

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université MOULOUD MAMMERRI de Tizi-Ouzou

Faculté des sciences biologiques et de sciences agronomiques

Département des sciences agronomiques



Mémoire de fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme de Master en sciences agronomiques

Option : Science du Sol

**Contribution à l'étude de certains paramètres de la
fertilité chimique sous l'effet du compost de boues
d'épuration urbaines dans les sols cultivés en triticales**

Présenté par :

ABBANE Said

et

IBERSIENE Yahia

Devant le jury composé de

Président: Mme OMARI O.

MAA FSBSA (UMMTO)

Examineur: Mr MOERROUKI K.

MCB FSBSA (UMMTO)

Promotrice : Mme OMOURI O.

MAA FSBSA (UMMTO)

Co-Promotrice : Mme ALAIN F.

MCA INRAA

Promotion: 2023 /2024

Remerciement

Au terme de ce travail, nous remercions avant tous le dieu tout puissant de nous avoir donné le courage et la force pour surmonté les obstacles et les difficultés et guidé sur le chemin de la science.

*Nous tenant à exprimer pleinement notre gratitude et reconnaissance à notre promotrice **Mme Omouri. O** pour sa bienveillance, son encouragement, son dévouement et sa disponibilité en tout temps qui ont été d'une aide précieuse pour la réalisation de ce travaille.*

*Nos profonds remerciements à notre Co-promotrice **Mme Alain. F** pour son orientation et ces conseils avisé.*

*Egalement nous remerciant **Mme Omari. O** qui a bien voulu nous faire l'honneur de présidé le jury.*

*Nous adressons également notre profonde reconnaissance à **Mr Merrouki. K** pour avoir accepté d'examiner ce travaille.*

On remercie tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin a la réalisation de ce travaille.

Dédicaces

À mes chers parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et leurs sacrifices constants, sans lesquels ce chemin aurait été bien plus ardu.

À mes frères, Salem, Mohand et Tarek compagnon de mes joies et de mes peines, pour leur encouragement et leur présence qui ont illuminé chacune de mes journées.

À ma chère grand-mère, Ton amour, ta sagesse et ta présence douce ont été une lumière constante dans ma vie. Ce mémoire est dédié à toi, pour ton soutien inconditionnel et tes encouragements qui ont toujours été une source d'inspiration.

À la mémoire de mon grand-père, source d'inspiration et de sagesse, dont la bienveillance continue de guider chacun de mes pas.

À mes amis fidèles, qui ont partagé mes succès et m'ont encouragé dans les moments de doute, vous êtes le ciment de ma force et de ma détermination.

À toutes ces personnes précieuses, ce mémoire est aussi le vôtre. Vos encouragements, votre amour et votre soutien ont été les fondations sur lesquelles j'ai construit cette réussite. Merci du fond du cœur.

Said.

Dédicaces

A ma très chère mère

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon très cher père

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection. Puisse Dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite.

À mes chères frères et sœurs

Ahmed et Mouloud et Meriem, mes rayons de soleil, Celles qui illuminent mes jours et réchauffent mon cœur, je dédie ces mots remplis d'amour et de tendresse. Je vous dédie ce mémoire en signe de ma profonde reconnaissance pour votre amour inconditionnel et votre soutien indéfectible tout au long de mon enfance. Vos encouragements et vos sages conseils ont été une source d'inspiration inestimable pour moi.

Yahia.

Résumé

Ce travail de recherche est réalisé dans le but d'évaluer la contribution à l'étude de certains paramètres chimiques de sol, l'azote (N), la matière organique (MO) sous l'effet de l'application de compost de boues d'épuration urbaines dans les sols cultivés de triticale.

L'analyse a porté 24 échantillons disposés d'une manière aléatoire avec application de compost de boues d'épuration urbaines (BEU) à des taux successivement comme suite à 25% et à 50% dans deux types de sol présentant des caractéristiques différentes, argileux-limoneux et sableux-limoneux. Les résultats obtenus montrent un effet positif sur les paramètres de fertilité de sols avec une augmentation des teneurs moyennes de l'azote, de MO avec l'augmentation de taux de compost appliqué.

Ces résultats confirment la contribution de l'application de compost de boues d'épurations urbaines sur les paramètres de fertilités de sol.

Mots clés: Boue de station d'épuration, Compost, Triticale, Azote, Matière organique.

Abstract

This research work is carried out with the aim of assessing the contribution to the study of certain soil chemical parameters, nitrogen (N), organic matter (OM), under the effect of the application of urban sewage sludge compost in triticale soils.

The analysis involved 24 randomly arranged samples with the application of urban sewage sludge compost (USSC) at rates successively as follows successively at 25% and 50% in two soil types with different clayey-silty and sandy-silty. The results show a positive effect on soil fertility parameters, with an increase in average nitrogen, OM with increasing rates of compost applied.

These results confirm the contribution of urban sewage sludge compost application on soil fertility parameters

Key words: Sewage treatment plant sludge, Compost, Triticale, Azote, organic material.

Liste des abréviations

C/N : Rapport carbone sur l'azote

CBU : Composte de boues urbaines

CEC: Capacité d'échange cationique

CTO : Composé traces organiques

ETM : Eléments traces métalliques

IG: Indices de germination

ITMAS: Institut technologique spécialisé de formation agricole

K : Potassium

MO : Matière organique

N: Azote

NH₄⁺ : Ammonium

NO₃⁻ : Nitrate

NT: Azote total

NTK: Azote total Kjeldhal

P: Phosphore

Ph: Potentiel d'hydrogène

T : Température

Corg: Carbone organique

BEU : Boues d'épuration urbaines

Table de matières :

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	1
Chapitre I : valorisation de compost de boues résiduaires	
I.1. Intérêt du compostage des boues urbaines	4
I.1.1. Intérêt environnemental	4
I.1.2. Intérêt agricole	4
I.1.3. Intérêt économique	5
I.2. Qualité de compost des boues d'épuration	5
I.2.1. Qualité chimique	6
I.2.1.1. Le pH	6
I.2.1.2. Le rapport C/N	6
I.2.1.3. L'azote	6
I.2.1.4. La capacité d'échanges cationiques (CEC) et le rapport $[\text{NH}_4^+]/[\text{NO}_3^-]$	6
I.2.2. Qualité physique	7
I.2.3. Qualité biologique	7
I.2.3.1. Test de phytotoxicité	7
I.2.4. Hégeinisation du compost	7
I.2.4.1. Abattement des espèces pathogène lors du compostage	7
a. Bactéries pathogènes et indicatrice	7
b. Bactéries sporulantes	8
c. Les virus	8
I.2.4.2. Importance du couple température et temps dans la réglementation	8
I.3. Impact de l'épandage de compost de boues sur la qualité du sol	9
I.3.1. Impact sur la qualité physique	9
I.3.2. Impact sur la qualité biologique	9
I.3.3. Impact sur la qualité chimique	9
I.3.3.1. Impact sur les éléments nutritifs	9

I.3.3.2. Teneur en éléments trace métalliques et organique	10
II.1. L'origine de triticale	12
II.2. La nomenclature	12
II.3. Les caractéristiques de triticale.....	12
II.3.1. La taxonomie	12
II.3.2. Les caractéristiques morphologiques.....	13
II.3.2.1. Les feuilles.....	13
II.3.2.2. La tige	13
II.3.2.3. Les racines	13
II.3.3. L'appareil reproducteur	14
II.3.3.1. Le grain.....	14
II.3.3.2. L'épi.....	14
II.3.4. Le cycle de vie du triticale	14
II.3.4.1. La germination.....	14
II.3.4.2. La levé	14
II.3.4.3. Le tallage	15
II.3.4.4. La montaison	15
II.3.4.5. L'épiaison	15
II.3.4.6. La floraison.....	15
II.3.4.7. La maturation.....	15
II.4 Exigences édaphoclimatiques	16
II.4.1. Température	16
II.4.2. L'eau	16
II.4.3. Le photopériodisme	16
II.5. Situation de triticale	16
II.5.1. Mondial.....	16
II.5.2. National.....	17
II.6. Intérêts de triticale	18
II.6.1. Intérêts agronomiques.....	18
II.6.2. Intérêt économiques	19
II.7. Les exigences nutritives de triticale en NPK	19

II.7.1. Exigences de triticales en azote.....	19
II.7.2. Exigences de triticales en nutriment phosphatée et potassique.....	19
II.8. La fertilisation de triticales en élément majeur (NPK)	20
II.8.1. La fertilité azotée	20
II.8.2. La fertilisation potassique et phosphatée	20
II.9. Les carences en éléments majeurs.....	21
II.9.1. Carences en azote (N)	21
II.9.2. Carences en phosphore	21
II.9.3. Carences en potassium.....	22
III.1. Objectif de l'étude.....	24
III.2. Caractéristiques du site d'étude	24
III.2.1. Localisation	24
III.2.2. Climat	24
III.2.2.1. Les températures.....	24
III.2.2.2. La pluviométrie	25
III.2.3. Caractéristique de deux sites d'échantillonnages	26
III.3. Partie expérimentale.....	28
III.3.1. Matériels et méthodes utilisés	28
III.3.2. Echantillonnage	28
III.3.3. Préparation des échantillons.....	29
III.3.3.1. Séchage à l'air libre et émiettement	29
III.3.3.2. Tamisage	29
III.3.4. Préparation du compost.....	29
III.3.5. Préparation des substrats	30
III.3.6. Mise en place du dispositif expérimental	30
III.3.7. Le suivi de l'essai.....	31
III.4. Echantillonnage et analyses chimiques du compost et des sols.....	31
III.4.1. Le dosage de l'azote total par la méthode Kjeldahl	32
III.4.1.1. Principe de la méthode	32

III.4.1.2. Mode opératoire	32
III.4.2. Le dosage du carbone organique total par la méthode Anne	33
III.4.2.1. Principe de la méthode	33
III.4.2.2. Mode opératoire	33
Chapitre IV: Résultats et Discussions	
IV.1. Introduction	36
IV.2. Compost	36
IV.2.1. Valeur azotée et le rapport C/N du compost étudié	36
IV.2.2. Discussion des résultats.....	36
IV.3. Variation des taux de matière organique, de l'azote totale des sols étudiés sous l'effet des taux du compost apporté.....	37
IV.3.1. Variation du taux de matière organique	37
IV.3.1.1. Résultats	37
IV.3.1.2. Discussion des résultats de MO	38
IV.4. Variation du taux d'azote total (NTK).....	39
IV.4.1. Résultats	39
IV.4.2. Discussion des résultats de NTK.....	40
IV.5. Variation du rapport C/N.....	41
IV.5.1. Résultats	41
IV.5.2. Discussion des résultats C/N	41
Conclusion	43

Liste des Figures

Figure N°1 : Localisation de L'ITMAS de Boukhalfa (Google Earth, 2024).	24
Figure N°2 : Courbe de température mensuelles (maximales, moyennes, minimales) de l'année 2023 de TIZI-OUZOU (climatologie 2023).	25
Figure 3 : Localisation du site d'échantillonnage à ITMAS (Google Earth, 2024)	28
Figure 4 : Localisation du site d'échantillonnage sur une parcelle des frères Oumlil (Google Earth, 2024)	29
Figure 5 : dispositif aléatoire	31
Figure 6 : distillateur	32
Figure 7 : minéralisateur	32
Figure 8 : beurette graduée (titration)	33
Figure 9: Titration de la solution avec les sels de Mohr	34
Figure 10: Variation de la matière organique en fonction des taux du compost appliqué	37
Figure 11: Variation de l'azote totale en fonction des taux de compost appliqué	39
Figure 12: Variation de rapport C/N en fonction des taux de compost appliqué	41

Liste des tableaux :

Tableau 01 : classification taxonomie de triticales	13
Tableau 2 : Production (Ha/tonnes) de triticales en Algérie (1991-2001).....	18
Tableau 3 : Exigence et exportation de triticales en PK (chambres d'agriculture de l'Oise et de la Somme).....	20
Tableau 4 : Caractéristiques de la parcelle des Frère Oumlil	26
Tableau 5 : caractéristiques de parcelle de Boukhalfa l'ITMAS.....	27
Tableau 6 : Caractéristiques chimiques du compost appliqué aux sols	36

Introduction Générale

Introduction Général

Introduction Générale

En Algérie L'Office National de l'Assainissement (ONA) a estimé, en 2013, que 539 tonnes de boues résiduaires sont générées par jour. Or, cette quantité ne peut pas être délivrée en état brute, puisque ce déchet pose un sérieux problème pour la santé publique et pour l'environnement. En effet, les analyses des boues résiduaires qui sont déjà réalisées montrent la présence d'éléments issus des activités humaines et industrielles tels que les microorganismes pathogènes, éléments-traces métalliques (ETM), micropolluants organiques (MPO) et les produits pharmaceutiques (Unken, 1987) (Benckiser, et Simarmata, 1994) (Dai, J. Y. et al., 2006) et (Ailincăi, et al., 2012), ces contaminants peuvent présenter un risque pour l'environnement et la santé des populations humaines et animales (ONA., 2014), d'où les craintes liées à leur épandage direct sur les terres agricoles.

