

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la

Recherche Scientifique

Université El Hadj Lakhdar

Batna

Faculté des sciences

Département d'agronomie

**MÉMOIRE DE MAGISTÈRE
EN SCIENCES AGRONOMIQUE**

Option : Gestion des ressources naturelles et environnement

**Etude de l'effet des boues résiduaires sur sol cultivé :
Dynamique du phosphore et son utilisation en zone
semi – aride**

**Présenté par :
Mlle. ATI Sabrina**

Devant le jury:

Mr. ZOUAOUI.A	M.C (A)	Université de Batna	Président
Mr. KRIBBA.M	Prof	Université de Sétif	Rapporteur
Mr. HALITIM.A	Prof	Université de Batna	Examineur
Mr. BENMOHAMED .A	M.C (A)	Université de Sétif	Examineur

Année universitaire : 2009-2010

REMERCIEMENTS

Avant de présenter les résultats de ce modeste travail, qu'il me soit permis de remercier tous ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation.

Je remercie avant tout Allah tout puissant, de m'avoir guidé toutes ces années d'étude et de m'avoir donné la volonté, la patience, le courage pour terminer ce travail.

Mes remerciements vont d'abord à mon promoteur *Pr. Kribaa M*, pour avoir accepté de diriger ce travail tout le long de sa réalisation, sa patience et ses encouragements.

Je tiens à présenter mes sincères remerciements au *Dr. Zouaoui .A*, qui m'a fait l'honneur de présider le jury.

Au Pr. HALITIM .A, d'avoir accepté de juger ce modeste travail, ses encouragements, à qui j'exprime ma profonde reconnaissance.

Je porte toute ma gratitude au *Dr. Benmohamed .A*, d'avoir accepté de juger mon travail, de sa disponibilité et ses encouragements, à qui j'adresse mes sincères reconnaissances.

Au Dr. Oujhah B à qui il trouve ici une place avec un mérite et une mention spécial pour sa disponibilité lors de nos contacts.

Je tiens aussi à remercier *Dr. Adjroudi.R*, de nous avoir donné la chance de contribuer au développement de cette spécialité d'actualité.

Sans oublier bien sûr tous mes enseignants de l'année théorique.

Mes vifs remerciements vont aussi au *Dr Arbouche.F*, *Dr Benbouza .H* et *Dr Mellizi*, *Dr Bentouati* pour leurs aides et leurs encouragements. Qui ils trouvent ici le témoignage de mes fortes reconnaissances.

Je porte ma profonde gratitude au *Dr Ouachem .D*, pour ses interventions et aides en qualité de responsable de la post graduation.

De nombreuses déterminations ont nécessité l'aide ou la collaboration des techniciens de laboratoires , je profite ainsi pour cette occasion pour remercier *Mrs : Aboubou, Aissa, Haji, Houda, Fatma et Mlle Gharib et madame louachem* responsables au niveau des laboratoires du département d'agronomie , *Nadia et Pr Mhannaoui* , pour le laboratoire du département vétérinaire, et *Nacer et Chahra* pour le laboratoire du département de chimie et *Mme Allaoua* , du département de biologie de Oum el Bouagui.

Aux personnels du département d'agronomie ; surtout *Mrs : Belgacem et Sahraoui*.

Aux personnels de l'ITGC de Sétif, et surtout *Mr Boubaker* .

A toutes les personnes, qui ont contribué de loin ou de près à la progression de mon travail.

Merci a ma famille de son soutien et ses encouragements, surtout pendant les périodes les plus difficiles de ce mémoire, je tiens à remercier particulièrement mes chers parents.

Et enfin a toutes mes ami(e)s et surtout les plus proches ; *Djamila, Nadia, Leila, Saliha, karimen, chafia, Farouk et Salima*

Et bien sur a toute ma promotion de protection de l'environnement pour leurs courage et leur solidarité: *Djamila, Safia, Nawel, Djouda, Lyria, Farouk, Ali et Kamel* .

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail

*A la mémoire de mes grands parents, que dieu le tout
puissant les accueille dans son vaste paradis.*

*A mes parents, pour leurs encouragements éternels, leur
patience et gentillesse.*

A mes sœurs et frères.

A ma grand mère, mes tantes et à mon oncle et sa femme

A Racha, Rahima, wafa Hatem et Ramy.

SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES TABLEAUX

LISTES DES FIGURES

INTRODUCTION	1
Chapitre I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	2 - 16
I. Les ressources en éléments fertilisants.....	2
I.1. Les principaux engrais minéraux.....	2
I.2. Les ressources organiques.....	3
I.3. Les boues résiduaires.....	3
I.3.1.. Origine et formation	3
I.3.2. Principales étapes de traitements de boues	4
I.3.2.1. procédés de réduction de teneur en eau.....	4
I.3.2. 1.1. Lit de séchage	4
I.3.2.1.2. L'épaississement.....	4
I.3.2. 1.3. .La déshydratation	5
I.3. 2. 2. Stabilisation Des Boues.....	5
I. 3. 3. Les principaux types de boues	6
I.4. Apport des boues en éléments fertilisants.....	8
I.5. Intérêt agronomique des boues d'épuration.....	10
I.5.1 Effet des boues résiduaires sur le sol	13
I.5.1. 1 .Effet des boues résiduaires sur la composante biochimique.....	13
I.5.1. 1.1. Les matières organiques mortes	13
I.5.1.1.2 Les éléments minéraux.....	14
I.5.1. 2. Effet des boues résiduaires sur la composante physique.....	14
I.5.2.1.structure et propriétés hydrique d'un sol amendé en boues	14

I.6. Les exigences des céréales	16
Chapitre II. MATERIEL ET METHODES.....	17- 23
II.1. Localisation de l'expérimentation	17
II .2 La nature du climat	17
II.3. Matériel utilisé	18
II.3.1. Le sol.....	18
II.3.2. Le fertilisant utilisé	18
II.4. Méthode d'étude.....	19
II.4.1. Dispositif de l'expérimentation.....	19
II.4.2. Conduite de l'expérimentation	19
II.4.3. Mesures effectuée.....	19
II.4.4. Méthodes d'analyses	20
II.4.4.1. Méthode d'analyse du sol.....	20
II.4.4.2 Autres méthodes analytiques complémentaires.....	20
II.4.5 Méthode du traitement du végétal	21
II.4.5.1. Méthode analytique.....	21
II.4.5.2. Méthode mathématique	21
II.4.6. Méthode statistique	21
Chapitre III. RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	23- 36
III.1. Effet des boues résiduaires sur la culture du blé	23
III.1.1. Paramètres de productivité.....	23
III. 1. 2. Composition minérale de la plante	29
III.2. Effets des boues résiduaires sur le sol cultive.....	31
III.2 .1.Paramètres chimiques.....	31
III.2.1.1 Teneurs en azote dans le sol.....	31

III.2. 1.2. Teneurs en carbone dans le sol.....	32
III. 2.1.3. Le PH du sol.....	33
III. 2.1 .4. La conductivité électrique du sol.....	33
III .2.2. Paramètres physiques du sol.....	34
III.2.2.1. La densité apparente du sol	34
III.2.2.2 La porosité du sol.....	35
III.2.2.3. La conductivité hydraulique du sol.....	36
CONCLUSION GENERALE.....	37
ANNEXE	

LISTE DES ABREVIATIONS

Vmoy	valeurs moyennes ,
CE	conductivité électrique (mS cm ⁻¹),
MO	matière organique (%),
CT	carbone total (%),
D _a	densité apparente (g cm ⁻¹),
H _s	humidité à saturation (%),
H _{cc}	humidité à capacité au champ (%),
H _f	humidité au point de flétrissement (%),
LA	limono argileuse.
NT	azote total (%),
PT	phosphore total (%),
K	potassium (%).
NGM ²	Les variables nombre de grain m ⁻²
(NGE)	nombre de grains par épi
(BIOE)	biomasse aérienne produite au stade épiaison
TCV),	taux de croissance végétative
(GFR),	taux de remplissage des grains.m ⁻²
HI	indice de récolte
PII	la paille produite
RDT	rendement en grains (g m ⁻²)
PMG	poids de 1000 grains
NGE	Nombre de grains par épi
NE	nombre d'épis m ⁻²
BIOM	Biomasse aérienne produite à maturité (g m ⁻²)
VGR	taux de croissance végétative (g m ⁻² j ⁻¹)
BIOE	Biomasse aérienne produite au stade épiaison (g m ⁻²),
JAE	nombre de jours de la levée au stade épiaison (jours).
GFR	taux de remplissage des grains.m ⁻² (g m ⁻² j ⁻¹),
PRG	nombre de jours de l'épiaison a la récolte (jours).
BIOM	Biomasse aérienne produite à maturité estimée de la récolte du bottillon (g m ⁻²)
RDT	rendement en grains estimé du même bottillon (g m ⁻²)
PII	paille produite à maturité (g m ⁻²)
BIOM	Biomasse aérienne produite à maturité (g m ⁻²)
HT	hauteur du chaume (cm)
ETM	éléments traces métalliques

LISTES DES FIGURES

Figure.1. Les principaux types de boues issues des sous produits biologiques stabilisés.....	07
Figure 2. Variations des valeurs moyennes des précipitations et températures au site expérimental de l'ITGC pendant la période d'étude 2006/07	17
Figure.3 Dispositif expérimental	19
Figure 4. Contribution de l'amendement (N+ Boue) à l'augmentation relative des moyennes des variables mesurées comparativement à celles du témoin	24
Figure 5. Augmentation relative des moyennes des variables mesurées sous l'effet des boues résiduelles comparativement à l'effet de la fertilisation N.....	26
Figure 6. Effet de l'amendement sur la teneur en phosphore de la matière sèche des plantes	29
Figure 7. Effet de l'amendement sur la teneur en azote de la matière sèche des plantes	30
Figure 8: Effet de l'amendement sur la teneur d'azote dans le sol	31
Figure 9 : Effet de l'amendement sur la teneur du carbone dans le sol	32
Figure 10 : Effet de l'amendement sur la conductivité électrique	33
Figure 11 : Effet de l'amendement sur la densité apparente	34
Figure 12 : Effet de l'amendement sur la porosité	35
Figure 13 : Effet de l'amendement en boues sur la conductivité hydraulique au voisinage de la saturation ...	36

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Principales étapes de traitement des boues résiduaires (Robert <i>et al</i> ; 1994).....	06
Tableau 2 : Composition en éléments fertilisants de 5 grands types de boues (ITCF ,2001).....	10
Tableau 3 : Microorganismes des boues (Ademe, 2001).....	11
Tableau 4. Prélèvements totaux des éléments en kg par quintal de récolte.....	16
Tableau 5. Caractéristiques physicochimiques moyennes du sol utilisé dans l'expérimentation (Station Expérimentale de l'ITGC, Sétif, Algérie.....	18
Tableau 6. Caractéristiques des boues résiduaires utilisées prises de la station d'épuration des eaux usées sise à Ain Sfiha, Sétif (Station d'épuration des eaux usées d'Ain Sfiha.....	18
Tableau 7. Carrés moyens de l'analyse de la variance des variables mesurées.....	23
Tableau 8. Moyenne des différents traitements étudiés.....	25
Tableau 9 : Carré moyen de l'analyse de la variance de la composition minérale de la matière sèche de la plante.....	29
Tableau 10 : Carré moyen de l'analyse de la variance des paramètres chimiques du sol.....	31
Tableau 11 : Carré moyen de l'analyse de la variance des paramètres physiques du sol.....	34

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Les activités humaines génèrent des déchets en quantités de plus en plus élevées, leur gestion pose de gros problèmes. De ce fait, il faut trouver les moyens comment les recycler. Les boues résiduaires, au même titre que les eaux usées dont elles dérivent, peuvent être mis à profit dans les régions où la variation climatique du milieu associée au coût de production ne permettent pas toujours d'utiliser les fertilisants chimiques pour palier à la faiblesse de fertilité des sols cultivés. L'utilisation des boues résiduaires traitées dans ce domaine apparaît comme une alternative attrayante pour augmenter la production (Benmouffok et *al.*, 2005; Chatha et *al.*, 2002; CNB, 2000; Pescod, 1992; Ripert et *al.*, 1990).

En effet, les sols traités avec des boues gardent plus longtemps l'humidité et la végétation installée sur de tels sols un système racinaire plus développé comparativement aux sols non traités (Tester et *al.*, 1982). Les boues résiduaires libèrent progressivement les éléments nutritifs et notamment l'azote pour le mettre à la disposition de la plante tout le long du cycle de la culture. La libération de l'azote est fonction des conditions climatiques prévalentes, des quantités de boues apportées et du rapport C/N (Jamil et *al.*, 2006 ; Pescod, 1992 ; Barbartik et *al.*, 1985).

Les sols traités avec des boues résiduaires tendent à avoir un pH neutre et s'enrichissent en phosphore et en matière organique (Benmouffok et *al.*, 2005; Mohammad et *al.*, 2004 ; Gomez et *al.*, 1984). Cependant, les boues apportées sont souvent une source de pollution des eaux souterraines lorsqu'elles sont chargées de nitrates qui migrent vers les nappes phréatiques (Xanthoulis et *al.*, 1998). Elles sont la cause de la salinité du sol (Tasdilas, 1997), de la pollution aux métaux lourds (Mohammad et *al.*, 2004 ; Bozkurt, 2003 ; Aboudrare et *al.*, 1998) et d'odeurs désagréables (Sachon, 1995). La présente contribution étudie la réponse du blé dur (*Triticum durum* Desf.) à l'épandage de boues résiduaires sous climat semi-aride, ainsi que le comportement du sol après traitements.

Le document comporte trois chapitres :

- **Une revue bibliographique sur les boues résiduaires**
- **Un énoncé de l'expérimentation**
- **Des résultats et leurs discussions.**

Chapitre I

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Les ressources en éléments fertilisants

Les matières fertilisantes comprennent d'une manière générale tous les produits dont l'emploi est destiné à assurer la nutrition des végétaux, ainsi qu'améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols.

Les engrais ont pour fonction principale d'apporter aux plantes par l'intermédiaire du sol les éléments utiles à leur nutrition, ils renferment les fertilisants majeurs (N P K) Et secondaires tel que Ca^{++} - Mg^{++} et les oligo-éléments. Ils se classent en trois catégories :

- Engrais minéraux
- Engrais Organiques
- Engrais organominéraux

I.1 - Les principaux engrais minéraux

Ces ressources peuvent être simples ou composées, on distingue les engrais azotés, phosphatés et potassiques. Dans les engrais azotés, on a deux classes : les engrais azotés organiques d'origine animale ou végétale, et les engrais azotés de synthèse qui sont les plus utilisés ex : engrais ammoniacaux, urée, nitrique et ammoniacaux nitrique, leur apport favorise et accentue le développement végétal.

Les engrais phosphatés sont simples ou composés, ils sont nombreux et ont deux origines; l'exploitation du phosphate naturel (minerais); traitement des sous produits de la sidérurgie; ils sont classés selon leur solubilité en engrais très soluble ex: super phosphate de chaux; de solubilité moyenne ex : phosphate bi calcique, et à faible solubilité ex : phosphate naturel.

Les engrais potassiques sont aussi nombreux tels que les chlorures de potassium, les sulfates de potassium et les nitrates de potassium.

I.2 – Les ressources organiques

Ils comprennent les déchets végétaux, animaux et humains. Le fumier de ferme (Fao, 1987) qui est la plus importante Fumure organique, il est constitué d'un mélange de composés de bouses et d'urines de bovins et d'autres bestiaux avec la paille.

La paille désigne l'ensemble des organes aériens des végétaux, ce sont des sous produits celluloseux de la récolte des grains de céréales et ils sont riches en azote et en potassium.

Le composte urbain est un mélange de déchet solide d'origine domestique ayant subi au cours de sa fabrication un échauffement naturel de la masse à une température de 60° C, précédé de certaines opérations mécaniques (trilage – broyage dilacération tamisage...), (Glema, 1980).

Les engrais verts se sont les cultures implantées pour produire une biomasse destinée à être enfouie sur place (Vilain, 1987)

Le purin est un mélange de déjection liquide; urines et d'eaux de lavage ou de jus de récupération des fumiers, la composition varie selon les animaux et leur mode d'alimentation ex: cheval, (%). N= 1,2 : % P = 00, % K 20 = 1,5) et mouton (% N = 1,7, % P = 0,07; % K 20 = 2 ; une bonne partie d'N et de K Contenue dans la nourriture se retrouve dans les urines sous forme soluble est directement assimilable (FAO, 1987).

