

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

Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté des sciences Biologiques et sciences Agronomiques
Département des Sciences Agronomiques



Mémoire de fin de cycle universitaire

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences Agronomiques
Spécialité : Protection des Végétaux

Thème

**Contribution à la valorisation en
agriculture des boues résiduaires issues
de la station d'épuration de la ville de
Tigzirt/mer**

Présenté par :

M^{elle} OUBEKKOU Macilia

Évalué par le jury composé de

Grade

Lieu d'exercice

Président : M. ASLA T.

MAA

UMMTO

Promoteur : M. MEZANI S.

MCA

UMMTO

Examineur : M. TAGUEMOUT M.

MAA

UMMTO

Année universitaire : 2023/2024

REMERCIEMENTS

Je voudrais exprimer ma profonde estime et mes remerciements les plus respectueux à mon promoteur Dr MEZANI S., maître de conférences de classe A à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, à qui je dois respect pour avoir bien voulu diriger ce travail. Je souhaite aussi le remercier pour ses conseils judicieux, sa disponibilité durant toutes les étapes de ce modeste travail.

Mes remerciements les plus cordiaux s'adressent à monsieur le Professeur ASLA T. Maître-assistant A de l'Université de Tizi-Ouzou pour avoir accepté de présider ce jury, qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect.

Mes vives et sincères reconnaissances à Mr. TAGUEMOUT M. maître assistant A à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou qui a accepté d'évaluer ce travail et pour l'intérêt qu'il en a porté. Ainsi que Mr Cherfouh d'avoir effectué les analyses dans son laboratoire.

Je suis reconnaissante envers le personnel de la station d'épuration de la ville de Tizirt/mer à sa tête M. CHARA C. qui nous ont accueilli et partagé leurs connaissances. Leur contribution a enrichi considérablement ce mémoire.

Je tiens à remercier ma famille et mes amis pour leur soutien moral et leur encouragement constant. Leur présence et leur compréhension ont été d'un grand réconfort durant cette période de travail intense.

Enfin, je tiens à exprimer mes sincères gratitude et remerciements à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à l'élaboration de la présente étude et qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à ma formation scientifique.

Merci à tous pour votre aide précieuse



Dédicaces

A mes chers parents, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices et leur soutien indéfectible tout au long de mes études. Leurs foies en mes capacités m'ont donné la force de préserver et d'atteindre mes objectifs. Sans eux, ce travail n'aurait pas été possible.

A mes frères et sœurs, pour leurs encouragements constants qui m'ont aidé à surmonter les moments difficiles. Leur présence à mes cotés a été une source de réconfort et de motivation.

A mes professeurs et encadrant, pour leurs conseils avisés, leur patience et leur dévouement à ma formation. Leurs expertises et leur soutien ont été essentiels à la réussite de cette contribution.

A mes collègues de promotion, pour leur camaraderie et leur esprit de collaboration. Ensemble nous avons surmonté de nombreux défis.

 *Macicilia*

Liste des Tableaux

Tableau N° 01 : Composition générale des éléments fertilisants des boues des stations d'épuration (ADEME, 2000).	05
Tableau N° 02 : Caractéristiques des boues en fonction de leur valeur agronomique (Msatin et Selmi, 1999)	05
Tableau N° 03 : Composition en éléments utiles des boues	06
Tableau N° 04 : Teneurs limites actuelles en ETM.	14
Tableau N° 05 : Teneurs limites en ETM dans les boues résiduaires.	15
Tableau N° 06 : Valeurs limites de concentration en éléments traces métalliques dans les sols...	16
Tableau N° 07 : Superficies et production de la fève et féverole en Algérie durant la période 2004-2014 (M.A., 2014)	24
Tableau N° 08 : Superficies et production de la fève dans la wilaya de Tizi-Ouzou durant la période 2013-2023 (D.S.A.T.O, 2024)	25
Tableau N° 09 : Productions et rendements des différentes cultures des légumineuses pendant la campagne agricole 2022/2023 dans la région de Tizi-Ouzou (D.S.A.T.O, 2024)	26
Tableau N° 10 : Analyse de variance pour le facteur C.E	48
Tableau N° 11 : Analyse de la variance pour le facteur pH	48
Tableau N° 12 : Analyse de la plus petite différence significative (p.p.d.s)	49
Tableau N° 13 : Homogénéité des groupes	49

Liste des Figures

Figure N° 1 : Aspect morphologique de <i>V. faba</i> . (Mezani, 2016) dans la région de Tizi-Ouzou (D.S.A.T.O, 2024)	21
Figure N° 2 : Importance des superficies de culture des diverses légumineuses alimentaires dans la région de Tizi-Ouzou (D.S.A.T.O, 2024)	26
Figure N° 3 : Variétés de la fève présentes en Algérie (Mezani, 2016)	28
Figure N° 4 : Principales maladies de la fève (Mezani, 2016)	33
Figure N° 5 : Insectes ravageurs de la fève (Mezani, 2016)	35
Figure N° 06 : photo de la station ONA Tigzirt prise par nous-même	37
Figure N° 07 : Echantillon de la boue résiduaire prélevée sur l'air de stockage.....	38
Figure N° 08 : Echantillon du sol témoin utilisé lors de l'expérimentation	38
Figure N° 09 : Illustration de notre unité expérimentale	39
Figure N° 10 : la fève (<i>vicia faba</i>) de la variété major	40
Figure N° 11 : processus de préparation des pots.....	41
Figure N° 12 : illustration de la mesure du pH de la solution du sol	42
Figure N° 13 : illustration de la mesure de la CE de la solution du sol	42
Figure N° 14 : Le pH-eau des échantillons	46
Figure N° 15 : Conductivité électrique des échantillons	46
Figure N° 16 : Taux de germination (%)	50
Figure N° 17 : Longueur de la tige (cm)	51
Figure N° 18 : effet sur le nombre des tiges/pieds.....	52
Figure N° 19 : Effet sur la floraison	53
Figure N° 20 : Effet sur le nombre de gousses	54
Figure N° 21 : effet sur le rendement.....	54

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Liste des abréviations

Liste des Figure

Liste des Tableaux

Introduction..... 1

CHAPITRE I : Généralités sur la valorisation des boues en agriculture

1. Valorisation agricole des boues résiduaires.....	04
1.1. Aspect agronomique.....	05
1.2. Teneur des boues en éléments nutritifs.....	06
2. Boues utilisées comme amendement.....	06
Amendements basiques.....	07
Amendements organiques.....	07
3. Effets d'application des boues résiduaires sur le sol et le végétal.....	07
Effets des boues sur le sol.....	07
Effets d'application des boues sur les végétaux.....	09
Effets toxiques sur les sols et les végétaux.....	09
4. Épandage des boues d'épuration.....	11
Conditions d'épandage.....	11
Périodes d'épandage.....	11
Surfaces d'épandage et distances à respecter.....	12
Causes des difficultés rencontrées par la filière d'épandage.....	12
Peurs alimentaires.....	12

Nuisances olfactives	12
Freins de la part des agriculteurs	13
5.. Réglementation des boues d'épuration urbaines.....	13
Au niveau de l'Union Européenne.....	13
En France.....	15
Aux Etats-Unis	17
En Algérie.....	17

CHAPITRE II : Généralités sur la fève *Vicia faba*L.

1. Introduction	19
2. Origine et répartition géographique.....	19
3. Position systématique	19
4. Description de l'espèce <i>V. faba</i>	20
5. Valeur nutritionnelle.....	21
6. Intérêts agroéconomiques	22
6.1 Intérêt agronomique.....	22
6.2 Intérêt économique	23
6.3 Superficie et production de la fève dans la wilaya de Tizi-Ouzou	24
6.4 Superficie cultivée, production et rendement de la culture de la fève par rapport aux autres cultures de légumineuses alimentaires dans la wilaya de Tizi-Ouzou.....	25
7. Différentes variétés de la fève (<i>V. faba</i>) présentes en Algérie	26
8. Exigences de la fève	28
9. Contraintes de la culture de fève en Algérie	29
9.1 Contraintes abiotiques	29
9.2 Contraintes culturelles et socio-économiques	30

9.3 Contraintes biotiques.....	31
10. Contraintes de la culture de fève en Algérie	34

Chapitre III : Matériels et méthode d'étude

1. Présentation générale de la STEP de la ville de Tizirt/mer	37
2. Matériels utilisés.....	38
2.1 Matériel physique.....	38
2.1.1 Boues résiduaires.....	38
2.1.2 Le sol.....	38
2.1.3 L'unité expérimentale.....	39
2.1.3.1 Matériels de laboratoire et de terrain pour le suivi de l'expérimentation	39
2.2 Matériel biologique	40
2.2.1 Matériel végétal : La fève <i>Vicia faba</i> L.var.major	40
3. Méthodologie	40
3.1 Dispositif expérimentale	40
3.2 Paramètres analytiques.....	39
3.2.1 Analyse effectuée sur la boue et le sol.....	41
3.2.1.1 Potentiel d'hydrogène(pH).....	41
3.2.1.2 Conductivité électrique (CE).....	42
4. Mode opératoire.....	43
4.1Analyse effectuée sur le végétal.....	43
4.1.1 Mesures biométriques	43
4.1.2 Production végétale.....	43
5. Chronologie de l'expérimentation.....	43

5.1 Semis	43
5.2 Suivis de la culture.....	43
5.3 Récolte.....	44
6. Analyse statistique (ANOVA)	44

Chapitre IV : Résultats et discussion

1. Résultats.....	46
1.1 Résultats des propriétés physico-chimiques du sol, boue et mélange boue-sol.....	46
1.1.1 Potentiel d'hydrogène(pH)	43
1.1.2 Conductivité électrique (CE).....	43
1.2 Analyse statistique (ANOVA).....	47
1.2.1 Analyse de la variance pour le facteur CE (Conductivité électrique).....	47
1.2.2 Analyse de la variance du facteur PH	49
1.3 Résultats des paramètres agronomiques de <i>V. faba</i> L. var major.....	50
1.3.1 Effet sur la germination des graines (%).....	50
1.3.2 Effet sur la taille	51
1.3.3 Effet sur le nombre de tiges par pieds	52
1.3.4 Effet sur le nombre de fleurs	53
1.3.5 Effet sur le nombre de gousse	54
1.3.6 Effet sur le rendement	54
2. Analyse de variance des variables étudiées.....	55
2.1 Analyse de la variable (germination des graines) (%).....	55
2.2 Analyse de la variable (longueur des tiges)	56

2.3 Analyse de la variable (nombre de tiges par pieds)	56
2.4 Analyse da la variable (nombre de fleurs par pieds).....	56
2.5 Analyse de la variable (nombre de gousse par pieds).....	57
2.6 Analyse de ka variable (nombre de grains par pieds)	57

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives	59
----------------------------------	----

Références bibliographiques

Résumé

Introduction

Les stations d'épurations génèrent des déchets en quantités de plus en plus élevées, que sont les boues résiduaires. Ces dernières deviennent très vite envahissantes et la solution simple qui consiste à laisser sécher au niveau des stations d'épuration devient ingérable par manque d'espace. Le problème se résume à comment s'en débarrasser et éliminer ces résidus dans les conditions les plus économiques.

L'utilisation de boues traitées dans l'agriculture peut réduire considérablement le coût d'élimination, protéger l'environnement, réduire les prix par rapport aux engrais commerciaux, offrir des nutriments essentiels aux plantes et augmenter la fertilité des sols (Dominguez et al, 2012). Des ajouts organiques sont nécessaires pour améliorer la fertilité et la productivité des sols dans les terres pauvres en raison de la faible concentration de matière organique (Scholz, 2016).

La valorisation de ces boues résiduaires en agriculture semble le moyen le plus efficace du point de vue écologique et économique, à savoir que cette pratique a un double objectif ; mettre à profit les capacités biologiques naturelles des sols et réintroduire les éléments dans les cycles naturels, valoriser leurs propriétés fertilisantes pour les cultures.

Actuellement, les boues d'épuration sont utilisées en agriculture comme engrais organique pour fournir aux cultures les éléments nutritifs nécessaires à leur croissance et à leur développement (Many, 2005). L'effet direct de la matière organique contenue dans les boues résiduaires se ressent sur l'amélioration des propriétés physico-chimiques des sols en augmentant leur capacité d'échange cationique, en améliorant leur perméabilité et en stabilisant les agrégats du sol pour mettre les cultures dans les meilleures conditions de croissance et obtenir un rendement optimal (Abdmeziane et Talbi, 2006).

En Algérie, les déficiences en matières organiques et éléments fertilisants constituent un deuxième facteur limitant après l'eau dans la production végétale, toute fois l'application des boues résiduaires au sol s'avère un alternatif, vue sa richesse en matière organique biodégradable et éléments fertilisants.

Dans ce contexte et dans le cadre du développement durable, nous nous sommes portés à contribuer à l'étude de la valorisation organique d'une boue résiduaire issue de la station d'épuration de la ville de Tizirt/mer sur la croissance, le développement et le rendement d'une culture de la fève *Vicia faba* L. var. major menée sous serre dans des pots à différents traitements sol-boue.

Le but de cette étude est de déterminer l'impact de l'application de diverses fractions de boues urbaines issues de la station d'épuration de la ville de Tizirt/mer sur les propriétés d'un sol témoin en pot, et le développement de la culture de cette plante dans un mélange de boue-sol.

Ainsi, notre travail a comme objectif principale étude de l'effet fertilisant de ces boues sur le rendement et le comportement morphologique de notre plante test qui est la fève.

Nous avons scindé notre travail en quatre chapitres.

Dans le premier, nous présentons un aperçu bibliographique sur les boues résiduaires et leur valorisation agronomique et dans le deuxième chapitre, nous traitons des généralités sur la fève *Vicia faba* L. var. major. Le troisième chapitre de notre étude comporte une présentation globale de la zone d'épuration de la ville de Tizirt/mer suivie de matériels et méthodes.

Dans le quatrième chapitre, nous donnerons l'analyse des résultats obtenus, leurs traitements statistiques et leur discussion. Enfin, nous terminons notre étude avec une conclusion où nous donnons quelques recommandations et perspectives sur la valorisation des boues résiduaires en agriculture.

Chapitre I. Généralités sur la valorisation des boues en agriculture

L'utilisation des boues résiduaires en agriculture est une pratique qui s'est considérablement développée, cette pratique constitue une solution particulièrement favorable à l'environnement car elle offre l'opportunité de recycler la matière organique nécessaire au sol.

Quelle que soit sa forme (épandage de boue liquide, pâteux, solide ou sèche), la valorisation agricole doit être précédée d'une enquête préalable, et s'entourant de toutes les précautions scientifiques, techniques et réglementaires (O.T.V., 1997).

1. Valorisation agricole des boues résiduaires

La valorisation agricole des boues est aujourd'hui la filière la plus utilisée, filière historique qui devrait perdurer, non tant du fait de son coût qui est moindre, mais davantage parce qu'elle s'inscrit dans la perspective de recyclage de matières utiles, à la condition cependant qu'une qualité indiscutable des boues soit obtenue et que son acceptation par tous les acteurs soit mieux admise (Anonyme, 1999).

Les recherches menées sur les boues des stations d'épuration en Belgique (Xanthlis, 1980), en France (François et *al.*, 1981) et en Tunisie (Bahri et *al.*, 1987) ont fourni des résultats prometteurs, tant du point de vue de l'évolution physiques, chimique, que celui des rendements de cultures. En Algérie, la mise en place récente de plusieurs stations d'épuration des eaux usées justifie que l'on s'intéresse à une possible valorisation des boues qui en sont issues.

La valorisation en agriculture des boues résiduaires est intéressante, tant par les quantités de matières organiques qu'elles contiennent que par la présence en quantités appréciables d'éléments fertilisants (Moleta et Cansell, 2003 ; Koller, 2004) (Tableau N° 01).

Cette filière permet le retour au sol de la matière organique et de ses composés fertilisants, réduisant d'autant l'utilisation d'engrais minéraux coûteux (Guirkinger, 2006).

Tableau N°01 : Composition générale des éléments fertilisants des boues des stations d'épuration (ADEME, 2000).