Cependant, les boues résiduaires sont très riches et possèdent des caractéristiques agronomiques intéressantes, Elles sont constituées essentiellement d'eau, de sels minéraux et de matière organique et inorganique (Karoune, 2008 ; Usman, et al., 2012), plus particulièrement des teneurs élevées en azote, phosphore et en potassium qui sont d'une importance capitale dans la croissance et les rendements des cultures, d'où l'intérêt particulier que porte le domaine agricole à ce sous-produit de traitement des eaux usées.

La valorisation agricole de boues issues de station d'épuration a fait objet de plusieurs études de recherche notamment en Algérie (Blaid, 2001, Boulahbel, 2011), en raison des besoins grandissants de valorisation et d'élimination de ces déchets. A cet effet, une technique répondant à ce besoin s'est avérée très prometteuse ; le compostage, qui fait partie des technologies vertes, permet de transformer les boues en produits à haute valeur ajoutée en minimisant les risques de pollution (Maalem et al, 2018) et qui propose de nombreux avantages. Cette approche, entre dans les nouvelles démarches de gestion durable des terres agricoles soumises à une exploitation intensive et dont les conséquences sur l'appauvrissement en éléments nutritifs et en matière organique sont alarmantes.

Le compostage est un procédé biologique anaérobie de dégradation de la matière organique, qui réduit les risques environnementaux liés à la gestion des déchets par diminution de volumes et destruction des organismes pathogènes (Saebo et Ferrini., 2006). En effet le compostage de boues résiduaires permet d'hygiéniser et de stabiliser le produit et de

Introduction Général

réduire ainsi les risques de contamination liés à la présence d'éléments indésirables dans ces derniers pour obtenir au final un compost de qualité.

La valorisation agricole des composts de boues urbaines ont fait l'objet de plusieurs travaux, comme substitut aux engrais chimiques pour sa richesse en matières organiques, azote et phosphore et aussi pour l'augmentation des rendements qu'il engendre. En effet, en cultures fourragères dont la production n'arrive pas à couvrir 50% de besoin national, les travaux de Akdeniz et al (2006), ont montré que l'apport de compost de boues urbaines a conduit à l'augmentation de la croissance des plants, de biomasse végétale et de la valeur nutritive.

Cette présente étude a pour objectif d'évaluer l'effet de l'application de compost des boues de station d'épuration à différents taux, sur les paramètres de fertilité du sol.

Ce travail est divisé en quatre chapitres :

Chapitre I : Valorisation agricole de compost de boues de station d'épuration

Chapitre II : Généralité sur le triticale

Chapitre III : Matériels et méthodes

Chapitre IV : Résultats et discussions

Chapitre I: Valorisation agricole de compost de boues de station d'épuration

Chapitre I Valorisation agricole de compost de boues de station d'épuration

I.1. Intérêt du compostage des boues urbaines

I.1.1. Intérêt environnemental

Dans le contexte écologique et environnemental actuelle ou la promotion d'une gestion durable des terres agricoles sur exploiter est pocheter au-devant de la sien, le composte peut-être une alternative de substitut aux engrais chimiques de plus en plus critiqué. Les boues qui ont subi un compostage ont l'aspect du terreau, sont stables hygiénisées et possède une structure solide et permet de réduire de tiers les volumes des boues, en effet l'épandage de compost des boues permet l'augmentation des stocks de matière organique dans les sols et peut participer à l'atténuation des changements climatiques, en compensant les excès d'émission de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Al (2004), rapporte que 30% des émissions de CO₂ sont dues aux effets des changements d'utilisation des terres sur la minéralisation des stocks de carbone des sols, de même Limite les risques de fuites de nitrates dans l'environnement (Chalhoub et al., 2013 ;Noirot-cosson et al., 2016).

Cependant, Les principales craintes dans le retour au sol des boues d'épuration résident dans la présence de traces d'éléments indésirables (ETM, CTO, micro-organismes pathogènes). L'étude mené par l'INRA sur l'épandage de boues montre que les ETM restent accumulé à la surface du sol et ne sont pas absorber par la plante, de même que pour les CTO n'ont pas d'effet sur les sols ni sur les cultures.

I.1.2. Intérêt agricole

L'amendement de compost des boues peut améliorer la structure des sols agricoles et les rendre ainsi plus fertiles pour la croissance des plantes (Chen et al., 1992 ; Murwira et al., 1995 ; Esse et al., 2001). En effet on constate une nette amélioration dans l'aération, le drainage, l'agrégation ainsi un diminution de la formation de croûtes de battance en surface (Parr, Epstein et Willson., 1978), la minéralisation des composés organiques dans le sol et la concentration des fertilisants qui permettra de réduire les carences nutritionnelles chez les végétaux (Amir et al., 2001 et 2010 ; Jouraiphy et al., 2007).

Il possède un effet à long terme dans le sol comparable aux fertilisants chimiques. Le compost confère aux sols une capacité de résistance contre les aléas climatique notamment contre l'érosion et l'effet splash des fortes pluies, de même une augmentation dela capacité de rétention des sols en eau et l'amélioration des échanges gazeux (Amir et al., 2001., 2010., Jouraiphy et al.; 2007),

Chapitre I Valorisation agricole de compost de boues de station d'épuration

De plus, le compost des boues d'épuration présentes des effets positifs sur les rendements des végétaux par sa richesse en élément fertilisant, d'après les expériences réalisées au Brésil en Cerrado sur la production de soja montre une augmentation de 20% après l'application de CBU (Rodrigues et al., 2020). En outre, l'utilisation de composte des boues a également amélioré les caractères morpho métrique et physiologiques ainsi que les paramètres de rendement de l'orge en améliorant la teneur en protéines par rapport à un sol non amendé (Curci et al., 2020).

I.1.3. Intérêt économique

Le compost des boues d'épuration présente des avantages économiques significatifs. Considérer comme une alternative aux engrais chimiques relativement chers, les agriculteurs peuvent réaliser des économies sur les coûts des engrais chimiques et des gains plus élevés après la vente de leurs produits agricoles suite à l'augmentation des rendements. (Karunanithi et al 2015).

Le compostage des boues d'épuration permet de transformer un déchet en un produit valorisable. Plutôt que de payer pour l'élimination des boues dans des sites d'enfouissement ou d'incinération, les installations de traitement des eaux peuvent réduire ces coûts en transformant les boues en compost.

Amélioration de la production agricole et de la santé globale des sols, favorisant ainsi une fertilité agricole durable à long terme. Des sols sains nécessitent moins d'interventions de réhabilitations relativement coûteuses et peuvent mieux résister aux maladies des plantes et aux phénomènes naturels tels que l'érosion hydrique, réduisant ainsi les coûts de gestion agricole

Une commercialisation de composts de boues d'épurations peut être envisagée si celle-ci est conforme à la norme et aux lois en vigueur.

I.2. Qualité de compost des boues d'épuration

Le compost est caractérisé par le niveau de stabilisation de la matière organique. Il est donc primordial de mesurer le stade de maturation du produit, c'est-à-dire le moment où le compost n'a plus d'effet phytotoxique. Différents critères et indicateurs, allant des plus basiques aux plus avancés, sont utilisés pour établir les catégories de composts et leur maturité. Toutefois, il n'y a pas de critère de maturité universel unique, il est souvent

Chapitre I Valorisation agricole de compost de boues de station d'épuration

indispensable de suivre simultanément plusieurs critères afin de garantir la maturité d'un compost.

I.2.1. Qualité chimique

Les principaux paramètres relatifs au degré de maturité des composts se basent sur l'évolution de : pH, le rapport C/N et le rapport $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ (Charnay., 2005).

I.2.1.1. Le pH

Les composts matures ont un pH voisin de la neutralité ou supérieur (entre 7 et 9) (Avnimelech., 1996).

I.2.1.2. Le rapport C/N

Le rapport C/N est le paramètre le plus communément mesuré pour évaluer la maturité d'un compost. Un rapport C/N inférieur à 12 est considéré comme un indicateur de maturité pour le compost (IglesiasJimenez., 1993 ; Bernal, 1998), souvent ce rapport est proche de 10.

I.2.1.3. L'azote

Une étude bibliographique de Charnay (2005) et Achour (2008), montre que l'azote organique des composts stabilisés, se minéralise lentement, avec une vitesse similaire à celle des sols (0,26 mg N/kg/j) sans évolution avec l'âge du compost. Pour les composts moins stables, la vitesse de minéralisation est supérieure à 0,4 mg N/kg/j (Houot., 2002).

Le suivi de l'azote permet également d'évaluer la qualité du compost. En effet, le substrat est nitrifié par les micro-organismes, ce qui entraîne une baisse de la concentration en ammonium et l'apparition d'ions nitrate. Selon Zucconi et De Bertoldi (1987), la limite de stabilité d'un compost de matière organique est de 400 mg/kg d'ammonium, ce qui correspond à une concentration de 0,04%.

I.2.1.4. La capacité d'échanges cationiques (CEC) et le rapport $[\text{NH}_4^+]/[\text{NO}_3^-]$

Le rapport $[\text{NH}_4^+]/[\text{NO}_3^-]$ est restreint à 0,16 pour un compost mature (Bernal et al., 1998). La production de groupes fonctionnels lors de l'humification entraîne une augmentation de l'oxydation de la MO, ce qui entraîne une augmentation de la CEC. Il est également possible de mesurer la maturité d'un compost en suivant ce paramètre (Harada et Inoko., 1981).

Chapitre I Valorisation agricole de compost de boues de station d'épuration

I.2.2. Qualité physique

Différentes méthodes empiriques permettaient de déterminer la maturité du compost. Par exemple, les méthodes sensorielles peuvent déterminer son stade de maturation (Iglesias Jiménez et Perez Garcia., 1989). Le compost mature présente les caractéristiques suivantes :

- Ne dégage pas d'odeur d'ammoniacque ;
- Température basse même après humidification ;
- Granuleux, sombre et sans odeur déplaisante ;
- Aucune identification des composés à l'origine de compost à l'œil nu.

Toutefois, ces méthodes simples et rapides doivent être complétées davantage par des analyses précises en laboratoire Charnay (2005).

