'une huilerie, en mélange avec les déchets de jardin 1 janvier 2007, pp21-22.
132. **Zemerline F. 1990 :** Substitution partielle et totale du maïs par le triticales chez le poulet de chair .mémoire Ing Agro .Inst. Agro. Blida, pp33.

Annexes

Annexe 1



Figure 1: Préparation de l'essai expérimental en collaboration avec les binômes spécialisés en science du sol et production végétale



Figure 2: Photo du dispositif expérimental factoriel au stade laitoux-pâteux



Figure 3: Fauchage au stade laiteux-pâteux



Figure 4 : travail effectué aux laboratoires de L'INRAA (pesé, filtration, titration, lecture,..)

Annexe2

Tableau 1: Norme d'interprétation de la CE

CE (ms/cm)	Le sol
< 0,6	Non salé
0,6 à 1,2	Peu salé
1,2 à 2,4	Salé
2,4 à 6,0	Très salé
> 6	Extrêmement salé

Tableau 2 : Normes d'interprétation du calcaire total ISO 10693 :1995

Calcaire total en %		0,5	5	10	25	50
Qualification	Non calcaire	Très faible en calcaire	Faible en calcaire	Calcaire	Fortement calcaire	Très fortement calcaire

Tableau 3 : Le statut acido-basique des sols selon la norme PNUD/FAO, 2014

Echelle	0		2	3	4	5	6				
pH	4	4,5	5	5,5		6	6,5	7	7,5	8	8,5
Degré	Très acide		Acide		Peu acide		Neutre		Peu alcalin		Alcalin

Annexe 3

Tableau 1 : Variation des teneurs en matières organiques et en éléments nutritifs des différents amendements et engrais organiques

Fertilisation	Teneur en MO (kg/t de M/S)	Teneur en NPK (Kg/t ou m ³ de matière brute)		
		N	P ou P ₂ O ₅	K ou K ₂ O
Fumier de bovin	187	5,5 à 6,3	2,4 à 3,7	7,2 à 10,1
Lisier de porcs	45	3,3 à 5	1,8 à 4	1,8 à 3
Boues de STEP	140	4 à 12,1	2 à 13	0,6 à 3,6
Compost de boues	250	10	3,2	9,3
Engrais		50 à 300	50 à 225	100 à 600

(ESCO MAFOR, 2014)

Annexe 4

Tableau 1: Résultats de l'analyse de la variance du potassium assimilable (à traduire en français les paramètres du tableau)

	Df	Sum Sq	Mean	Sq	F value	Pr(>F)
Fact	1	0,747	0 0,7	4697	0,7099	0,004738**
Résiduel	52	4,4596	0,08	576		

Tableau 2 : Résultats de l'analyse de la variance du potassium soluble

	Df	Sum Sq	Mean	Sq	F value	Pr(>F)
Fact	1	0,0676	0,06	7756	0,1218	0,7285
Résiduel	52	28,8479	0,5	5477		

Résumé

Ce travail a pour objectif d'évaluer les effets à court terme de compost de boues d'épuration urbaines sur les paramètres chimiques de deux types de sols (argileux et sableux). L'expérimentation est réalisée en deux phases : i. phase de terrain qui consiste à l'échantillonnage et la préparation des mélanges sols et compost des boues, le semis, la mise en place du dispositif expérimental de type factoriel et son suivi, ii. phase du laboratoire, qui consiste aux analyses suivantes : mesure du pH et de CE, dosage du calcaire total du potassium assimilable dans le compost et les sols amendés et non amendés. Les résultats révèlent que le pH des sols tend à diminuer avec l'augmentation de taux de compost appliqué, les valeurs indiquent une faible acidité et une neutralité. Le taux de calcaire total des sols tend à augmenter mais les sols restent peu calcaires. De même pour la CE, une augmentation légère dans les sols amendés mais les valeurs sont en dessous des seuils de salinité. Pour le paramètre potassium assimilable, une augmentation significative en teneur de potassium assimilable qui regroupe le K soluble et l'échangeable et non significative pour le soluble. Cette étude a montré que l'ajout du compost des boues d'épurations urbaines a contribué à l'amélioration de certains paramètres chimiques des sols étudiés tel que le potassium assimilable et à une modification légère et insignifiante des paramètres: pH, CE et CaCO_3 total des sols étudiés.

Mots clés : Valorisation de boues urbaines, compostage, qualité chimique, fertilité potassique, sols agricoles, triticales

Abstract

The work presented represents the major interests of urban sewage sludge compost, and aims to evaluate the short-term effects of this compost on the chemical parameters of different types of soil (clay and sand). The experiment is being carried out in two phases: i. a field phase consisting of sampling and preparing the soil and sludge compost mixtures, sowing, setting up the factorial-type experimental set-up and monitoring it, ii. laboratory phase consisting of the following analyses: measurement of pH and EC, assay of total lime stone and assimilable potassium in the compost and the amended and unamended soils. The results showed that the pH of the soils tended to fall as the rate of compost applied increased, with values indicating low acidity and neutrality. The total lime stone content of the soils tended to increase, but the soils remained low in limestone. The same applies to EC, with a slight increase in the amended soils, but the values are below the salinity thresholds. For the assimilable potassium parameter, there was a significant increase in the assimilable potassium content, which includes soluble and exchangeable potassium, but not significantly for soluble potassium. This study showed that the addition of urban sewage sludge compost contributed to the improvement of certain chemical parameters of the soils studied, such as assimilable potassium, and to the insignificant modification of the following parameters: pH, EC and total CaCO_3 of the soils studied.

Key words: Recycling of urban sludge, composting, chemical quality, potassium fertility, agricultural soils, triticales