Matière sèche (MS)	2à9% selon la siccité
Matière organique	50à 70%de MS (30% si boues chaulées)
Azote	3%à 9%de la MS
Phosphore	4%à6% de la MS
Potasse	<à 1% de la MS
Magnésie	<à 1% de la MS
Chaux	4% à8% de la MS (25% si boues chaulées)
Carbone/azote	5à12%

Aspect agronomique

Du point de vue agronomique, des boues sont classées en fonction des rapports matières volatiles (MV)/matière sèche (MS), et matière volatiles/(N). Pour les agricultures, les boues sont d'autant plus intéressantes qu'elles sont plus sèches (Tableau N° 02).

On admet qu'une tonne de matière sèche contient 40 à 60Kg d'azote, dont 30 à 60% peuvent être minéralisés la première année (Abdmeziem et Talbi, 2006).

Tableau N° 02 : Caractéristiques des boues en fonction de leur valeur agronomique (Msatin et Selmi, 1999).

Rapport MVS/NT	MV/MS <10%	10%<MV/MS <25%	25%<MV/MS <60%	MV/MS>60%
<40%	Minérales azotées	Faiblement organique azotées	Organique azotées	Fortement organique azotées
>40%	Minérales peu azotées	Faiblement organique peu azotées	Organique peu azotées	Fortement organique peu azotées

Teneur des boues en éléments nutritifs

Compte tenu des multiples procédés épuratoires utilisés dans les stations, les boues présentent une diversité de composition. Si l'on retrouve toujours les mêmes éléments, les teneurs relatives peuvent être différentes selon le type de boues. Cette diversité peut astucieusement être mise à profit pour tenir compte du type de boue à produire selon les débouchés agronomiques.

Le Tableau N°03 donne la composition en éléments les plus communément rencontrés dans les boues (Abdmeziem et Talbi, 2006).

Tableau N°03 : Composition en éléments utiles des boues.

	Boues liquide	Boues pâteuses	Boues chaulée	Boues compost	Boues Sèche
Teneur en matières sèches MS	2à7	16à22	90à95	25à40	40à60
Teneur en matière organiques% MS	65à70	50à70	50à70	30à50	80à90
Teneur en matières Minérales % MS	30à35	30à50	30à50	50à70	10à20
Ph	6,5à7	7à8	6à8	9à12	6à7
Rapport(C/N)	4à5	5à6	4à6	8à11	15à25
Azote (Kg N/T brute)	2à4	8à12	30à50	6à9	5à9
Phosphore (kg P ₂ O ₅ /T brute)	2à3	6à9	50à70	6à10	6à8
Potassium (kg K ₂ O/T brute)	0.9	0.8	5	1	1à2

2. Boues utilisées comme amendement

Les amendements agissent sur les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol pour mettre les cultures dans les meilleures conditions de croissance et obtenir un rendement optimal (Abdmeziem et Talbi, 2006).

Amendements basiques

Anciennement appelés « calciques et/ou magnésiens » sont utilisées pour réduire l'acidité des sols trop acides (relever le pH jusqu'à la valeur optimum de 6,5). Ils réduisent aussi la battance des sols limoneux et améliorent la structure du sol, les boues chaulées constituent un amendement basique (Abdmeziem et Talbi, 2006).

Amendements organiques

Les amendements organiques sont utilisés pour entretenir ou corriger la teneur du sol en matières organiques stables (humus) et améliorer les propriétés biologiques, physiques et chimiques (structure, perméabilité, activités des micro-organismes, augmentation de la rétention des nutriments...), la réglementation précise que leur teneur en azote ou phosphore (P_2O_5), ou potasse (K_2O) ne doit pas dépasser 3% du produit brut ; les boues compostées constituent un amendement organique (Abdmeziem et Talbi, 2006).

3. Effets d'application des boues résiduaires sur le sol et le végétal

Effets des boues sur le sol

Effets des boues sur l'activité biologique du sol

L'apport des boues sur un sol stimule son activité biologique. Cette activation participe d'une manière très active à la nutrition des plantes et à l'amélioration des qualités physiques du sol.

Effets sur la stabilité structurale

Les apports de boues vont en effet permettre d'enrichir le sol en matière organique, mais également d'améliorer certaines propriétés des sols telles que la porosité et la structure (Sommer, 1977 ; Korantajer, 1993 ; Pagliai et *al.*, 1993 ; Agoun, 1998 ; Illera et *al.*, 2000).

Les boues ont un effet plus durable sur la stabilité structurale d'un sol que celui d'un engrais vert et moins que celui d'un fumier.

La richesse des boues en matière organique améliore le bilan hydrique du sol par accroissement de la réserve en eau utile, mais une telle action nécessite un apport important de carbone, alors qu'un effet structural marquant apparaît même pour des doses d'apport plus faible (Morel Jacquin, 1978 in Berchiche et Ladjimi, 2010).

En outre, Kockmann (1999) a montré que les boues chaulées ont un mode d'action comparable à celui d'un amendement minérale classique à savoir :

- Une action positive sur la structure, amélioration de la résistance des agrégats à la destruction par l'eau.
- Un meilleur développement racinaire avec un accroissement notoire du volume de sol exploré.

Certains composés organiques présent dans les boues, notamment les lipides, vont influencer sur la capacité de rétention en eau des sols amendés, sur leur stabilité, et pourront induire des retardements dans la croissance des plantes (Chang et Patrick, 1976 ; Tambuet *al.*, 1978 ; Stevenson, 1994 ; Gonzalen Vila et *al.*, 1999 in Ablain, 2002).

Effets sur la perméabilité

L'incorporation de boues dans le sol augmentent la perméabilité du sol ou la vitesse d'infiltration de l'eau, qui représente une conséquence de l'amélioration de la structure (Sommer, 1977 ; Pommel, 1979 ; Morel et Jaouin, 1980 ; Kockmann, 1996).

Effets sur les éléments chimiques

Des apports de boues provoquent un enrichissement des sols en azote total (Sabey, 1975 ; E.N.S.A.L.A, 1976). Une fraction de cet azote entrera dans la composition des molécules organiques à évolution lente et sera ainsi stocké puis remis progressivement à la disponibilité des plantes au rythme de la minéralisation de ces substances (Zandjable et Akache, 1976).

L'application des boues accroît les teneurs des couches supérieures du sol en phosphore assimilable qui serait progressivement fixé dans le sol, notamment dans le cas où l'apport de boue provoque une modification importante du pH (Kelling et *al.*, 1917 et Gacem, 1999 in Berchiche et Ladjiml, 2010).

L'assimilabilité du phosphore apporté par les boues est plus grande sur les sols acides ou neutres que sur les sols alcalins et varie avec les causes de conditionnement de ces déchets (Pommel, 1975).

Effets d'application des boues sur les végétaux**Effets sur la croissance et le rendement**

Plusieurs travaux de recherche ont montré que l'apport de boues contribue à la nutrition minérale des cultures principalement en azote et en phosphore (Ailane, 1998 ; Sedhoumi, 2001).

Guckert et Morel (1979), observent dans le cadre d'une rotation triennale : Betterave-Blé-Orge des différences de rendement en tonne de racines par hectare et en tonnes de sucre par hectare pour la betterave en faveur des parcelles enrichies de boues.

Ces action positives sur la croissance et le rendement sont dues, selon Pommel (1979), à une meilleure mise à disposition de la plante des éléments nutritifs, à la correction d'une carence en oligo-éléments et à un apport supplémentaire d'eau dans le cas des boues liquides.

Les expérimentations réalisées pour l'intérêt agronomique des boues sur champ pour une culture de blé montrent que l'apport de boues entraîne une augmentation du rendement (Syprea, 2000).

Effets physiologiques particuliers

Les boues ayant reçus un traitement inadéquat peuvent conduire à une inhibition de la germination et des troubles de la croissance des plantules (Pommel, 1979).

Supersperg (1975) in Amriou et Mansouri (1991), a également constaté une diminution du poids de 1000 graines de blé de printemps.

Effets toxiques sur les sols et les végétaux

A côté de leur valeur fertilisante certaine, les boues d'épuration contiennent aussi des éléments indésirables apportés en quantité plus ou moins importantes par les effluents urbains.

Il s'agit essentiellement des éléments métalliques (ETM), éléments traces organiques (COT) et des germes pathogènes.

Sur les sols

La présence dans le sol des ETM et CTO dont certains sont toxiques et cancérigènes constitue un facteur limitant important pour leur emploi dans l'agriculture (Petitjean, 1996 ; Jakubuset Czka, 2001) Si les quantités d'éléments traces métalliques ne sont pas contrôlées et maîtrisées, l'emploi des boues peut poser des problèmes de qualité des sols (Alloway et Jackson 1991) et contribuer à une importante accumulation des ETM (Benterrouche, 2007).

Des études sur des essais agronomiques de longue durée avec épandage à des doses élevées de boues fortement contaminées ont mis en évidence une augmentation significative de la teneur en ETM dans les sols (Just *et al.*, 1995).

Dans le cas d'apport des boues réglementaires à des doses agronomiques raisonnées, il n'y a pas d'augmentation significative des ETM dans les sols.

La comparaison sur des essais de longue durée en Angleterre et en France, entre les quantités importantes d'ETM apportées par les boues et celle retrouvées dans les sols après plusieurs années d'épandage fait apparaître un défaut de bilan important pouvant aller jusqu'à 70% (Just *et al.*, 1995). Ce défaut de bilan est attribué à l'érosion et au ruissellement. Les effets à long terme des ETM sur l'activité microbologique des sols sont moins connus car difficiles à appréhender scientifiquement.

L'incidence des ETM sur les micro-organismes du sol a fait l'objet de nombreux travaux (Sommers, 1963 ; Corfields, 1977 et Chaussoud et Muller, 1984 ; Broukes et Grath, 1989). Il ressort que la présence de certains métaux dans le sol peut se traduire par une diminution de la biomasse microbienne, une réduction de l'activité respiratoire et du taux d'adénosine triphosphate (ATP).

Au même titre que les ETM, les COT peuvent devenir toxiques pour les micro-organismes des sols à fortes doses ; or ces derniers sont indispensables à la fertilité des sols.

Des risques sanitaires liés à la présence de germes pathogènes sont également à prendre en considération, même si ceux-ci demeurent faibles, surtout pour les produits qui ont été préalablement compostés ou déshydratés. En outre, le pouvoir épurateur du sol a ses limites.

Ces risques s'expriment essentiellement à court terme, selon le temps de survie de ces microorganismes dans le sol (quelques jours à quelques mois).

Malgré le danger immédiat qui peut être causé par les pathogènes, ils demeurent plus maîtrisables que les problèmes liés aux ETM (Soudi, 2005, in Benterrouche, 2007).

Sur les végétaux

La toxicité des métaux lourds contenus dans les boues a été démontrée par plusieurs expérimentateurs : King et Morris (1972), Walker (1975) pense que le cadmium ne présente plus de risque s'il se trouve en petite quantité (autour de 1%) par rapport au zinc.

A l'intérieur de la plante les métaux lourds ont tendance à se concentrer plus dans les organes végétatifs que dans les graines et plus dans les tissus âgés que dans les tissus jeunes (Pommel, 1979).

4. Épandage des boues d'épuration**Conditions d'épandage**

L'opération de valorisation agricole est inscrite dans le cadre d'une organisation d'épandage parfaitement structurée ; elle répond à des règles strictes.

Les éléments à prendre en compte pendant l'opération de valorisation agricole (Dudkowski, 2000) :

- ✓ Analyse des boues et vérification de leur conformité ;
- ✓ Suivi de leur valeur agronomique ;
- ✓ Plan d'épandage ;
- ✓ Suivi des sols et des parcelles de référence.

Ces mesures doivent s'accompagner d'étude du milieu récepteur (sol agricole) (Abdmeziem et Talbi, 2006).

Périodes d'épandage

Les périodes d'épandage sont déterminées en fonction de nombreux critères tels que les types de culture, l'occupation des sols, l'accessibilité aux parcelles, la disponibilité de l'agriculture, les risques de lessivage de l'azote et la réglementation en vigueur (Abdmeziem et Talbi, 2006).

La réglementation européenne prévoit deux grandes périodes d'épandage :

- ✓ Le printemps : de Mars à Avril ;
- ✓ A la fin de l'été d'Août à Octobre.

Surfaces d'épandage et distances à respecter

Les boues ne doivent ni n'être épandues ni stockées à :

✓ Moins de 35 mètres des puits, forages, cours d'eau, sources et tous points d'eau ; distance portée à 100 mètres si la pente du terrain est supérieure à 7% et à 200 mètres dans le cas de boues non solides ou non stabilisées ;

✓ 5 mètres au moins des berges des cours d'eau dans le cas des boues stabilisées et enfouies dans le sol immédiatement après l'épandage à condition que la pente soit inférieure à 7% ;

✓ 100 mètres au moins des habitations et des zones de loisirs ainsi que tous lieux publics, sauf dans le cas de boues hygiénisées, stabilisées et enfouies immédiatement ;

✓ 500mètres des zones conchylicoles ;

✓ 3 mètres des routes et des fossés.

Selon l'importance de la quantité de boues produites, les surfaces nécessaires à l'épandage doivent être recherchées dans un périmètre bien grand.

Causes des difficultés rencontrées par la filière d'épandage**Peurs alimentaires**

Au durcissement de la réglementation, s'ajoute la montée des préoccupations environnementales et sanitaires de l'opinion publique, inquiétude légitimes sur les risques encourus dans un contexte alarmiste : ESB, OGM, pollutions environnementales (eau, atmosphère, sol), même si le grand public n'a pas pris part au débat sur l'épandage agricole des boues d'épuration (Anonyme, 2001).

Nuisances olfactives

Les boues résiduelles, produits ultimes de l'assainissement de l'eau, sont sources de mauvaises odeurs. C'est l'épandage de boues liquides qui est le plus malodorant, un enfouissement de quelques centimètres lors de l'épandage permet de pallier ce désagrément.

Le compostage est un moyen de maîtrise des odeurs et de changer les gadoues en de conventionnels terreaux. Il est à noter que comparativement à l'épandage des déjections animales, les effluves malodorants dû aux boues sont minimales (Anonyme 1, 2001).

Freins de la part des agriculteurs

La pression de l'opinion pourrait retentir sur la motivation des agriculteurs, déjà largement atteinte par la crise de « la vache folle » et par les pertes financières subies par les éleveurs. S'ajoute encore la crainte d'une dévalorisation économique des terres ayant été épandues.

De plus, certaines industries agroalimentaires ainsi que certains groupes de la grande distribution n'acceptent aucun produit agricole issu de terres où des boues ayant été épandues. S'il est nécessaire de sensibiliser les agriculteurs au bien-fondé de l'épandage, il convient de les informer également sur les risques liés à cette pratique.

La pérennité des filières d'élimination des boues passe obligatoirement par une participation renforcée du monde agricole à ce processus (Anonyme 1, 2001).

5. Réglementation des boues d'épuration urbaines

La réglementation nationale et internationale vise à permettre une valorisation des éléments utiles contenues dans les boues, sans qu'il en résulte d'inconvénients pour la santé ni pour la qualité des eaux, des sols et des produits agricoles.

Au niveau de l'Union Européenne

L'épandage est la solution apparaissant comme privilégiée dans la logique de la politique européenne digestion des déchets, donnant la priorité au recyclage des matières. La directive 86/278/ CEE du 12 juin 1986 relative à la protection de l'environnement (et notamment à celle des sols) définit les pratiques d'utilisation agricole des boues d'épuration municipales. L'Europe a soutenu de nombreux travaux scientifiques et encouragé des rencontres, échanges et discussions pour une meilleure harmonisation européenne, dans le cadre du programme de recherche COST 68/681 de 1972 à 1990.

Principales mesures de la Directive

- Interdiction de l'utilisation de boues lorsque la concentration en un ou plusieurs métaux dans les sols dépasse les valeurs limitent fixées dans la directive 86/278/CEE.