I.3. les boues résiduaire

I.3.1. Origine et formation

Les boues résiduaire peuvent être considérées comme des substances extraites à partir des eaux usées afin de pouvoir récupérer dans le milieu naturel une eau épurée (Anred, 1982).

Le traitement primaire de décantation des eaux prétraitées sous l'influence de la pesanteur forme les boues primaires (Zekad, 1982), au cours du traitement biologique les particules dissoutes sont fixées et métabolisées par les micro-organismes (bactéries) en présence d'oxygène, cette biomasse bactérienne est séparée par une décantation pour donner les boues secondaires, les deux types de boues issues de ce procédé sont mélangés pour donner les boues mixtes. Les boues issues d'une épuration physico-chimique sont dites boues de coagulation (Anred, 1982), celles-ci sont riches en résidus formés de réactifs chimiques (Sbih, 1990).

I.3.2. Principales étapes de traitements de boues

Quel que soit le mode d'épuration des eaux, les boues sont initialement constituées d'eau (99%), de matière organique fraîche très fermentescible, et des matières minérales dissoutes ou insolubles. La matière organique qui représente 35 à 85 % de la matière sèche est constituée essentiellement de cadavres de bactéries et leurs substances toxiques (Gambier,Christian, 1994) .

Selon le but de leur utilisation, des traitements complémentaires leur sont appliqués pour :

- Réduire leur teneur en eau est ceci dans le but de réduire leur volume et d'éviter la putréfaction de la matière organique facilement décomposable (Bram, Lefevre, 1977)
- Stabiliser la matière organique en diminuant sa fermentescibilité pour réduire au moins et supprimer les mauvaises odeurs ;
- Pour les hygiéniser si nécessaire en détruisent les micros organismes pathogènes.

I.3.2.1. Procédés de réduction de la teneur en eau

I.3.2.1. 1. Lit de séchage.

Pour des raisons d'hygiène et afin de ne pas créer des odeurs désagréables, on utilise des lits de séchage ; on élimine en grande partie ou, en totalité l'eau par évaporation : Soit par voie naturelle (lits de séchage); Soit par voie thermique. La technique des lits de séchage se pratique à l'air libre sur des boues liquides et combine l'évaporation naturelle et le drainage de l'eau libre à travers une couche filtrante de sable ou de graviers ; l'emprise au sol est de 1m² pour 4 à 5 habitants raccordés. Ce système extensif donne des boues solides à 35 – 40 % de siccité mais reste fort dépendant des conditions météorologiques.

Le séchage thermique permet une élimination quasi-totale de l'eau (siccité – 95 %) les boues obtenues sont pulvérulentes ou en granulés, mais en raison du coût énergétique, ce procédé reste peut utilisé (Visilind,1974).

I.3.2.1.2. L'épaississement

Il vise l'augmentation de la siccité (teneur en matière sèche) des boues sans pour autant modifier le caractère liquide de la boue, ce procédé peut se faire par voie gravitaire dans

un concentrateur ou par des moyens mécaniques (égouttage – flottation – centrifugation) ; La siccité des boues ne dépasse pas 7%.

I.3.2. 1. 3. La déshydratation

Elle correspond en fait à une forte augmentation de la siccité, et modifier l'état physique des boues, celles-ci passent de l'état liquide à l'état pâteux ou solide. Les filtres à bandes et les centrifugeuses donnent des boues plutôt pâteuses en raison de la performance de déshydratation qui plafonnent de 18 à 20 % de siccité pour la première famille de matériels, et de 20 à 25 % pour la seconde. Les filtres presses produisent par contre des boues de structures solides 30- 35 % de siccité, en conjuguant un conditionnement au lait de chaux et des pressions élevées (Ademe, 2001).

I.3.2. 2. Stabilisation des boues.

Dans la stabilisation biologique, les boues primaires et les boues activées en excès sont souvent mélangées, elles présentent une tendance à la fermentation, on aère ce mélange avec l'air ou de l'oxygène, on assiste alors à une minéralisation de la matière organique en CO₂, ce procédé permet l'élimination de certains parasites (Bovijn, 1970) ; cette technique résume la digestion aérobie, tandis que pour la digestion anaérobie, et qui a bénéficié d'une grande publicité, permet une production des gaz combustibles (Maes, 1977), elle consiste à favoriser le développement des bactéries méthanifères qui agissent en anaérobie sur la matière organique en la décomposant en produisant le méthane, selon Maes, ce procédé peut être important pour certaines cultures lorsqu'on prévoit l'utilisation agricole.

La stabilisation non biologique ou chimique comporte la pasteurisation, et le traitement à la chaux. La pasteurisation consiste à l'injection de vapeur à une température de 80 ° durant 30 mn ; Les boues sont désinfectées mais non stérilisées (Hesse, in Gamrasni, 1981).

Le compostage constitue un procédé particulier de stabilisation biologique aérobie il se réalise de préférence sur les boues déjà déshydratées, les boues compostées ont une structure solide (Gotaas in Gamrasni, 1981).

Tableau 1. Principales étapes de traitement des boues résiduaires (Robert *et al* ; 1994)

<ul style="list-style-type: none"> • <u>Épaississement</u> : <ul style="list-style-type: none"> • Procédés physiques (décantation – flottation) • Procédé physico-chimique– (floculation –polyélectrolytes) • <u>Stabilisation</u> : <ul style="list-style-type: none"> • Procèdes biologiques (digestions anaérobies – ou aérobie) • Chaulage. • <u>Désinfection</u> : <ul style="list-style-type: none"> • Désinfection : pasteurisation 70 °C : Traitement aérobie thermique et anaérobie • Centrifugation
--

I.3.3. Les principaux types de boues

Quatre grands types de boues sont issus des stations municipales: Les boues liquides, solides, pâteuses et chaulées. Les boues liquides sont issues de l'épaississement des boues biologiques par voie gravitaire (Siccité 2-3 % de la matière sèche) ou, mécanique (Siccité 5.à 7 % de la matière sèche); on les trouve dans les petites stations rurales et périurbaines, se manipulent et s'épandent comme des lisières.

Les boues pâteuses proviennent des boues liquides déshydratées mécaniquement (siccité 16-20 % de matière sèche) dans certains cas elles subissent un conditionnement supplémentaire à la chaux qui accroît la siccité du produit brut (25 % de MS), ces boues pâteuses sont produites dans les stations de taille moyenne ; elles sont difficiles à stoker et surtout à épandre avec régularité, en outre elles présentent souvent de graves problèmes d'odeurs, sauf dans le cas de traitement complémentaire à la chaux.

Les boues solides (chaulées) résultent soit de boues pâteuses traitées a la chaux (siccité 39% de MS); soit des boues liquides épaissies traitées à la chaux et déshydratées mécaniquement (siccité 40 % MS) elles sont produites par des stations de tailles moyennes ou, de grandes tailles. Les boues solides chaulées se stockent, se manipulent et s'épandent facilement, par ailleurs elles présentent beaucoup moins de problèmes d'odeurs que les boues liquides et pâteuses chaulées. Les boues solides compostées sont à siccité de 45% de MS, elles sont issues du mélange de boues pâteuses avec un support ligninocellulosique structurant (déchets d'espaces verts,.....)

Boues Biologiques stabilisées

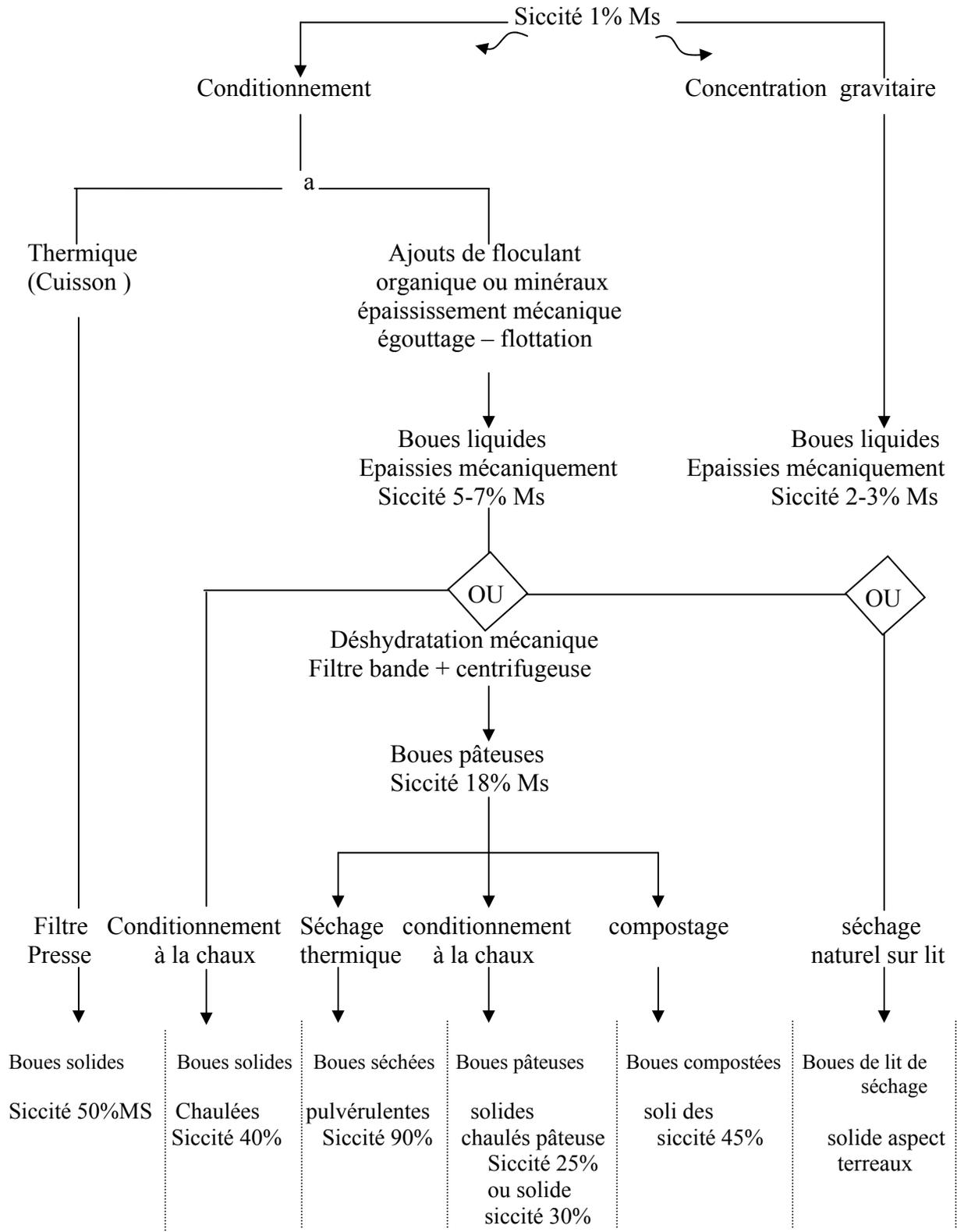


Figure 1. Les principaux types de boues issues des sous produits biologiques stabilisés (ADEME, 2001)

I.4. Apports des boues en éléments fertilisants

Les boues résiduaires sont bien hétérogènes en fonction de leurs origines, la nature de pollution initiale de l'eau et des procédés de traitements (Laurant, 1994), toutes les boues d'épuration municipales contiennent de l'azote et du phosphore, par ailleurs certaines boues peuvent avoir des propriétés proches des amendements basiques (les boues chaulées) ou, des amendements organiques (boues compostées). En générale leur composition comprend :

La matière organique qui est selon (Brame et Lefevre, 1977) estimée par la perte au four à 450° C elle est par définition la différence entre la matière sèche et les cendres; Les boues contiennent autant de matière organique qu'un fumier ; Si ce dernier est composé de lignine et de composés cellulosiques ; Dans la boue se trouvent surtout les corps microbiens et les produits de leur métabolisme (Anonyme, 1981); La matière organique peut aller de 30 % à 35 % (Robert *et al* ; 1994); L'évaluation de la matière organique des boues est comparable à celles d'autres amendements organiques.

Trois ans après l'enfouissement, la proportion de la matière organique stable restante est la suivante selon les différents amendements :

(Fumier 30 – 50 % : compost urbain 25 % ; résides culturaux 20 – 40 % ; boue de laiterie 18 %) – (Anred,1982) ,et selon Alberta (1977), la boue résiduaire contient une forte proportion de matière organique qui varie de 6 à 30 % de matière grasse et 8 à 15 % de cellulose.

L'azote dans les boues est en moyenne de 4 à 6 % (% de la matière sèche), ce taux d'azote est très favorable selon le type de boue, la fourchette extrême des teneurs observées s'étend de 1 à 9 %.

Dans les boues, l'azote se trouve sous deux formes : Organique et minérale (NH₄), les boues ne contiennent pas l'azote nitrique (NO₃⁻) et nitreux (NO₂) sauf à l'état de trace.

L'azote est assimilable par les végétaux sous forme minérale, surtout nitrique, la valeur fertilisante des boues dépend donc de leur richesse en azote ammoniacale et surtout l'aptitude de l'azote organique qu'elles contiennent à être minéralisé dans le sol. La valeur azotée des boues dépendra essentiellement de leur nature c'est-à-dire de leur origine et les procédés technologiques qui leurs sont appliquées, les traitements par stabilisation aérobie et anaérobie conduisent en effet à la transformation d'une fraction de l'azote organique en azote minérale soluble, lequel se trouve dans la fraction liquide (Juste et Catroux, 1980).

Les périodes de minéralisation de la fraction organique sont principalement liées à la température et à l'humidité du sol, la culture bénéficiera d'autant mieux de ces fournitures au cours de la période de minéralisation généralement plus de 50% pour les céréales d'hivers. La température a un effet plus marqué que l'humidité. Chaussaud *et al* (1981) proposent un classement des boues en fonction de leur aptitude à libérer l'azote en quatre principaux groupes :

- Boues libérant rapidement à coups sur une forte proportion d'azote totale (5-100%) avec un rapport $\frac{C}{N} < 6$; Ces boues correspondant aux boues de laiterie et les boues riches en azote ammoniacal (boues liquides anaérobies) ;
- Boues libérant (30-40%) de leur azote total assez rapidement $\frac{C}{N}$ varie de 6 – 12% ces boues correspondent aux boues urbaines ;
- Boues susceptibles de provoquer un blocage temporaire d'azote en raison d'une stabilisation insuffisante $\frac{C}{N} > 12$ laissant un excès de carbone facilement fermentescible ($C > 30$) ;
- Boues carencées en azote $(N \leq 2 - \frac{C}{N} > 15)$ évoluent peut et risquent de prolonger l'immobilisation de l'N du sol (Grimaud,1996).

Le phosphore contenu dans les boues d'épuration municipales provient pour 50 à 70% des poly phosphates des détergents et pour 30 à 50 % des matières organiques d'origine humaine (Morel, 1978).

Le phosphore des boues liquides non floquées est aussi efficace que celui des engrais minéraux phosphatés solubles, l'apport de cet élément favorise le développement racinaire et la précocité des plantes.

De nombreux auteurs ont mis en évidence un abaissement du phosphore de la solution du sol au voisinage des racines (Krauss et Saleque, 1987) et selon Barber (1995) les racines absorbent le phosphore des phosphates dissous en solution.

Toute boue est carencée en potassium dont les sels sont entraînés par les eaux épurées, la teneur des boues en K^+ varie de 1 à 0,3% de la matière sèche (Lamari, 1979).

Les éléments traces métalliques et organiques (ETM et CTO) En plus des éléments fertilisants indispensables pour les plantes, les boues peuvent contenir des éléments ou

contaminant chimiques et organiques, les éléments traces métalliques sont naturellement présents dans les sols, un certain nombre d'entre eux est indispensable à l'alimentation de la plante, ils font partie des oligo-éléments. Des expérimentations de longue durée ont permis de montrer que le taux de transfert des ETM du sol vers les végétaux est inférieur à 1% (Adler, 2001) ; dans les boues leur concentration peut être faible, mais selon la nature des eaux épurées la teneur en certains éléments peut s'élever considérablement et faire craindre à long terme des accumulations incompatibles avec la qualité de boue.