I.2.3. Qualité biologique

I.2.3.1. Test de phytotoxicité

La phytotoxicité est souvent évaluée par l'étude de la germination ou par des tests de croissance (Said-Pullicino., 2007), par contre (Emino et Warman., 2004), conseillent de choisir les plantes avec soin. Un indice de germination (IG) de 50% est reconnu comme étant celui d'un compost sans effet phytotoxique (Chikae., 2007).

I.2.4. Hégeinisation du compost

I.2.4.1. Abattement des espèces pathogène lors du compostage

La circulaire du 28 juin 2001, relative à la gestion des déchets organiques définit l'hygiénisation comme "l'éradication de la charge en micro-organismes pathogène".

L'efficacité d'hygiénisation est estimée par les abattements observés sur des agents pathogènes ou sur des indicateurs.

L'analyse doit permettre de vérifier :

- La réduction de la contamination ;
- La capacité de blocage de tout redéveloppement des agents pathogènes.

a. Bactéries pathogènes et indicatrice

La capacité du compostage à inactiver *Salmonella* spp, *Listeria monocytogenes* et *Escherichia coli* O157 : H7 a été démontrée dans plusieurs études (Viau., 2011 ; Houot.,

Chapitre I Valorisation agricole de compost de boues de station d'épuration

2014). Une des rares études sur l'inactivation de *Listeria monocytogenes* dans du compost de boues d'épuration a montré que ce pathogène survit mieux que *Salmonella*. Il se maintient au cours de la phase thermophile et ne disparaît qu'après plusieurs mois de compostage en andains avec aération forcée (Pourcher., 2005).

b. Bactéries sporulantes

Les conditions environnementales défavorables induisent la formation de spores chez les *Bacillus* spp et les clostridies, leur permettant de se maintenir jusqu'à ce que les conditions extérieures redeviennent favorables et conduisent à la germination en cellules végétatives. Les bactéries sporulantes sont donc susceptibles de se maintenir lors du procédé de compostage, les spores résistent aux températures élevées. Certains auteurs, considèrent que les conditions du compostage ne permettent pas la destruction totale des spores des clostridies (Böhnel et Lube., 2008).

c. Les virus

Contrairement aux bactéries, les virus ne sont pas capables de se multiplier en dehors de leur hôte. Les premières données proviennent d'études sur la thermotolérance des virus entériques. Feachem (1983), considèrent que des températures de 60°C maintenues pendant 2 heures devraient suffire pour inactiver les entérovirus, les réovirus et les adénovirus.

I.2.4.2. Importance du couple température et temps dans la réglementation

La réduction des concentrations en pathogènes par augmentation de la température est considérée comme la méthode la plus appropriée pour hygiéniser un compost, les autres processus entrant en jeu dans la réduction des pathogènes étant mal décrits ou plus difficilement mesurables et contrôlables par un opérateur. Le couple (température ; temps) est donc le critère retenu dans la réglementation pour la conduite du procédé de compostage en vue d'une hygiénisation. Les réglementations introduisent :

- Des contraintes sur le procédé, avec le maintien d'une température suffisamment élevée pendant une durée suffisamment longue pour permettre la réduction des espèces pathogènes ;
- Des concentrations limites en micro-organismes représentatifs (pathogènes ou indicateurs) dans les produits finis ;

Chapitre I Valorisation agricole de compost de boues de station d'épuration

- Les consignes (température ; temps) varient d'un pays à l'autre, En Angleterre le compost doit être maintenu à des températures supérieures ou égales à 65°C pendant 7 jours consécutifs, avec une humidité de 50% (Avery., 2012). En Allemagne les composts en andains doivent être maintenus à plus de 55°C pendant 2 semaines ou plus de 65°C pendant une semaine.

I.3. Impact de l'épandage de compost de boues sur la qualité du sol

I.3.1. Impact sur la qualité physique

Amélioration la structure et de la stabilité des sols (Annabi., 2011). En effet, les résultats de QualiAgro mené par l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) de Grignon et Veolia dans les Yvelines ont confirmés l'effet positif sur la porosité et la densité apparente des sols. L'effet d'ajout du compost au sol permet la formation de nouveaux agrégats stables par adhésion des particules du sol aux molécules organiques (notamment les acides humiques) et donc une meilleure infiltration de l'eau de pluie, un meilleur enracinement des cultures.

I.3.2. Impact sur la qualité biologique

L'ajout de composts des boues urbains à un sol a des effets positifs en augmentant son activité biologique, leur respiration spécifique, leur biomasse carbonée et leur activités enzymatiques (Perucci., 1990 ; Hargreaves., 2008).

I.3.3. Impact sur la qualité chimique

I.3.3.1. Impact sur les éléments nutritifs

Chalhoub et al (2013), montrent que les apports répétés de composts conduisent à une augmentation de l'azote minéral disponible pour les cultures, améliore le rythme de diffusion des éléments minéraux, assure une meilleure régulation des éléments nutritifs, augmente le pouvoir de rétention du sol pour les ions minéraux ou organiques, empêche l'acidification des sols.

La plupart des composts des boues urbaines ont des valeurs de capacité d'échange cationique (CEC) et de pH nettement plus élevées que le sol. Ce qui conduit généralement à une élévation du pH et de la CEC des sols cultivés (Hargreaves., 2008 ; Giusquiani., 1995).

De même, il peut augmenter la teneur en carbone organique et l'azote total du sol (Werner., 1988). Une augmentation significative de la teneur en Corg du sol est

Chapitre I Valorisation agricole de compost de boues de station d'épuration

essentiellement influencée par la quantité apportée ainsi que la qualité des composts, la fréquence des apports, les conditions pédoclimatiques et les modes d'exploitation (travail du sol). (Giusquiani., 1995 ; Werner., 1988)

Pour le phosphore (P) l'analyse des formes minérales et organiques dans l'essai Qualiagro après apports successifs de différents composts des boues urbaines, montre l'absence d'accumulation du P organique dans les différents traitements alors que l'augmentation du P inorganiques explique l'augmentation de P total dans le sol. (Damar et al., 2015)

L'apport de compost des boues d'épuration augmente en général l'absorption de P par les cultures sous-sols amendés. Cependant, il existe une grande variabilité des résultats sur la valeur fertilisante phosphatée des composts, par ailleurs, le type de sol, en particulier, le pH et la teneur en argile, conditionne la disponibilité du P, ce qui va moduler la valeur fertilisante des composts (interaction sol× compost × disponibilité du P).

Concernant le potassium K_2O , la teneur moyenne du compost des boues d'épuration est d'environ 0,5% de matières sèche (MS) cette faible valeur est due aux sels de potassium qu'ils sont très solubles et ont tendance à rester dans les eaux usée traité pendant le processus de purification et ne s'accumule donc pas dans les boues. (Denis Montenach et al., 2009)

De plus, l'apport de composte des boues d'épuration augmente significativement les concentrations de micronutriment (Cuivre, Zinc, Manganèse et le Fer). (Jakubus et Graczyk., 2020)

I.3.3.2. Teneur en éléments trace métalliques et organique

Les ETM n'étant pas biodégradables, seules des actions de collecte sélective des déchets toxiques et de tri mécanique sur site avant compostage ou au cours du procédé (criblage, affinage) permettent de limiter la teneur en ETM des composts

Chapitre II : Généralité sur le triticales

II.1. L'origine de triticales

Le triticales est un hybride résultant de croisement entre le blé (*triticum*) et le seigle (*secale*). Dans les régions où ces deux céréales étaient cultivé côte à côte ou associé, on a remarqué depuis longtemps l'apparition de rares plantes visiblement issues de la pollinisation accidentelle d'une espèce par l'autre. Ces hybrides de première génération F1 sont stériles.

C'est dans la deuxième moitié de XIX^e siècle que les biologistes et les sélectionneurs commencent à croiser le seigle et le blé tendre. La première réussite expérimentale de cette hybridation date de 1875, elle est due au botaniste Wilson.

En 1888, l'allemand Rimpau a amélioré la situation en obtenant un hybride partiellement fertile mais de baisse productivité. A partir de 1935, un programme de croisement ambitieux fut établi en Suède par un généticien Muntzing, mais les méthodes conventionnelles ont produit que des hybrides dont la fertilité était très basses. Ce n'est qu'en 1937, que le français Givaudon obtient un premier hybride amphipode fertile.

A partir de 1959, un programme de collaboration fut lancé entre les chercheurs de l'université de Manitoba au Canada et Cimmyt au Mexique, dans le but de produire des variétés commerciales de triticeo X secale dont le nom viniculture est devenu triticales.

II.2. La nomenclature

Les scientifiques qui ont travaillé sur l'amélioration de triticales au fil du temps ont proposé leur appellation.

Selon Mac Key (1991) et Bachir et al. (2000), les trois souches seront désignées sous les noms de *triticumkrolowi*, *triticumturgidosecale* et *triticumrimpai*, en prenant en compte les niveaux de ploïdies.

Toutefois, le nom partagé par la plupart des auteurs (Bernard., 1992 ; Cauduron., 1981 ; Bonjean., 1992) ont mis en évidence la double origine de cet hybride. Le nom scientifique du (blé-seigle) est *TriticosecaleWittmark*, tandis que le nom commun est Triticales avec triti de *Triticum* et Cale de secale.

II.3. Les caractéristiques de triticales

II.3.1. La taxonomie

Le triticales (X *triticosecalewittmark*) est une plante appartenant à la famille des poacées, qui comprend environ 800 genres regroupent approximativement 1200 espèces.

Tableau 01 : classification taxonomie de triticales

(Grain tax [http: wheat.pw usda.gov /ggpages/graintax/index.shtml](http://wheat.pw.usda.gov/ggpages/graintax/index.shtml))

Embranchement	Angiospermes
Classe	Monocotylédones
Ordre	Poales
Famille	Poaceae
Sous-famille	Pooideae
Genre	Triticosecale
Espèce	TriticosecaleWittmack

II.3.2. Les caractéristiques morphologiques

II.3.2.1. Les feuilles

Les feuilles des triticales présentent des similitudes avec celles des autres céréales de sa famille, avec une longueur allant de 15 à 25 cm, mais leur diamètre est plus élevé que celui des deux parents (Simonet al., 1989). La ligule et les oreillettes se trouvent à la base du limbe foliaire, généralement grandes et avec une bordure plissée. Cependant, chez certaines variétés de triticales, la ligule est colorée en rouge (Kiss et al., 1977).

II.3.2.2. La tige

La tige du triticales lui confère une apparence solide et puissante par rapport à ses deux parents. Elle présente une taille intermédiaire par rapport à celle de ses deux parents : de 1,20 m à 1,30 m, mais son diamètre dépasse les 2 à 6 mm chez les variétés courantes et les 5 à 8 mm chez les variétés naines (Zemerline., 1990).

II.3.2.3. Les racines

Les triticales possèdent un système racinaire fasciculé, qui est composé de trois types de racines : Selon Gasper et Bunatru (1985), les radicules comprennent des racines embryonnaires et des racines adventices qui se manifestent au niveau du premier ou du second entrenœud.

II.3.3. L'appareil reproducteur

II.3.3.1. Le grain

Selon Bernard (1970), le triticales présente une forme caryopse qui ressemble à celle du grain du seigle, tandis que sa couleur est plutôt similaire à celle du blé. Il s'agit d'un grain extrêmement sensible à la germination sur pied et à un échaudage fréquent, ce qui est principalement causé par l'activité élevée de l'alpha-amylase pendant la maturation, l'hétérochromatine télomérique des chromosomes du seigle, l'aneuploïdie et les conditions de culture telles que la disponibilité du plateau de remplissage (Bachir et al., 2000). Le poids de ses milles grains varie de 32 à 61,4 g (Abdulhussien., 1987).