- Des mesures sont prises afin que ces valeurs limites ne soient pas dépassées du fait de l'utilisation de boues, en fixant des valeurs limites de concentration en ETM (cadmium, cuivre, nickel, plomb, zinc, mercure) pouvant être contenues dans les boues, et en fixant des quantités maximales de boues exprimées en tonnes de matière sèche pouvant être apportées aux sols par unité de surface et par an.
- Obligation d'utilisation de boues traitées pour l'épandage agricole ; certaines conditions permettent l'utilisation de boues non traitées à condition qu'elles soient enfouies dans le sol.
- Interdiction de l'utilisation des boues sur les herbages moins de trois semaines avant le pâturage ou la récolte des cultures fourragères ainsi que l'utilisation des boues pendant la période des cultures maraîchères et fruitières, en contact du sol, et ce pendant les dix mois précédant la récolte et pendant la récolte elle-même.
- Les méthodes de contrôle et d'analyse sont décrites par la Directive, ainsi que les règles concernant les informations qui doivent être conservées par les producteurs et les utilisateurs.

Depuis 1998, la commission envisage de réviser la directive 86/278/CEE en proposant des valeurs limites en ETM (Eléments Traces Métalliques) dans les boues (Tableau N° 04).

Tableau N°04 : Teneurs limites actuelles en ETM.

ETM	Directive actuelle		Long terme(vers2025)	
	Valeurs limite dans les boues	Flux maximum cumulé, apporté par les boues en 10 ans (g/ha)	Valeurs limites dans les boues (g/t)	Flux maximum cumulé, apporté par les Boues en10ans (g/ha)
Cd	20-40	150	2	6
Cr	-	-	600	1800
Cu	1000-1750	12000	600	1800
Hg	16-25	100	2	6
Ni	300-400	3000	100	300
Pb	750-1200	15000	200	600
Zn	2500-4000	30000	1500	4500

En France

La législation française en place prend en compte la directive européenne du 12 juin 1986, la loi de 1975 sur les déchets et la loi sur l'eau du 3 janvier 1992, elle a été renforcée en 1997 par un décret paru le 8 décembre, et l'arrêté 8 janvier 1998. Cette évolution de la réglementation a pour objectif la protection des acteurs socio- économiques des filières d'épandage, et l'établissement de meilleures conditions d'innocuité pour l'homme et son environnement, en fixant des critères plus sévères et des restrictions d'usage.

L'arrêté du 8 janvier 1998 fixe les prescriptions techniques de l'épandage sur les sols agricoles des boues issues de traitement des eaux usées en application du décret du 8 décembre 1997.

- Les teneurs limites en éléments traces métalliques dans les boues sont diminuées de moitié par rapport à la norme NFU 44-04115.
- Les boues atteignant les nouvelles valeurs limites ne pourront être épandues qu'à des doses de 15 tonnes de matière sèche tous les 10 ans. Les boues deux fois moins chargées pourront être épandues à 30 tonnes de matière sèche tous les 10 ans (Anonyme 1, 2001).
- Les Tableau N°x 05 et 06, issus de l'arrêté du 8 janvier 1998, et rapporté par la norme NF U44-041 répertorient les teneurs limites en métaux lourds dans les boues et les sols avant l'épandage.

Tableau N°05 : Teneurs limites en ETM dans les boues résiduaires.

Eléments traces métalliques (ETM)	Valeur limite dans les boues (mg/kg MS)	Normes d'après Lacey (1985)
Cadmium	10*	20
Chrome	1000	1000
Cuivre	1000	1000
Mercure	10	-
Nickel	200	-
Plomb	800	800
Zinc	3000	3000
Chrome+cuivre+nickel+ zinc	4000	6

* l'arrêté prévoyait originellement 20 mg/kg Ms, qui devait être abaissés à 15 mg/kg Ms au 01 janvier 2001 puis à 10 mg/kg Ms au 01 janvier 2004.

Tableau N°06 : Valeurs limites de concentration en éléments traces métalliques dans les sols.

Eléments traces métalliques (ETM)	Valeur limite en mg/kg de Ms
Cadmium	2
Chrome	150
Cuivre	100
Mercure	1
Nickel	50
Plomb	100
Zinc	300
Chrome+cuivre+nickel+zinc	

Grands axes de la nouvelle réglementation

Les boues sont considérées comme des déchets. Le producteur de boues est donc, comme tout producteur de déchets, responsable de la filière d'épandage et de son suivi. Il a en charge :

- Une étude préalable systématique qui permet de définir l'origine et les caractéristiques des boues (quantités produites et utilisées, type de traitement, etc.).
- Un programme prévisionnel annuel d'épandage et un bilan annuel. Ce programme précise les périodes d'épandage et les parcelles agricoles retenues et désigne les personnes ou entreprises responsables des opérations de transport et d'épandage ainsi que les modalités de surveillance.
- Un bilan agronomique annuel quantitatif et qualitatif est obligatoirement rédigé par le producteur de boues à destination du Préfet.
- Une auto-surveillance de l'épandage, de la qualité des boues et des sols.
- La tenue d'un registre d'épandage (traçabilité) : Les responsables déclenchent les opérations d'épandage à la date choisie et sont chargés d'assurer les relations entre opérateurs et agriculteurs et la circulation des données (parcelles épandues, quantité de boues apportées, analyses des boues et des sols avant épandage, etc.).

- Le Préfet, destinataire de l'ensemble de ces documents, il valide et contrôle si la réglementation est respectée.
- Le suivi agronomique des boues est confié par le Préfet au producteur de boues ou à un organisme indépendant en accord avec la chambre d'agriculture. Il comprend :
 - Un avis préalable sur le programme annuel d'épandage ainsi que sur les modalités de suivi.
 - La surveillance de la bonne exécution du plan d'épandage.
 - La collecte de références sur la base d'analyse du sol et des récoltes.

Aux Etats-Unis

L'agence de protection de l'environnement (L'EPA) est favorable au recyclage agricole. La réglementation relative à l'utilisation agricole des boues d'épuration est décrite dans le « Code de la réglementation fédérale, Partie 503 » du 19 Février 1993. L'EPA a amandé 15 experts indépendants pour étudier l'influence des boues de stations d'épuration appliquées en agriculture. Ils en ont finalement conclu que « l'utilisation raisonnée des boues d'épuration posait des risques négligeables pour les cultures, les consommateurs et l'environnement » (Berchiche et Ladjimi, 2010).

En Algérie

L'épandage en Algérie se fait après s'être prémuni de certains risques liés à l'aspect bactériologique et métaux lourds. En outre l'agriculteur se limite uniquement à l'épandage des boues dans les cultures céréalières, arboricultures et plantes ornementales(pépinières). (Casdes STEP de Hadjout, Koléa, AinDefla, Chlef).

La valorisation agricole des boues reste au stade expérimental avec des tentatives limitées au niveau de certaines STEP, en l'absence d'un cadre réglementaire.

La démarche de management de l'environnement dans laquelle s'est engagé l'ONA a permis d'identifier les aspects environnementaux et par conséquent d'établir un plan d'action pour réduire les impacts.

La production de boue reste un aspect environnemental significatif dont il va falloir réduire l'impact.

Les lois et décrets régissent la réglementation en matière de valorisation agricole des boues en Algérie sont comme suit :

- Loin°2001-19 du 12 Décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets qui oblige à trouver une solution au devenir des boues de STEP.
- Décret Exécutif n°2006-104de28 février 2006 fixant la nomenclature des déchets qui classifie les boues de STEP comme des déchets spéciaux voire même dangereux en cas de présence des eaux d'origine industrielle (Berchiche et Ladjimi,2010).

Chapitre II :
Généralités sur la fève *Vicia*
***faba* L.**

1. Introduction

Sur le plan botanique, les légumineuses (Leguminosae) regroupent la famille de plantes à fleurs, dénommée également Fabaceae en classification phylogénétique. Cette famille est très diverse avec trois sous familles : Mimosoideae, Caesalpinioideae, et Papilionoideae (Doyle et Luckow, 2003).

La diversité de cette famille végétale qui comprend environ 20 000 espèces, offre des possibilités énormes d'exploitation (Gepts et *al.*, 2005).

La sous famille des Papilionoideae regroupe les espèces cultivées les plus importantes économiquement comme le soja, le haricot, le pois, la luzerne, l'arachide, le pois chiche et la fève (Lazrek-Ben-Friha, 2008). Selon Huignard et *al.* (2011), la culture de la fève s'accommode à tous les types de sols.

2. Origine et répartition géographique de *V.faba*

La fève Figure N° parmi les légumineuses les plus anciennement cultivées, elle est citée dans la Bible comme étant d'un usage fréquent pour les offrandes funéraires (Laumonier, 1979). Elle est originaire des régions méditerranéennes du Moyen-Orient (Mathon, 1985 ; Boyeldieu, 1991 ; Péron, 2006, Duc et *al.*, 2010 ; Huignard et *al.*, 2011).

La mise en culture de la fève daterait du Néolithique tardif. À partir du Moyen-Orient (probablement le Sud de la Mer Caspienne) se serait opérée une progression selon quatre itinéraires : Europe, à travers les Balkans, littoral Nord-africain jusqu'à l'Espagne, l'Ethiopie par le Nil, Mésopotamie puis l'Inde (Cubero, 1974). Au cours du XVI^{ème} siècle, la culture de la fève a été introduite en Amérique par les Espagnols et vers la fin du XX^{ème} siècle, elle a réussi à atteindre l'Australie (Cubero, 2011).

3. Position systématique

Classification classique

D'après Kolev (1976), *V. faba* suit la classification suivante :

- Embranchement : Spermaphytes
- Sous-embranchement : Angiospermes
- Classe : Dicotylédones
- Sous-classe : Dialypétales
- Série : Caliciflores
- Ordre : Rosales
- Famille : Fabacées
- Sous-famille : Papilionacées
- Tribu : Viciées
- Genre : *Vicia*
- Espèce : *Vicia faba* Linné.

Selon ce même auteur et selon la taille des graines, cette espèce est subdivisée en trois sous espèces : *Vicia faba* minor beck à petites graines appelée couramment féverole, *Vicia faba* equina pers à graines moyennes et *Vicia faba* major hartz à grosses graines.

Classification phyllogénétique

D'après Chase et Reveal (2009), la classification phyllogénétique de la fève est la suivante :

- Règne : Plante
- Clade : Angiospermes
- Clade : Dicotylédones
- Clade : Fabidés
- Ordre : Fabales
- Famille : Fabacées
- Sous famille : Papilionacées
- Tribu : Fabées
- Genre : *Vicia*
- Espèce : *Vicia faba* Linné.

4. Description de l'espèce

La fève est une espèce diploïde ($2n=12$ chromosomes) partiellement allogame (Gnanasambandam et *al.*, 2012). Selon Raynaud (1976), la fève est une plante herbacée annuelle, présentant une tige simple, dressée, creuse de section quadrangulaire, sans ramification se dressant à plus d'un mètre de haut (Figure N° 1a).

Les feuilles stipulées, alternes, composées-pennées, sont constituées de 2 à 6 folioles, amples, ovales, d'un vert glauque ou grisâtre.

Le rachis se termine par une arête étroite droite ou courbée, mais non enroulée en vrille qui représente la foliole terminale (Boyeldieu, 1991).

Les fleurs (Figure N° 1b) sont grandes de 2 à 3 cm de long, prennent naissance en position auxiliaire (Raynaud, 1976).

Elles sont de type papilionacé, blanches maculées de noir ou de violet, formées en petites grappes (Péron, 2006).

Les fruits (Figure N° 1c) sont des gousses de 25 à 30 cm de long, pendantes noircissant à maturité (Zuang, 1991).

Les graines (Figure N° 1d) sont charnues, vertes et tendres à l'état immature.

À complète maturité elles développent un tégument épais et coriace de couleur brun-rouge, à blanc verdâtre et prend une forme aplatie à couleur presque circulaire (L'Aumonier, 1979 ; Chaux et Foury, 1994).

La racine comporte un pivot et des ramifications, surtout abondantes en surface. Les nodosités sont présentes dans les trente premiers centimètres (Boyeldieu, 1991).



Figure N°1 : Aspect morphologique de *V. faba*. **A** : Tige et feuilles ; **b** : Fleurs ; **c** : Gousses ; **D** : Graines (Mezani,2016).

5. Valeur nutritionnelle

Avec le pois, la lentille et le lupin, la fève a constituée durant toute l'antiquité et le moyen-âge, une base alimentaire importante jusqu'au développement du haricot et de la pomme de terre, qui ne devraient être vraiment vulgarisés qu'au XVIII^{ème} siècle (Chaux et Foury, 1994). La fève constitue un aliment nutritif très important notamment pour les populations à faible revenu qui ne peuvent pas toujours s'approvisionner en protéines

d'origine animale (Shiran et Mashayekh, 2004). D'après Goyoaga et *al.* (2011), la fève renferme un taux élevé en protéine (=20 % de la M.S), tout en restant un aliment énergétique (55 % de glucides ; 340 cal /100g)

Gordon (2004) indique que cette légumineuse est également une excellente source de fibres solubles et insolubles, de vitamines B9 et C et de minéraux tel le potassium, le phosphore, le calcium, le magnésium, le cuivre, le fer et le zinc.

Les graines de la fève (*V. faba* : variété major) sont incorporées dans la composition d'aliments du bétail, lorsqu'elles sont disponibles en grande quantité, quantaux graines *V. faba* : variété minor, elles sont utilisées pour l'engraissement des animaux (Maatougui, 1996).

La féverole représente une source d'alimentation riche en protéines, fibres et énergie pour les poulets de chair.

Elle est également à la base de la production de lait et de viande pour le cheptel (Benabdel-Jell, 1990).

6. Intérêts agro-économiques

Intérêt agronomique

Selon Huignard et *al.* (2011), la culture des légumineuses est la plus respectueuse de l'environnement puisque ce sont les seules plantes à assurer leur propre approvisionnement en azote grâce à l'activité de bactéries symbiotiques, du genre *Rhizobium*.

De ce fait, *V. faba* contribue à l'enrichissement du sol en éléments fertilisants, ce qui réduit la dépendance des agriculteurs vis-à-vis des engrais chimiques (Sillero et *al.*, 2010). Elle a une incidence positive sur les performances des cultures qui les suivent (Khaldi et *al.*, 2002).

En effet, elle est appréciée en tant que bon précédent cultural pour la céréaliculture, via les reliquats d'azote laissés (Rachef et Ouffroukha, 2005), ou à travers l'amélioration de la structure du sol par son système racinaire puissant et dense (Migliorini et *al.*, 2008).

Jensen et *al.* (2010) rapportent que la fève améliore la teneur du sol en azote avec un apport annuel de 200 kilogrammes de N/ha.

Selon Al-Ghamdi et Al-Tahir (2001) ; Rachef et *al.* (2005), cette culture améliore aussi, grâce à ses exsudats racinaires, la disponibilité du Phosphore du sol pour le blé qui la succède.

Intérêt économique

L'Organisation des Nations unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) estime que la récolte mondiale de fèves est de 4,75 millions de tonnes en 2002, la Russie étant le principal producteur. Selon Giove et Abis (2007), en 2005, les pays méditerranéens ont produit 1 093 000 tonnes de fèves, soit 25% de la production mondiale.

Les fèves sont cultivées en Afrique dans tout le Maghreb, en Egypte et en Ethiopie (Huignardetal.,2011).

La superficie de leur culture est suivie par celle du pois chiche (*Cicer arietinum*T.), le pois (*Pisumsativum* C.), la lentille (*Lensculinaris*L.), le haricot *Phaseolus vulgaris* L.) (Kharrat et al., 2002a). Selon Giove et Abis (2007, l'Algérie, avec 27 000 tonnes occupe le 17^{ème} rang au niveau mondial et le 6^{ème} rang au niveau continental, devancée par l'Éthiopie(516000tonnes), l'Egypte(350000tonnes), le Soudan (112000Tonnes), le Maroc (73000 tonnes) et la Tunisie (45 000 tonnes).

En Algérie, la fève est semée en automne et fleurit entre février et avril (Benachour et al, 2007). Feliachi (2002) rapporte qu'elle est cultivée sur l'ensemble des zones agroécologiques d'Algérie : les plaines côtières, les plaines intérieures, les Hauts Plateaux et au niveau de la région de Biskra.

En raison de son exigence hydrique et thermique, 80% de la superficie de fèves est cultivée dans les zones de plaines côtières et intérieures, où les pluviométries annuelles moyennes sont respectivement de 613 et 533 mm/an.

Leur faible importance dans les zones arides est due au froid et à la sécheresse terminale au niveau des Hauts Plateaux et à la faiblesse des ressources hydriques dans les zones Sahariennes (Maatougui, 1996).