Tableau 2 : Composition en éléments fertilisants de 5 grands types de boues (ITCF ,2001)

	Boues compostées	Boues liquides	Boues pâteuses	Boues sèches	Boues chaulées
M/S % du produit brut	40-60	2-à 6	18-22	90-95	25-40
Teneur en M.O (%MS)	80-90	65-70	50-70	50-70	30-40
Teneur en M. minéral (%MS)	10-20	30-35	30-50	30-50	60-70
PH	6-7	6,5-7	7-8	6-8	9-12
C/N	15-25	4-5	5-6	4-6	8-11
Azote (Kg N /T brut)	5-9	2-4	8-12	30-50	6-10
Phosphore (Kg P ₂ O ₅ /T brut)	6-8	2-3	6-9	50-70	6-10
Potasse (Kg K ₂ O/T brut)	1-2	0,9	0.8	5	1
Chaux(Kg Cao/T brut)	10-30	1-3	5-15	40-60	60-90

Sur le plan Biologique, Les boues dépuración contiennent des micro-organismes vivants en provenance des eaux usées et des processus de traitement, seule une infime partie entre eux présente un danger infectieux, ils sont dits pathogènes, virus, bactéries, protozoaires, champignons et helminthes (Leclerc et Feutry, 1974) ; parmi eux on distingue habituellement ceux qui s'attaquent à l'homme, aux animaux et aux végétaux, ce qui impose une surveillance de la qualité des boues et des précautions lors de l'épandage ; les quantités des différents micro-organismes pathogènes varient en fonction de la nature des rejets recueillis par le réseau domestique et industriel, de la taille de l'agglomération, et les traitements effectués sur les eaux et les boues.

II.5. Intérêt agronomique des boues d'épuration

En général les boues d'épuration sont utilisées en agriculture comme engrais c'est à dire comme produit capable de fournir aux cultures des éléments nutritifs nécessaires à leur croissance et à leur développement ; en outre certaines boues d'épurations compostées ou traitées à la chaux peuvent jouer un rôle d'amendements ce qui signifie qu'elles permettent d'entretenir ou d'améliorer la structure du sol, son activité biologique ou, encore de contrôler son acidité (Morel, 1978).

Tableau 3 : Microorganismes des boues (Ademe, 2001)

Charge en micro –organisme dans les boues

Œufs d'Helminthes	→ Boues primaires	→ $10^3 - 10^4/\text{Kg}$
	→ Boues digérées	→ $10^2 - 10^3/\text{Kg}$
	→ Semi-déshydratées	→ $10^1 - 10^3/\text{Kg}$
Bactéries (coliformes)	→ Boues primaires	→ $10^2 - 10^3/\text{Kg}$
	→ Boues secondaires	→ $9 - 10^2/\text{Kg}$

Le sol est très riche en micro organismes (10^7 bactéries, 10^6 actinomycètes/g sol), il constitue de ce fait un véritable réacteur biologique qui minéralise la matière organique contenue dans la boue en CO_2 et NH_4 , tout en transformant une petite partie en composés humiques, et on estime si on augmente le transfert d' O_2 le rendement pourrait être multiplié par 10 (Germon, 1985) mais cette tâche d'élimination des déchets et des boues se fait dans des conditions qui concernent à la fois la qualité des sols (sol sain a texture équilibrée, bien aéré) et des boues, dès lors l'utilisation des boues en agriculture peut avoir des implications forte au niveau du génie de l'environnement.

L'effet direct de la matière organique contenue dans les boues conçoit une amélioration des propriétés physico-chimiques des sols, augmentation de la capacité d'échange cationique, amélioration de la perméabilité, stabilité des agrégats et de la densité (Kirkham, 1974). Certaines expérimentations ont montré qu'une amélioration de la perméabilité et de la stabilité structurale serait obtenue après un apport de 10 t/Ha de matière sèche de boue et ceci pendant plusieurs années (Kofoed, 1984); Les boues contiennent les éléments majeurs et secondaires utiles à la croissance des plantes. Contrairement aux éléments minéraux apportés par les engrais de synthèse, et qui sont directement utilisables, la disponibilité des éléments de boue comme celle du fumier est retardée et progressive, le phosphore sous forme de phosphate est fixé au sol dans les horizons superficiels, quant à l'azote, on constate qu'une bonne partie est stockée dans la matière organique du sol ainsi, un apport de matière organique peut favoriser la croissance des micro-organismes et d'augmenter le pouvoir de rétention d'azote par de sol, sauf dans le cas où la minéralisation serait réduite, il peut y avoir un blocage d'azote dans le sol (Nakib, 1986) ce qui provoque un effet dépressif sur la plante

L'apport des boues peut affecter les rendements des cultures, Sarac (1980) a enregistré dans la deuxième année de son travail après un épandage de boue à des doses croissantes, une augmentation du poids des tubercules de pomme de terre par rapport au témoin.

Les résultats obtenus par Fethallah (1991), sur la tomate et la laitue rejoignent ceux de Sarac (1980), il signale l'obtention d'un poids racinaire maximale après épandage des boues à des doses de 20, 30, et 50 T/HA, ainsi qu'une amélioration du rendement en fruit (feuille de laitue).

Depuis quelques années des chercheurs dans nombreux pays ont étudié le potentiel de fertilisation des eaux usées et des boues de station d'épuration afin de maximiser la production de biomasse ligneuse (Robertson, *et al* 1992).

Les gains en croissance sont souvent impressionnants et la production des parcelles traitées peut même dépasser de deux à 3 fois celle des parcelles non traitées (Hallet *et al* 1992)

Certains essais effectués au Niger dans des pépinières de Meradi et Niamey consistaient à l'arrosage des espèces arborescentes (*Acacia, Nisolica*) par les eaux usées. Les résultats de ces essais révèlent une augmentation du diamètre des plants de l'ordre de 10 à 50 %, ainsi un taux de croissance en hauteur plus élevé par rapport au témoin non irrigué.

Les boues résiduaires augmentent la stabilité des agrégats du sol (Barideau, 1986) ; un sol qui reçoit un apport de boue retient annuellement entre 3 et 5% de son eau par rapport à un sol témoin et de ce fait, il résiste mieux à la sécheresse ; selon Pfefer (1996), la boue est un élément qui retient beaucoup d'eau et ne le perd que très lentement, de ce fait le sol reste humide pour une longue durée.

Tester et al (1982), conduisaient une expérimentation pour étudier la reprise de la fétuque élevée aux apports de boues et d'eaux usées, ils notent que l'amendement du sol avec les boues des eaux résiduaires améliore la nutrition azotée de la fétuque, comme elle stimule la croissance racinaire en comparaison avec la végétation d'un sol non amendé. Le rendement fourrager était plus élevé en utilisant les eaux résiduaires.

Chez le ray gras, Guiraud et al (1977), ont observé une augmentation de la concentration de l'azote dans les tissus des plantes conduites sur un sol amendé de boues résiduaires. Cherak (1999), note une amélioration de la capacité de tallage herbacé chez l'avoine conduite sur sol amendé de boues résiduaires.

La perméabilité du sol augmente significativement dans les parcelles enrichies en boues (Morel, 1978) ; la richesse en matière organique des boues améliore le bilan hydrique et ce par accroissement de la réserve en eau utile. Gomez et al (1984), ont observé qu'un apport de boue à faible dose ne modifie pas la capacité d'échange cationique (CEC); il ne se produit d'augmentation de la CEC que dans les traitements à forte dose.

L'effet des boues est variable sur le pH. Une augmentation dans le cas des boues flocculées à la chaux ou, un abaissement le plus souvent dans les autres cas (Chawla *et al* ; 1974).

Un apport de boue accroît la teneur de calcium dans le sol (Hurt, 1985), les teneurs en calcium d'un compost d'origine urbaine peuvent atteindre 7% de la matière sèche.

I.5.1 Effets des boues résiduelles sur le sol

I.5.1.1. Effets des boues résiduelles sur la composante bio chimique

I.5.1.1.1. Les matières organiques mortes

Une des raisons qui explique les changements de la composante biologique dans un système de culture du sol est la présence de ressources nutritionnelles différentes en quantité et en qualité par rapport à un système de culture sans amendement du sol. Comparé à un sol non amendé, les teneurs en azote et carbone organiques augmentent en présence de boues, dans les cinq à dix premiers centimètres de sol (Pekrun *et al.*, 2003). Dans leur synthèse bibliographique, ces derniers auteurs rapportent que dans certaines situations, l'accumulation de matières organiques en surface s'accompagne de leur diminution en profondeur. Cette stratification des matières organiques résulte principalement du maintien d'une quantité élevée de résidus en surface d'un sol amendé (Rasmussen, 1999 ; Tebrügge & Düring, 1999). La quantité d'azote labile dans les matières organiques augmente en irrigué (Doran, 1980). Balesdent *et al.* (2000) mettent en évidence une importante réduction de la vitesse de minéralisation du carbone organique. Malgré tout, la quantité élevée de matières organiques permet de conserver une minéralisation importante en sol amendé (Pekrun *et al.*, 2003).

I.5.1.1 . 2. Les éléments minéraux

L'amendement du sol en boues conduit à un enrichissement en éléments minéraux des premiers centimètres de sol par rapport à une situation sans addition (Follett & Peterson, 1988 ; Edwards *et al.*, 1992). D'un autre côté, les quantités d'éléments minéraux peuvent être réduites en profondeur, notamment le phosphore et le potassium (Pekrun *et al.*, 2003). La même variabilité s'observe pour le transfert des herbicides en profondeur : en irrigué, les pertes d'herbicides peuvent être réduites (Tebrügge & Düring, 1999) ou augmentées (Holland, 2004) par rapport à un sol non irrigué. En fait, ces contradictions sur le comportement des polluants s'expliquent par le fait que la présence de boues joue sur des phénomènes qui réduisent le risque de pollution (*e.g.* l'augmentation de la quantité de matières organiques accroît l'adsorption de la plupart des pesticides) et sur d'autres qui l'accroissent (*e.g.* les écoulements préférentiels peuvent augmenter en irrigué). La balance entre les deux dépend étroitement des conditions expérimentales telles que le type de sol, la topographie ou le régime des précipitations (Barriuso *et al.*, 1994).

I.5.1.2. Effets des boues résiduelles sur la composante physique

En modifiant la structure du sol, la boue résiduelle influe sur la qualité du sol (Dexter, 1997), particulièrement la circulation de l'air et de l'eau, la pénétration des racines dans le sol et l'accessibilité des nutriments aux végétaux.

I.5.1.2.1. Structure et propriétés hydriques d'un sol amendé en boues

La stabilité des agrégats est corrélée à la quantité de carbone organique présent dans le sol (Stengel *et al.*, 1984). Comme cette quantité augmente sensiblement avec les boues, les agrégats sont plus stables dans cette situation culturale (Angers *et al.*, 1993 ; Suwardji & Eberbach, 1998 ; Hernánz *et al.*, 2002 ; Saber & Mrabet, 2002 ; Sasal *et al.*, 2006).

Si la stabilité des agrégats est accrue avec des boues, **son absence dans le sol conduit, en revanche, à une diminution de la porosité de l'horizon de surface** ; de nombreuses études réalisées dans des conditions pédoclimatiques variées concluent à une augmentation de la densité apparente en non amendé, dans les cinq à dix premiers centimètres de sol (Ehlers *et al.*, 1983 ; Hammel, 1989 ; Hill, 1990 ; Grant & Lafond, 1993 ; Rhoton *et al.*, 1993 ; Unger & Jones, 1998 ; Lampurlanés & Cantero- Martínez, 2003 ; Basic *et al.*, 2004). Généralement, une conséquence de la compaction du sol en non amendé est la

pénétration plus difficile des racines dans le sol (Ehlers *et al.*, 1983 ; Hammel, 1989 ; Hill, 1990 ; Grant & Lafond, 1993 ; Ferreras *et al.*, 2000). Tebrügge & Düring (1999) montrent que l'écart de densité apparente entre un sol amendé et un sol non amendé en boues est maximal; l'écart décroît au cours de la saison de culture.

Dans les premiers centimètres de sol, la distribution de la taille des pores est modifiée en l'absence de boues dans le sol. **La mésoporosité diminue dans un sol non amendé** (Hill, 1990 ; Pierce *et al.*, 1994 ; Hussain *et al.*, 1998 ; Ferreras *et al.*, 2000) ; l'écart entre les deux situations culturales est particulièrement marqué après l'application de boues au sol (Pierce *et al.*, 1994). De manière analogue, Guérif (1994) montre qu'en sol amendé, les pores structuraux sont moins nombreux, situés en surface et plus continus. Une meilleure continuité des pores est aussi observée par Heard *et al.* (1988) et Azooz & Arshad (1996). **Concernant la microporosité, des études rapportent qu'elle est plus élevée en sol amendé en boues** (Pierce *et al.*, 1994 ; Azooz & Arshad, 1996 ; Bhattacharyya *et al.*, 2006). Après application, la proportion de pores créés par l'activité biologique, *i.e.* les biopores longs et cylindriques, diminue fortement puis augmente au cours du temps (Shipitalo & Protz, 1989 ; VandenBygaart *et al.*, 1999). Le réseau poral qu'ils définissent présente souvent une continuité élevée (Blevins *et al.*, 1983) ; ces pores participent activement à la pénétration des racines et aux mouvements de l'eau dans le sol (Dexter, 1991).

Du volume et de la morphologie de l'espace poral dépendent les propriétés hydriques du sol *i.e.* le stockage et la circulation de l'eau (Pachepsky & Rawls, 2003). **De nombreuses études s'accordent pour montrer qu'un sol déjà amendé en boues retient plus d'eau** (Dao, 1993 ; Arshad *et al.*, 1999 ; Ferreras *et al.*, 2000 ; Baumhardt & Jones, 2002 ; Bhattacharyya *et al.*, 2006) du fait de la modification de l'espace poral mais aussi du fait de la présence des résidus en surface qui réduisent l'évaporation (Munawar *et al.*, 1990 ; Guérif, 1994). **En revanche, il n'existe pas de consensus concernant les effets des boues sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol.** Comparé à un sol non amendé, la vitesse d'infiltration de l'eau dans un sol amendé peut être augmentée (Miller *et al.*, 1998 ; Arshad *et al.*, 1999), similaire (Blanco-Canqui *et al.*, 2004 ; Fuentes *et al.*, 2004) ou diminuée (Ferreras *et al.*, 2000 ; Lampurlanés & Cantero-Martínez, 2006).

En fait, cette variabilité s'explique par les différences d'évolution du réseau poral au cours du temps entre un sol amendé et un sol non amendé. Des macropores sont créés juste après

L'application, ce qui améliore temporairement la vitesse d'infiltration de l'eau (Lin *et al.*, 1999 ; Coquet *et al.*, 2005) mais l'action de l'eau peut détruire la continuité des biopores formés pendant le cycle cultural précédent (Logsdon *et al.*, 1993). A l'inverse, la réduction du nombre de méso- et macropores du sol après l'abandon de l'utilisation des boues est contrebalancée par un accroissement de la quantité des biopores lors de la pratique à long terme de la technique d'amendement en boues (Rasmussen, 1999). De plus, l'augmentation de la quantité de matières organiques dans les premiers centimètres d'un sol irrigué faciliterait l'infiltration de l'eau (Findeling *et al.*, 2003).

I.6. Les exigences des céréales.

Pour les céréales à pailles, les besoins sont proportionnels au rendement agronomique, d'où l'on retient un besoin moyen par unité de production (Kg/qt),(tab,4)

Tableau 4. Prélèvements totaux des éléments en kg par quintal de récolte

Cultures		N	P2O5	K2O	CaO	MgO
Blé tendre	Gain seul	1,90	1,00	0,60	0,06	0,15
	Plante entière	2,30	1,20	3,50	0,40	0,25
Blé dur	Gain seul	2,40	1,20	0,60	0,06	0,15
	Plante entière	3,35	1,70	3,00	0,40	0,25
Orge	Gain seul	1,50	0,85	0,75	-	0,18
	Plante entière	2,00	1,10	2,10	-	0,25

Source : (COMIFER ,2005)

L'irrigation permet à l'agriculteur de s'affranchir les risques de déficit hydrique, en lui assurant une régularité de rendement de culture. La céréale est sensible au stress hydrique au stade floraison. . Les besoins en eau sont de l'ordre de 450 à 500 mm /an (ENITA, 2000).

