

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



Mémoire

**En vue de l'obtention du diplôme de master en
agronomie**

Spécialité : Réhabilitation et Restauration des sols

Thème

**EFFET DE L'APPORT DES BOUES
RESIDUAIRES SUR LA MATIERE
ORGANIQUE ET LA DENSITE D'UN
SOL ALLUVIAL (DE BOUKHALFA)**

Réalisé par :

-HADJAB Athman

-IKENE Salah

Devant le jury composé de :

Président :	M MEROUKI K	M.C.B	à l'U.M.M.T.O.
Examineur :	M ^{me} TAIBI H	M.A.A	à l'U.M.M.T.O.
Promotrices :	M ^{lle} OMOURI	M.A.B	à l'U.M.M.T.O.
	M ^{me} BOURBIA	M.C.B	à l'U.M.M.T.O.

Soutenue le : 02/10/2017

Remerciement

*Au terme de ce travail, nous tenons à adresser nos plus sincères et vifs remerciements et à exprimer notre reconnaissance à nos promotrices **M^{lle} OMOURI O.** et **M^{me} BOURBIAMOUAS S.** Pour leur encadrement, leurs orientations judicieuses qui nous ont été infiniment utiles pour surmonter beaucoup de difficultés.*

*Nous remercions **M. MEROUKI K.** qui nous fait l'honneur de présider le jury et **M^{me} TAIBI** d'avoir accepté d'évaluer et d'examiner notre travail.*

*Nous tenons à exprimer notre gratitude reconnaissance et respect à **M^{me} BOUDIAF** **NAIT KACI M.** qui nous a été un soutien moral pour réaliser ce thème en bonnes conditions.*

*Nous tenons présenter notre gratitude reconnaissance à **M. OUMLIL** de nous avoir autorisé à réaliser notre expérimentation au sein de sa propriété.*

Et enfin on remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail pour :

- ✿ Ma chère mère
- ✿ Mes frères et sœurs et notre petite ELINA,
- ✿ Mes cousins et à toute la famille IKENE,
- ✿ Tous mes amis (es) de l'université,
- ✿ Toute la section RRS.
- ✿ Tous les amis de L'INSFPO,
- ✿ Et à tous ceux qui me sont chères.

M.IKENE Salah

Je dédie ce modeste travail pour :

- ✿ Mes chers parents,
- ✿ Ma famille ; mes frères et ma sœur,
- ✿ Mes cousins et à toute la famille HADJAB,
- ✿ Tous mes amis (es)
- ✿ Toute la section RRS.
- ✿ Et à tous ceux qui me sont chères.

M. HADJAB Athmane

Liste des figures

Figure 1 : Rôles et fonctions des M.O (DUPARQUE et P. RIGALLE, 2006).....	17
Figure 2 : Evolution des matières organiques dans sol (BONIN, 2006)	19
Figure 3 : moyennes des températures de la Wilaya de Tizi-Ouzou (2006-2016).....	25
Figure 4 : moyenne des précipitations de la Wilaya de Tizi-Ouzou (2006-2016).....	26
Figure 5 : Diagramme ombrothermique de la région de Tizi-Ouzou entre 2006 et 2016	27
Figure 6 : situation de la région de Tizi-Ouzou dans le Climagramme d'Emberger.	28
Figure 7 : Indice d'aridité moyenne mensuelle pour la région de Tizi-Ouzou (2006 à 2016).....	30
Figure 8 : la mise en place du plan parcellaire.....	31
Figure 9 : la mise en parcelle sur le terrain et l'endroit d'échantillonnages	32
Figure 10 : variation des moyennes de la matière organique.....	38
Figure 11 : moyenne de la matière organique sur les profondeurs	39
Figure 12 : variation de la densité apparente avec l'augmentation des doses	40

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classement des sols en fonction de leur rapport C/N (LCA, 2008)	20
Tableau 2 : Valeurs de quotient pluviométrique de la région de Tizi-Ouzou.	28
Tableau 3 : Indice d'aridité mensuel de DE-DEMARTONNE appliqué à Tizi-Ouzou entre 2006 et 2016.	29
Tableau 4 : les valeurs de la variance de la matière organique.....	39
Tableau 5 : analyse statistique de la densité apparente	41
Tableau 6 : quantités de la MO contenus dans un hectare du sol et les quantités des pertes.....	41

Tables des matières

Introduction.....	1
Chapitre I : les boues résiduaire	
I- Les boues résiduaire :.....	2
I.1 Définition de boues :.....	2
I.2 Les différents type de boues :.....	2
I.2.1 Les boues industrielle :	2
I.2.2 Les boues primaire :	2
I.2.3 Les boues biologique ou secondaire :.....	2
I.2.4 Les boues physico-chimique :.....	2
I.2.5 Les boues mixte :.....	2
I.3 Caractéristique de boue :	3
I.3.1 Caractéristique physico-chimique :.....	3
I.3.1.1 Matière sèche (MS) et siccité (S) :.....	3
I.3.1.2 Matière en suspension (MES) :.....	3
I.3.1.3 Fraction volatile (FV) :.....	3
I.3.1.4 Indice de boue (Sludge Volume Index) : (SVI).....	3
I.3.2 Caractéristique biologique :.....	3
I.3.2.1 Composition de matière organique :.....	3
I.3.2.2 (Pouvoir calorifique inférieur) (PCI).....	4
I.3.2.3 Composition de matière minérale :	4
I.3.2.4 Les Micropolluant :	4
I.3.3 Caractéristique physique :.....	4
I.3.3.1 Aptitude au convoyage et au stockage :.....	4
I.3.3.2 Masse volumique :.....	5
I.3.3.3 Viscosité :.....	5
I.3.3.4 Granulométrie :.....	5
I.3.3.5 Conductivité thermique :	5
I.4 Les phase de traitement d'une boue :	5
I.4.1 Le pré traitement de l'eau :	5
I.4.1.1 Le dégrillage :.....	5
I.4.1.2 Dessablage :	6
I.4.1.3 Dégraissage et de déshuilage :.....	6
I.4.2 L'épaississement :.....	6