Les données statistiques agricoles sur la superficie et la production de la fève en Algérie pour la décennie 2004-2014 sont consignées dans le Tableau N° 07.

Tableau N° 07 : Superficies et production de la fève et féverole en Algérie durant la période 2004-2014 (M.A., 2014).

Campagne agricole	Superficie(ha)	Production (q x)	Rendement (q x/ha)
2004-2005	35082	268860	7,7
2005-2006	33537	242986	7,2
2006-2007	31284	279735	8,9
2007-2008	30688	235210	7,7
2008-2009	32278	364949	11,3
2009-2010	34210	366252	10,7
2010-2011	37090	379818	10,2
2011-2012	36835	405070	11,0
2012-2013	37668	423862	11,3
2013-2014	37499	413886	11,0
Moyenne	34617,1	338062,8	8,56

Les superficies emblavées en *V. faba* varient d'une année à l'autre. Elles oscillent entre 30688 et 37668 ha.

La production annuelle nationale varie entre 235210 et 423862 de quintaux.

Nous constatons également des fluctuations du rendement présentant une moyenne de 8,56qx/ha.

Le rendement maximal a été noté durant les deux campagnes agricoles 2008-2009 et 2012-2013 avec 11,3qx/ha, par contre le rendement minimal est enregistré durant l'année 2005-2006 avec 7,2qx/ha. Cette grande variabilité du rendement est surtout liée à la variabilité interannuelle des précipitations.

6.3 Superficie et production de la fève dans la wilaya de Tizi-Ouzou

Comme la plupart des régions d'Algérie, la culture de la fève dans la wilaya de Tizi-Ouzou s'étend sur de grandes surfaces.

Les données statistiques agricoles sur la superficie et la production de la fève dans la wilaya de Tizi-Ouzou, pour la décennie 2013-2023 sont présentées dans le Tableau N° 08.

Tableau N°08 : Superficies et production de la fève dans la wilaya de Tizi-Ouzou durant la période 2013-2023 (D.S.A.T.O, 2024).

Campagne agricole	Superficie(ha)	Production (q x)	Rendement (q x/ha)
2013-2014	772	9840	12,746
2014-2015	467	6113	13,089
2015-2016	505	7404	14,661
2016-2017	518	7570	14,613
2017-2018	512	6713	13,111
2018-2019	488	7576	15,524
2019-2020	422	6613	15,670
2020-2021	402	5743	14,286
2021-2022	293	4239	14,467
2022-2023	230.5	2765	11,995
Moyenne	486,55	6457,6	14,016

D'après les données présentées dans le Tableau N° 2, la superficie moyenne réservée pour la culture de la fève dans la wilaya de Tizi-Ouzou pour la décennie 2013-2023 est de 486.55ha.

Elle présente des variations d'une année à une autre, ce qui influe sur la production qui varie aussi, dont la moyenne sur dix années est de 6457qx. Nous constatons également des fluctuations du rendement, qui présente une moyenne de 14.016qx/ha.

Le rendement maximal a été noté durant la campagne agricole 2019-2020 avec 15.670qx/ha, par contre le rendement minimal est enregistré durant l'année 2022-2023 avec 11,995qx/ha.

Ces variations du rendement peuvent être expliquées par la mauvaise conduite des cultures, l'alimentation irrégulière en eau, essentiellement du aux conditions climatiques, ainsi que les dégâts causés par les ravageurs (insectes et acariens) et par les maladies virales et fongiques que subit cette culture.

6.4 Superficie cultivée, production et rendement de la culture de la fève par rapport aux autres cultures de légumineuses alimentaires dans la wilaya de Tizi-Ouzou

En termes d'importance des emblavures en légumineuses alimentaires dans la région de Tizi-Ouzou pendant la campagne agricole 2022/2023, les fèves occupent la première place avec 230,5% suivi par les pois chiches (82,5%), les lentilles (7,2%) et enfin le haricot sec et les petits pois (7%) (Figure N° 2) (D.S.A.T.O, 2024).

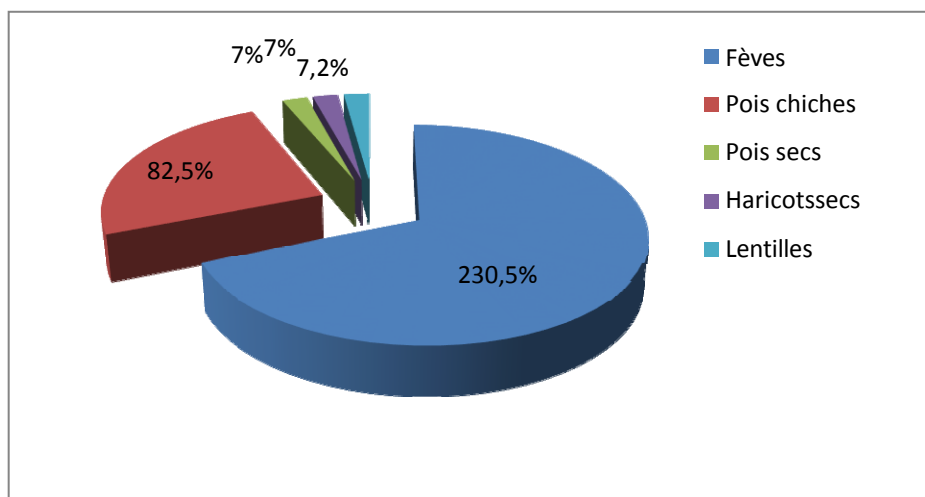


Figure N°2 : Importance des superficies de culture des diverses légumineuses alimentaires dans la région de Tizi-Ouzou (D.S.A.T.O, 2024)

La superficie occupée par la culture de la fève est très importante, ce qui traduit une production plus importante, soit 2765qx par rapport à la production des autres légumineuses (D.S.A.T.O, 2024). Le bilan de récolte (en quintaux) et les rendements des légumineuses durant la campagne agricole 2022-2023 sont rappelés dans le Tableau N° 09.

Tableau N° 09 : Productions et rendements des différentes cultures des légumineuses pendant la campagne agricole 2022/2023 dans la région de Tizi-Ouzou (D.S.A.T.O, 2024).

Espèces	Fèves	Pois chiches	Pois secs	Haricots secs	Lentilles	Total
Production(qx)	2765	612,25	67	70	7,20	3 525,65
Rendement (qx/ha)	11,995	7,421	9,571	10	1,583	40,57

7. Différentes variétés de la fève (*V. faba*) présentes en Algérie

D'après Péron (2006), les différents cultivars se distinguent par la hauteur de la plante, la précocité, la grosseur des graines ainsi que leur comportement à l'égard de la longueur du jour pour la floraison.

Pour la fève *Vicia faba* var. Major, il existe quatre variétés (Figure N°3) qui sont :

7.1 La Séville

La Séville est une variété précoce à gousses longues renfermant 5 à 6 grains volumineux. Sa tige est d'une hauteur de 70cm, se distinguant des autres variétés par la couleur de son feuillage, d'un vert assez franc (Chaux et Foury, 1994). Ses gousses présentent une largeur d'environ 3cm et une longueur de 25cm (Laumonier, 1979).

7.2 L'Aguadulce

L'Aguadulce est une variété demi-précoce, très répandue en culture. Elle est caractérisée par une plante de végétation haute de 1,10 à 1,20m.

Elle possède des gousses de couleur vert franc, volumineuse et très longue, pouvant atteindre 20 à 25cm renfermant 7 à 9 graines.

C'est une variété très productive (Chaux et Foury, 1994) qui est introduite avec la Séville à partir de l'Espagne (Zaghouane, 1991).

7.3 La Muchaniel

La variété Muchaniel est très précoce, elle a des gousses de couleur vert clair, de 20cm de longueur en moyenne, renfermant 5 à 6 grains blancs, elle est très productive (Chaux et Foury, 1994).

7.4 La Sidi Moussa

La fève de variété Sidi Moussa est sélectionnée à El-Harrach en 1965, elle est convenable à tous les sols, résiste aux maladies cryptogamiques (*Botrytis*), aux insectes (*Aphis fabae*), aux plantes parasites (*Orobanche* sp.) et aux nématodes (Zaghouane, 1991).

Pour la féverole (*Vicia faba* var. *minor*) (Figure N° 3), la seule variété cultivée en Algérie est « Sidi Aich » (Zaghouane, 1991).

Cette culture a été l'une des espèces les plus utilisées dans les régions montagneuses de ce pays, particulièrement en Kabylie, pour l'alimentation humaine et animale. Selon Thomas (2008), cette culture possède un système racinaire pivotant très puissant.

Elle résiste à des températures de -5°C, elle n'est donc pas sensible aux faibles gelées printanières et de ce fait, elle est assez facile à installer et à réussir.

Selon Lebreton et al. (2009), la féverole n'est pas sensible à la pourriture racinaire du pois (*Aphanomyces euteiches*), de plus les limaces en sont très peu friandes, voir la repoussent et préfèrent les autres plantes.



Figure N°3 : Variétés de la fève (*V. faba* L.) et la féverole (*V. faba* minor) présentes en Algérie (Mezani, 2016)

8. Exigences de la fève

La fève *V. faba* est une plante qui nécessite des exigences climatiques et autres exigences du sol.

8.1 Exigences Climatiques

Parmi les exigences climatiques de la fève on cite, la lumière, la température, l'humidité et l'eau.

8.2 Lumière

Selon L'Aumonier (1979), la fève exige une quantité importante en lumière, autrement dit la fève se comporte comme une plante de jour long.

8.3 Températures

La germanisation a lieu à une température du sol de 5°C et la température optimale de la végétation se situe, entre 15 et 25°C (L'Aumonier, 1979).

La fève supporte de faibles gelées ne dépassant pas -3°C.

Les fortes chaleurs (au-dessus de 22 à 25°C de moyenne journalière) lui sont néfaste et lui cause un arrêt de croissance, ainsi qu'une chlorose et peuvent mêmes anéantir complètement la végétation (Chaux et Foury, 1994).

En Algérie, les gelées peuvent constituer une contrainte pour la production, lorsqu'elles surviennent pendant la période de floraison (Zaghouane, 1991).

8.4 Humidité

Durant les périodes initiales de son développement, la fève se révèle être d'une grande exigence en humidité du sol.

8.5 Eau

D'après L'Aumonier (1979), les variétés à grosses graines sont très exigeantes en eau. La fève a des besoins hydriques très importants surtout pendant la phase floraison (Girard, 1990).

Cette culture peut être pratiquée dans les zones à pluviométrie annuelle, de 450 à 500 mm (Anonyme, 1982).

8.6 Sol

Cette espèce est réputée pour préférer les sols ameublés, souples et riches et bien pourvus en humus. Toutefois, elles révèlent apte à végéter favorablement, même dans les terrains les plus divers.

Cependant elle redoute les terres trop légères, et craint les terrains trop acides, avec un pH optimum égal à 7,1 (L'Aumonier, 1979).

9. Contraintes de la culture de fève en Algérie

En Algérie la culture de la fève est soumise à un certain nombre de contraintes, qui limitent sa production, son développement et son extension. Ces contraintes sont résumées comme suit :

9.1 Contraintes abiotiques

9.1.1 Froid hivernal et gelées printanières

Le froid hivernal et les gelées printanières sont les principales contraintes dans la zone des Hauts Plateaux et les plaines intérieures, ils provoquent la coulure des fleurs et la mort des plantes (Maatougui, 1996).

9.1.2 Sécheresse terminale

La plupart du temps, sécheresse et fortes températures sont associées. Le faible rendement de la culture de fèves en Algérie est dû en grande partie à l'insuffisance des précipitations printanières et leur irrégularité (Zaghouane, 1991).

Cette contrainte constitue un facteur limitant de la production dans les Hauts Plateaux et les plaines côtières, car la culture de la fève exige beaucoup d'eau (Girard, 1990).

Selon Khan et *al.* (2010), le déficit en eau provisoire peut se produire presque à n'importe quelle étape de croissance partout où la fève est cultivée, en particulier en climat méditerranéen où la sécheresse terminale se produit pendant la période de floraison.

9.1.3 Chaleur

La chaleur est la plus néfaste pour la culture des fèves notamment dans les zones Sahariennes, ainsi que dans les Hauts Plateaux et les plaines intérieures. Dans le cas de ces dernières, c'est le Sirocco qui affecte la production de gousses et limite aussi la grosseur des graines (Maatougui, 1996).

Les fortes chaleurs (au dessus de 22-25°C de moyenne journalière) causent un arrêt de croissance, une chlorose et peuvent même anéantir complètement la végétation ; à un degré moindre, elles nuisent à la qualité du grain, le rendant précoce métamère farineux (Chauxet Foury, 1994).

9.1.4 Salinité

D'après Farissi et *al.* (2014), la salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes. Benidire et *al.* (2015) ajoutent qu'elle entraîne un déficit hydrique chez les plantes, dû au stress osmotique éventuellement couplé à des perturbations biochimiques induites par l'afflux d'ions sodium.

La salinité est une contrainte qui concerne notamment les zones Sahariennes, où les fèves sont irriguées avec des eaux assez chargées en Sodium (Maatougui, 1996).

9.2 Contraintes culturelles et socio-économique

9.2.1 Contraintes culturelles

Selon Maatougui (1996), les contraintes sur la conduite culturelle des fèves en Algérie se caractérisent par :

- L'insuffisance de contrôle des mauvaises herbes,
- L'absence de mécanisation,
- Les semences cultivées sont souvent vectrices de plusieurs maladies,
- L'indisponibilité de semences certifiées,

- Les prix exorbitant et l'indisponibilité des intrants, tels que les fertilisants, les herbicides et les pesticides.

9.2.2 Contraintes socio-économiques

Le développement de la culture de la fève reste limité à cause de sa faible rentabilité. En effet, cette culture nécessite des charges qui ne peuvent pas nécessairement être compensées par la vente des productions : la conduite technique est généralement manuelle (semis, désherbage et récolte), ce qui se traduit par un coût important en main d'œuvre alors que les rendements sont faibles et les prix de vente ne sont pas élevés (Zaghouane, 1991).

9.3 Contraintes biotiques

La fève est sujette à un très grand nombre de maladies fongiques et aux attaques des ravageurs et parasites supérieurs.

9.3.1 Plantes supérieures parasites "l'Orobanche"

L'orobanche est une plante holoparasite sans chlorophylle, qui dépend entièrement de son hôte pour réaliser son cycle biologique (Kharrat, 2002a). La présence de cette plante occasionne des pertes considérables, pouvant entraîner la destruction totale de la fève (Kharrat et al., 2002b ; Abbes et al., 2010).

La fève émet des exsudats racinaires, favorisant la germination et la levée de la graine d'orobanche à partir du mois d'avril. Cette plante parasite émet aussi à son tour des suçoirs, au niveau de la racine de la fève et détourne la sève élaborée à son profit (Ait Abdellah et Hamadache, 1996).

D'après Hamadache (2003), l'espèce la plus connue en Algérie est l'orobanche spéceuse (*Orobanche crenata* Forsk).

9.3.2 Maladies fongiques

D'après Messiaen (1981), les maladies des plantes peuvent être provoquées par des organismes de nature très diverses (virus, bactéries et champignons).

Les principales maladies fongiques affectant la fève sont :

La rouille : la rouille est une maladie foliaire de la fève (Figure N° 4a), causée par *Uromyces fabae* (Boyeledieu, 1991).

Elle se manifeste par la présence de petites pustules brun-rouilles sur les folioles (Emeran et al., 2011). Ces pustules finissent par recouvrir la totalité du feuillage et parfois des tiges, provoquant un dessèchement accéléré des plantes (Péron, 2006 ; Stoddard et al., 2010).

En Algérie, les pertes de rendement en grains secs par cette maladie ont été estimées entre 15 et 20% (Meskine et *al.*, 2002).

Le botrytis : le botrytis ou maladie des taches chocolatées (Figure N° 4b) est l'une des maladies les plus dévastatrices affectant la fève (Abou-Zeid, 2002 ; Fernandez-Aparicio et *al.*, 2011), causée par deux espèces de *Botrytis* : *B. fabae* et *B. cinerea*.