II.3.3.2. L'épi

Selon Simon et al (1989), l'épi de triticales est grand et barbu, ressemble énormément à celui du seigle. Il a 30 à 40 épillets, avec 3 à 9 fleurs, dont 3 à 5 sont généralement fertiles. Deux glumelles, extrêmement solides et solidement attachées au grain, garantissent la protection de chaque fleur (Simon., 1992). Selon Bernard (1992), les fleurs des triticales ont une taille plus importante que celles des blés, avec des étamines plus importantes et une extrusion plus large, ce qui explique pourquoi les triticales ne sont pas strictement autogames. Au début, les anthères sont de couleur verte, mais à leur maturité, ils prennent une teinte jaune ou jaune violacée.

II.3.4. Le cycle de vie du triticales

II.3.4.1. La germination

La semence de triticales germe beaucoup plus rapidement que celle du blé et du seigle : dans les conditions optimales où les températures atteignent environ 22°C à 25°C. L'activité de l'alpha-amylase est probablement responsable de l'hydrolyse de l'amidon pendant la période de repos séminale (Abdul Hussein., 1987 ; Zillinsky et Borlang., 1971). Comme dans toute autre culture, la probabilité et la durée de ce phénomène varient en fonction de divers facteurs intrinsèques, liés au grain et extrinsèques, liés à la région (Gubler et al., 2005 ; Finkelstein et al., 2008).

II.3.4.2. La levée

La levée dure deux à trois jours après l'apparition de la racicule, le bourgeon peut être obtenue en protégeant la coléoptile. Une fois que le coléoptile atteint une hauteur de 6 ou 7 cm, la première feuille se développe (Abdulhussien., 1987).

II.3.4.3. Le tallage

Lorsque la plante est tallée, elle émet plusieurs apex qui peuvent donner plusieurs tiges (Belaid., 1987). Les triticales possèdent une grande capacité de tallage, avec un nombre de talles équivalent à celui du seigle. En règle générale, les triticales avec des formes octoploïdes et hexaploïdes ont une plus grande taille que les blés. Abdul Hussein affirme que différents éléments contribuent par leur impact sur le tallage : La période du semis, la qualité du sol, l'espace de l'alimentation le climat joue également un rôle essentiel dans le processus de tallage : le taux d'humidité, la température, la lumière le nombre de talles est variable de 1 à 6, mais il augmente lorsque les conditions du milieu s'améliorent (Abdul Hussein., 1987).

II.3.4.4. La montaison

À ce stade, la culture présente une apparence générale très similaire à celle des autres céréales, à l'exception de la vigueur des tiges des triticales et de la largeur des feuilles qui demeurent très importantes par rapport aux autres céréales (Abdul Hussein., 1987)

II.3.4.5. L'épiaison

Le processus d'épiaison débute lorsque l'épi sort de la gaine de la dernière feuille, et il varie en fonction de : génotype, milieu et conditions de culture (Abdul Hussein., 1987). Selon Laroche (1994), le triticales produit des épis plus tôt que le blé, ce qui est une caractéristique héritée du seigle.

II.3.4.6. La floraison

La période de floraison dans des conditions de culture normales, la floraison débute entre 7 et 15 jours après l'épiaison, soit environ 195 à 210 jours après le prélèvement. Au niveau du tiers de la longueur de l'épi, la floraison débute et se poursuit jusqu'aux deux extrémités. En règle générale, la floraison d'un épi dure entre 3 et 5 jours, tandis que celle d'un plant avec plusieurs épis dure entre 7 et 12 jours, voire même 20 jours. D'après Abdulhussein(1987), le climat a un impact significatif sur la croissance des plantes: la température et l'ensoleillement.

II.3.4.7. La maturation

Les triticales sont plus tardifs à atteindre la maturité physiologique que le blé. La période de cette étape varie de 40 à 45 jours (Laroche., 1984). Le grain diminue progressivement son taux d'humidité, passant ainsi du stade pâteux avec une humidité de 45 % au stade de maturité complète avec une humidité de 15 % (Soltner., 1980). C'est à ce

moment-là que l'échaudage est extrêmement répandu et engendre de nombreuses pertes dans les champs de triticales. Bien que le triticale soit échaudé en raison de ses caractéristiques génétiques, ce phénomène est probablement accentué par la durée très longue de sa maturité physiologique, qui correspond à l'arrivée des périodes sèches de l'année dans le climat Méditerranéen (Benbelkacem., 1991 ; Anonyme., 2008).

II.4 Exigences édaphoclimatiques

II.4.1. Température

Le triticale peut être cultivé dans toutes les régions céréalières du Nord du pays, même dans des altitudes dépassant les 1000 mètres. En fin de cycle, il est plus résistant que le blé et l'orge aux températures élevées (Biberdzic, Lalevic, Ilic, Milenkovic, Tmusic, Stojilkovic., 2019).

D'après Laroche (1984), le triticale requiert des températures modérées lors de la phase du remplissage des grains, ce qui lui confère de bons rendements et une qualité élevée dans des régions froides. Durant cette étape, la température élevée provoque l'échaudage du grain.

II.4.2. L'eau

Le triticale est très tolérant à la sécheresse et pousse avec des précipitations supérieures à 250 mm (Anonyme, 2006). De plus, le triticale a montré un bon comportement en conditions de stress hydrique (-40 mm) au stade de maturité physiologique, avec une perte de poids ne dépassant pas 3g pour mille grains. Sa résistance à la sécheresse est pire que celle du blé mais pas aussi bonne que celle du seigle (Laroche., 1984).

II.4.3. Le photopériodisme

Les triticales peuvent être cultivés à la fois pendant les jours longs et pendant les jours courts. Malgré sa faible réaction aux variations du photopériodisme, l'adaptabilité des différentes formes du triticale dans différentes régions géographiques est favorisée (Gasper et Butranu., 1985).

II.5. Situation de triticale

II.5.1. Mondial

Le triticale progresse en termes de superficie plantée dans certaines régions du monde. On a estimé que 1,2 millions d'hectares ont été plantés en 1990 et en 1994, la superficie avait

doublé pour atteindre 2,4 millions d'hectares. Schlegel a indiqué que 120 variétés ont été commercialisées dans 35 pays. Les données récentes du CIMMYT sur le triticale de type printanier planté en hiver dans le nord du Mexique, ont montré que les triticales surpassaient les blés tendres et durs. Le rendement du programme de sélection du CIMMYT était de 1,5% par an, dépassant les gains obtenus dans la sélection du blé.

Au Brésil, la superficie du triticale était estimée à 25 000 ha en 1991, 35 000 ha en 1992 ; 70 000 ha en 1993 et 100 000 ha en 1994.

Le triticale est actuellement cultivé dans le monde entier avec une diffusion plus large en Europe, avec la Pologne, la France et l'Allemagne comme principaux producteurs. En 2020, plus de 13 millions de tonnes ont été récoltées en Europe (FAOSTAT).

II.5.2. National

Au niveau national, le pays connaît certaines difficultés à satisfaire les besoins alimentaires en ce qui concerne les céréales et les cultures fourragères. Une grande partie de ses terres céréalières est fortement érodée et donc peu fertile. De plus, les précipitations annuelles, sur lesquelles dépendent les cultures céréalières, sont très variables. Au cours des deux dernières décennies, l'Algérie a produit en moyenne 1,8 million de tonnes de céréales par an, couvrant ainsi seulement un tiers des besoins de consommation (tant humaine qu'animale) (Benbelkacem., 1998).

Le triticale (X Triticosecale Wittmack) est cultivé en Algérie sur une superficie totale d'environ 20500 hectares en 2001 (voir Tableau 01). Plus de 60 % de cette superficie est située dans la région Nord-Est du pays. Le triticale est cultivé dans le but de réduire les importations de maïs et d'orge. Cette culture est principalement destinée à la production fourragère, soit sous forme de grain pour l'alimentation, soit à double usage (fourrage et céréales).

La superficie consacrée au triticale a atteint un pic de 35000 hectares en 1996/97 (voir Tableau 1), mais est restée relativement stable aux alentours de 21000 hectares au cours de la dernière décennie. Le rendement moyen en grains est de 1,5 tonne par hectare, ce qui est relativement plus élevé que celui des autres céréales, avec une moyenne de 1,2 tonne par hectare (Statistiques Agricoles, 2000).

La majeure partie de la culture du triticale se situe dans les plaines intérieures et la zone sous-littorale (zone favorable). Cependant, dans les hauts plateaux, la production de triticale est préférée à celle d'autres espèces de céréales.

Tableau 2 : Production (Ha/tonnes) de triticale en Algérie (1991-2001), (FAOSTAT)

Année	Terrain(Ha)	Production(Tonnes)	Grain (tonnes/Ha)
1991 /92	15000	27000	1.8
1992/93	17000	27200	1.6
1993/94	19750	27650	1.4
1994/95	21500	25800	1.2
1995/96	23000	48300	2.1
1996/97	35000	66500	1.9
1997/98	21500	27950	1.3
1998/99	22500	24750	1.1
1999/00	18000	27000	1.5
2000/01	20500	28700	1.4
Moyenne	21375	33085	1.5

II.6. Intérêts de triticale

II.6.1. Intérêts agronomiques

Le triticale s'adapte étonnamment aux différentes méthodes de culture dans de nombreuses régions du monde de par sa rusticité (Ivanova et Kirchev., 2014). Considérée comme ayant un potentiel intéressant avec une bonne productivité et richesse en protéines et un bon rendement en paille en font une espèce intéressante pour diverses exploitations dans les marchés alimentaires et fourragères (Hulse et Spurgeon., 1974).

Le triticale affine la structure et la couche superficielle du sol grâce à son réseau de racines fasciculaires (Tropes., 2009). La biomasse importante et la capture de l'azote en font un bon concurrent pour les mauvaises herbes, laissant des terres propres (Dekic et al., 2010 ; Milovanovic et al., 2011).

Sur le plan écologique, le triticale est particulièrement rustique et parfaitement adapté à une gestion à faibles intrants avec un minimum d'apports d'azote et une intervention

phytosanitaire minimale. Il reste en place exceptionnellement longtemps, assurant une couverture du sol à long terme et limitant ainsi le lessivage (chambre d'agriculture landes., 2020)

II.6.2. Intérêt économiques

Son importance économique est soulignée par la diversité de ses utilisations, que ce soit pour l'alimentation animale (qu'il s'agisse de bovins, d'ovins ou de volailles) ou dans l'industrie alimentaire (Dekic, 2010 ; Djekic et coll., 2011 ; Milovanovic et al., 2011).

Ses rendements importants en paille et en céréales en font du triticale une culture intéressante pour la valorisation du biogaz. Cela est particulièrement vrai pour les variétés précoces qui bourgeonnent rapidement à la fin de l'hiver (Sâade., 1993).

De plus, les avantages économiques du triticale sont

- Gestion économique des intrants, de par sa simplicité ;
- Haute productivité (production de céréales) ;
- Les rendements en paille sont supérieurs à ceux des autres céréales d'hiver ;
- Utilisé en alimentation animale ;
- Utiliser de la farine de triticale mélangée à de la farine de blé tendre ;
- Cultiver un hectare de triticale produit une marge bénéficiaire brute plus élevée que celle de l'avoine et de l'orge.

II.7. Les exigences nutritives de triticale en NPK

II.7.1. Exigences de triticale en azote

Pour l'ensemble des essais et des variétés de triticale étudiées en France (1996 à 2007, ARVALIS-Institut du végétal, l'INRA et le GIE triticale), la quantité d'azote que doit absorber en moyenne la culture pour produire un quintal de grain à 15 % d'eau a été évaluée à 2,6 kg d'azote à l'optimum technique, considéré comme proche de l'optimum économique. Autrement dit, une telle quantité d'azote absorbée permet d'obtenir la production maximale de grain.