Les températures excessives se traduisent par des réductions de développement des organes en croissance au moment ou elles interviennent. Trois stades apparaissent comme particulièrement sensibles chez différentes espèces, la méiose pollinique, la floraison, la fécondation, le remplissage des grains. Chez les céréales l'accident le plus fréquent est l'échaudage de fin de cycle. C'est surtout au début de pallier hydrique que cette sensibilité est grande. La perte du poids de 1000 grains est environ 0,8 grammes par jour avec une température maximale supérieur à 25° C pour le blé tendre, le blé dur et l'orge .Pour l'orge le seuil de dégâts par excès de chaleur est de (28 °C°).

Chapitre II.

MATERIEL ET METHODES

Chapitre II.

MATERIEL ET METHODES

II.1. Localisation de l'expérimentation

L'expérimentation a été conduite sur le site expérimental de la station ITGC de Sétif (Nord-Est de l'Algérie, 5° 24' 51'' E et 36° 11' 21'' N, altitude 1000 m) au cours de la campagne agricole 2006/07.

II.2 La nature du climat

Le climat de la région est semi aride, avec une température moyenne de 24.1°C en été et 7.0°C en hiver et une pluviométrie annuelle moyenne de 379.0 mm (ITGC, 2007). Les valeurs mensuelles moyennes des températures et précipitations du site pendant la période d'étude sont illustrées dans la figure. 2.

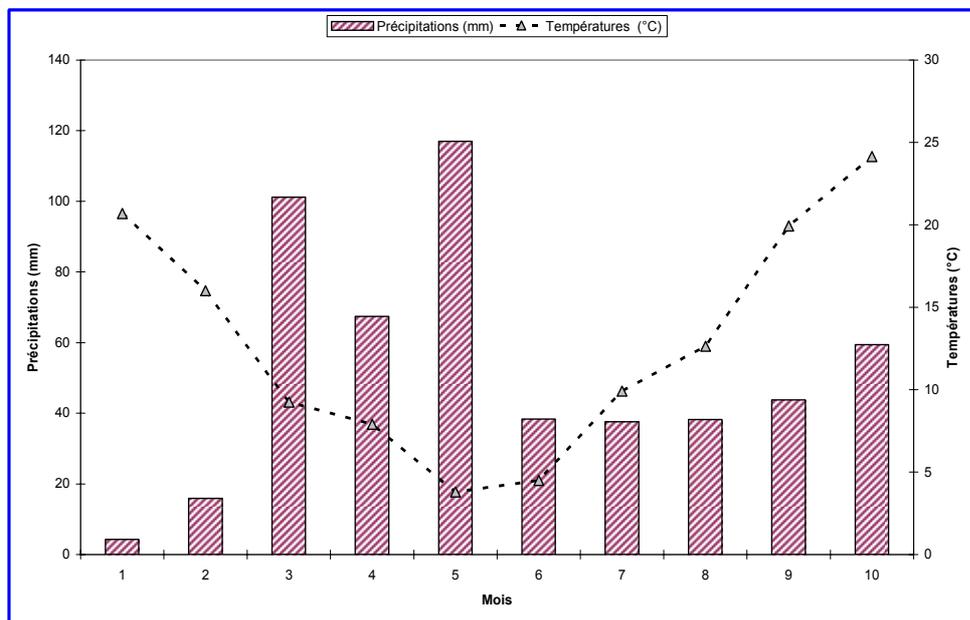


Figure 2. Variations des valeurs moyennes des précipitations et températures au site expérimental de l'ITGC pendant la période d'étude 2006/07 (1 – 10 : Septembre 2006 - Juin 2007)

II.3. Matériel utilisé

II.3.1. Le sol

Le sol est de texture limono argileuse, pauvre en matière organique avec un taux moyen en calcaire et ses caractéristiques physicochimiques sont présentées au tableau 5

Tableau 5. Caractéristiques physicochimiques moyennes du sol utilisé dans l'expérimentation (Station Expérimentale de l'ITGC, Sétif, Algérie).

Paramètres	pH(H ₂ O)	CE	MO	CT	D _a	H _s	H _{cc}	H _f	Texture
Unités	-	mS cm ⁻¹	%	%	g	%	%	%	-
Val. moy.	8.1	0.23	1.7	19.45	1.33	51.5	36.5	16.5	LA

Val. moy : valeurs moyennes , CE : conductivité électrique (mS cm⁻¹), MO : matière organique (%), CT : calcaire total (%), D_a : densité apparente (g cm⁻¹), H_s : humidité à saturation (%), H_{cc} : humidité à capacité au champ (%), H_f : humidité au point de flétrissement (%), LA : limono argileuse.

II.3.2. Le fertilisant utilisé :

- **La boue résiduaire :**

La boue résiduaire utilisée dans l'expérimentation, issue à travers un processus de traitement à boue activée à la station d'Ain Sfiha (Sétif, Algérie), est séchée à l'air libre pendant six mois et ses caractéristiques sont rapportées au tableau 6.

Avant son épandage, la boue a été desséchée dans une étuve pendant 36 heures à 80 °C, broyée, puis passée à travers un tamis de mailles de 10x10 mm .

- **L'urée :**

C'est un amendement minéral de formule chimique NH₂(CO)₂ qui dose 46% d'azote uréique, c'est un engrais concentré, sa densité est faible (FAO,1987).

Tableau 6. Caractéristiques des boues résiduaires utilisées prises de la station d'épuration des eaux usées sise à Ain Sfiha, Sétif (Station d'épuration des eaux usées d'Ain Sfiha)

Paramètres	Humidité	pH(H ₂ O)	CE	NT	MO	PT	K	C/N
Unités	%	-	mS cm ⁻¹	%	%	%	%	-
Val. Moy.	80	7.3	2.61	3.30	57.62	5.7	0.5	10.15

Val. moy : valeurs moyennes , CE : conductivité électrique (mS cm⁻¹), MO : matière organique (%), NT : azote total (%), PT : phosphore total (%), K : potassium (%).

II.4. Méthode d'étude :

II.4.1. Dispositif de l'expérimentation

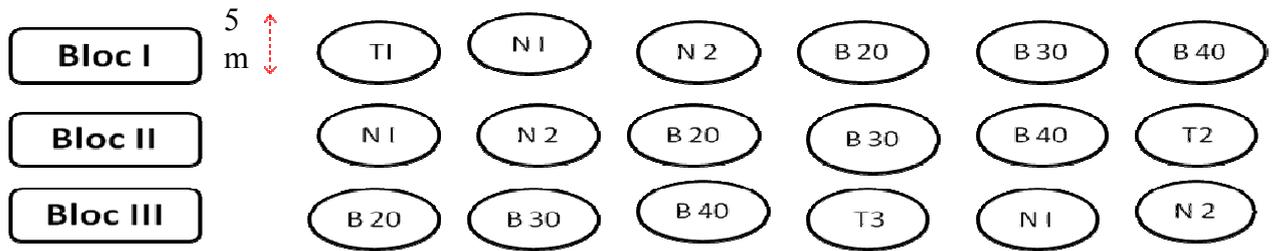


Figure .3 Dispositif expérimental

L'essai est mis en place dans un dispositif à randomisation complètement aléatoire en bloc avec trois répétitions. Il comporte cinq traitements, un témoin sans boue et sans fertilisation azotée, deux traitements sans boue mais fertilisé avec 33 et 66 unités d'azote minéral par hectare, apportées au stade tallage (le 31/03/07) sous forme d'urée, et trois traitements comportant l'épandage de 20, 30 et 40 tonnes matière sèche : repartis en parcelles élémentaires

II.4.2. Conduite de l'expérimentation :

- Le semis de la variété de blé dur (*Triticum durum* Desf.) Acsad 1107 a été fait le 20/12/06 à une densité de 300 grains m⁻².
- La levée a été notée le 28/12/06.
- L'épandage a été fait sur les inter-rangs au stade tallage de la céréale selon les quantités mentionnées dans le protocole.
- La date d'épiaison a été notée le 5/05/07 et la récolte a été faite le 16/06/07.

II.4.3. Mesures effectuée :

❖ Pour le sol :

- PH.
- CE.
- L'azote total.
- Le carbone organique.
- La densité apparente.
- La porosité.
- La conductivité hydraulique.

❖ **Pour le végétal :**

- la hauteur des chaumes.
- Le nombre d'épis m⁻²
- la biomasse aérienne.
- Le rendement en grains
- Le poids de 1000 grains.
- Le phosphore total
- L'azote total.

II.4.4. Méthodes d'analyses :

II.4.4.1. Méthode d'analyse du sol :

L'azote total par la méthode kjeldal.

Le carbone organique par la méthode anne.

Le phosphore total par l'attaque tri acide.

Le PH : il est déterminé par le rapport sol eau ($\frac{1}{2.5}$)

La conductivité électrique : déterminé par le conductivimètre avec un rapport sol eau ($\frac{1}{5}$). **La densité apparente** par la méthode du cylindre.

La porosité par la méthode du cylindre.

La conductivité hydraulique par un infiltromètre mono disque d'un diamètre moyen de 80 mm Les mesures d'infiltration sont faites à 2 potentiels de pressions différents 0.06, 0.3 kPa. Elles ont été réalisées en allant de la pression la plus basse (0.06 kPa) à la plus élevée (0.3 kPa).

II.4.4.2. Autres méthodes analytiques complémentaires :

Granulométrie : effectué par la méthode internationale à la pipette ROBINSON.

Calcaire total : obtenu par calcimètre BERNARD.

Potassium total : extraction par attaque tri acide.

II.4.5. Méthode du traitement du végétal :**II.4.5.1. Méthode analytique :**

Les échantillons de la plante ont été lavés à l'eau distillée séchés dans une étuve à une température de 80 °C au moins 24 H pour obtenir un poids constant, après broyage très fin, on détermine l'azote par la méthode kjeldal (brome, 1965) et le phosphore total par la méthode de AUDIGUE(1978), par incinération du végétal séché à 500°C et l'addition de l'acide chloridrique le dosage s'effectue par des lectures à l'aide du colorimètre .les résultats sont exprimé en pourcentage par rapport à la matière sèche.

II.4.5.2. Méthode mathématique :

Les variables nombre de grain m⁻² (NGM²), nombre de grains par épi (NGE), biomasse aérienne produite au stade épiaison (BIOE), taux de croissance végétative (TCV), taux de remplissage des grains.m⁻² (GFR), indice de récolte (HI) et la paille produite (PII) ont été déduites par calcul à partir des moyennes des variables mesurées selon les formules suivantes:

Nombre de grain m ⁻² :	$NGM^2 = 1000(RDT/PMG)$
Nombre de grains par épi :	$NGE = NGM^2/NE$
Biomasse aérienne produite au stade épiaison :	$BIOE = BIOM-RDT$
Taux de croissance végétative :	$VGR = BIOE/JAE$
Taux de remplissage des grains.m ⁻² :	$GFR = RDT/PRG$
Indice de récolte :	$HI = 100 (RDT/BIOM)$
La paille produite :	$PII = BIOM-RDT$
Densité de chaume :	$Densité = BIOM/HT$

II.4.6. Méthode statistique :

Les données collectées de l'expérimentation ont été soumises à une analyse de la variance à un facteur étudié à l'aide du logiciel STATITCF (Beaux et *al.*, 1999). Le test des

contrastes est employé pour déterminer la signification statistique des comparaisons (1) Témoin vs (N+ Boue), (2) N vs boue, (3) boue linéaire et (4) boue quadratique (Steel & Torrie, 1980). Les comparaisons relatives entre traitements ou groupes de traitements sont faites selon les formules suivantes:

$$\text{Effet amendement (N+B) (\%)} = 100 [(X_{N+B} - X_T)/X_T]$$

Où $X_{(N+B)}$ = moyenne des traitements (N+Boue)

X_T = moyenne du témoin non amendé.

$$\text{Effet boue résiduaire (\%)} = 100 [(X_B - X_T)/(X_N - X_T)]$$

X_B = moyenne du traitement boue

X_N = moyenne du traitement azote minéral

X_T = moyenne du témoin non amendé.

Chapitre III.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Chapitre III.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. Effets des boues résiduelles sur la culture de Blé

III.1. 1. Paramètres de productivité

L'analyse de la variance indique un effet traitement significatif pour l'ensemble des variables analysées mis à part le nombre d'épis m^{-2} (Tableau 7). L'effet traitement non significatif des épis s'explique par le fait que la boue a été apportée très en retard une fois cette composante a été déterminée, en même temps que la fertilisation minérale (N).

Tableau 7. Carrés moyens de l'analyse de la variance des variables mesurées

Source	Traitement	B+N vs T	B vs N	B lin	B qua	erreur
dll	4	1	1	1	1	8
RDT	20939.4**	62489.5**	17398.1**	3310.7**	559.5ns	301.2
NE	1067.2ns	411.2ns	458.8ns	3398.6*	0.00ns	389.1
NGM2	3201164**	1848504**	9054255**	792289**	11198ns	156915.8
PMG	20.35*	72.6**	4.84ns	3.23ns	0.72ns	2.92
NGE	76.55**	225.2**	78.8**	1.25ns	1.01ns	1.96
BIOE	66006.7**	177055**	39190.7**	43146.3**	4634.8ns	1967.6
VGR	4.22**	11.33**	2.51**	2.76**	0.30ns	0.13
GFR	21.7**	64.79**	18.04**	3.43*	0.58ns	0.31
BIOM	45893.0**	449916**	108812**	70360**	1973.9ns	833.9
HI	85.46**	293.7**	8.06ns	0.43ns	39.6ns	8.01
Pll	61169**	196459**	27749**	19728**	738.3ns	763.6
HT	406.9**	1316.1**	164.7**	140.2**	6.72ns	4.9
Densité	9.42**	12.5**	13.6**	0.5ns	0.3ns	0.21

*T= témoin, N= azote, B= boue, RDT = rendement en grains ($g m^{-2}$), NE= nombre d'épis m^{-2} , NGM²= nombre de grains m^{-2} , PMG= poids de 1000 grains (g), NGE= nombre de grains par épi, BIOE= biomasse aérienne au stade épiaison ($g m^{-2}$), VGR= taux de croissance végétative ($g m^{-2} j^{-1}$), GFR= taux de remplissage des grains m^{-2} ($g .m^{-2} j^{-1}$), BIOM = biomasse à maturité ($g m^{-2}$), HI= indice de récolte (%), Pll= paille ($g m^{-2}$), HT= hauteur de paille (cm), Densité= matière sèche par unité de hauteur ($g cm^{-1}$), ns, *, ** = effet non significatif, significatif au seuil de 5 et 1% respectivement*

Les doses de boue apportées restent, en général, loin de saturer les besoins de la plante et d'engendrer une stagnation (plateau) ou un fléchissement des performances, vu que l'effet quadratique n'est pas significatif pour l'ensemble des variables mesurées. L'effet linéaire des doses de boue n'est pas significatif pour le poids de 1000 grains, le nombre de grains par épi, l'indice de récolte et la densité du chaume. Les différences entre les moyennes prises par ces variables suite à l'effet doses de boue ne sont donc pas significatives (Tableau 7). La comparaison des moyennes du témoin et celles des amendements (N+B)

montre que la fertilisation minérale ou organique est favorable à l'expression de l'ensemble des variables mesurées hormis le nombre d'épis produit par unité de surface (Tableau 8).

Dans les conditions culturales et climatiques de la présente campagne, la contribution relative de l'amendement (moyenne des effets azote et boue) à l'augmentation des moyennes des variables varie de 12% pour le poids de 1000 grains à 168% pour la paille produite. Elle est de signe négative pour l'indice de récolte qui est réduit 20% relativement aux valeurs prises par le témoin non amendé. La réduction de l'indice de récolte s'explique par le fait que l'apport de l'azote minéral ou de boue résiduaire a eu un effet plus important sur le développement de la biomasse aérienne que sur la production de grains, comparativement à ce qui s'est produit chez le témoin (Tableau 8, Figure 4).