Selon Boyeldieu (1991), cette maladie se développe lorsque la température est douce et l'air humide. Les premiers symptômes sont des taches foncé-brunes, entourées par un anneau orange-brun sur les feuilles, les fleurs et les tiges. Elles finissent par provoquer des nécroses importantes à l'origine d'une chute précoce de feuilles.

C'est lors de la floraison que la maladie est la plus nuisible, car elle provoque la coulure des fleurs (Stoddard et *al.*, 2010). Rhaïm (2002) a rapporté qu'une attaque sévère par cette maladie peut engendrer des pertes de rendement, allant jusqu'à 100% lorsque les conditions favorables à son développement se prolongent.

- **L'antracnose** : l'antracnose se manifeste par des petites taches claires qui évoluent en grosses taches sur les feuilles (Figure N° 4c et 4d), causée par *Ascochyta fabae*. Cette maladie entraîne la mort des plants dès la levée et peut provoquer l'éclatement des tiges et des gousses (Planquaert et Girard, 1987).

Elle provoque aussi des pertes en quantité et en qualité sur la fève (Kharrat, 2002b).

Des semences atteintes constituent une source de propagation de cette maladie (Blancard et *al.*, 1991).



Figure N°4 : Principales maladies de la fève. a : La rouille (*Uromyces fabae*) ; b : Lebotrytis (*Botrytis fabae*) ; c et d : Feuilles et gousses de *V. faba* attaquées par l'anthraxose (*Ascochyta fabae*) (Mezani, 2016)

Le mildiou : les agents responsables de cette maladie sont *Péronospora fabae* et *Peronospora viciae*. Lors des attaques précoces sur les plantes jeunes, le mildiou entraîne le nanisme et la déformation de la tige et des feuilles (Chaux et Foury, 1994) et un dessèchement de la partie terminale des plantes (Blancard et *al.*, 1991).

Les attaques montrent la formation d'un feutrage gris à la face inférieure des folioles (Stoddard et *al.*, 2010). La maladie apparaît principalement à partir du début de la floraison jusqu'à la fin du développement des gousses (Boyeldieu, 1991).

10. Sensibilité aux déprédateurs

10.1 Les nématodes

Ditylenchus dipsaci est un nématode qui constitue un sérieux problème sur les tiges de la fève en Algérie. Ce nématode provoque des gonflements et des déformations des tissus caulinaires, ou bien des lésions qui virent au marron rougeâtre puis noires (Sellami et Bousnina, 1996).

Les nématodes peuvent rester sous le manteau de la graine en développement, tuent celle-ci ou réduisent au moins sa vigueur et causent la souillure (Abbad- Andaloussi, 2001).

10.2 Les insectes

La fève est soumise à des attaques d'une gamme assez variée d'insectes qui limitent sa production ; les plus répandus sont :

10.3 Le puceron noir de la fève (*Aphis fabae*) est un homoptère de 2 mm de long avec un corps trapu. Il forme des colonies noir mat, disposées en manchon le long des tiges et principalement aux extrémités.

Les prélèvements de sève provoquent un flétrissement des plantes, une moindre croissance et un avortement des fleurs (d'où une mauvaise fructification), ainsi qu'une déformation et une décoloration des tissus végétaux (Aversenq et al., 2008). *Aphis fabae* est l'une des espèces les plus polyphages qui soit, il peut évoluer sur plus de 200 espèces de plantes et transmettre plus de 30 virus pathogènes (Figure N° 5a) (Blackman et Eastop, 2007).

10.4 Le puceron vert du pois (*Acyrtorhynchon pisum*) est un gros puceron (Homoptera) de 3 à 6 mm qui suce la sève de la plante pour en extraire les éléments nutritifs dont il a besoin, et cause des pertes importantes de rendements en cas de pullulation (Didier et Guyot, 2012) et peut même transmettre des virus qui tuent complètement la plante (Bouhachem, 2002). Il apparaît plus tardivement que le puceron noir et les deux espèces cohabitent sur tige et feuille (Boyeldieu, 1991).

10.5 La Sitone du pois (*Sitona lineatus*) est un charançon de 3,5 mm de long, de couleur brun- rougeâtre (Blancard et al., 1991), dont les larves consomment les nodosités ; les adultes s'attaquent aux feuilles sur les quelles ils provoquent des encoches semi-circulaires sur le bord (Figure N° 5b) (Aversenq et al., 2008).

10.6 Le lixe poudreux des fèves (*Lixus algirus*) est un charançon (Coleoptera, Curculionidae), reconnu facilement par son corps souvent trapu et surtout ses pièces buccales

transformées en une sorte de trompe, appelée rostre, qui supporte les antennes. Les symptômes sont des tiges cassées associées à un jaunissement et un flétrissement des feuilles du haut de la plante (Figure N° 5c) (Maoui et *al.*, 1990).

10.7 Le bruche de la fève (*Bruchus rufimanus*) est un coléoptère Bruchidae noirâtre, de 3.5 à 5 mm de long (Boyeldieu, 1991).

Il est très préjudiciable pour la qualité des graines de la fève destinée à l'alimentation humaine ou à la production de semences. Il accomplit une partie de son cycle à l'intérieur des graines, qui se retrouvent trouées lors de la sortie des nouveaux adultes (Figure N° 5d) (Boughdad, 1996).



Figure N°5 : Insectes ravageurs de la fève. **a** : Colonie de Pucerons ; **b** : la sitone du pois ; **c** : le lixus des fèves ; **d** : le bruche de la fève (Gx2) (Mezani, 2016)

Chapitre III :

Matériels et méthode d'étude

Rappelons que notre objectif est la valorisation et la caractérisation des boues résiduaires urbaines issues de la station d'épuration de Tizirt, les effets de leur application à différentes doses sur une culture test (la fève). Pour ce faire une approche expérimentale a été adaptée et réalisée au niveau de la serre de la faculté des sciences biologiques et sciences agronomiques de l'université mouloud Mammeri.

1. Présentation générale de la STEP de la ville de Tizirt/mer :

La STEP de la ville de Tizirt/mer est localisée dans la commune de Tizirt, située environ 40 km de la ville Tizi OUZOU, elle occupe une superficie de 19577m².

Elle est limitée par :

- Au Nord : propriété privée ;
- Au Sud : route national N°24 ;
- A l'Est : Oued de TAMDA ;
- A l'Ouest : propriété privée.

La station de Tizirt a été dimensionnée pour épurer les eaux provenant d'effluent d'origine urbain collectées par un ensemble de réseaux d'assainissement type unitaire par le processus d'épuration à boues activées avec un mode de fonctionnement à faible charge.



Figure N°06 : photo de la station ONA Tizirt prise par nous même.

2. Matériels utilisés :

2.1 Matériel physique :

2.1.1 Boue résiduaire :

Les boues résiduaires ayant fait l'objectif de notre étude proviennent de la station d'épuration des eaux usées urbaines de Tigzirt et ont été mises en test de compostage, elles sont d'une couleur noir foncé et d'une odeur désagréable et humide lors de leur prélèvement.

Elles ont été prélevées d'une manière aléatoire sur l'aire de stockage.

Ces boues sont considérées comme stable.

Nous avons soumis l'échantillon de boue à une analyse physico-chimique après son séchage qui se résume à la conductivité électrique et au pH.



Figure N°07 : Echantillon de la boue résiduaire prélevée sur l'air de stockage

2.1.2 Sol :

Le sol utilisé provient de la couche arable (0-30cm) d'une parcelle située au niveau de la commune de Mizrana.



Figure N°08 : Echantillon du sol témoin utilisé lors de l'expérimentation

2.1.3 L'unité expérimentale :

L'unité expérimentale qui porte l'objet du facteur « Boue » étudié correspond à un pot de fleur de 30 cm de diamètre et de 25 cm de profondeur peuvent contenir jusqu'à 04 kg de sol et de boue.



Figure N°09 : Illustration de notre unité expérimentale

2.1.3.1 Matériel de laboratoire et de terrain pour le suivi de l'expérimentation : nous avons utilisé du matériel de laboratoire et un autre sur le terrain pour permettre le suivi de l'expérimentation tout au long de son déroulement. Ce matériel est le suivant :

- PH-mètre
- Conductimètre
- Règle graduée pour le suivi de développement des plants de la fève.
- Balance de précision
- Gants
- Masque de protection
- Pèle et pioche pour le mélange « Boue-sol »

2.2 Matériel biologique :

2.2.1 Végétal :

La culture test est la fève (*vicia faba*) de la variété major(photo)



Figure N°10 : la fève (*vicia faba*) de la variété major

La fève est une dicotylédone de la famille des fabacées actuellement très cultivée dans le bassin méditerranéen et particulièrement en Algérie.

La variété Major est caractérisée par une productivité très importante, faisant preuve de tolérance à la salinité différentielle.

C'est une espèce sensible à la rouille mais résistante à d'autres maladies fongiques (c.c.l.s,2012). Le choix du végétal utilisé est guidé par la contenance relative à l'emploi des boues résiduaires.

3. Méthodologie :

3.1 Dispositif expérimental :

L'essai expérimental a débuté le 11 janvier 2024 et a terminé le 15 mai 2024.

C'est une expérimentation menée sous serre le dispositif expérimental adapté est le complètement aléatoire vu les conditions de lumière et du microclimat de la serre homogène en tout nous avons appliqué trois doses de boues mélangées ou sol comme suit :

- Dose 1 : 25% de boue résiduaire et 75% de sol.
- Dose 2 : 50% de boue résiduaire et 50% de sol.
- Dose 3 : 75% de boue résiduaire et 25% de sol.



Figure N°11 : processus de préparation des pots

Ces quantités de boues séchées ont été soigneusement mélangées au sol avant de remplir les pots (unités expérimentales) chaque dose de boue a été répété 4 fois suivant le dispositif expérimental complètement aléatoire.

C'est une expérience qui a mis en jeu un sol témoin (sans boue) répété, lui aussi, 4 fois autrement dit, c'est une expérience complètement aléatoire à un sol facteur de classification :

Facteur boue à 03 niveau (photo de l'expérience dans la serre)

3.2 Paramètres analytiques

3.2.1: Analyses effectuées sur la boue et le sol :

3.2.1.1 pH du SOL

Le pH du sol est une mesure de l'acidité ou de l'alcalinité des sols. Le pH de la solution du sol est un élément déterminant pour une bonne dissolution des éléments nutritifs et par conséquent pour une absorption efficace de ces éléments nutritifs par les racines des plantes (Adjanooun et al., 2017). Selon (Soltner, 2004), le pH de la solution du sol est considéré comme l'une des principales variables qui exprime les propriétés chimiques des sols.

Ce potentiel hydrogène affecte spécifiquement la disponibilité des éléments nutritifs des plantes, en contrôlant les formes chimiques des nutriments (Kabata-pendias, 2011).

La mesure du pH est faite à l'aide d'un pH-mètre selon le mode opératoire suivant :

- Étalonnage du pH-mètre avec les solutions tampon pH4, pH7, Ph10 ;
- Peser 20g de terre fine placer dans un bécher de 100ml ;
- Ajouter 50ml d'eau distillé selon le rapport solide liquide 1/2,5 ;
- Agiter de temps à autre durant une période de contact de 2h ;
- Laisser se reposer pendant 30min ;
- Plonger les électrodes avec précaution dans la suspension ;
- Attendre la stabilisation de l'appareil et lire la valeur du pH.



Figure N°12 : illustration de la mesure du pH de la solution du sol

3.2.1.2 Conductivité électrique (CE)

La conductivité d'une solution de sol est la mesure de la capacité des ions à transporter le courant électrique. Ce passage du courant électrique s'effectue par la migration des ions dans un champ électrique produit par un courant alternatif.

La conductivité d'une solution dépend de la concentration des ions présents. Plus l'électrolyte est dilué, Plus la conductivité diminue, car il y a moins d'ions par volume de solution pour assurer le transport du courant.

La conductivité d'une solution est définie comme l'inverse de la résistance. Sa mesure s'effectue par l'utilisation d'une cellule de conductivité couplée à un conductimètre, et la conductivité s'exprime en $\mu\text{S/cm}$, ms/cm ou DS/m

La détermination de la conductivité électrique a été faite selon le mode opératoire suivant :



Figure N°13 : illustration de la mesure de la CE de la solution du sol

4. Mode opératoire :

- Peser 10g de sol (terre fine) préalablement séché ;
- Ajouter 50ml d'eau distillé dans un bécher de 100ml, Le rapport Sol/eau à respecter est 1/5 ;
- Agiter chaque 15min pendant 2h ;
- Laisser sédimenter ;
- Verser le liquide dans un bécher de 50ml ;
- Faire la mesure de la conductivité électrique.

4.1 Analyses effectuées sur le végétal :

4.1.1 Mesures biométriques :

Des mesures biométriques du végétal (la fève) ont été réalisées au niveau de chaque pot (unité expérimentale) chaque semaine durant toute la période phénologique de la fève, et ce pour chacune des doses de boues utilisées et pour le témoin.

Les mesures ont concerné le taux de germination des graines de fève, la taille des tiges, le nombre de gousses, le nombre d'inflorescences, le nombre de tiges par pieds et le rendement final.

4.1.2 Production végétale :

Une pesée des gousses de fève a été réalisée pour chaque unité expérimentale le 15 mai 2024 à la fin d'expérimentation à l'aide d'une balance analytique.

5. Chronologie de l'expérimentation :

5.1 Semis : Les graines ayant servi de semence proviennent d'un commerce que nous avons acheté le semis a été effectué manuellement le 11/01/2024 de la même façon pour tous les pots à raison d'une graines/pot.

Réparties uniformément à une profondeur de 02 fois le diamètre de la graine, une irrigation juste après le semis à été effectuée pour permettre une bonne germination des graines.

5.2 Suivi de la culture :

Le suivi de la culture en place a été caractérisée par :

Un arrosage à l'eau de fontaine à l'aide d'un arrosoir au moment du semis, de même, des apports d'eau ont été réalisées une fois par semaine durant la levée (mois de Février) et les rythmes d'arrosage ont été augmentés au cours du mois d'Avril et Mai (besoins hydrique intenses de la fève et ce jusqu'au stade final de la croissance.

Des observations et des mesures ont été réalisées et qui consistent en un suivi phénologique du stade levé jusqu'au stade maturation et en des mesures biométriques du végétal relevées chaque semaine.

5.3 Récolte :

La récolte a eu lieu manuellement à la maturité complète des gousses de fève de la totalité des plants le 15 mai 2024.

6. Analyses statistiques :

Afin de rendre compte de l'effet du facteur étudié (boues résiduaires) sur le développement et le rendement de notre plants test (la fève), une analyse de la variance à un facteur de classification a été réalisée à l'aide du logiciel stat box version.

Au total, nous avons réalisé 08analyses de variance correspondant aux variables :

- Conductivité électrique
- Ph
- Taille des plants
- Nombre de gousses
- Nombre d'inflorescences
- Nombre de tiges/pieds
- Taux de germination
- Rendement de la fève (g/unité expérimentale)

En outre, pour suivre tous les paramètres étudiés, nous avons exprimé nos résultats sous forme graphique.

Chapitre IV :

Résultats et discussion

1. Résultats

1.1 Résultats des propriétés physico-chimiques du sol, boue et mélange boue-sol

L'analyse physico-chimique du sol portait sur les paramètres suivants : pH, la conductivité électrique,

1.1.1 PH-Eau des échantillons :

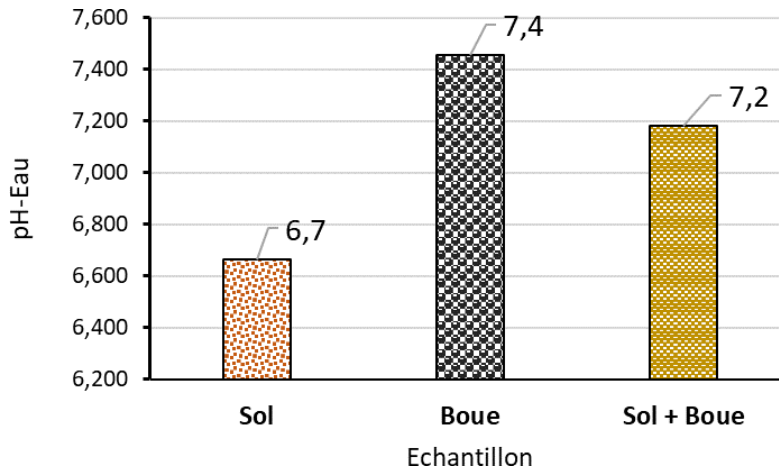


Figure N°14 : Le pH-eau des échantillons

La Figure N° 13 représente le pH-eau de nos échantillons (sol, boue, sol+boue).