II.7.2. Exigences de triticale en nutriment phosphaté et potassique

Comparativement aux autres céréales le triticale est une plante peu exigeante au nutriment phosphaté et potassique.

Tableau 3 : Exigence et exportation de triticale en PK (chambres d’agriculture de l’Oise et de la Somme).

Espèce	Organe	Unité	Exigence	P	Exigence	K
Triticale	Grain	Kg/q	Faible	0.65	Faible	0.5
	Paille	Kg/t	Faible	2	Faible	10

II.8. La fertilisation de triticale en élément majeur (NPK)

II.8.1. La fertilité azotée

La fertilisation azotée raisonnée peut être définie comme une approche qui permet d'adapter les apports d'engrais minéraux ou organiques aux besoins de la culture afin d'atteindre un objectif de production spécifique tout en tenant compte des autres sources d'azote par le sol (Comifer., 2013). Cet ajustement de la norme tenant compte des besoins et des fournitures contribue à la maîtrise technico-économique de la production et à limiter les pertes de l'azote dans l'environnement.

Concernant la fertilisation azotée de triticale, les besoins sont équivalents à ceux du blé. Comme sur blé, il est conseillé de fractionner et de limiter les apports précoces avant le stade épi 1 cm, voire de les supprimer dans les situations à fort reliquat d'azote en sortie d'hiver. En conséquence, il est conseillé de réserver environ 40 à 60 unités de la dose totale pour application fin avril à début mai. Outre les gains de rendement et de teneur en protéines, le fractionnement limite le risque de verse sur cette espèce assez sensible.

II.8.2. La fertilisation potassique et phosphatée

Contrairement au N, la fertilisation des grandes cultures en P, K est basée sur les critères suivants:

- Le prélèvement de la culture ;
- Le résultat des analyses du sol ;
- Passé récent de fertilisation sur les quatre dernières années ;
- Restitution ou non des résidus du précédent cultural ;
- De la capacité d'absorption des cultures et des résidus de récolte de l'année précédente. (COMIFER).

L'analyse de sol est l'outil commun, indispensable pour raisonner les apports de ces deux éléments. Elle évalue les teneurs assimilable (P) ou échangeables (k) sur une profondeur généralement de 0 à 25 cm. L'interprétation des valeurs obtenues s'appuie également sur le pH, la matière organique et la capacité d'échange cationique (CEC).

II.9. Les carences en éléments majeurs

II.9.1. Carences en azote (N)

L'azote est un constituant de nombreuses molécules importantes comme les protéines des cellules végétales, les acides nucléiques, les chloroplastes des feuilles et la chlorophylle. Il n'est donc pas surprenant que la plupart des symptômes d'une carence en azote se manifestent par une lente réduction de la croissance ainsi que par une chlorose générale des feuilles (voir annexe figure 1).

L'azote est fortement mobile dans la plante. Lorsque les feuilles les plus âgées jaunissent et meurent, l'azote essentiellement sous forme d'amines ou d'amides solubles et mobilisé dans les feuilles les plus âgées et exporté vers les feuilles les plus jeunes qui se développent le plus rapidement. Par conséquent, les symptômes de carence en azote apparaissent dans les feuilles les plus âgées et non dans les feuilles plus jeunes que lorsque la carence devient sévère. A ce moment, les feuilles les plus vieilles deviendront complètement jaunes ou brunes et tombent (Hopkins., 2003).

II.9.2. Carences en phosphore

La manifestation la plus caractéristique d'une carence en phosphore est une intense coloration verte des feuilles. Dans des cas extrêmes, les feuilles subissent des malformations et présentent des taches nécrotiques (voir annexe figure 2). Dans certains cas, les anthocyanes s'accumulent également conférant aux feuilles une coloration qui varie du vert foncé ou pourpre. Comme l'azote, le phosphore est facilement mobilisé et redistribué dans la plante, provoquant une sénescence rapide puis la mort des feuilles les plus âgées.

Les tiges sont généralement raccourcies et plus minces, de plus la production de fruits ou de semences est fortement réduite (Hopkins., 2003).

La pointe des vieilles feuilles rougit puis se nécrose. Un jaunissement de la pointe des vieilles feuilles peut également être observé, un tallage est réduit avec un rougissement des gaines.

II.9.3. Carences en potassium

Les symptômes de carence apparaissent d'abord dans les feuilles les plus âgées, qui présentent un aspect tacheté ou des signes de chlorose qui sont suivis de lésions nécrotiques (zones de tissu mort) sur le bord des feuilles (voir annexe figure 3). Chez les monocotylédones, et particulièrement chez le maïs et d'autres céréales, les lésions de nécrose débutent à la pointe de la feuille, constituée des cellules les plus vieilles, puis progressent graduellement le long des bords vers les cellules plus jeunes de la partie basale de la feuille. Les feuilles sont raccourcies et moins rigides et leur sensibilité aux champignons responsables de la pourriture des racines est accrue. Il en résulte que les plantes carencées en potassium versent facilement (Hopkins., 2003).

Chapitre III : Matériels et Méthodes

III.1. Objectif de l'étude

Notre travail vise à caractériser et à évaluer l'effet de l'application de compost de boues d'épuration sur le statut organique et la fertilité azotée et phosphatée de deux sols ; l'un à texture argilo-limoneux et l'autre sableux-limoneux.

III.2. Caractéristiques du site d'étude

III.2.1. Localisation

Cette présente étude a été réalisée à l'Institut Technologique de Moyen Agricole Spécialisé de Boukhalfa, situé à 8 km Nord-Est de la wilaya de Tizi-Ouzou, au Nord de l'Algérie (figure 1). Il s'étend sur une surface de 30 ha.



Figure 1 : Localisation de l'ITMAS de boukhalfa (Google Earth, 2024)

III.2.2. Climat

III.2.2.1. Les températures

Le contraste thermique entre les températures moyennes hivernales et estivales est clairement visible, avec des températures moyennes mensuelles d'un écart de plus de 20°C en moyenne entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud.

La zone se caractérise par un climat méditerranéen avec des températures moyennes annuelles de 19,3°C et de températures moyennes mensuelles variant de 28,0°C en mois d’Aout à 11,4°C en mois de janvier.

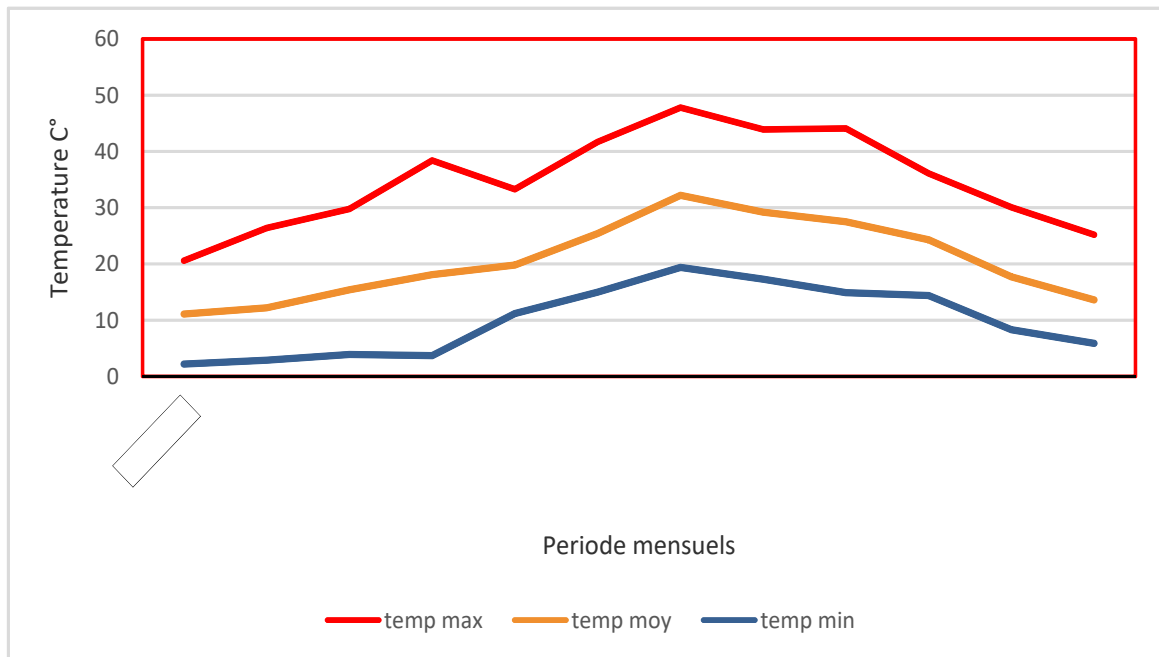


Figure 2: Courbe de température mensuelles (maximales, moyennes, minimales) de l'année 2023 de TIZI-OUZOU (climatologie 2023)

III.2.2.2. La pluviométrie

Le cumul annuel moyen observé à Tizi-Ouzou est de 626,4mm. Le régime pluviométrique mensuel de la région est extrêmement faible durant les mois d’été, avec des cumuls mensuels qui ne dépassent pas les 8,2 mm au mois de juillet. Par ailleurs, il est observé pour les mois de janvier, mai et décembre les plus pluvieux allant de 90 à 155,1mm (Climatologie, 2023).

III.2.3. Caractéristique de deux sites d'échantillonnages**Tableau 4 : Caractéristiques de la parcelle des Frère Oumlil**

Paramètres	Données
Lieu	Boukhalfa
Coordonnées	Latitude : 36°45'03''N
	Longitude : 04°00'42''E
	Altitude : 48M
Type de sol	Sableux-limoneux
Types de cultures	Agrumes (orangé, citronnier, clémentine)
Types d'apports	(20 ; 25) en mois de Septembre Urée 46% en mois de Mars

Tableau 5 : caractéristiques de parcelle de Boukhalfa l'ITMAS

Paramètres	Données
Localisation	Boukhalfa
Coordonnées	Latitude : 36°44'40''N
	Longitudes : 4°00'59''E
	Altitude : 81,48 M
Type de sol	Argileux-limoneux
Types de cultures	Agrumes (orangé, citronnier, clémentine)
Types d'apports	(20 ; 25) Fumier

III.3. Partie expérimentale

III.3.1. Matériels et méthodes utilisés

Le matériel utilisé pour notre échantillonnage représente les:

- Pioches
- Sacs en plastiques et étiquètes
- Pelles
- Tamis

III.3.2. Echantillonnage

L'échantillonnage a été réalisé au mois de décembre de l'année 2023 aux niveaux de deux parcelles agrumicoles différentes.

Une parcelle localisée à l'ITMAS de Boukhalfa (figure 3), choisie pour les propriétés texturales (argilo-limoneuse). Le prélèvement du sol a été réalisé d'une façon aléatoire sur l'ensemble de la parcelle et sur une profondeur de 0 à 20cm.



Figure 3 : Localisation du site d'échantillonnage à ITMAS

(Google Earth, 2024)

Une parcelle appartenant à l'exploitation agricole des frères Oumlil, localisée à Boukhalfa, 7 km à l'Ouest de la wilaya de Tizi-Ouzou (figure 4), choisie pour les propriétés texturales (sablo-limoneuse). Le prélèvement du sol a été réalisé d'une façon aléatoire sur l'ensemble de la parcelle et sur une profondeur de 0 à 20cm.