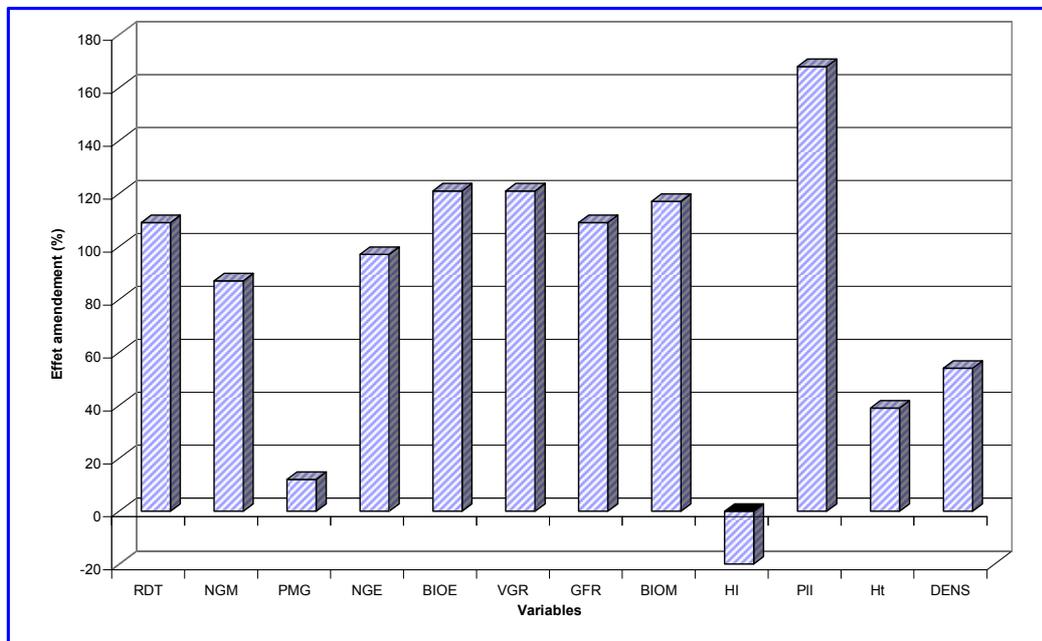


Figure 4. Contribution de l'amendement (N+ Boue) à l'augmentation relative des moyennes des variables mesurées comparativement à celles du témoin (RDT= rendement en grains ($g\ m^{-2}$), NE= nombre d'épis m^{-2} , NGM²= nombre de grains m^{-2} , PMG= poids de 1000 grains (g), NGE= nombre de grains par épi, BIOE= biomasse aérienne au stade épiaison ($g\ m^{-2}$), VGR= taux de croissance végétative ($g\ m^{-2}\ j^{-1}$), GFR= taux de remplissage des grains m^{-2} ($g\ m^{-2}\ j^{-1}$), BIOM= biomasse à maturité ($g\ m^{-2}$), HI= indice de récolte (%), PII= paille ($g\ m^{-2}$), HT= hauteur de paille (cm), DENS= matière sèche par unité de hauteur ($g\ cm^{-1}$)).

L'augmentation des moyennes des composantes de rendement en grains est relativement plus réduite comparativement à celle enregistrée par le rendement en grains. C'est la contribution multiplicative des composantes et non l'effet additif qui s'est exprimée au

niveau du rendement en grains. Le poids de 1000 grains est la composante qui est relativement la moins sensible à l'amendement organique ou minéral.

Ceci s'explique par le fait que cette composante se forme en fin de cycle, une fois les conditions climatiques deviennent très contraignantes. La forte augmentation de la paille sous amendement organique ou minéral indique que l'apport de la boue comme la fertilisation azotée ont, dans les conditions de la présente expérimentation, engendré une plus grande expression de la biomasse aérienne comparativement au rendement en grains. Ceci confirme l'explication avancée plus haut concernant la réduction de l'indice de récolte sous amendement organique ou minéral.

La comparaison entre l'effet de l'amendement organique représenté par les apports de boue résiduaire et celle de la fertilisation minérale azotée indique que les moyennes de ces deux traitements ne diffèrent pas significativement pour le nombre d'épis, le poids 1000 grains et l'indice de récolte (Tableaux 7 et 8). Pour ces caractères la contribution des apports de boues résiduaires est similaire à celle de la fertilisation minérale azotée.

Tableau 8. Moyenne des différents traitements étudiés

	T	N+B	N	B	20	30	40
NE	318.9	305.8	316.5	302.3	278.5	302.3	326.1
RDT	147.5	308.9	242.9	330.9	301.8	342.0	348.7
NGM ²	3159.2	5933.7	4769.1	6321.9	5879.6	6479.6	6606.4
PMG	46.53	52.03	50.93	52.40	51.5	52.8	52.9
NGE	9.9	19.6	15.1	21.0	21.3	21.5	20.4
BIOE	223.3	494.9	395.9	527.9	459.1	495.8	628.7
VGR	1.79	3.96	3.17	4.22	3.67	3.97	5.03
GFR	4.75	9.95	7.82	10.65	9.72	11.01	11.23
BIOM	370.8	803.7	638.8	858.7	760.9	837.8	977.5
HI	54.2	43.2	41.7	43.6	44.9	40.6	45.4
Pll	169.5	455.6	372.3	483.4	419.6	496.2	534.3
HT	58.7	82.1	75.6	84.2	80.0	83.0	89.7
Densité	6.32	9.74	8.44	10.2	9.52	10.1	10.9

T= témoin, N= azote, B= boue, RDT = rendement en grains ($g\ m^{-2}$), NE= nombre d'épis m^{-2} , NGM²= nombre de grains m^{-2} , PMG= poids de 1000 grains (g), NGE= nombre de grains par épi, BIOE= biomasse aérienne au stade épiaison ($g\ m^{-2}$), VGR= taux de croissance végétative ($g\ m^{-2}\ j^{-1}$), GFR= taux de remplissage des grains m^{-2} ($g\ .m^{-2}\ j^{-1}$), BIOM = biomasse à maturité ($g\ m^{-2}$), HI= indice de récolte (%), Pll= paille ($g\ m^{-2}$), HT= hauteur de paille (cm), Densité= matière sèche par unité de hauteur ($g\ cm^{-1}$).

L'amendement organique sous forme de boues résiduaires induit des augmentations relatives allant de 128.1% pour la hauteur du chaume et à 213.5% pour le nombre de grains par épi, comparativement à l'effet de la fertilisation minérale azotée. Le rendement en grains accuse une augmentation relative de 192.7% (Tableau 8, Figure 5).

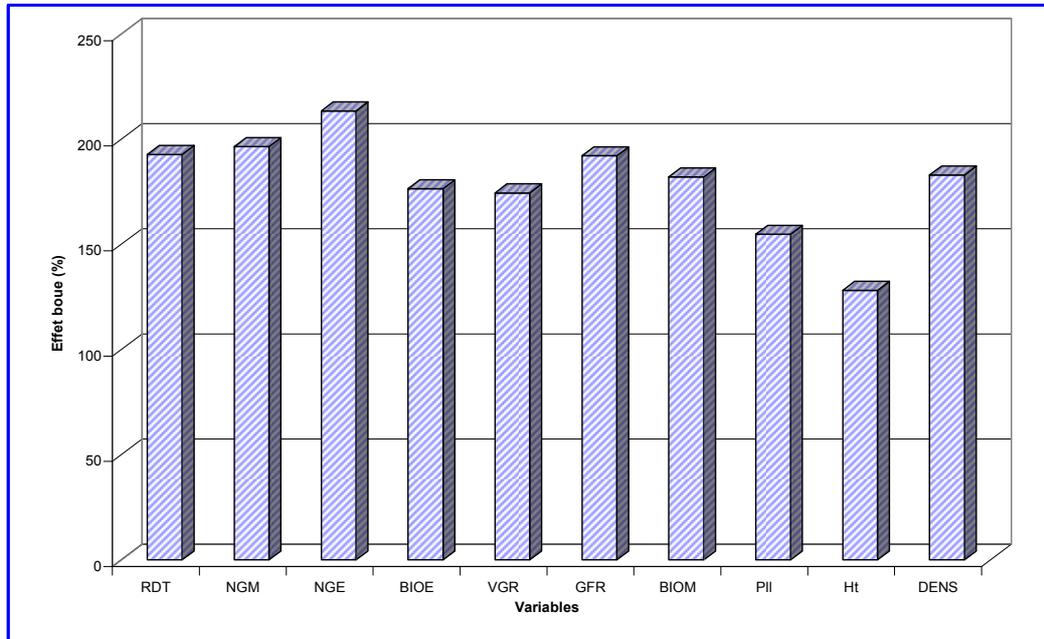


Figure 5. Augmentation relative des moyennes des variables mesurées sous l'effet des boues résiduaires comparativement à l'effet de la fertilisation N (RDT= rendement en grains($g\ m^{-2}$), NE= nombre d'épis m^{-2} , NGM²= nombre de grains m^{-2} , PMG= poids de 1000 grains (g), NGE= nombre de grains par épi, BIOE= biomasse aérienne au stade épiaison ($g\ m^{-2}$), VGR= taux de croissance végétative ($g\ m^{-2}\ j^{-1}$), GFR= taux de remplissage des grains m^{-2} ($g\ m^{-2}\ j^{-1}$), BIOM= biomasse à maturité ($g\ m^{-2}$), HI= indice de récolte (%), PII= paille ($g\ m^{-2}$), HT= hauteur de paille (cm), DENS= matière sèche par unité de hauteur ($g\ cm^{-1}$)).

Les apports de boues se révèlent, en moyenne, relativement plus bénéfiques pour la végétation que la fertilisation minérale azotée. Cet avantage de l'amendement du sol avec des boues résiduaires affecte surtout la fertilité des épis, la biomasse produite au stade épiaison et au stade maturité, les taux de croissance végétative et de remplissage des grains et la densité des tiges qui portent relativement plus d'assimilés par unité de hauteur de chaume que les tiges produites sous fertilisation minérale azotée.

Ces résultats indiquent que l'utilisation des boues résiduaires domestiques constitue à priori une démarche séduisante, en plus de l'augmentation des rendements qu'elle engendre, elle contribue aussi à une meilleure gestion de ces déchets (Ripert et al., 1990).

Les augmentations du rendement en grains et des variables qui lui sont associées ont pour origine les matières fertilisantes que contiennent les boues. En effet, les boues résiduaires sont une source potentielle de matière organique utilisable. Elles contiennent aussi des macro et des micro-éléments essentiels pour la croissance des plantes.

Bouzerzour et al. (2002) trouvent que l'apport de boues résiduaires augmente les dimensions des feuilles, l'indice foliaire, la matière sèche produite, la capacité de tallage herbacé et la hauteur des plantes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) et de l'avoine (*Avena sativa* L.) conduite en pots de végétation. Ils notent aussi que la réponse des variables mesurées aux apports de boues résiduaires est linéaire pour les variables mesurées ce qui corroborent les résultats de la présente étude. Ce type de réponse indique que la dose maximale de 40 t ha⁻¹ de matière sèche utilisée ne semble pas induire d'effets nocifs sur l'expression des paramètres étudiés.

Bouzerzour et al. (2002) mentionnent que l'amélioration de la production de matière sèche vient de l'amélioration simultanée de la capacité de tallage herbacé, de la hauteur des plantes, de la surface et l'indice foliaires, avec une réduction du poids spécifique foliaire. Dans la présente étude l'augmentation du rendement en grains a pour origine une augmentation du nombre de grains m⁻² ($r_{RDT/NGM2} = 0.98$) et du nombre de grains par épi ($r_{RDT/NGE} = 0.92$) mais pas du tallage épis ($r_{RDT/NE} = 0.21ns$).

On a remarqué, cependant, au cours de l'expérience que la végétation du témoin était relativement moins tardive (feuillage se desséchant plus vite) ce qui laisse supposé que l'amendement avec des boues résiduaires permet de garder plus longtemps l'eau du sol grâce à la matière organique qu'elles contiennent et qui agit comme un capteur tampon de l'humidité. La boue est considérée comme un substrat susceptible de contribuer au maintien du stock humique des sols et par conséquent d'améliorer leur stabilité structurale, leur capacité d'échange cationique et leur capacité de rétention d'eau (Gomez et al., 1984).

Barbartik et al., (1985) note que les apports de boue au cours de 4 années successives ont élevé la teneur en matière organique du sol des 15 premiers cm de surface de 1.2 à 2.4%.

Tester et al. (1982) conduisent une expérimentation pour étudier la réponse de la fétuque élevée aux apports de boues résiduaires. Ils notent que l'amendement du sol avec les boues résiduaires améliore la nutrition azotée de la fétuque, comme elle stimule la croissance racinaire en comparaison avec la végétation d'un sol non amendé. Le rendement fourrager

était plus élevé aussi chez les plantes amendées. Sur ray-grass, Guirard et al. (1977) observent une augmentation de la concentration de l'azote dans les tissus des plantes conduites sur sol amendé avec des boues résiduaires. Cherak (1999) note une amélioration de la capacité de tallage herbacée chez l'avoine conduite sur sol amendée avec des boues résiduaires.

Selon Sachon (1995) la boue résiduaire incubée développe des réactions chimiques aérobies et anaérobies qui, au bout de 6 à 7 semaines, réduisent la matière organique sous forme de compost qui est lui même assez proche de l'humus. La minéralisation de l'azote organique est dépendante dans ce cas du rapport C/N, plus ce dernier est élevé, plus la minéralisation est lente. Une tonne de matière sèche boue libère en moyenne 14 Kg d'azote, 15 kg de P et 8 kg de K (Barbartik et *al.*, 1985; Sachon, 1995).

III.1. 2. Composition minérale de la plante

Teneur en phosphore :

L'analyse de la variance indique un effet boue significatif sur la teneur en phosphore au niveau de la plante (Tab, 9).

Tableau 9 : Carré moyen de l'analyse de la variance de la composition minérale de la matière sèche de la plante.

	B v s T	B v s N	N v s T	Trait	Résiduelle
Dosage d'azote %	13,07**	0,99 n s	7,11*	3,23 n s	1,33
Dosage De P %	0,05***	0,05*	0,00 n s	0.02***	0.00
ddl	2	1	1	5	20

• , **, *** significatif respectivement à $P = 0.05, 0.01$ et 0.001 ns= non significatif

L'apport de la boue résiduaire en élément phosphore est très intéressant, la valeur moyenne enregistrée est de 0,36%, alors que la végétation du témoin a une teneur très faible 0,24 %, soit une différence totale de 0,12% assurée par la boue résiduaire (fig 6).

Il apparaît aussi que la teneur des plantes pour cet élément minéral augmente relativement avec les doses de boues appliquées ($R=0,57$) ; la plus faible teneur est obtenue par le premier niveau 0,34%, et la valeur maximale par le troisième niveau 0,38%.

Malgré la richesse de notre sol en calcaire actif, le phosphore assimilable a été valorisé par la végétation, et ceci revient à la matière organique contenue dans la boue qui forme un complexe phospho-humique et dont la minéralisation progressive permet d'assurer une disponibilité de cet élément pour la plante.