A sa lecture (le pH-eau de sol est de 6.7 celui de la boue est de 7.4 et celui du mélange sol+ boue est de 7,2) on constate une légère variation du pH.

Le pH du sol est neutre à tendance acide tandis que le pH de la boue est neutre à tendance basique.

Le pH du mélange sol+boue est neutre où la plupart des plantes s'acclimatent bien.

1.1.2 Conductivité Electriques des Echantillons

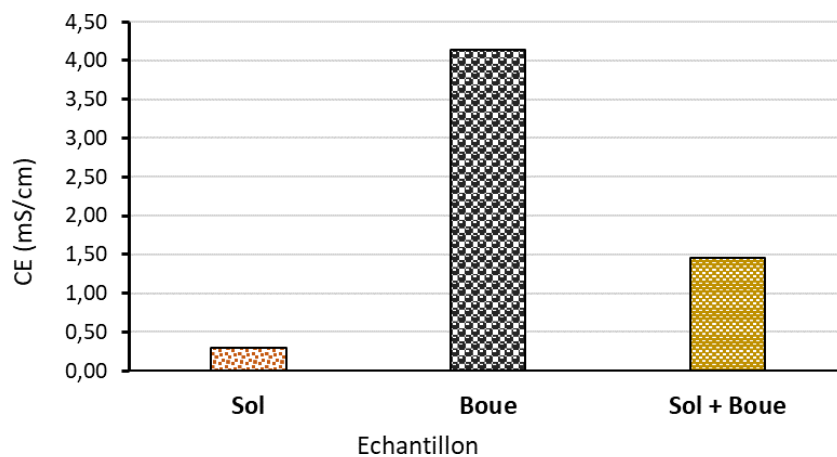


Figure N°15 : Conductivité électrique des échantillons

A la lecture de la Figure N° 14 représentant la conductivité électrique des échantillons on remarque un écart important de la conductivité électrique entre le sol et la boue.

La conductivité électrique du sol est inférieure à 0.5ms/cm et celle de la boue est supérieure à 4 ms/cm.

Cependant la CE du mélange sol+boue est de l'ordre de 1.5 ms/cm.

On remarque une augmentation significative de la conductivité électrique après avoir mélangé sol+boue.

Cela s'explique par le fait que l'ajout de la boue a amélioré les caractéristiques du sol.

1.2 Analyse statistique (A.N.O.V.A)

Dans le but d'apporter une signification logique à nos résultats, il nous est parait judicieux de faire une analyse statistique paramétrique qui s'apprécie sur une comparaison des écarts entre les objets testés.

Dans cette optique analyse qui répond le plus à nos objectifs et l'analyse de la variance dite « ANOVA » pour une probabilité d'erreur $\alpha = 0,05$

1.2.1 Analyse de la variance pour le facteur CE (conductivité électrique) :

L'analyse du facteur conductivité électrique a touché trois niveaux :

- Sol sous traitement(témoin)
- Sol composé de 50 % de boues et 50% de terre végétale
- Sol composé de 100% de boues résiduaire

Chaque niveau est répété 03fois d'après l'analyse de variance de la conductivité électrique.

Nous remarquons qu'il y'a une différence très hautement significative de la conductivité électrique entre les 03 objets testés (sol témoin, sol mélangé avec boues ,100% boues) qui enregistre une fonction observée très faible avec une probabilité d'erreur $\alpha = 0$ Le coefficient de variations de 4.80% montre que les variations résiduelles des répétitions sont très

Inférieure à 15% (seuil toléré à l'expérimentation) ce qui explique que les valeurs enregistrées de la CE pour toutes les répétitions ont été exécutées dans des conditions homogènes d'expérimentation.

Cette différence de la conductivité électrique permet de rendre compte que la boue résiduaire est plus chargée d'éléments minéraux sous forme de sels engendrés probablement par les déchets urinaires humains contribuant ainsi à la grande minéralisation de boue comparée à celle du sol.

La grande charge en minéraux des boues va avoir des répercussions positives sur la capacité d'échanges cationique (C.E.C) des sols amendés par ces boues résiduaires.

Tableau N° 10 : Analyse de variance facteur C.E

ANALYSE DE VARIANCE

	S.C. E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	23,259	8	2,907				
VAR.FACTEUR1	23,206	2	11,603	1309,929	0		
VAR.RESIDUELLE1	0,053	6	0,009			0,094	4,80%

La recherche de la plus petite différence significative entre les objets du traitement par l'utilisation du test de Newman et Keuls à 5% de probabilité d'erreur (Tableau N° 10.) nous permet de situer quel est ou quels sont les objectifs du facteur étudié qui sont à l'origine de cette différence.

Le Tableau N° 10 révèle l'existence de trois groupes homogènes : Groupe A-B et C ce qui explique bien que sur le plan de la conductivité électrique les trois traitements (objets expérimentaux) se différencient d'une façon très significative l'un de l'autre.

1.2.2 COMPARAISONS DE MOYENNES : TEST DE NEWMAN-KEULS- SEUIL=5%

Tableau N° 11 : Analyse de la plus petite différence significative pour le facteur CE

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
2.0	Boue	4,133	A		
3.0	Boue+Sol	1,449		B	
1.0	Sol (T)	0,301			C

1.2.3 Analyse de la variance du facteur pH

Le Tableau N° 12, il en ressort qu'il y'a une différence très hautement significative avec une fonction observée égale à 0,00062 pour une probabilité d'erreur $\alpha=0,05$ du facteur pH entre les trois objets étudié à savoir, le sol sous boues, le sol mélangé à 50% de boues et de la boue complètement pure.

Avec un coefficient de variation de 1,58% ce qui signifie que l'expérience s'est déroulée dans des conditions à plus de 98% d'homogénéité, ce qui rend les résultats de L'A.N.O.V. A très probables.

L'apport de la matière organique au sol fait diminuer son pH car cette matière organique sous forme de boues résiduaire contient beaucoup d'acides organiques dont la concentration des cation H^+ libres et très grande.

Tableau N° 12 : Analyse de la variance du facteur pH

	S.C. E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1,04	8	0,13				
VAR.FACTEUR1	0,964	2	0,482	38,294	0,00062		
VAR.RESIDUELLE 1	0,076	6	0,013			0,112	1,58%

L'analyse de la plus petite différence significative (p.p.d.s) dans la comparaison des moyennes en utilisant le test de Newman et Kuels (Tableau N° 13) révèle une séparation des moyennes toutes différentes l'une de l'autre, en 3 groupes homogènes distinct :

Groupe : A (concernant les boues sous rajout de sol)

B (boues +sol)

C (sol témoin sans boues)

Les pH des trois traitements sont très différents l'un de l'autre.

Tableau N° 13 : l'analyse de la plus petite différence significative

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
2.0	Boue	7,457	A		
3.0	Boue + Sol	7,18		B	
1.0	Sol (T)	6,667			C

1.3 Résultats des paramètres agronomiques de *V. faba* L. var major

1.3.1 Effets sur la germination (%)

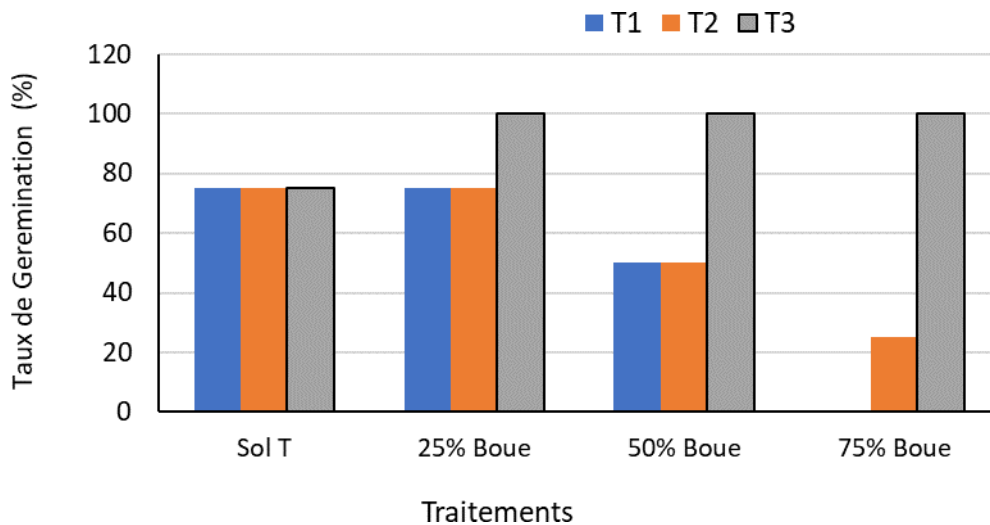


Figure N°16 : Taux de germination (%)

La Figure N° 15 représente le taux de germination de la fève en fonction du dosage de la boue ajoutée au sol.

On a remarqué une diminution dans le taux de germination selon le dosage de boue ajouté au sol.

On a enregistré un taux de germination approximatif à 80% dans le sol contenant 25% de la boue, un taux de germination inférieur à 60% dans le sol qui contient 50% de boue suivie par une valeur moins importante dans le sol à 75% de boue résiduaire.

On a enregistré un taux de germination de l'ordre de 100% lors de troisième traitement des sols.

Le taux de germination le plus élevé est observé dans le sol contenant 25% de boue et le plus bas dans le sol contenant 75% de boue.

La germination est affectée par le taux de la boue résiduaire amendée au sol. L'azote, le phosphore, et la matière organique présents dans la boue résiduaire confèrent au sol la fertilité et favorise la germination à des dosages modérés.

Au contraire, l'excès des boues résiduaires augmente la salinité du sol, ce qui peut créer un environnement hostile pour la fève ce qui empêche les graines de germer correctement.

1.3.2 Effet sur la taille

Longueur de la tige (cm)

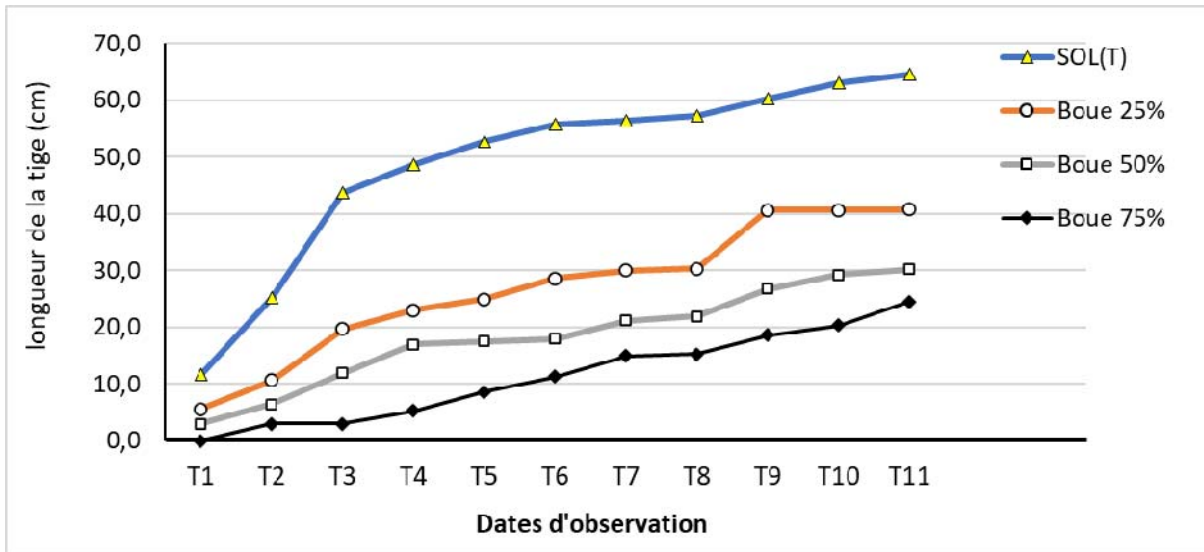


Figure N°17 : Longueur de la tige(cm)

Les variations de la taille de la tige dans les sols ayant de différentes concentrations de boue sont présentés dans la Figure N° 16.

Elle démontre une augmentation continue dans la longueur de la tige au long de l'expérience.

On a noté que la tige accroît convenablement dans le témoin où elle dépasse 40cm à la troisième observation et atteint 65cm de longueur lors de la 11 -ème semaine.

Dans les sols ayant 75% de boue la longueur de tige est la moins importante où elle présente une faible croissance (uniquement 10cmdans la 6 -ème semaine) et environ 25cm à la 11ème semaine. Tout comme dans le sol contenant 50% de boue, la longueur de la tige ne dépasse pas 30cm.

Dans le sol qui contient 25% de boue résiduaire la longueur de tige est de l'ordre de 20 cm à la 3ème semaine. La croissance de la tige augmente jusqu'à ce qu'elle stagne (40cm) à la 9ème semaine.

A des doses modérées, la boue résiduaire améliore la structure du sol, augmentant ainsi sa capacité à retenir l'eau et les nutriments qui stimulent la division et l'allongement des tiges. Cependant, à des doses plus élevées, l'accumulation excessive de certains nutriments comme l'azote et le phosphore a un effet négatif pour la plante.

1.3.4 Effets sur le nombre des tiges/pieds

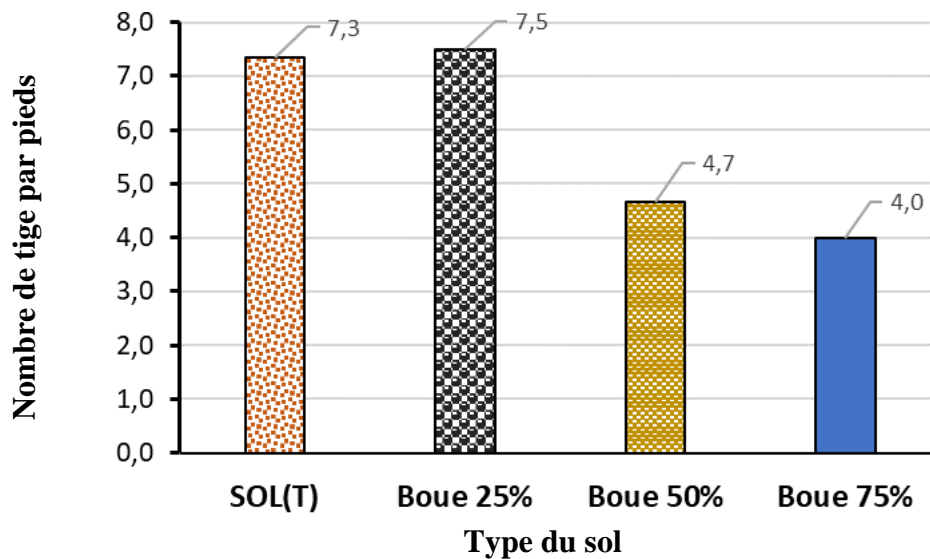


Figure N°18 : effet sur le nombre des tiges/pieds

La Figure N°15 nous montre l'effet de la concentration de boue d'épuration sur le nombre des tiges/pieds.

Le nombre de tiges dans le sol à 25% de boue est plus important par rapport au sol témoin et aux autres types de sols. On a noté 7.5 tiges dans le sol contenant 25% du boue et 4.7 et 4 dans les sols contenant 50% et 75% du boue respectivement.

Une quantité dépassée de boue d'épuration peut altérer la structure de sol, le rendant trop compact ou trop saturé en eau.

Cela limite l'aération des racines et la disponibilité de l'eau affectant négativement la croissance des plantes et puis le développement des tiges et aussi réduire la capacité de produire de nouvelles tiges.

L'accumulation de l'Azote et le Phosphore inhibe la croissance et réduit le nombre des pieds.