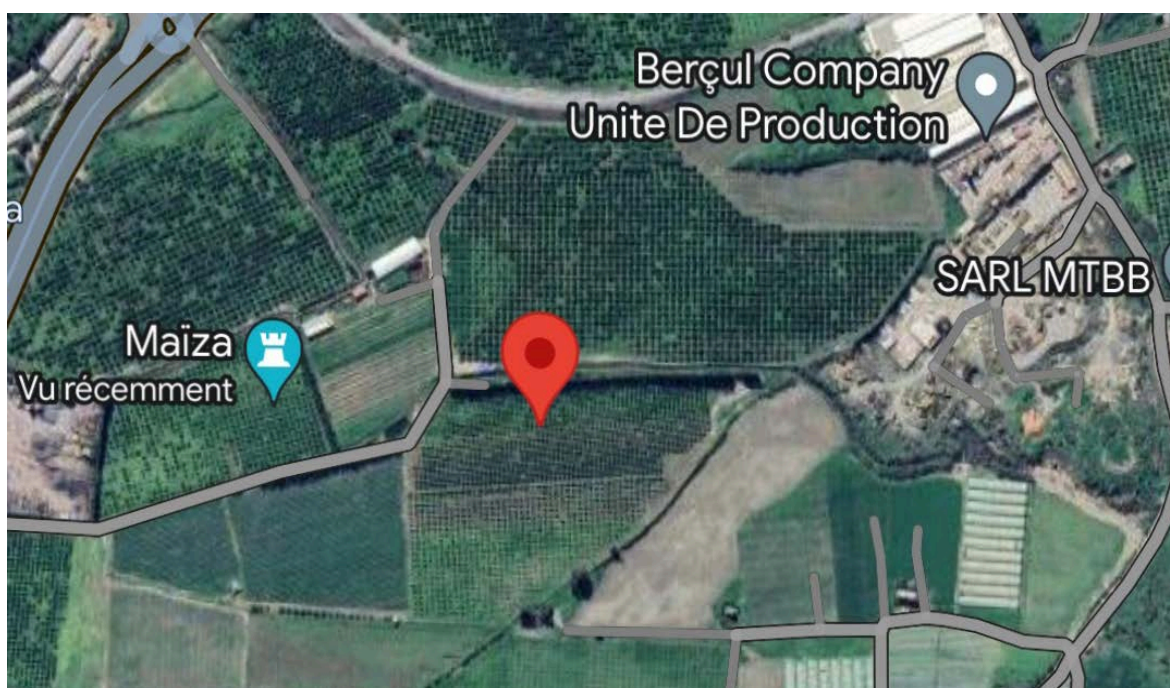


Figure 4 : Localisation du site d'échantillonnage sur une parcelle des frères Oumlil (Google Earthe, 2024)

III.3.3. Préparation des échantillons

III.3.3.1. Séchage à l'air libre et émiettement

III.3.3.2. Tamisage

Les deux sols prélevés et laissés sécher à l'air libre sont tamisés avec un tamis de 4 à 5mm.

III.3.4. Préparation du compost

Le compost utilisé pour la réalisation de cette étude a été fabriqué par notre encadreur Mme Omouri, préalablement caractérisé et testé de point de vue phytotoxicité voir annexe figure (4). Avant de le mélanger aux sols, le compost a été tamisé à 4-5mm.

III.3.5. Préparation des substrats

Après que les deux sols soient tamisés et que les taux de compost préparés, nous avons effectué des mélanges sols-compost de 75-25 et 50-50 et pour le témoin, 100 sol. Tous les mélanges et témoins sont mis dans des sacs en plastiques et étiquetés comme suit :

Pour le sol témoin, 4 volumes de sol argilo-limoneux et du sol sablo-limoneux ; Pour le traitement 1, un volume du compost et 3volumes du sol et pour le traitement 2, deux volumes de compost et deux de sol.

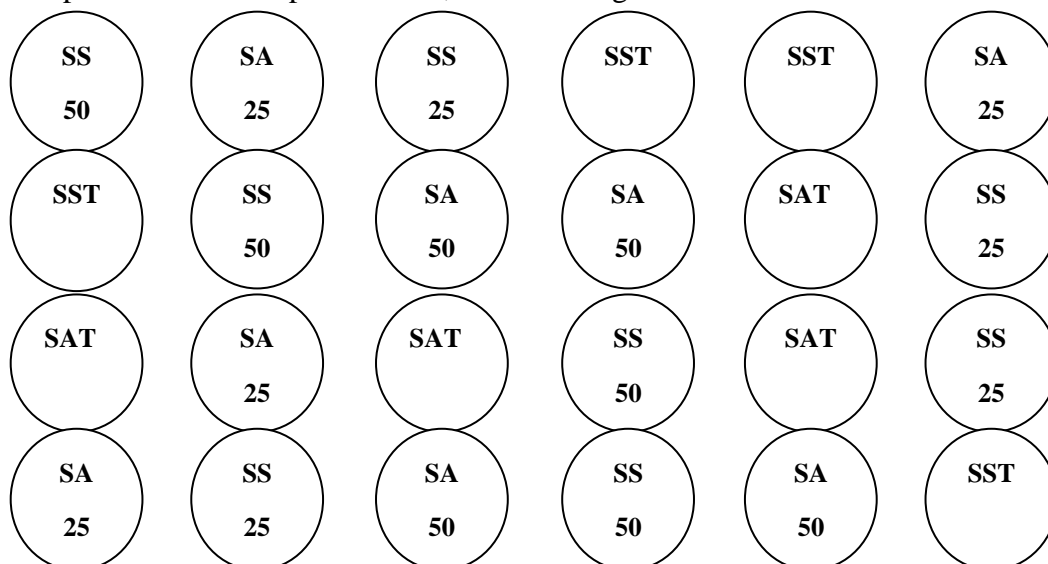
III.3.6. Mise en place du dispositif expérimental

Le dispositif mis en place en décembre 2023, comporte pour chaque type de sol:

- 4 sacs de sol témoin
- 4 sacs de compost à 25%
- 4 sacs de compost à 50%

Au total, 24 sacs disposés de façon aléatoire, dans lesquels nous avons transplanté les plants du triticale (variété Ecosium), préalablement semés en novembre dans des alvéoles. Ce type de dispositif est de type factoriel avec deux facteurs : type de sols avec deux variantes (sol sablo-limoneux et sol argilo-limoneux), et taux de compost appliqué avec trois variantes (0, 25 et 50%).

Le dispositif est mis en place in situ, dans un hangar à ciel ouvert à l'ITMAS.



Représentation du dispositif aléatoire



Figure 5 : dispositif aléatoire

III.3.7. Le suivi de l'essai

Le suivi consiste aux opérations suivantes :

- **Arrosage**

L'arrosage a été programmé à une fréquence d'une journée sur trois sauf en période pluvieuse.

- **Désherbage**

Cette opération consiste à se débarrasser manuellement de toutes les mauvaises herbes (adventices), pour réduire leur nuisibilité sur la plante cultivée.

- **Traitement phytosanitaire**

Le traitement phytosanitaire a été effectué sur l'ensemble des plantes de triticale en mois d'avril pour lutter contre le puceron par la deltaméthrine.

III.4. Echantillonnage et analyses chimiques du compost et des sols

Au mois d'avril, au stade laiteux pâteux le fauchage de notre plante (triticale) a été effectué, les échantillons de sols sont prélevés et le compost, homogénéisés, broyés et tamisés à 2mm.

III.4.1. Le dosage de l'azote total par la méthode Kjeldahl

III.4.1.1. Principe de la méthode

Le principe de la méthode consiste à transformer l'azote des composés organiques en azote ammoniacale par l'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré et à ébullition. Cet acide oxyde la matière organique, le carbone et l'hydrogène se dégagent sous forme de CO_2 et H_2O . L'azote se transforme en ammoniacque est fixé par H_2SO_4 à l'état de sulfate d'ammonium. Pour aider à cette transformation, la minéralisation est achevée en présence d'un catalyseur préparé au laboratoire (250g de cuivre, 250g de sulfate de potassium et de 5g sélénium) qui rend l'action de l'acide sulfurique plus oxydante en augmentant la température d'ébullition. L'ammoniacque formé est déplacée de sa combinaison en présence d'une quantité de NaOH en excès, distillée et recueilli dans de l'acide borique.

III.4.1.2. Mode opératoire

Consiste en une minéralisation et distillation (figures 6 et 7). Par la suite, un titrage par l'acide sulfurique (figure 8).



Figure 6 : distillateur



Figure 7 : minéralisateur



Figure 8 : beurette graduée (titration)

III.4.2. Le dosage du carbone organique total par la méthode Anne

III.4.2.1. Principe de la méthode

En général, on évalue la quantité de matière organique totale dans le sol en mesurant la teneur en carbone organique total (COT). On estime que le rapport entre la matière organique et le carbone est à peu près constant et égale à 1.72 (Dabin, 1970).

Le principe est basé sur la combustion humide des composés organiques à l'aide d'un mélange de bichromate de potassium et d'acide sulfurique à une température d'environ 125°C. Une fois la combustion humide terminée, on titre en retour le bichromate de potassium résiduel avec une solution de sulfate de fer (Anne., 1945).

III.4.2.2. Mode opératoire

Consiste à une oxydation à chaud avec le bichromate du potassium en présence d' H_2SO_4 , et titrage avec les sels de Mohr



Figure 9: Titration de la solution avec les sels de Mohr

Chapitre IV : Résultats et Discussions

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter la valeur amendante et fertilisante azotée et phosphatée du compost de boues d'épuration urbaine étudié et l'effet de son application à différents taux (0, 25% et 50%) sur : le statut organique, l'état de fertilité azotée et phosphatée des sols agricoles étudiés.

IV.2. Compost

IV.2.1. Valeur azotée et le rapport C/N du compost étudié

Le compost appliqué a fait l'objet du dosage de l'azote total et du carbone organique total. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Caractéristiques chimiques du compost appliqué aux sols

Paramètres	COT (%)	NTK (%)	C /N
Valeurs	23	1,006	13,29

IV.2.2. Discussion des résultats

Selon les résultats obtenus dans le tableau 6, on constate que le compost de boues d'épurations est moyennement riche en MO et avec un pourcentage de 23%.

Pour NTK la valeur observée est de 1,006 qui indique une bonne teneur en azote comparativement aux normes internationales

Le rapport carbone et azote C/N est d'une valeur située entre 10 et 15 ce qui indique selon les normes que le compost est de caractéristique amendement et fertilisant.

Selon Naserian et al (2021), ayant travaillé sur le compost des boues a publié une teneur moyenne en NT et de 1,25%, et une teneur moyenne de 25% de MO.

D'après ces résultats et les résultats illustrés dans le tableau (6) le compost des boues d'épuration comporte des caractéristiques similaires.