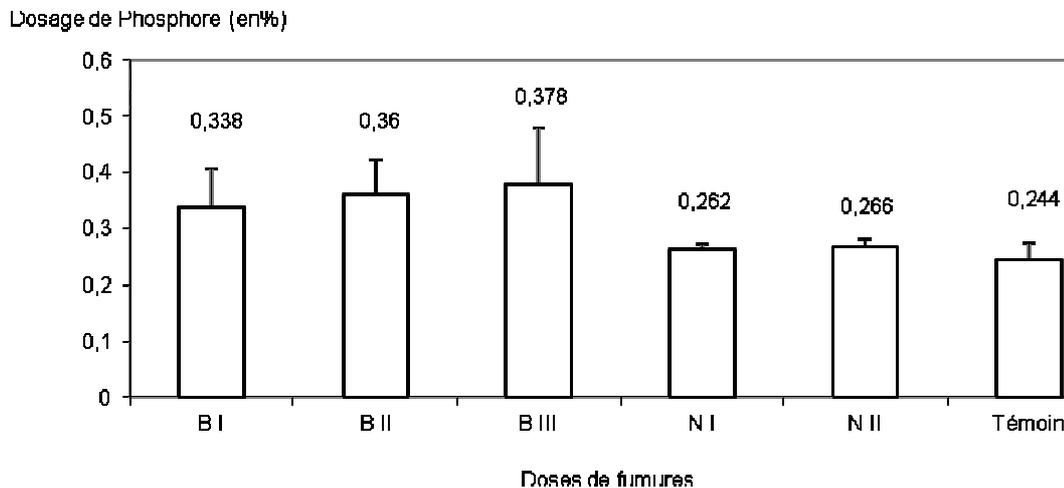
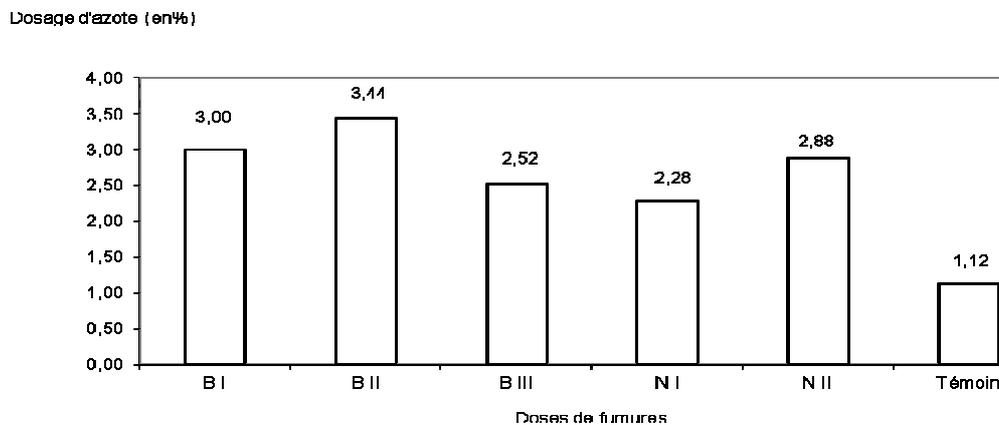


Figure 6. Effet de l'amendement sur la teneur en phosphore de la matière sèche des plantes

- **Teneur en azote**

L'analyse de la variance des teneurs en azote dans la plante indique une différence significative pour les deux types d'engrais en comparaison avec le témoin (tab, 9).

La boue améliore nettement la teneur en azote dans la matière sèche 2,98 %, alors que chez le témoin elle est de 1,12% (tab 12, annexe). L'apport de la fumure azoté a aussi joué un rôle positif sur cette composante 2,58 %, mais qui est moins significatif en comparaison avec la boue. La teneur en azote dans la plante, augmente proportionnellement avec les doses appliquées ; et ceci pour les deux types d'engrais, sauf pour le troisième niveau de boue, où on remarque une diminution de la teneur (fig.,7) . La boue résiduaire est une source d'azote minérale est organique contenue dans la matière organique, et dont la minéralisation libère une quantité excessive de cet élément sous forme nitrique et utilisable par les plantes (Pommel, 1992). Juste et Solda (1977)) in Cherak, 1999 ,ont obtenu des teneurs élevées en azote dans des feuilles et des graines de plantes amendées par les boues.

**Figure 7.** Effet de l'amendement sur la teneur en azote de la matière sèche des plantes

III.2. Effets des boues résiduaire sur le sol cultivé

III.2 .1.Paramètres chimiques

III.2.1.1. Teneurs en azote dans le sol

L’analyse de la variance sur les teneurs en azote dans le sol montre un effet fumure hautement significatif, la moyenne générale de l’essai était de 0,08%.

Tableau 10 : Carré moyen de l’analyse de la variance des paramètres chimiques du sol

	B v s T	B v s N	N v s T	Trait	Résiduelle
Carbonne %	2,12***	2,69***	0,02 n s	1,38***	0,07
Azote%	0,02***	0,02***	0,00 n s	0,01***	0,00
CE	0,04 n s	0,01 ns	0,01 n s	0,01 n s	0,00
PH	0,00 n s	0,00 n s	0,00 n s	0,01 n s	0,01
ddl	2	1	1	5	20

• , **, *** significatif respectivement à $P = 0.05, 0.01$ et 0.001

L’apport moyen de la boue résiduaire en azote est de 0,12%, soit trois fois la valeur enregistrée par l’apport minéral, et six fois celle du témoin. La boue résiduaire contient l’azote sous plusieurs formes : les formes minérales, les forme organiques contenues dans les acides aminés (Sommers, 1977) et dont la dégradation progressive par les micro organismes du sol permet de maintenir une bonne teneur de cet élément dans le sol (Nakib, 1986). Il convient de noter à partir des résultats obtenus, que les teneurs les plus élevées sont observées dans les premiers et les troisièmes niveaux de boues (fig. 8).

Dosage d’azote dans le sol (en%)

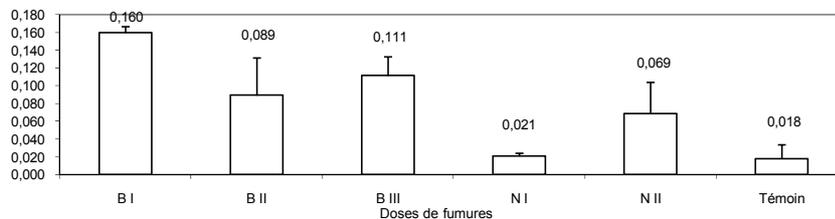


Figure 8: Effet de l'amendement sur la teneur d'azote dans le sol**III.2.1.2.1 Teneurs en carbone dans le sol**

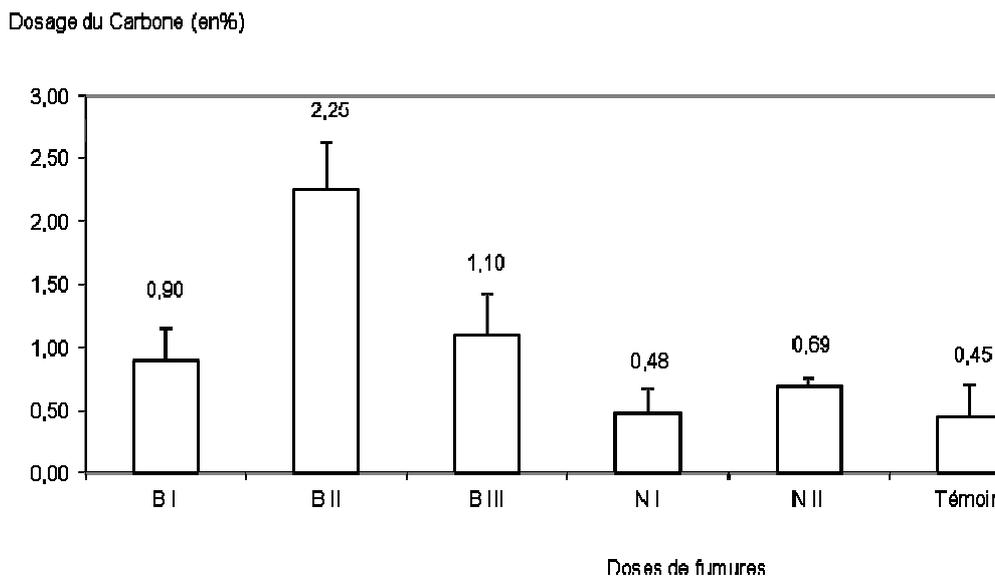
L'analyse de la variance des teneurs en carbone montre que l'effet amendement a été hautement significatif, la teneur moyenne de l'essai est de 0,97 %.

L'apport de la boue résiduaire a été d'une grande importance, ce qui a permis une nette amélioration, du à la réserve de matière organique dans le sol.

La valeur moyenne obtenue avec le traitement boue est de 1,41% contre, 0,58% et 0,45 % respectivement pour l'engrais minéral et le témoin (tab. 10).

La boue contient des composés organiques (cirres, les huiles) (Juste *et al* ; 1980), cette boue enrichie le sol en carbone organique et minéral, sous forme de carbonate de calcium, ou de carbonate de magnésium (Sommers, 1977).

Nos résultats confirment que l'apport en doses croissantes de matière sèche de boue favorise l'activité biologique, et par conséquent augmenter la minéralisation de la matière organique contenue dans la boue (fig.09).

**Figure 09 :** Effet de l'amendement sur la teneur du carbone dans le sol

III.2.1.3. pH du sol

L'application des deux engrais n'a pas montré un grand changement au niveau du pH .

III.2.1. 4. La conductivité électrique du sol

L'étude des moyennes montre une très légère augmentation de la conductivité électrique sous l'effet de la boue résiduaire.(fig. 10) .

Il est admis que l'épandage de boue résiduaire peut induire un effet de salinité dans les sols agricoles (Marisot, 1986), ce qui n'est pas le cas dans notre essai ; l'expérimentation a été très courte pour qu'il y'est un effet cumulé de boue en décomposition.

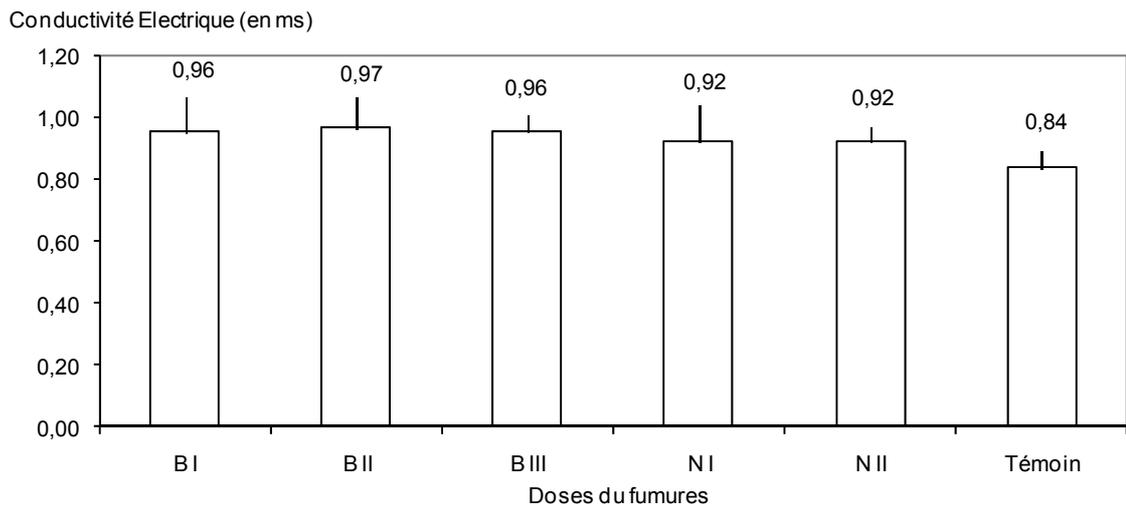


Figure 10 : Effet de l'amendement sur la conductivité électrique

III.2.2. Paramètres physiques du sol

III.2.1. La densité apparente du sol

Tableau 11 : Carré moyen de l'analyse de la variance des paramètres physiques du sol

	B v s T	B v s N	N v s T	Trait	Résiduelle
DA	0,09ns	0,02ns	0,03ns	0,03ns	0,02
POROSITE	225*	84,10ns	53,39ns	63,39ns	41,62
K(6)	4607,90*	5088,89*	117,28ns	2089,33ns	481,69
K(30)	67,82ns	43,54ns	8,10ns	42,25ns	28,61
ddl	2	1	1	5	20

• , **, *** significatif respectivement à $P = 0.05, 0.01$ et 0.001

L'étude comparative des moyennes de la densité apparente montre que l'amendement en boue provoque une diminution de ce paramètre en comparaison avec le témoin.

La moyenne enregistrée par la boue est de $1,21\text{g/cm}^3$ alors que celle du témoin est de $1,39\text{g/cm}^3$ (fig. 11).

Dridi Toumi et (1996), ont obtenu après épandages d'une dose de 20 tonnes de matières sèches de boues solides et liquides, une masse volumique sèche de $1,42\text{g/cm}^3$ pour les boues liquides, et $1,39\text{g/cm}^3$ pour les boues solides, alors qu'elle était de $1,54\text{g/cm}^3$ dans le témoin.

Densité apparente (g/cm^3)

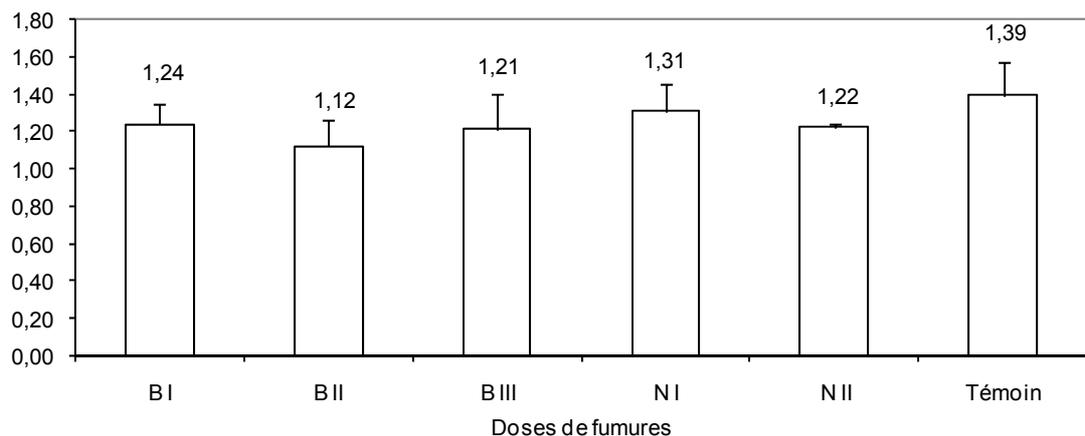


Figure 11 : Effet de l'amendement sur la densité apparente

III.2.2. 2. La porosité du sol

L'analyse de la variance des valeurs pour la porosité montre un effet boue significatif, l'amélioration de la porosité par la boue en comparaison avec le témoin et la fumure minérale est estimée à 10%.

L'importance de la porosité est relative à la teneur en matière organique évaluée pour les différents traitements (fig. 12).

L'apport de la boue résiduaire permet d'augmenter le stock de matière organique (Morel,1977) qui joue un rôle prépondérant dans l'assemblage des agrégats du sol.

On voit que la fumure minérale a également modifié la porosité en raison certainement de l'importance du système racinaire plus dense qui contribue à l'amélioration de la structure du sol (Buihuitri, Monnier, 1973).

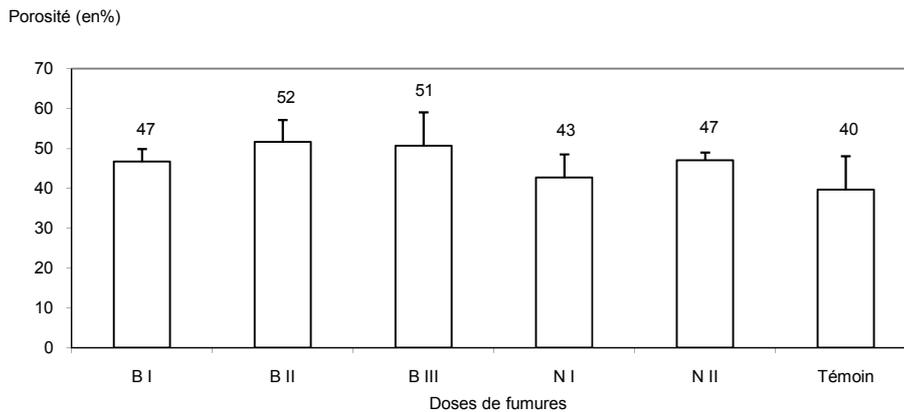


Figure 12 : Effet de l'amendement sur la porosité

III. 2.2. 3. La conductivité hydraulique du sol

Les valeurs de la conductivité hydraulique au voisinage de la saturation ont fait l'objet d'une analyse de la variance. L'effet boue a été décelé (tab. 11) uniquement pour la pression appliquée de 0,06 kPa. A ce potentiel de pression la valeur de conductivité hydraulique la plus élevée est de 129,20 mm/h correspondant au troisième niveau de matière sèche de boue ; alors qu'elle était de 41,91 et 53,94 mm/h dans le témoin et l'engrais minéral (fig. 13).

La boue contribue fortement à l'amélioration de la conductivité hydraulique, ceci est en relation avec les doses croissantes, car on passe de 80,92 mm/h pour le premier niveau à 129,20 mm/h pour le troisième niveau de matière sèche de boue, c'est à dire une amélioration de 59%.

La boue résiduaire a eu un rôle déterminant sur cette variable. Par son effet structurant, aussi par son apport en matières organiques elle favorise l'agencement des agrégats en améliorant la porosité totale ce qui permet un bon drainage ; mais il reste à dire que la porosité totale n'est pas suffisante pour comprendre le fonctionnement du sol, c'est plutôt la distribution volumique qui est déterminante (Paglial, 1982), car il faut tenir compte de la forme des pores et leur connexion.