1.3.5 Effets sur le nombre de fleur :

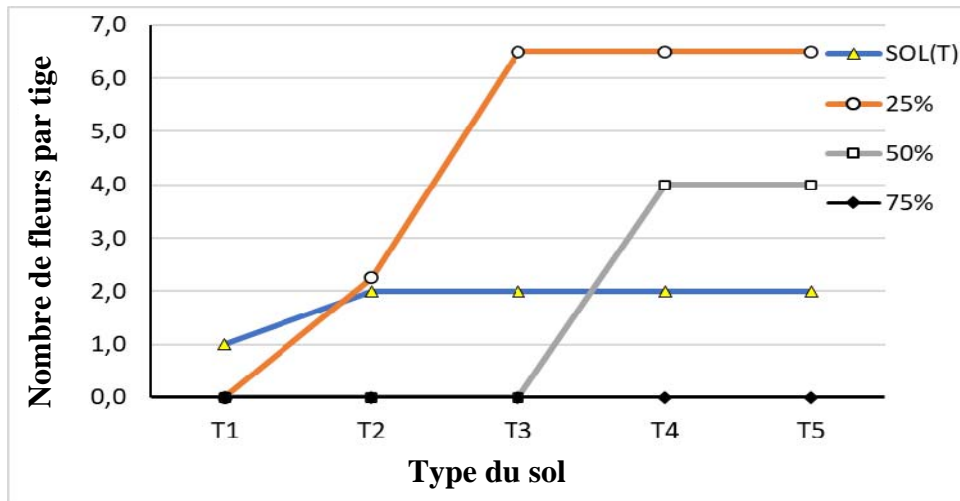


Figure N°19 : Effet sur la floraison

La Figure N° 16 évoque l'effet de la boue d'épuration sur la floraison. Il apparaît clairement l'absence de floraison dans le sol qui contient 75% du boue et une floraison abondante dans le sol à 25% de la boue.

Le nombre de fleur le plus élevé est observé dans le sol de 25% de boue qui a dépassé 6 fleurs, alors que le sol témoin n'a eu que 2 fleurs.

Le sol possédant 50% de boue a eu tardivement 4 fleurs (floraison à la 3ème semaine).

Les métaux lourds comme le plomb, le cadmium et le mercure peuvent interférer avec les processus métaboliques essentiels, tels que la photosynthèse et la respiration.

En outre, l'accumulation de ces métaux provoque un stress oxydatif, générant des radicaux libres qui endommagent les cellules végétales, et cela entraîne une diminution de production de fleur ou une qualité inférieure des fleurs produites.

La présence excessive des métaux lourds perturbe l'absorption et le transport des nutriments essentiels (fer, zinc, manganèse) qui engendre des carences nutritionnelles affectant négativement la floraison.

Une trop grande quantité de boue peut également saturer le sol en eau, créant des conditions d'engorgement.

Les racines peuvent souffrir d'un manque d'oxygène dans un sol trop humide, ce qui peut inhiber la croissance et la floraison.

1.3.5 Effets sur le nombre de gousses :

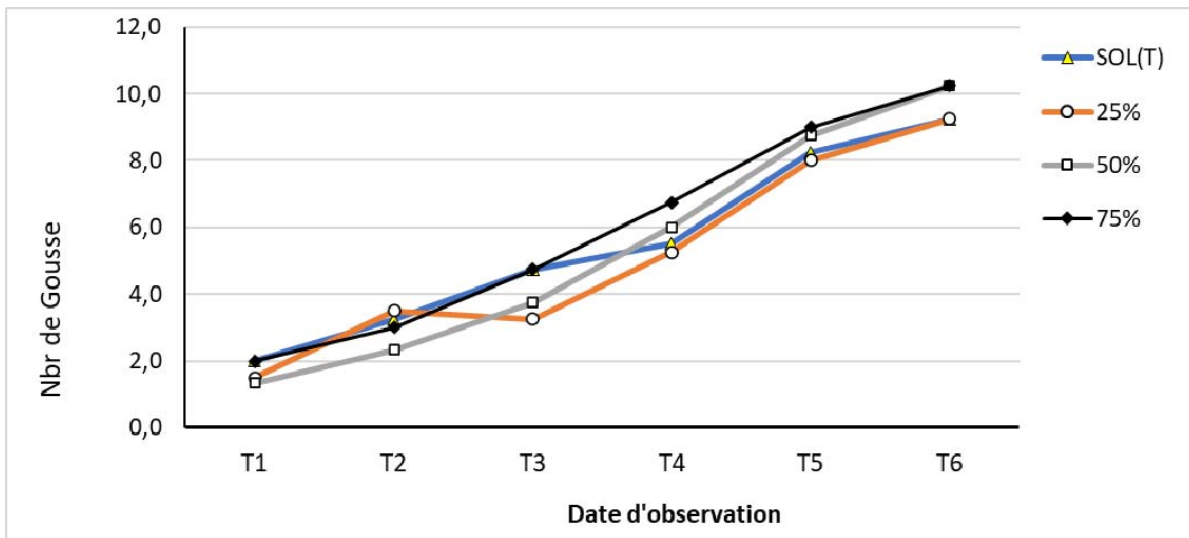


Figure N°20 : Effet sur le nombre de gousses

L'effet de la boue d'épuration sur le nombre de gousses est représenté dans la Figure N°17. L'écart dans le nombre de gousses produite n'est pas significatif. On a enregistré une production d'environ 10 gousses dans les sols ayant 75% et 50% de boue et un ordre de 9 gousses dans le sol témoin et le sol qui a 25% de boue.

1.3.6 Effet sur le rendement :

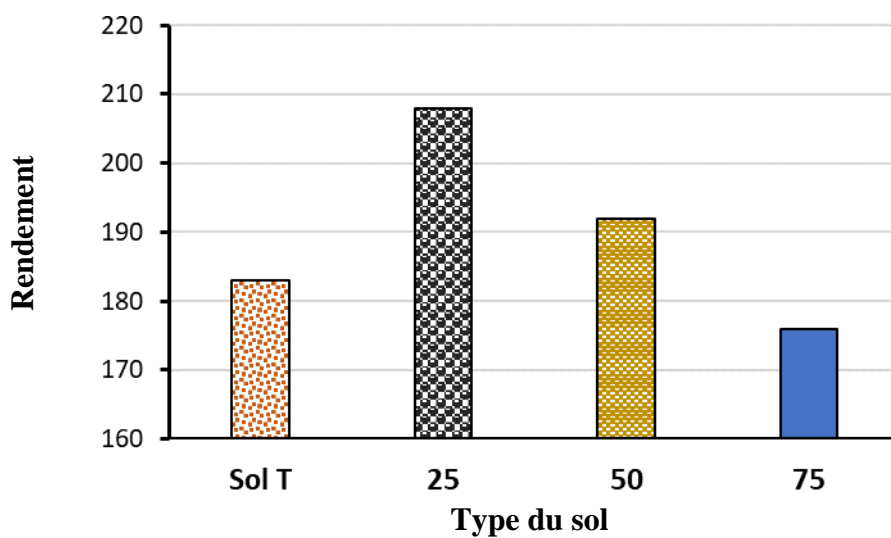


Figure N°21 : effet sur le rendement

A la lecture de la Figure N° ci-dessus, on remarque que le rendement est très important dans le sol ayant 25% de boue suivi d'un rendement moins important dans le sol ayant 50% de boue puis celui qui avait 75%.

Le taux de rendement dépasse les 200 dans le sol au 25% du boue, et celui de sol à 50% de boue dépasse 190 tandis que le rendement dans le sol témoin est inférieur à 185.

Un rendement médiocre est enregistré dans le sol qui avait 75% du boue d'épuration. Bien que l'application de boue à améliorer le rendement dans le sol à 25% de boue, l'application abusive de boue riche en phosphore entraîne une carence en zinc essentiel pour la croissance de la fève.

Cela peut se traduire par une chlorose et une réduction du nombre de gousse.

Si les boues d'épuration modifient le pH du sol et le rend trop alcalin, certains nutriments comme le fer et le manganèse deviennent moins disponible ce qui entraîne des carences nutritionnelles affectant la croissance et le rendement des fèves.

Les agents pathogènes infectant la fève réduisent la capacité à produire des rendements élevés et peuvent montrer des signes de pourritures des racines ou des taches foliaires.

2. Analyse de variance des variables étudiées :

2.1 Analyse de variable (germination) :

D'après le Tableau N° x nous constatons que la fonction observée égale à 0.427 est largement inférieure à la fonction théorique de Fisher et SNEDECOR à une probabilité $\alpha=0.05$ ce qui signifie qu'il n'y a pas aucune différence significative de la variable germination entre les objets du facteur à savoir entre les sols mélanger à la boue à 25% 50% et 75%,

Nous remarquons aussi qu'il y'a absence totale de germination des grains de fève dans les sols traités à la boue. Ceci pourrait être dû à la salinité des boues utilisées ou à une certaine toxicité de ces boues au leur jeune âge.

Analyse de variance :

	S.C. E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	9375,001	15	625				
VAR.FACTEUR 1	1875,001	3	625	1	0,42756		
VAR.RESIDUELLE 1	7500	12	625			25	26,67%

2.2 Analyse de la variable « longueur des tiges :

La lumière des résultats de l'analyse de la variance pour la variable « longueur des tiges »

Nous remarquons que pour cette variable il n'y'a aucune différence significative entre les longueurs des tiges de la fève pour les traitements étudiés nous relevons une fonction observée de $P= 0,236$ très inférieure à la fonction théorique que les doses de boues (résiduaires) étudiées n'ont aucun effet sur le développement des tiges de la fève.

ANALYSE DE VARIANCE

	S.C. E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	6421,75	15	428,117				
VAR.FACTEUR 1	1850,25	3	616,75	1,619	0,23645		
VAR.RESIDUELLE 1	4571,5	12	380,958			19,518	56,37%

2.3 Analyse de la variance de la variable : "nombre de tiges par pieds" :

D'après les résultats obtenus dans notre (expérimentation), concernant le nombre de tiges par pieds eu faisant varier les doses de boues résiduaires dans le Pol , il eut ressort qu'il n'y a aucune différence signification du nombre de tiges par pieds entre les 04 traitements étudiés (Témoin , 25% de boues , 50% de boues et 75% de boues résiduaires).

ANALYSE DE VARIANCE

	S.C. E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	100,938	15	6,729				
VAR.FACTEUR 1	19,187	3	6,396	0,939	0,45386		
VAR.RESIDUELLE 1	81,75	12	6,813			2,61	51,56%

La fonction observée a $\alpha=0.05$ qui est de 0.453 et très inférieur à la fonction théorique de Fisher égale à, p39.

Ceci pourrait être expliquer par le coefficient de variation (cv = 51.56/) témoignant d'une fraude hétérogénéité entre les répétitions.

2.4 Analyse de la variance de la variable (nombre d'inflorescence par pied)

Le nombre d'inflorescence par pied de fève ne semble pas être significativement différent d'un traitement à l'autre (. Le Tableau N° de l'ANOVA « Tableau N° e ») révèle une fonction observer de 0.160 très inférieure à la fonction théorique à $\alpha=0.05$ qui est égale à 2.047 l'application des boues résiduaire ou sol à $\alpha =0.05$ qui est égale 2.047 l'application des boues résiduaires ou sol à ces différentes, ne fait pas augmenter le nombre d'inflorescence d'une manière significative.

ANALYSE DE VARIANCE

	S.C. E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	103,938	15	6,929				
VAR.FACTEUR 1	35,187	3	11,729	2,047	0,1602		
VAR.RESIDUELLE 1	68,75	12	5,729			2,394	37,18%

2.5 Analyse de la variable « nombre de gousses » par pied (Rendement) :

Comme pour les autres variable précédentes, le nombre de gousse par pieds ne semble pas différer d'un traitement à l'autre, l'analyse de la variance ne révèle aucune différence significative du nombre de gousses entre les doses des boues étudiées.

ANALYSE DE VARIANCE

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	103,75	15	6,917				
VAR.FACTEUR 1	32,75	3	10,917	1,845	0,19206		
VAR.RESIDUELLE 1	71	12	5,917			2,432	26,66%

2.6 Analyse de variable « nombre de grains par pieds » :

Ce qui concerne le nombre de grains par pied qui est une variable dépendante du nombre de gousses par pieds, il est évident que puisqu'il n'y'a pas de différences significatives du nombre de grains par pieds entre les 4 traitements étudiés

ANALYSE DE VARIANCE

	S.C. E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	4255,938	15	283,729				
VAR.FACTEUR 1	737,188	3	245,729	0,838	0,50079		
VAR.RESIDUELLE 1	3518,75	12	293,229			17,124	38,53%

Globalement, au terme de notre expérimentation il en ressort que les boues résiduaires n'auraient aucun impact sur toutes les variables étudiées et donc sur le rendement de la fève ce qui semble très paradoxal sachant que généralement les boues résiduaires sont considérées comme un compost très riche en azote, en phosphore et en potassium.

Conclusion

L'application des boues d'épuration en agriculture représente une pratique prometteuse pour améliorer la fertilité des sols et assurer un rendement optimal.

L'épandage des boues résiduares issues de la station d'épuration de la ville de Tizirt a démontré son effet sur l'agriculture notamment la culture de la fève.

Généralement, on a noté un effet représentatif de l'apport de la boue résiduaire non seulement sur les propriétés physico-chimiques du sol mais aussi sur les paramètres agronomiques de la fève.

Nous avons constaté que la boue résiduaire est plus chargée d'éléments minéraux probablement issues des déchets humains provoquant sa grande minéralisation en regard de sol. Cette dernière, aura un impact prometteur sur la capacité d'échange cationique des sols réformés et à la neutralisation de leurs pH.

La fève qui se développait sur le sol ayant 25% de boue résiduaire avait une meilleure croissance et un rendement préférable comparativement à celle qui se développait sur les sols ayant un dosage plus élevé de la boue soient : taux de germination, longueur de tige, nombre de tige/pied, effet sur la floraison, nombre de gousses ainsi que le rendement.

En dépit des résultats favorables obtenues, notre étude à court terme demeure inachevée. En effet, une période de 04 mois n'a pas été suffisante pour évaluer pleinement l'impact des boues résiduaires sur l'agriculture en particulier ; la fève. Et pour cela, nous recommandons :

Un suivi au long terme des expériences menées afin de les compléter et fournir une évaluation adéquate de l'influence agricole des boues.

La boue résiduaire constitue l'option ultime pour revitaliser les sols des régions Algérienne tout en réduisant la quantité des déchets humains envoyés à la mer ; une manière directe pour protéger l'environnement.

L'organisation des portes ouverte pour la présentation et la sensibilisation de la population et même les agriculteurs sur les effets positifs des boues résiduaires et les inciter à remplacer les engrais chimiques.

Cela fera objet de commercialisation des produits fertilisants et un soutien pour les petites entreprises dans ce domaine.

Nos perspectives dans l'avenir se résument à valoriser les boues résiduaires dans les cultures maraichères et même dans les grandes cultures tels que la céréaliculture et la culture du maïs dans le grand sud algérien, et surtout ne pas limiter son utilisation uniquement dans l'arboriculture fruitière.

Toutefois, il faut noter ces boues résiduaires restent incomplètes du point de vue analyse microbiologique pour connaître leur pouvoir de contamination écotoxicologiquement parlant.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographique

Abbes Z., Kharrat M., Shaaban K. et Bayaa B., 2010. Comportement de différentes accessions améliorées de féverole (*Vicia faba* L.) vis –à-vis d'*Orobanche crenata* Forks. et *Orobanche foetida* Poir. Cah. Agric, 19 n°3: 194-199.

ABDEMEZIAM S., TALBI. DJ., (2006) : Contribution à la valorisation agricole des boues d'épuration et de T.O.T, Thèses d'ing. Université de Tizi-Ouzou, 79P

Abou-Zeid N. M., 2002. Current status of food legumes diseases in Egypt. Proceedings du 2^{ème} séminaire du réseau REMAFEVE/REMALA, « *Le devenir des Légumineuses Alimentaires dans le Maghreb* », Hammamet, Tunisie, 100p.

Ait Abdellah F. et Hamadache A., 1996. Effet de la période de semis, de la variété et de l'utilisation du Glycophosphate sur le contrôle de l'Orobanche chez la fève (*Vicia faba*) dans une zone sub-humide numéro spécial fève N° 29, 27-30.