IV.3. Variation des taux de matière organique, de l'azote totale des sols étudiés sous l'effet des taux du compost apporté

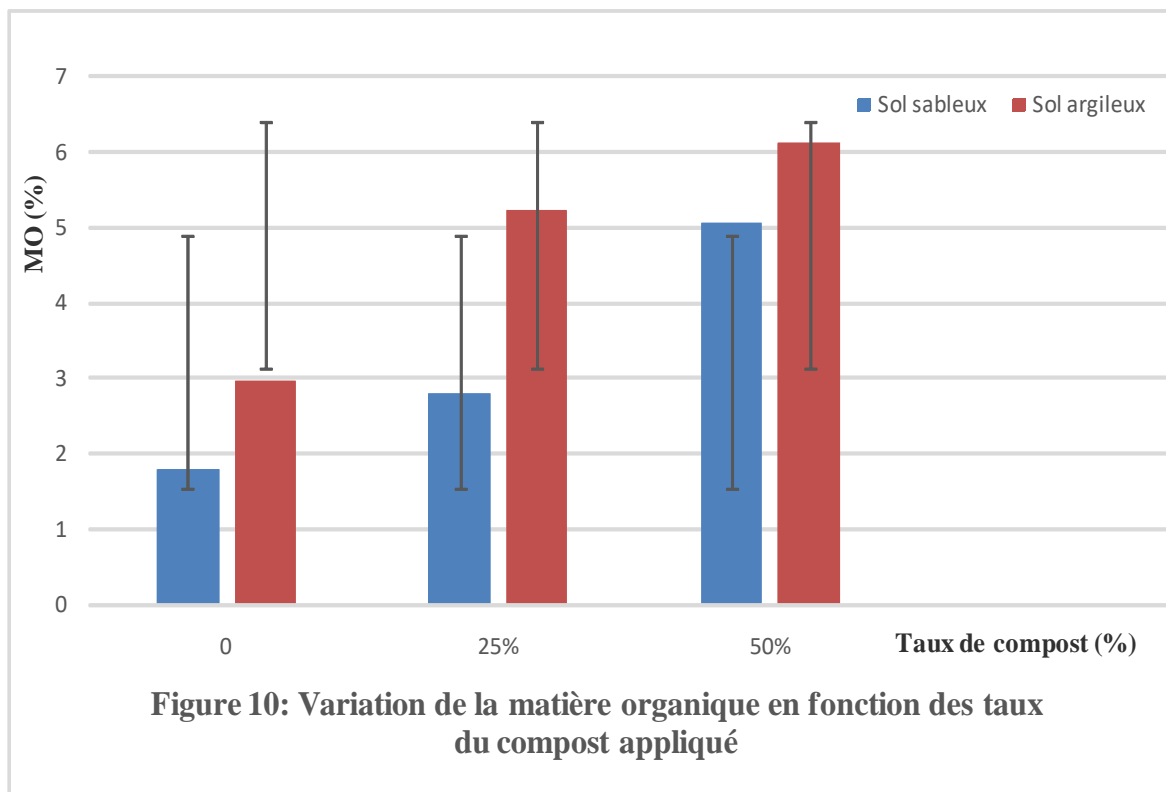
IV.3.1. Variation du taux de matière organique

IV.3.1.1. Résultats

La figure 11 qui présente les résultats obtenus montre que le taux moyen de la matière organique varie de 1,8% à 2,9% (Sols non amendés), de 2,8% à 5,1% pour les sols amendés avec 25% du compost et de 5% à 6% pour ceux qu'ils sont amendés avec 50%. L'apport du compost de boues d'épuration urbaines a augmenté le taux de matière organique (pour le sol sableux) de 35,93% dans les sols amendés avec 25% et de 64,65% pour ceux qu'ils sont amendés avec 50%.

L'apport du compost de boues d'épuration urbaines a augmenté le taux de matière organique dans le sol argileux de 43,49% pour les sols amendés avec 25% du compost et de 51,79% pour ceux qu'ils sont amendés avec 50%.

A partir des résultats, il ressort que le taux de matière organique des sols a augmenté avec l'augmentation des taux du compost apporté.



IV.3.1.2. Discussion des résultats de MO

Selon les normes internationales, les deux sols avant application de compost sont moyennement riches en MO avec une teneur moyenne de 1.8% pour le sol sableux et de 2,9% pour le sol argileux.

Avec un amendement de 25% de compost on constate une nette amélioration de la teneur moyenne de la matière organique pour les deux sols avec un taux de 2,79% pour le sol sableux et d'un taux de 5,23% pour le sol argileux.

Avec un amendement de 50% de compost une augmentation plus élevée de la teneur moyenne de la matière organique a encore été observé communément pour les deux types de sols avec une augmentation à 5,03% pour le sol sableux et jusqu'à 6.12% pour le sol argileux

Les résultats obtenus confirment la richesse de compost des boues d'épuration en matière organique (Baldoni et al. 1995), ce qui permet de le classer comme amendement organique (Dei Zan., 1989 ; Johnston., 1980 ; Levi Minzi et al., 1995).

L'augmentation de la valeur moyenne de la matière organique obtenue est en étroite corrélation avec l'augmentation de doses apportées communément pour les deux types de sols avant et après application de compost.

Avec un amendement de compost un taux de 2,79% à 25% de compost et un taux de 5,07% à 50% pour le sol sableux les résultats sont comparativement plus élevés au sol témoin (sans compost) qui est de 1.79%.

De même pour le sol argileux les doses de compost apporté ont montré une moyenne de la matière organique qui s'est élevée à mesure que la dose de compost augmente.

Les résultats obtenus sont confirmés par plusieurs chercheurs qui ont travaillé sur l'augmentation des niveaux de carbone organique dans le sol après l'ajout de boues de compost. En effet, Le Bissonais (2009) et Korboulewsky et al. (2001), ont affirmé que l'apport répété de compost de boues d'épuration, dont la matière organique est moins biodégradable, augmente les réserves d'humus du sol et stabilise les agrégats et un enrichissement significatif du carbone organique du sol après l'ajout de compost de boues d'épuration.

IV.4. Variation du taux d'azote total (NTK)

IV.4.1. Résultats

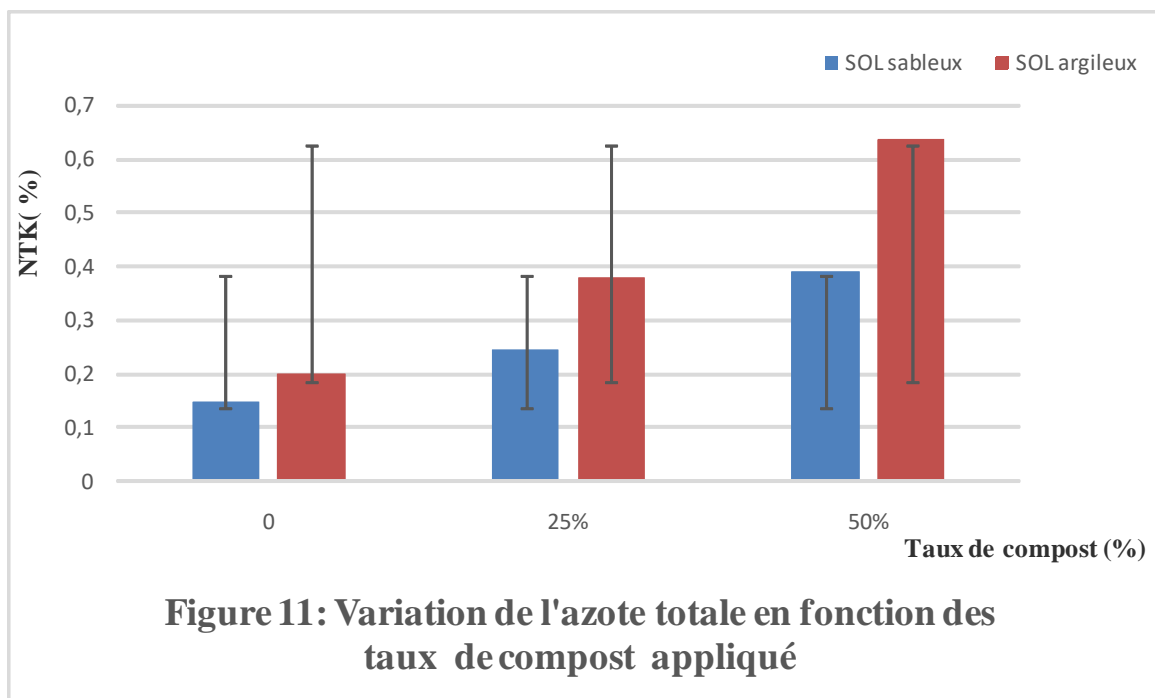
La figure 12 qui présente les résultats obtenus montre que le taux moyen de l'azote total varie de 0,1% à 0,2 (Sols non amendés), de 0,22 à 0,38% pour les sols amendés avec 25% du compost et de 0,38 à 0,6 pour ceux qu'ils sont amendés avec 50%.

L'apport du compost de boues d'épuration urbaines a augmenté le taux de NT (dans le sol sableux) de 40 % dans les sols amendés avec 25% et de 62.30% pour ceux qu'ils sont amendés avec 50%.

L'apport du compost de boues d'épuration urbaines a augmenté le taux de NT (sol argileux) de 47.10% pour les sols amendés avec 25% du compost et de 68.44% pour ceux qu'ils sont amendés avec 50%.

De plus, l'augmentation de l'azote totale est plus prononcée dans le sol argileux.

A partir des résultats, il ressort que le taux de NT des sols a augmenté avec l'augmentation des taux du compost apporté.



IV.4.2. Discussion des résultats de NTK

Selon les normes internationales, on constate que les sols non amendés présentent des teneurs moyennement élevées en NTK de 0,1% pour le sol sableux et 0,2% pour le sol argileux. Cela signifie que même sans l'ajout de compost, les sols disposent d'une fertilité azotée suffisante pour soutenir une bonne croissance de certaines plantes qui ne présentent pas des exigences azotées.

Pour les sols amendés avec 25% de compost présentent des teneurs élevées en NTK de 0,21% pour le sol sableux et de 0,38% pour le sol argileux ce qui indique une augmentation de la richesse du sol en azotée.

De même, l'ajout de 50% de compost rend le sol encore plus riche en azote avec des teneurs en NT de 0,38% pour le sol sableux et de 6% pour le sol argileux, Cela signifie que le composte des boues est très riche en azote.

Selon chalbouh et al (2013), le compost de boues urbaines est riche en éléments nutritifs, en l'occurrence pour l'azote, ce qui a été validé par le travail de Curci et al (2020), qui indiquent que plus la dose d'amendement organique de composte des boues d'épuration apporté sont élevée, plus la teneur en NTK augmente. Ces résultats sont conformes aux résultats obtenus illustrés par la figure 12.

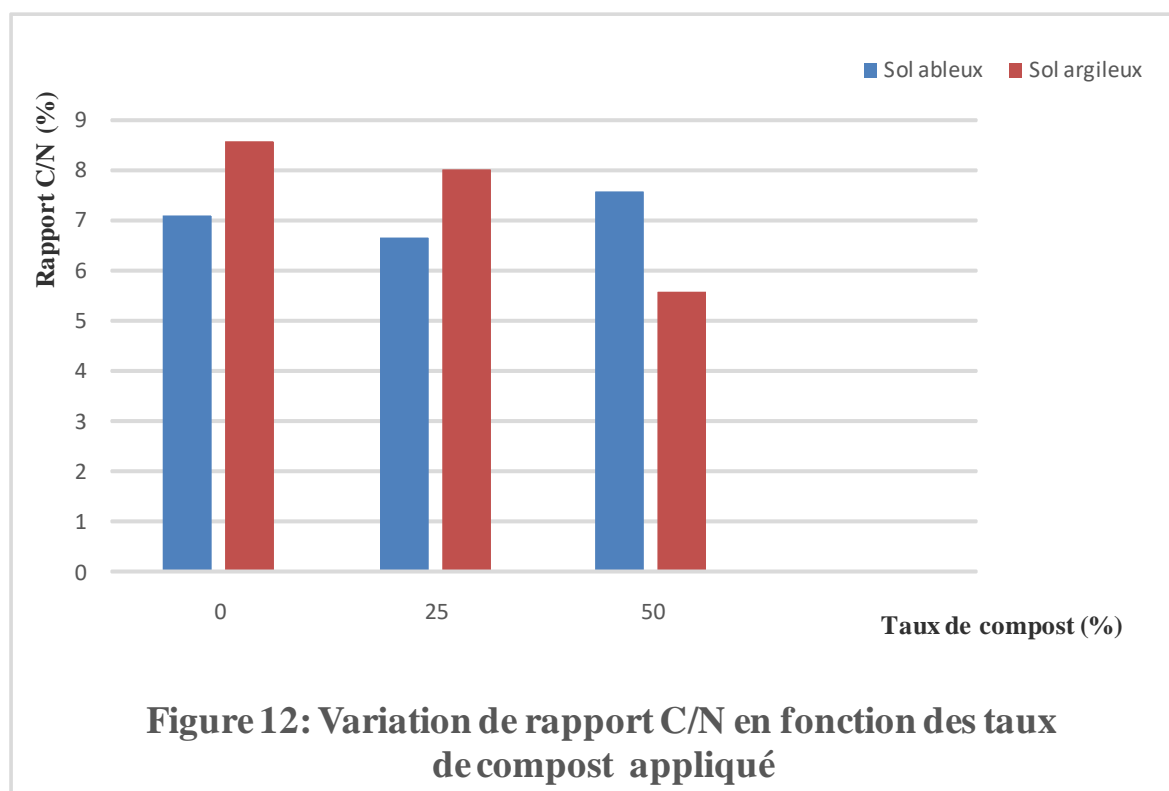
Selon la norme DBF-GCH 2009 Sinaj et al (2009) a proposé comme fumure des grandes cultures le compost des boues d'épuration étant un bon fertilisant azoté pour les céréales. En effet, les résultats de AMIRI et ZEMOUCHE (mémoire de master production végétale, en cours de réalisation) ont montré un effet sur l'augmentation de tous les paramètres de production y compris le poids des graines de la variété de triticales Ecosium cultivé avec l'ajout de compost de boues urbains.