Dans son essai Zerrouk (1991), en utilisant des boues liquides a obtenu une très nette amélioration de la conductivité qui passe de 35,5 mm /h pour le témoin a 142,1 mm/h pour les boues.

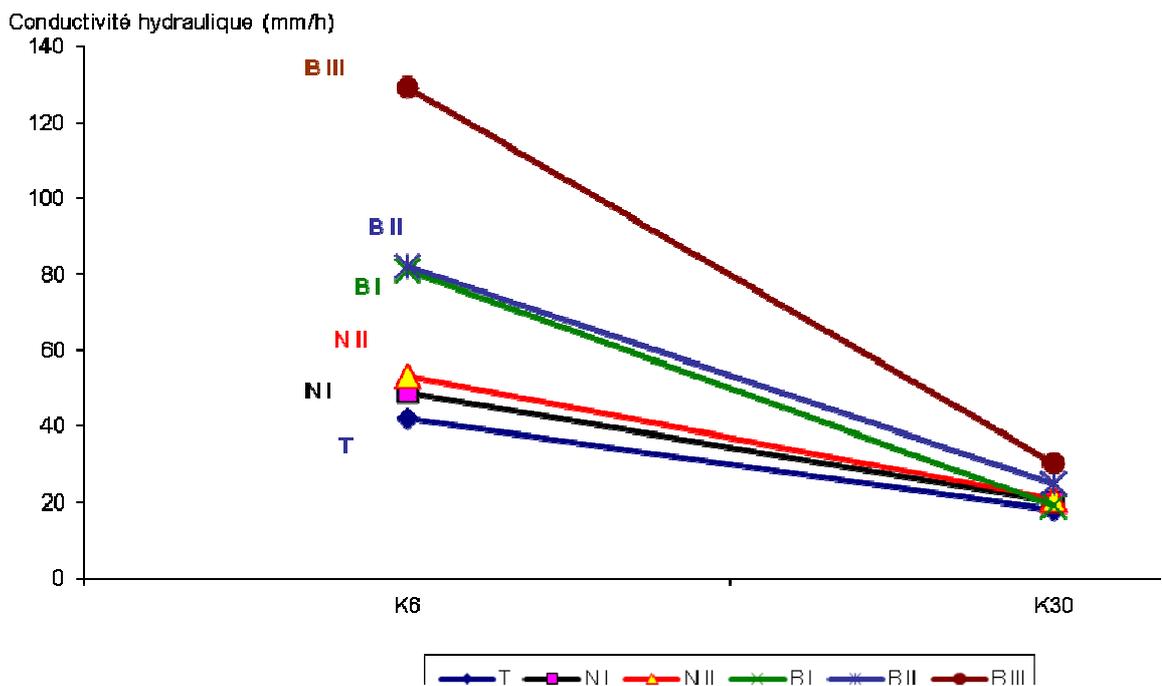


Figure 13 : Effet de l'amendement en boues sur la conductivité hydraulique au voisinage de la saturation

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

En Algérie, l'aridité du climat et la faiblesse du stock organique des sols sont les deux facteurs déterminants du rendement. Le recours à la fertilisation minérale est fréquent ; Cette action permet une correction temporaire mais n'améliore guère l'état structural du sol. Les teneurs en matière organique de ces sols sont faibles et la pratique de la céréaliculture dans ces régions ne permet pas un renouvellement du stock organique.

L'utilisation d'autres ressources fertilisantes est possible dans notre région. Les boues des stations d'épurations sont souvent à la disposition des agriculteurs qui préfèrent leur injection dans d'autres spéculations telles que les cultures maraîchères. Dans cette étude, nous avons appliqué cette fumure organique sur la céréale (blé) afin d'évaluer son impact sur les propriétés hydro-physiques et chimiques du sol, et aussi sur l'élaboration de la production de la plante.

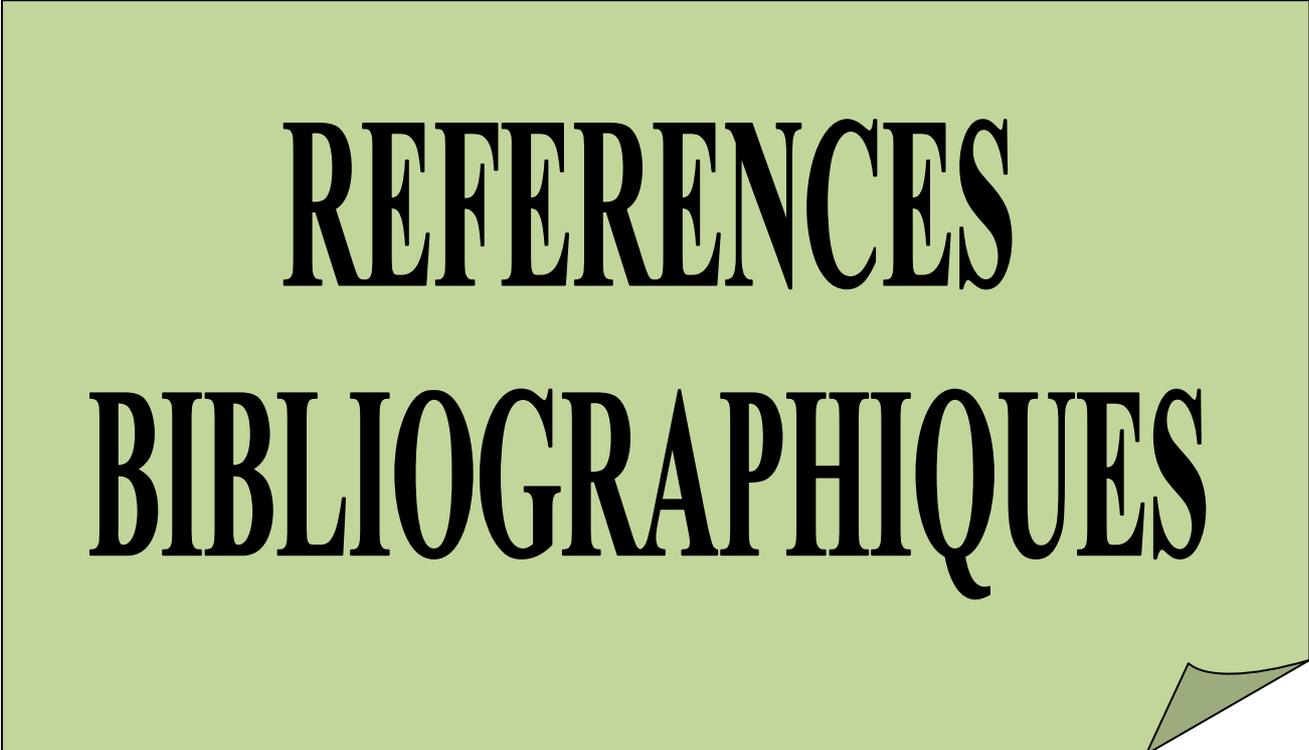
Les résultats ont montré un effet impressionnant sur la culture du blé, ceci est constaté à travers une amélioration significative des paramètres morphologiques, biochimiques et productivité.

Par son apport en matières nutritives, la boue résiduaire a permis une forte augmentation de la biomasse et un bon développement végétatif de la plante. La réponse de la végétation par l'ensemble des variables mesurées est très prononcé à la dose 40 tonnes de boue /ha.

Les mesures effectuées sur le sol, ont montré que la boue améliore la porosité et la conductivité hydraulique au voisinage de la saturation. Pour les paramètres chimiques, on enregistre aussi une augmentation de la teneur en matière organique, ce qui permet l'amélioration du potentiel nutritif du sol.

L'application de la boue résiduaire dans notre expérience a fortement contribué à l'amélioration du rendement de blé ainsi que la structure du sol.

Les boues et les eaux usées ne doivent pas être versées en l'état dans la nature car elles risquent à long terme de créer des problèmes de pollutions insurmontables. Une fois traitées, elles deviennent une ressource qui peut être valorisée dans le domaine agricole. Les résultats de la présente étude indiquent que même sur céréale conduite sous conditions pluviales, l'apport des boues résiduaires s'est révélé très avantageux en terme de rendement en grains et en terme de production de paille qui est une source d'énergie estimable pour l'alimentation du cheptel. Cette augmentation de la production est liée aux grandes quantités d'éléments fertilisants notamment azotées que porte la boue, en plus de l'effet sur la conservation de l'humidité du sol.



REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aboudrare N., Jellal T., Benchekroun D. & Jemali A. 1998** .Réutilisation des eaux usées à des fins agricoles à Ouarzazate. *Terre et Vie* 26:7-12.
- ADEME, 2001**.Les boues d'épuration municipal et leurs utilisation en agriculture. Dossier documentaire,3(1) Ademe , Angers.
- Adler E. 2001** .Boues d'épuration et métaux lourds :Eléments d' information , article paru dans HEXAGONE environnement N36 Avril , Mai , 2001 p27-29 .
- Alberta E. 1977**.Technology transfert : seminar on sludge handing and disposal.
- Arshad, M. A., Franzluebbers, A. J. & Azooz, R. H. 1999**. Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Canada. *Soil & Tillage Research*, **53**, 41-47.
- ANRED ,R. 1982** .La valorisation agricole des boues de la station d'épuration. Cahier technique 7. 63p.
- Angers, D. A. & Caron, J. 1998**. Plant-induced changes in soil structure: processes and feedbacks. *Biogeochemistry*, **42**, 55-72.
- Azooz, R. H. & Arshad, M. A. 1996**. Soil infiltration and hydraulic conductivity under longterm no-tillage and conventional tillage systems. *Canadian Journal of Soil Science*, **76**, 143-152.
- Barriuso E., Benoit P. & Bergheaud V. 1994**. – Rôle of soil fractions in retention and stabilisation of pesticides in soils. In :A.CO-PIN,G.HOUINS,L.PUSSEMIER et J.F. SALEMBIER,Ed.,Environmental behaviour of pesticides and regulatory aspects, COST,European Study. – Service, Rixensart, Belgique, 138-143.
- Bozkurt, 2006**; Possibilities of using sewage sludge as nitrogen fertilizer for maize. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science*, Volume 56, , pages 143 - 149
- Balesdent, J., Chenu, C., Balabane, M. 2000**. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research* 53: 215–220.
- Balesdent, J., Arrouays, D., Gaillard J. 2000**. MORGANE: un modèle de simulation des réserves organiques des sols et de la dynamique du carbone des sols. *Submitted to Agronomie*
- Barley., 1961. BARLEY K.P., 1961**. The abundance of earthworms in agricultural land and their possible significance in agriculture. *Advances in Agronomy*, 13: 249-268.
- Barbartik A., Lawarabnce JR., Sikpra J. & Colacicco D. 1985**. Factors affecting the mineralization of nitrogen in sewage sludge applied to soil. *Am. J. Soil Sci.* 49: 1403-1406.
- Barber L. (1995)** Soil Nutrient bio availability a mechanistic approach second edition. 361p.
- Barideau , L.(1986)** Les boues d'épurations : Menace pour l'environnement ou matière première pour l'agriculture : Bull ; recherche ; Agro . Gembloux volume 3pp . 382
- Basic, F., Kusic, I., Mesic, M., Nestroy, O. & Butorac, A. 2004**. Tillage and crop management effects on soil erosion in central Croatia. *Soil & Tillage Research*, **78**, 197-206.
- Baumhardt, R. L. & Jones, O. R. 2002**. Residue management and tillage effects on soilwater storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas. *Soil & Tillage Research*, **68**, 71-82.

- Bhattacharyya, R., Prakash, V., Kundu, S. & Gupta, H. S. 2006.** Effect of tillage and crop rotations on pore size distribution and soil hydraulic conductivity in sandy clay loam soil of the Indian Himalayas. *Soil & Tillage Research*, **86**, 129-140.
- Beaux, M.F., Gouet, H. et Gouet, J.P. 1999.** Manuel d'utilisation du logiciel STATITCF. Institut technique des céréales et fourrages (ITCF), Paris, France.
- Benmouffok A., Allili N., Djebala L., Akila. & Medjani A. 2005.** Caractérisation et valeur agronomique des boues issues d'épuration des eaux usées (cas de la station d'épuration de Tizi Ouzou Est, Algérie), Watmed2 (Marrakech), 4 p.
- Blanco-Canqui, H., Gantzer, C. J., Anderson, S. H. & Alberts, E. E. 2004.** Tillage and crop influences on physical properties for an Epiacqualf. *Soil Science Society of America Journal*, **68**, 567-576.
- Blevins, R. L., Thomas, G. W., Smith, M. S., Frye, W. W. & Cornelius, P. L. 1983.**
Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventionally tilled corn. *Soil & Tillage Research*, **3**, 135-146.
- Bojvin ,L ;1970.**les principales méthodes d'élimination des boues des stations de traitement des eaux pp 299-369.
- Bouzerzour H. Tamrabet L. & Kribaa M. 2002 .**Réponse de deux graminées fourragères, l'orge et l'avoine, aux apports d'eau usée et de boue résiduaire. In: Proceedings Séminaire International : Biologie et Environnement, Université Mentouri, Constantine (Algérie). pp. 71.
- Brame V. Lefevre 1977.** Aspects qualitatifs de l'utilisation agronomique des boues résiduares des stations d'épuration. Sc du sol, Bull Afes3. 125-140.
- Buihui Tri ; Monnier , G .1973.** Etude quantitative de la granulation des sols sous prairies de graminées . Ann . Agro . Vol 24 . N°4 .
- Chatha TH., Haya R. & Latif I. 2002.** Influence of sewage sludge and organic manures application on wheat yield and heavy metal availability. *Asian J. of Plant Sciences* 1(2):79-81.
- Chaussod R. Gremon J. Catroux G. 1981.** Essai de détermination au laboratoire de l'aptitude à la minéralisation de l'azote des boues résiduares urbaines: *Acad Agric fr.* 67(9). 762-771.
- Chawla ; V.K ;Bryant D.N ;Liu D. 1974.** Disposal of chemical sewage sludge on land and their effects on plants , leachate and soil systems.Sludge handing and disposal seminar. Conferences proceeding N°2,PP207-233.Ontario.Ministry – environnement Toronto.
- Cherak L. 1999** Incidences des eaux usées résiduares sur la microflore et le comportement de l'avoine. Thèse magister Université de Batna (Algérie). 110 p.
- Comité National des boues (CNB) 2000 .**Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture. Dossier Doc. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) 59 p.
- Coquet, Y., Vachier, P. & Labat, C. 2005.** Vertical variation of near-saturated hydraulic conductivity in three soil profiles. *Geoderma*, **126**, 181-191.
- Dao, T. H. 1993.** Tillage and winter wheat residue management effects on water infiltration and storage. *Soil Science Society of America Journal*, **57**, 1586-1595.
- Dexter, A. R. 1991.** Amelioration of soil by natural processes. *Soil & Tillage Research*, **20**,87-100.
- Dexter, A. R. 1997.**Physical proprieties of tilled soils .Soil and tillage research.43,41-63.