Al-Ghamdi S.S. et Al-Tahir O.A., 2001. Temperature and Solar Radiation effects on Faba bean (*Vicia faba* L.) Growth and Grain Yield. Saudi. J. Biol. Sci., Vol 8, N°2, pp 171-183.

Anonyme (1999) : Audite environnementale et économique des filières d'élimination des boues d'épurations urbaines.

Anonyme 1 ; (2001) : Document de synthèse se comité sécurité alimentaire de là l'aprifel « les boues d'épuration », P42

Benabdel-Jell K., 1990. Des légumineuses en tant que source protéique alternative dans les rations de poulet chair. Options Méditerranéennes, N : 07, 12-45.

Benachour K., Louadi K. et Terzo M., 2007. Rôle des abeilles sauvages et domestiques (Hymenoptera ; Apoidea) dans la pollinisation de la fève (*Vicia faba* L. var major) (Fabaceae) en région de Constantine (Algérie). Ann. Soc. Entomol. Fr. (n.s), 43 (2) : 213-219.

Benidire L., Daoui K. Fatemi Z.A. Achouak W. Bouarab L. et Oufdou K., 2015. Effet du stress salin sur la germination et le développement des Plantules de *Vicia Faba* L. Effect of salt stress on germination and seedling of *Vicia faba* L. J. Mater. Environ. Sci. 6 (3) 840-851.

BENTERROUCHE I ; (2007) : Réponse Eco physiologique d'essence forestier urbaine soumises à une fertilisation avec les boues d'épuration. Thèse de Magistère. Université de Constantine, 179P

BERCHICHE CH ; LADJIMI S., (2010) : Contribution à l'étude de la valorisation et la caractérisation des boues résiduaires issues de la station d'épuration Est de T.O. Essai

expérimentales sur le blé dur (*Triticum durum*. var. vitron). Thèse d'ing. Université de Tizi-Ouzou, 69P

Blancard B., Lafon R., Messiaen C.M. et Rouxel F., 1991. Les maladies des plantes maraichères .3Ed. I.N.R.A, Paris, 552p.

Boyeldieu J., 1991. Produire des grains oléagineux et protéagineux. Ed. Lavoisier IC et DOC, Paris,228 p.

Chase M. W. et Reveal J. L., 2009. A phelogenetic classification of the land plants to accompany, APGIII. *Bot. J. Linn. Soc.* Vol. 161, pp 122-127.

Chaux C. et Foury C. L., 1994. Cultures légumières et maraichères. Tome III. Légumineuses potagères, fruits et légumes, technique et documentation Lavoisier, Paris, 663 p.

Cubero J.L., 2011. The Faba bean. A historic perspective. *Grain legumes*. N: 56:5-7.

Cubero J.L., 1974. On the evolution of *Vicia faba*, theory-app- Paris, 503p.

D.S.A.T.O, 2024. Statistiques Agricoles. Direction des Services Agricoles de la wilaya de Tizi-Ouzou. 1p.

Doyle J.J. et Luckow M.A., 2003. The rest of the iceberg. Legume diversity and evolution in a phylogenetic context. *Plant Physiol* 131:900-910.

Duc G., Shiyng-Bao B., Baumc M., Reddenb B., Sadiki M.E., Suso M.J., Vishniakova M. et Zong X., 2010. Diversity maintenance and use of *Vicia faba* L. genetic resources. *Field Crops Research* 115:270–278.

Dudski, l'épandage agricole des boues, de station d'épuration d'eau usées, urbaines INRA (INRA) : (Institut National de la Recherche Agronomiques), (Aout 2000).

Emeran A.A., Silloero J.C., Fernandez -Aparici M. et Rubiales D., 2011. Chemical control of faba bean rust (*Uromyces viciae-fabae*). *Crop Protection journal homepage*, pp 1-6.

Farissi M., Faissal A., Bouizgaren A. et Ghoulam C., 2014. La symbiose Légumineuses-Rhizobia sous conditions de salinité : Aspect Agro-Physiologique et Biochimique de la tolérance. *International Journal of Innovation and Scientific Research* ISSN 2351-8014 Vol. 11 No. 1, pp. 96-104.

Feliachi K., 2002. Le développement des légumineuses alimentaires et les perspectives de relance en Algérie. *Proceedings du 2^{ème} séminaire du réseau REMAFEVE/REMALA, « Le devenir des Légumineuses Alimentaires dans le Maghreb »*, Hammamet, Tunisie, 100p.

Fernandez–Aparicio M., Shtaya M.J.Y., Emeran A.A., Allagui M.B., Kharrat M. et Rubiales D., 2011. Effects of crop mixtures on chocolate spot development on faba bean grown in mediterranean climates. *Crop Protection*, pp 1-9.

Gepts P., Beavis W.D., Brummer E.C., Shoemaker R.C., Stalker H.T., Weeden N.F. et

- Young N.D., 2005.** Legumes as a Model Plant Family. Genomics for Food and Feed Report of the Cross-Legume Advances through Genomics Conference. *Plant Physiology* 137 : 1228–1235.
- Giove R.M. et Abis S., 2007.** Place de la Méditerranée dans la production mondiale de fruits et légumes. Les notes d'analyse du CIHEAM 23 : 1-21
- Girard C., 1990.** La féverole, encyclopédique techniques agricoles. Partie production végétale : 2213p.
- Gnanasambandam A., Jeff Paull , Ana Torres A., Kaur S., Leonforte T., Haobing L. Xuxiao Zong X., Yang T. et Materne M., 2012.** Impact of molecular technologies on Faba bean (*Vicia faba* L.) Breeding Strategies. *Agronomy*: 132-166.
- Gordon M.M., 2004.** Haricots secs: Situation, Prospective et Agroalimentaire. Canada, 1-7.
- Goyoaga C., Burbano C., Cuadrado C., Romero R., Guillamo´N E., Varela A., Pedrosa M.M. et Muzquiz M., 2011.** Content and distribution of protein, sugars and inositol phosphates during the germination and seedling growth of two cultivars of *Vicia faba*. *Journal of Food Composition and Analysis* 24, 391–397.
- Hamadache A., 2003.** La féverole. *Inst. Techn. Gr. Cult (T.T.G.C)*, 13p.
- Huignard J., Glitho A., Monge J.P. et Regnault-Roger C., 2011.** Insectes ravageurs des grains de légumineuses. *Biologie des Bruchinae et lutte raisonnée en Afrique*. Ed. Quæ, Paris, 145p.
- Jensen E.S., Peoples B. et Nielsen H., 2010.** Faba bean in cropping systems. *Field Crops Research*, 115 :203–216.
- Khaldi R., Zekri S., Maatougui M.E.H. et Ben Yassine A., 2002 :** L'Economie des Légumineuses Alimentaires au Maghreb et dans le Monde. *Proceedings du 2^{ème} séminaire du réseau REMAFEVE/REMALA, « Le devenir des Légumineuses Alimentaires dans le Maghreb », Hammamet, Tunisie, 100p.*
- Khan H.R., J.G. Paull H.R., Siddique K.H.M. et Stoddard F.L., 2010.** Faba bean breeding for drought-affected environments: A physiological and agronomic perspective. *Field Crops Research*, 115 pp 279–286.
- Kharrat M., Sadiki M. et Maatougui M.E.H., 2002a.** Analyse de la stabilité du rendement de lignées améliorées de fève et de féverole dans la région du Maghreb. *Proceedings du 2^{ème} séminaire du réseau REMAFEVE/REMALA, « Le devenir des Légumineuses Alimentaires dans le Maghreb », Hammamet, Tunisie, 100p.*
- Kharrat M., Zouaoui M., Saffour K. et Souissi T., 2002b.** Lutte chimique contre l'*Orobanche foetida* sur la fève. *Proceedings du 2^{ème} séminaire du réseau REMAFEVE/REMALA, « Le devenir des Légumineuses Alimentaires dans le Maghreb », Hammamet, Tunisie, 100p.*
- Kharrat, 2002a.** Etude de la virulence de l'écotype de Beja d'*Orobanche foetida* sur différentes

espèces de Légumineuses. Proceedings du 2^{ème} séminaire du réseau REMAFEVE/REMALA, « *Le devenir des Légumineuses Alimentaires dans le Maghreb* », Hammamet, Tunisie, 100p.

Kharrat, 2002b. Sélection de lignées de féverole résistantes à l'Anthracnose, causée par *Ascochyta fabae*. Proceedings du 2^{ème} séminaire du réseau REMAFEVE/REMALA, « *Le devenir des Légumineuses Alimentaires dans le Maghreb* », Hammamet, Tunisie, 100p.

Kolev N., 1976. Les cultures maraîchères en Algérie ; légumes, fruits, Ed J. BAILLIERE. Paris. Vol I, 207p.

Laumonier R., 1979. Cultures légumières et maraîchères, Tome III. Ed.J.B. BAILLIERE, 276p.

Lazrek-Ben-Friha F., 2008. Analyse de la diversité génétique et symbiotique des populations naturelles tunisiennes de *Medicago truncatula* et recherche de QTL liés au stress salin. Thèse de doctorat. Sciences biologiques. Université de Toulouse. 255p.

Lebreton J.C., Legraet S., Guibert S., Masson F., Rigaud J.P. et Rocton L., 2009. La féverole d'hiver, chambre d'agriculture de l'Orne, 10p.

M. A, 2014. Statistiques Agricoles. Ministère de l'Agriculture, 1p.

Maatougui M.E.H., 1996. Situation de la culture des fèves en Algérie et perspectives de relance, in réhabilitation of faba bean. Ed. actes, Rabat (Maroc) 202 p.

Mathon C.C., 1985 : Liste de plantes utiles avec indication de leur aire probable de primo domestication. Faculté des sciences de l'université de Poitier. 17p

Meskine M., Bouznad Z., Allagui M.B. et Aziri H., 2002. La Rouille des fèves dans le Maghreb : Incidence de la Maladie et Sources de Résistance. Proceedings du 2^{ème} séminaire du réseau REMAFEVE/REMALA, « *Le devenir des Légumineuses Alimentaires dans le Maghreb* », Hammamet, Tunisie, 100p.

Messiaen C.M., 1981. Les variétés résistantes : méthodes de lutte contre les maladies et les ennemies des plantes. I.N.R.A, Paris, 396p.

Mezani S., 2011. Bioécologie du bruche de la fève *Bruchus rufimanus* Boh. (Coleoptera : Bruchidae) dans des parcelles de variétés de fève différentes et de féverole dans la région de Tizi- Rached. Mémoire de magister. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 114 p.

Migliorini P., Tavoletti S., Moschini V. et Lommarini L., 2008. Performance of grain legume crops in organic farms of central Italy. 16th IFOAM Organic World Congress, Modena, Italy, pp : 1-6.

O.T.V. "traiter et valoriser les boues". Livre collection d'. O.T. V Edition 1979

OTV, (OMNIUM de traitement et de la valorisation 1997. Traité et valoriser les boues. Collection N°02, Edition technique et documentation. Lavoisier, Paris, 457P.

- Péron J-Y., 2006.** Références. Production légumière. Ed. Duc, Paris. 2^{ème} Ed. 613 p.
- Planquaert P.H. et Girard G., 1987.** La fève de l'hiver, Revue, I.T.C F 3^{ème} Trim. 32p.
- POMMEL., (1979)** : valorisation agricole des boues résiduaires. Cycles formation permanentes, Page8
- Rachef S.A. et Ouffroukha A., 2005.** Inventaire des ravageurs de la fève en Algérie (identification et caractérisation). I.N.R.A. pp : 34-41.
- Rachef S.A., Ouamer F. et Ouffroukh A., 2005.** Inventaire des ravageurs de la fève en Algérie (Identification et caractérisation). I.N.R.A., 16 : 36-41.
- Raynaud C., 1976.** Monographie et iconographie du genre *Vicia* L. au Maroc. Bull. Inst. Sci. N°1, 147-183.
- Rhaim A., 2002.** Studies on the pathogenic variability among isolates of *Botrytis spp.* From Tunisia and resistance of faba bean genotypes to chocolate spot. In: 11 congress of the Mediterranean phytopathological union et 3 congress of the sociedade portuguesa de Fitopatologia, Evora, Portugal, 146-148. Andalus Academic publishing, 209p.
- Scholz, Miklas. 2016.** "Chapter 21 - Sludge Treatment and Disposal." In Wetlands for Water Pollution Control (Second Edition), 157–68. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63607-2.00021-6>.
- Shiran B. et Mashayekh A.M., 2004.** Evaluation of the chloroplast DNA among *Vicia faba* germplasm using restriction site analysis. Iranian Journal of Science and Technology, trans. A, Vol. 28: 51-54.
- Sillero J.C., Villegas-Fernandez A.M., Thomas J., Rojas-Mojas Mm., Emeran A.A., Fernandez-Aparicio M. et Rubiales D., 2010.** Faba bean breeding for disease resistance. Field Crops Research. 115:297-307.
- Stoddard F.L., Nicholas A.S., Rubiales D., Thomas J. et Villegas-Fernandez A.M., 2010.** Integrated pest management in faba bean. Field Crops Research 11, 308-318.
- Thomas F., 2008.** La féverole confirme son intérêt. Techniques culturales simplifiées N°48. 4^{ème} édition. 102p.
- Zaghouane O., 1991.** The situation of Faba bean (*Vicia faba* L.) in Algeria. Options Méditerranéenne. Present statu and future perspects of faba bean production, I.C.A.R.D.A. Serie A, N°10. pp 123-125.
- ZANDEJABILE N., AKACHE L., (1979)** : Contribution à l'étude de la valorisation des boues résiduaires en agriculture, « Essais en vase et végétation », « Ray Grass »
- Zuang H., 1991.** Mémento : nouvelles espèces légumières. Ed. Lavoisier, Paris, 360p.

Résumé

L'application des boues d'épuration en agriculture représente une pratique prometteuse pour améliorer la fertilité des sols et assurer un rendement optimal.

L'analyse statistique effectuée permet de constater que la boue résiduaire contribue à l'amélioration des propriétés physico-chimiques des sols notamment le pH et la conductivité électrique ce qui confère un milieu favorable pour semis.

L'effet positif de boue ne se termine pas dans ce stade, portant elle contribue à l'amélioration des paramètres agronomiques de la fève (la germination, la croissance, la floraison, la fructification). Il en ressort que les sols amendés en 25% de boue résiduaire ont un rendement supérieur par rapport aux sols amendés en 50% et en 75%.

Le respect des seuils de dosages de la boue demeure primordial pour un bon résultat de culture de fève.

Mots clés: boue résiduaire, fève, propriétés physicochimiques, paramètres agronomiques, rendement.

Abstract

The application of sewage sludge in agriculture represents a promising practice for improving soil fertility and ensuring optimal yield.

The statistical analysis carried out shows that the residual sludge contributes to the improvement of the physico-chemical properties of the soil, in particular pH and electrical conductivity, which provides a favorable environment for sowing. The positive effect of mud does not end in this stage, as it contributes to the improvement of the agronomic parameters of the bean (germination, growth, flowering, fruiting). It appears that soils amended with 25% of the waste sludge have a higher yield compared to soils amended with 50% and 75%.

Compliance with the mud dosage thresholds remains essential for good bean cultivation results.

Key words: waste sludge, bean, physicochemical properties, agronomic parameters, yield.

ملخص

يمثل تطبيق حمأة الصرف الصحي في الزراعة ممارسة واحدة لتحسين خصوبة التربة وضمان العائد الأمثل.

ويبين التحليل الإحصائي الذي تم إجراؤه أن الحمأة المتبقية تساهم في تحسين الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة، ولا سيما الرقم الهيدروجيني والتوصيل الكهربائي، مما يوفر بيئة مواتية للزراعة. ولا ينتهي التأثير الإيجابي للطين في هذه المرحلة، إذ يساهم في تحسين الصفات الزراعية للفاصوليا (الإنبات، النمو، التزهير، الإثمار). ويبدو أن الترب المعدلة بـ 25% من حمأة النفايات لها إنتاجية أعلى مقارنة بالتربة المعدلة بـ 50% و 75%.

يظل الالتزام بعتبات جرعة الطين أمرًا ضروريًا للحصول على نتائج جيدة لزراعة الفاصوليا.

الكلمات المفتاحية: حمأة النفايات، الفول، الخواص الفيزيائية والكيميائية، المعلمات الزراعية، المحصول.