IV.5. Variation du rapport C/N

IV.5.1. Résultats

La figure 13 qui présente les résultats obtenus montre que le taux moyen de rapport C/N varie de 7% à 8.5% (Sols non amendés), de 6,5% à 8% pour les sols amendés avec 25% du compost et de 7,5 à 5,5 pour ceux qu'ils sont amendés avec 50%.

A partir des résultats, on observe une diminution de la variation du rapport C/N des sols avec l'augmentation des taux de compost apportés.



IV.5.2. Discussion des résultats C/N

Selon les normes internationales, on constate que le sol sableux avant et après l'ajout de compost comporte des variations de rapport C/N faible, ce qui provoque une consommation rapide de la MO par les micro-organismes du sol.

De même, pour le sol argileux on constate que plus le taux de compost augmente la variation de rapport C/N diminue.

Selon Charnay (2005) quand le rapport C/N du compost est faible (< 10) la matière organique évoluera rapidement dans le sol et la minéralisation et l'ammonification seront optimales. Ces résultats sont conformes aux résultats obtenus illustrés par la figure 13.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Cette étude avait pour objectif de développer une approche expérimentale pour évaluer l'effet de l'application de compost de boues issues de station d'épuration sur la fertilité deux types de sols différents argileux-limoneux et sableux-limoneux.

Dans le but d'évaluation des paramètres clés de fertilité de sol, cette étude s'est axée sur la teneur moyenne de la matière organique, la teneur moyenne de l'azote avant et après application de compost de boues, qui après amendement on observe une différence significative et positive que le compost apporte au sol.

Sur le plan agronomique à l'image des résultats obtenus pour la fertilité azotée on a enregistré une teneur pour le sol argileux-limoneux de 0,38% et 0,63% à 25% et à 50% de compost comparativement plus élevé au témoin qui a été évalué à 0,20%, des résultats similaires ont été enregistré pour le sol sableux-limoneux.

De même pour la matière organique les résultats démontrent l'effet de compost lors des amendements apporté, en effet la teneur moyenne en matière organique augmente avec l'augmentation de taux de compost apporté, pour les deux types de sols étudié.

Les paramètres cités ci-dessus jouent un rôle très important dans le sol qui de par leur présence ou non dans le sol influencent sur les rendements et la qualité des cultures cultivées et parallèlement sur la qualité physique du sol sur la stabilité structurale et sa fertilité.

Le compost de boues urbaines peut être une alternative de succession aux engrais chimiques, dans le contexte actuelle ou la promotion des pratiques de gestion durable des terres agricole comme le semis direct ou encore la permaculture qui sont mises en avant, le compostage de boues aussi partage les valeurs écologiques et environnementales qui peuvent réellement apporter un changement sur la gestion durable des terres agricole.

Toutefois cette présente étude mérite d'être complétée par des essais expérimentaux en condition contrôlée (en serre) et en conditions réelles sur des parcelles agricoles afin d'évaluer l'impact sur les paramètres physiques et biologiques et sur la croissance et la productivité des cultures.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- 1. Alvarenga P, Mourinha C, Farto M, Santos T, Palma P, Sengo d, Morais M, Cunha-Queda C.,(2020):** Sewage sludge, compost and other representative organic wastes as agricultural soil amendments: Benefits versus limiting factors
- 2. Arvalis Institut de végétal, culture de diversification -chambre d'agriculture landes 2020 :** Fertilisation azotée du triticale. Réserver une part de la dose pour la fin de montaison: PERSPECTIVES AGRICOLES - N°377 - AVRIL 2011. p62-64
- 3. Abdul Hussein M.S., 1987:** La biologie et la variabilité génétique de plusieurs lignées de triticale cultivées en condition agro climatique de la wilaya de Batna-Algérie. Thèse de doctorat d'état, Inst.Agro. Cley-Napoa Roumanie, p115.
- 4. Anonyme 2006 :** La culture de triticale. Ed ITGC
- 5. Bernard M. et Bernard S., 1992 :** Développement et application des techniques de coloration différentielle des chromosomes chez les végétaux : caryotype et structure des chromosomes, identification des espèces et relation phylétique. Société Française de génétique.8 (3).X-II.
- 6. Balaganesh P, Vasudevan M, Natarajan N and Saragur M, Kumar S., (2020):** Improving Soil Fertility and Nutrient Dynamics with Leachate Attributes from Sewage Sludge by Impoundment and Co-Composting: © 2020 Wiley-VCH GmbH p 2000125 (1 of 9)
- 7. Cauderon Y., 1981 :** Origine et évolution de triticale. Industrie de céréale, 10,39.
- 8. Curci M, Lavecchia A, Cucci G, Lacolla G, Crecchio C., 2020 :** Effets à court terme de l'amendement du compost de boues d'épuration sur les sols semi-arides. Systèmes de sol 4 (3), 48, 2020
- 9. Đekić V, Milovanović M, Popović M, Milivojević J, Staletić M, Jelić M, Perišić V., 2014:** effects of fertilization on yield and grain quality in winter triticale. romanian agricultural research, NO. 31, 2014 Print ISSN 1222-4227; Online ISSN 2067-5720.
- 10. Đekić, V., Milovanović, M., Staletić, M., Perišić, V., 2010:** Investigation of yield components Kragujevac varieties winter triticale. Proceedings of researchpapers, 16, 1-2: 35-41
- 11. FAOSTAT., 2020:** Statistiques sur le triticale

Références Bibliographiques

12. **Feller C., 1995** : La matière organique du sol un indicateur de la fertilité. Application aux zones sahélienne et soudanienne. Agriculture et développement ■ n° 8 - p35-41
13. **FAO 2004**: Triticale improvement and production. ISBN 92-5-105182-8 P49
14. **Gasper J, Bunatru G., 1985**: Triticale Onovacereale. Edition Académie Romania Bucaresti p 11-120.
15. **Głaba T, Żabińska A, Sadowska U, Gondek K, Kopeć M, Mierzwa-Hersztek M, Taborc S, Stanek-Tarkowska J., (2020)** : Fertilization effects of compost produced from maize, sewage sludge and biochar on soil water retention and chemical properties : Soil & Tillage Research 197 (2020) 104493
16. **Hulse J H et Spurgeon D., (1974)**: Triticale. Scientific American 231: p 72-81
17. **Ivanova A and Kirchev H., 2014**: Agronomy performance of new triticales varieties (xTriticosecaleWittm.) grown under different regions 014 GJSR Journal. Vol. 2(3), pp. 71-75, 31 March, 2014 E-ISSN: 2311-732X.
18. **Jakubus M et Graczyk M., (2020)** : Variabilité des microéléments dans les plantes en tant qu'effet de l'application de compost de boues d'épuration évaluée par différentes méthodes statistiques : Agronomie 10 (5), 642.
19. **Kevin D, Smith S, Nordahl S, Chakrabarti A, Breunig H, Corinne D. Scown H, Leverenz H, Nelson K, Horvath A., (2022)**: Impacts environnementaux et économiques de la gestion des éléments nutritifs dans le digestat dérivé des boues d'épuration et des déchets organiques à haute résistance : Sciences et technologies environnementales 56 (23), 17256-17265.
20. **Laroche G, Grosjean F, Gate P et Bernicot M.H., 1994**: Le triticales du débouché à la culture In revue perspective agricole N° 188, p 1-24.
21. **Lalević D., Biberdžić M., Ilić Z., Milenković L., Tmušić N., Stojiljković J., 2019**: Effect of cultivar and increased nitrogen quantities on some productive traits of Triticales. Agriculture et foresterie 65 (4), p127-136.
22. **Lalević L, Biberdžić M, Ilić Z, Milenković L, Tmušić N, Stojiljković J., 2019**: Effect of cultivar and increased nitrogen quantities on some productive traits of triticales Agriculture & Forestry, Vol. 65 Issue 4: 127-136, 2019, Podgorica.

Références Bibliographiques

23. **Mutzing A., (1979). Triticale, Results and problem:** Fortsch. Der pflanzenBeikeftezurZeits, fur pflanzen, 10, 103 p.
24. **Mac key J., 1966:** Species relationship in Triticum. In: Mackey J(ed) Proceedings of the 2nd International Wheat Genetics Symposium, 1963.
25. **Montenach D, 2019 :** Les Matières Fertilisantes d'Origine Résiduaire une source de P-K pour vos cultures
26. **Richner W,Flisch R, Sinaj S, Charles R., (2020):** Détermination des normes de fumure azotée pour les grandes cultures ., Station de recherche AgroscopeReckenholz-Tänikon ART, 8046 Zurich 2Station de recherche AgroscopeChangins-Wädenswil ACW, 1260
Nyon Renseignements: Walter Richner, e-mail: walter.richner@art.admin.ch, tél. +41 44 377 71 65 : Recherche Agronomique Suisse 1 (11–12): 410–415, 2010
27. **Sâade ME., (1993):** Triticale production and utilisation inTunisia: constraints and prospects. Study Report .Mexico DF: CIMMYT, XII, 51 p. Series CIMMYT Economics working. Paper 95-04
28. **Sinaj S, Charles R, Baux A, Dupuis B, HiltbrunnerJ , Levy L, Pellet D, Blanchet G et Jeangros B 2017 :** Fertilisation des grandes cultures. Principe de fertilisation des cultures agricole en suisse (PRIF). p 8-46
29. **Wilson A.S. (1876). Wheat and Rye hybrids:** Proceedings Bot. Soc. Edinburgh, 12,286-288.
30. **Zillinski F.J. 1974:** The triticale improvement program at CIMMYT. Centre internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo. Londres 40, Mexico 6, D.F.
31. **Zillinski F.J. 1974:** The development of triticale. International Maize and Wheat improvement centre (CIMMYT).

Annexes

Annexes

Annexes 1 : Les carences en NPK chez le triticale



Figure 1 : Carence en azote chez le triticale



Figure 2 : Carence en phosphore



Figure 3 : Carence en potassium

Annexes

Annexes 2 : le rendement de triticales dans les deux types de sol (argileux et sableux)



Figure 4 : rendement de triticales dans le sol argileux avec (0%, 25% et 50% de CBU)



Figure 5 : rendement de triticales dans le sol sableux avec (0%, 25% et 50% de CBU)