- Doran, J.W. 1980.** Soil microbial changes associated with reduced tillage. *soil science society of America journal*. 44, 765-771.
- Dridi, B ; Toumi, C ; 1996 .** étude comparatif des divers engrais sur les propriétés physiques d'un sol cultivé. *Agro sol* .vol 9 N° 2 Québec .
- Edwards, J.H; Wood, C.W; Thurlow, D.L & Ruf, M.E., 1992.** Tillage and crop rotation effects on fertility status of hapludut soil. *soil science society of America Journal*. 56, 1577-1582.
- Ehlers, W., Kopke, U., Hesse, F. & Bohm, W. 1983.** Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil & Tillage Research*, 3, 261-275.
- ENITA, B. 2000.** Agronomie des bases aux nouvelles orientations. Ed. Synthèse agricole 337p.
- FAO. 1987** Guide sur les engrais et la nutrition des plantes: Bulletin FAO engrais et nutrition végétale 09.
- Ferreras, L.A., Costa, J.L., Garcia, F.O & Pecoran, C. 2000.** effect of no tillage on some soil physical properties of structural degraded pertocalcic paleudoll od southern "pampa" of Argentina. *soil & tillage research*, 54, 31-39.
- Fethallah ; B ; 1991** essai de valorisation des boues résiduaires de l'écotex de Barika comme amendement organique sur culture maraîchère (tomate laitue) sous abri plastique Thèse ING d'état 60 P.
- Findeling, A., Ruy, S. & Scopel, E. 2003.** Modeling the effects of a partial residue mulch on runoff using a physically based approach. *Journal of Hydrology*, 275, 49-66.
- Fuentes, J.P ; Flury, M et bezdicek ; D.F. 2004.** Hydraulic properties in a silt loam soil under natural prairie, conventional till, and no-till. *soil science society of America journal*, 68, 1679-1688.
- Gamrasni M.A. 1981 .** Utilisation agricole des boues d'origine urbaines A.F.E.E. bull 4.(64). 25-64.
- Germon, J.C ; 1985.** Le sol un système épurateur efficace s'il est bien géré : revue du palais de la découverte 133 :pp .19.41.
- Glema, G. 1980 .** Sludge, street sweepings, compost: definitions, manufacture, characteristics fertilization. *Cultivar*. p. 44-45, 47
- Gomez A., Lineres, M., Tanzin, J. & Solda P. 1984.** Etude de l'incidence des apports de boues résiduaires à des sols sableux, sur l'évolution quantitative et qualitative de la matière organique. *CR. Acad. Sc. Fr* 516-524.
- Grant, C. A. & Lafond, G. P. 1993.** The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*, 73, 223-232.
- Grimaud L. 1996 .** La valeur azotée des boues d'épuration. Ademe .Eau et environnement DEP. Univ Amiens. 84p.
- Guerif J., 1986.** Modification de la répartition et de l'évolution des matières organiques par la simplification du travail du sol : conséquences sur quelques propriétés physiques. « Les rotations céréalières intensives – Dix années d'études concertées INRA, ONIC, ITCF 1973-1983 ». Ed. INRA, pp 63-88.
- Guiraud G., Fardeau J.C. & Hetier J.M. 1977.** Evolution de l'azote du sol en présence de boues résiduaires. In: *Proceedings Premier symposium de la recherche sur les sols et les déchets solides*. pp. 27-33.

- Holland, J.M. 2004.** the environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe : reviewing the evidence. *Agriculture Ecosysteme & Environnement.*
- Hall ; JE ; Williams , JH .1992.** The use of sewage sludge on arable and grass land in : Utilization of sewage sludge on land rates application and long term effect of metals proceeding of seminar Held at Up Salas June 79.
- Hammel, J. E. 1989.** Long-term tillage and crop rotation effects on bulk density and soil impedance in Northern Idaho. *Soil Science Society of America Journal*, **53**, 1515-1519.
- Heard, J. R., Klavivko, E. J. & Mannering, J. V. 1988.** Soil macroporosity, hydraulic conductivity and air permeability of silty soils under long-term conservation tillage in Indiana. *Soil & Tillage Research*, **11**, 1-18.
- Hernández, J. L., Lopez, R., Navarrete, L. & Sánchez-Gíron, V. 2002.** Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil & Tillage Research*, **66**, 129-141.
- Hill, R. L. 1990.** Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal*, **54**, 161-166.
- Hussain, I., Olson, K. R. & Siemens, J. C. 1998.** Long-term tillage effects on physical properties of eroded soil. *Soil Science*, **163**, 970-981.
- Hurt, F ; 1985 .** Valorisation agricole des compostes d'origine urbaines extrait du N°262 De la Revue . Horticole : dossier technique de la SCL . Agro.. 336 .pp . 1-7 Belgique.
- ITCF ; 2001.** Boues des stations d'épuration municipale : institut technique des céréales et de fourrages.
- Jamil M., Qacim M. & Umar M., 2006 .** Utilization of sewage sludge as organic fertilizer in sustainable agriculture. *J. Of Applied Sc.* 6(3):531-535
- Juste ,C ; Catroux, G ; 1980.** Intérêt agronomique des boues résiduares et condition préalables a leurs utilisation .C.R . séminaire.EAS. Bale ,pp .1-24.
- Kirkham, M.B. ; 1974.** Disposal of sludge and land .effect on soil plant and ground water: compost sc. 15 N°2 PP.6-10.
- Kofoed, AD ; 1984.** Optimun use of sludge in agriculture in Berglund S , Davis , RD.L'hermite P,eds. Commission of European communities : utilization of sewage sludge on land rate of application and long term. Effect of metals .Dordrecht.D Reidel publication 1984.229P.
- Krauss, K; Saleque; 1987.** Determination of the radiant around a root by radio- autography frozen.soil. selection plant and soil.
- Lamari M. (1979)** Utilisation des boues résiduares dans le cas de la station de Draa Benkhada.
- Lampurlanés, J. & Cantero-Martínez, C. 2003.** Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth. *Agronomy Journal*, **95**, 526-536.
- Lampurlanés, J. & Cantero-Martínez, C. 2006.** hydraulic conductivity , residue cover and soil surface roughness under different tillage systems in semiarid conditions .soil & tillage Research .85,13-26.
- Laurant C. 1994 .** L'assainissement des agglomerations, techniques d'épuration actuelles, évolution documentaire réalisée par les agences de l'eau et le ministère de l'environnement 143p

- Leclerc, H , et Feutry .1974.** Un produit a valoriser les boues résiduares de station d'épuration . ISA Lille . France .
- Lin, H. S., McInnes, K. J., Wilding, L. P. & Hallmark, C. T. 1999.** Effects of soil morphology on hydraulic properties: I. Quantification of soil morphology. *Soil Science Society of America Journal*, **63**, 948-954.
- Logsdon, S. D., McCoy, E. L., Allmaras, R. R. & Linden, D. R. 1993.** Macropore characterization by indirect methods. *Soil Science*, **155**, 316-324.
- Maes M 1977.** Pratique du methane de fermentation. Revue de la sécurité. Pp 24-31.
- Marisot , A ; GRAS , R.1986** .Répercussions agronomiques des épandages d'effluents des industries agricoles et alimentaire . Ann . agro . 25 . 243 . 66 .
- Miller, J. J., Sweetland, N. J., Larney, F. J. & Volkmar, K. M. 1998.** Unsaturated hydraulic conductivity of conventional and conservation tillage soils in southern Alberta. *Canadian Journal of Soil Science*, **78**, 643-648.
- Morel , JI ; et Guckert , A . (1977)** Influence of limited sludge on soil organic matter and soil physical propertier . Reidel publishing company . Vol : 25-42 .
- Morel,J.L ; 1978.**quelques aspects nouveaux de la dynamique du carbone et azote ann .agro. vol N°24. P357-379.
- Munawar, A., Blevins, R. L., Frye, W. W. & Saul, M. R. 1990.** Tillage and cover crop management for soil water conservation. *Agronomy Journal*, **82**, 773-777.
- Nakibe,M ;1986.** Contribution à l'étude des possibilités d'utilisation des eaux d'épuration dans l'agriculture cas des effluents urbains de laiteries thèse de magister de INA, Alger p 80.
- Nye PH. 1981.** Changes of pH across the rhizosphere induced by roots. *Plant and Soil* **61**, 7-26.
- Pachepsky, Y. A. & Rawls, W. J. 2003.** Soil structure and pedotransfer functions. *European Journal of Soil Science*, **54**, 443-451.
- Pagial , M ; et Sequi , P.(1982)** The influence of animal slurries on soil physical properties instituto-speramentale agro N°14 Bari . pp 44-66 .
- Peffer .(1996)** Fécondité de la terre Edition : Triades . Paris 348p .
- Pescod M.B. (1992)** Wastewater treatment and use in agriculture. Publication FAO, irrigation & drainage N° 47. 117 p.
- Pekrun ,L;Kaul,H-P &Claupein, W.2003.**soil tillage for sustainable nutrient management in *EL Tiri*, A(ed.)soil tillage in *Agroecosystems* ,CRC Press NewYork (USA), pp83-113.
- Pierce,F;Fortin,M.C et Staton,M.J.1994.**Periodic plowing effects on soils proprieties in a no-till farming system. *Soil science society of America journal*,**58**,178261787.
- Pommel , B .(1992)** Devenir du phosphore des eaux usées urbaines : Le cas particulier De Paris-Achères Séminaire . Altiration et restauration de la qualité des eaux continentales 1 et 2 Octobre . pp . 96 . 98 .
- Rasmussen KJ 1999.** Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. *Soil & Tillage Research* **53**, 3-14.
- Rhoton, F. E., Bruce, R. R., Buehring, N. W., Elkins, G. B., Langdale, C. W. & Tyler, D. D. 1993.** Chemical and physical characteristics of four soil types under conventional and notillage systems. *Soil & Tillage Research*, **28**, 51-61.

- Ripert C., Tiercelin JR., Navarot C., Klimo E., Gajarszki G., Cadillon M., Tremea L. & Vermes L. 1990.** Utilisation agricole et forestière des eaux usées domestiques. Bulletin Technique du Cemagref. 79. 18 p.
- Robert M. Gambier P. Christan J. (1994)** Conditions de l'utilisation des boues en agriculture. Cah d'agriculture 3(5). 279-342.
- Robertson , JB ; Mitchell , CP ; Sims , Ford .(1992)** Disposal of effluent onto . tree crops used for heat and power generation IN : 7th European conference on Bio mass for energy and environment , agriculture and industry . Florence Italy . 5-9 October 1992 . 1993 . 31 . 64
- Saber, N. & Mrabet, R. 2002.** Impact of no tillage and crop sequence on selected soil quality attributes of a vertic calcixeroll soil in Morocco. *Agronomie*, **22**, 451-459.
- Sachon, S. 1995** .Les boues des stations d'épuration urbaines : Utilisation en agriculture. BTI, 21:14-29.
- Sbih M. 1990** .Etude de la biodegradation des boues résiduelles de station d'épuration: effet pour la biodisponibilité du phosphore pour le vegetal. Mémoire DAA. INAPG et INRA Grignon 39p.
- Sarac , M. 1980** .Contribution à l'étude de la valorisation agronomique du compost sous urbain sous climat méditerranéen Thèse de doctorat 3eme cycle : Institue national polytechnique de loraine . Nancy . Page 107 .
- Sasal, M. C., Andriulo, A. E. & Taboada, M. A. 2006.** Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas. *Soil & Tillage Research*, **87**, 9-18.
- SHIPITALO M.J., PROTZ R., 1989.** Chemistry and micromorphology of aggregation in earthworm casts. *Geoderma*, 45: 357-374.
- Sommers , LE .1977.** Chemical composition of sewage sludge and analysis of their potential fertilizers use . J . Envir . qual . 6 . pp . 225 . 232 .
- Steel GDS. & Torrie JH. 1980.** Principles and procedures of Statistics: a biometrical approach. . Editions Mc Graw Hill Book Company, NY. 633 p.
- Stengel, P., Douglas, J. T., Guérif, J., Goss, M. J., Monnier, G. & Cannell, R. Q. 1984.**
Factors influencing the variation of some properties of soils in relation to their suitability for direct drilling. *Soil & Tillage Research*, **4**, 35-53.
- Swardji, P. & Eberbach, P. L. 1998.** Seasonal changes of physical properties of an Oxic Paleustalf (Red Kandosol) after 16 years of direct drilling or conventional cultivation. *Soil & Tillage Research*, **49**, 65-77.
- TEBRÜGE F., DÜRING R.A., 1999.** Reducing tillage intensity, a review of results from a long term study in Germany. *Soil & Tillage Research*, 53: 15-28.
- Tester ,CF., Sikora LJ., Taylor JM. & Parr JF. 1982** .N Utilization by tall fescue from sewage sludge, compost amended soils. *Agro. J.* 74:1013-1018.
- Tasdilas ,CD. 1997.** Impact of waste water reuse on some soil properties. In: Inter. Conference on water management, salinity, and pollution control towards sustainable irrigation in the Mediterranean region: Options méditerranéennes série B- CIHEAM. 213-226.

- Unger, P. W. & Jones, O. R. 1998.** Long-term tillage and cropping systems affect bulk density and penetration resistance of soil cropped to dryland wheat and grain sorghum. *Soil & Tillage Research*, **45**, 39-57.
- VanDENBYGAART A.J., PROTZ R., TOMLIN A.D., 2000.** Changes in pore structure in a no-till chronosequence of silt loam soils, southern Ontario. *Canadian Journal of Soil Science*, **79**: 149-160
- Vilain V. 1987.** La production végétale: les composantes de la production. Paris cedex 08 tome 2. 416p.
- Xanthoulis, D., Kayamanidou M., Choukr-Allah R., El-Hamouri B., Benthayer B., Nejib Rejeb M., Papadopoulous I. & Quelhas Dos Santos J. 1998.** Utilisation des eaux usées en irrigation, approche globale du traitement des effluents, comparaison des différents systèmes d'irrigation sur diverses cultures et leurs aspects Institutionnel et Organisationnel. Synthèse des projets de recherche multilatérale portant sur les eaux usées, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. 10 p.
- Zekad M. 1982** .Etude de la dynamique de la teneur en métaux dans un sol brun lessivé après utilisation des résidus urbains. Thèse de doctorat pp. 31-66
- Zerrouk , F .1991.** Valorisation agricole des boues de station dépuración : Incidences sur quelques propriétés physiques d'un sol cultivé . Mémoire . Ingénieur d'état en agronomie . 62p .
- Zebarth ,B.J ;Mc Dougall , R ;Nielsen,G ;Nielsen,D.2000** .Availability of nitrogen from municipal sewage sludge for dryland forage grass. *Can.J.Plant sci.***80**,575-582.

ANNEXE

ANNEXE**Tableau. 12.** Valeurs moyennes de la composition minérale de la plante

	B I	B II	B III	N I	N II	Témoin
azote(en%)	3	3.44	2.52	2.28	2.88	1.12
phosphore (en%)	0.34	0.36	0.38	0,26	0,26	0,24

Tableau. 13. Valeurs moyennes des paramètres chimiques du sol

	B I	B II	B III	N I	N II	Témoin
Dosage du Carbone (en%)	0,90	2,25	1,10	0,48	0,69	0,45
Dosage d'azote dans le sol (en%)	0,160	0,089	0,111	0,021	0,069	0,018
PH	7,43	7,38	7,51	7,50	7,44	7,44
C E(en ms)	0,96	0,97	0,96	0,92	0,92	0,84

Tableau 14. Valeurs moyennes des paramètres physiques du sol

	B I	B II	B III	N I	N II	Témoin
Porosité (en%)	47	52	51	43	47	40
Densité apparente	1,24	1,12	1,21	1,31	1,22	1,39
K 6	80.92	81.89	192.2	48.63	51.28	41.91
K 30	19.05	24.65	30.25	20.17	20.62	17.93

Résumé :

La valorisation agricole des boues résiduaires en zone semi aride, caractérisée par un climat contraignant et des pratiques culturales épuisantes, par l'épandage des sols avec des faibles doses constitue une solution intelligible pour l'aménagement des ressources naturelles. Les résultats de la présente contribution dont l'objectif est d'étudier l'effet des boues résiduaires sur sol cultivé en zone semi aride, ont montré un effet impressionnant sur la céréaliculture par le biais de l'amélioration des paramètres de productivité et des compartiments du sol, cet effet a été prononcé par l'augmentation de la porosité, la conductivité hydraulique au voisinage de la saturation, la réserve organique ainsi que sa minéralisation ce qui a permis une amélioration du potentiel nutritif du sol en faveur de la plante par l'augmentation de sa teneur en phosphore et en azote en% de matière sèche. Un amendement avec une dose de 40Tde MS/ha semble être meilleur pour l'ensemble des paramètres étudiés.

Mots clés: boues résiduaires ; épandage ; productivité; compartiments du sol.

Abstract :

The agricultural use of sewage sludge in semi arid climate characterized by a binding and exhausting cultivation practices, by the spreading of soils with low doses is an intelligible solution for the management of natural resources. The results of this paper whose objective is to study the effect of sewage sludge on soil grown in semi arid, showed an impressive effect on cereal production through improved productivity parameters and compartments soil, this effect was given by the increase of porosity, hydraulic conductivity near saturation, the organic reserves and its mineralization which has allowed an improvement in potential soil nutrient for the plant by increasing its content of phosphorus and nitrogen as% of dry matter. An amendment with a dose of 40T DM / ha seems to be better for all parameters studied.

Keywords: sewage sludge, land application, productivity, soil compartments.