I.4.2.1 Les épaisseurs gravitaires :	6
I.4.2.2 Les épaisseurs stockeurs :	6
I.4.3 Stabilisation de boue	7
I.4.4 La déshydratation :	7
I.4.5 Le séchage :	8
I.4.5.1 Le Lit de séchage :	8
I.4.6 Incinération ou disposition :	8
I.4.7 Exploitation :	9
I.5 Facteurs influencent la boue :	9
I.5.1 L'action de l'eau :	9
I.5.1.1 Infiltration de l'eau dans le sol :	9
I.5.1.2 L'évaporation :	10
I.5.1.3 L'évapotranspiration :	10
I.5.2 Le ruissellement :	10
I.5.3 L'action physico-chimique :	10
I.5.3.1 L'échange d'ions :	10
I.5.3.2 L'effet tampon :	11
I.5.4 La présence d'air dans le sol :	11
I.5.5 La nitrification-dénitrification :	11
I.5.6 Apport en éléments nutritifs :	11
I.6 Utilisations agricoles des boues :	12
I.7 Relation boue sol :	12

Chapitre II : la matière organique

II.1. Définition de matière organique.....	13
II.2. Les composés de la matières organiques.....	13
II.3. Sources de Matières Organiques.....	14
II.3.1. Les engrais verts	14
II.3.2. La paille ou le mulch :	14
II.3.3. Les déchets industriels ou urbains et les produit résiduaire urbain :	14
II.4. Importance de la matière organique dans la fertilisation du sol	15
II.4.1. Amélioration des rendements.....	15
II.4.2. Effets de la matière organique sur les propriétés du sol	15
II.5. Evolution de la matière organique (M.O) dans le sol	17
II.5. La matière organique des boues.....	19
II.6. Le rapport C/N	19

II.7. Les principaux facteurs influençant le temps de résidence et le stock de la matière organique dans les sols.	20
II.7.1 les facteurs qui diminuent le temps de résidence du carbone organique dans le sol	20
II.7.2. Les facteurs qui favorisent le stockage du carbone organique dans le sol.....	21
II.8. Facteurs de dégradation de la matière organique	22
II.8.1. Facteurs abiotiques.....	22
II.8.1.1. Température	22
II.8.1.2. Equilibre air/eau	22
II.8.1.3. Ph du sol	22
II.8.1.4. Salinité.....	23
II.8.2. Facteurs biotiques.....	23
II.8.2.1. Nature de la matière organique.....	23
II.8.2.2. Les organismes vivants	33

Chapitre III : matériels et méthodes

III.1. Présentation de la zone d'étude	25
III.1.1. Localisation géographique	25
III.1.2. Étude climatologique.....	25
III.1.2.1. Caractéristiques climatiques.....	25
III.1.2.1.1. La température	25
III.1.2.1.2. La pluviométrie	26
III.1.2.2. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen.....	27
III.3. Le Quotient Pluviométrique et Climagramme d'EMBERGER	27
III.1.4. Indice d'aridité	28
III.2. Protocole expérimentale.....	31
III.2.1. Mise en place de la parcelle.....	31
III.2.2. Échantillonnage.....	32
III.3. Analyse des échantillons de sol	33
III.3.1. Préparation des échantillons.....	33
III.3.2. La densité apparente (Da).....	33
III.3.3. Le dosage carbone organique (méthode Anne simplifiée).	34

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1. Variation de la teneur en matière organique	38
IV.2. Variation de la densité apparente	40
IV.3. Variation du stock de la matière organique	41

Conclusion	42
-------------------------	-----------

Bibliographie

Résumé

Notification

°C : Degré Celsius

A, a : Indice d'aridité

AF : Acide Fulvique

AH : Acide Humique

C/N : le rapport carbone/azote

CEC : Capacité d'échange cationique

Cm : centimètre

D0 ; D1 ; D2 ; D3 : Dose d'épandage

Da : Densité Apparente

FM : la fraction de matière minérale

H : Humification

m : Moyenne des température minimales

M : Moyenne des températures maximales

M.O : Matière organique

M.O.F : la matière organique fraîche

M1 : Minéralisation primaire

M2 : Minéralisation secondaire

MES : Matières en suspension

MS : Matière sèche

MV : matières volatiles

N : Azote

ONA : Office National d'Assainissement

ONM : Office National de météorologie

P : Pluviométrie

pH : Le potentiel d'hydrogène

PPM : partie par million

Q₂ : Quotient Pluviométrique

SVI : Sludge Volume Index

T° : Température

Introduction

INTRODUCTION

L'homme à l'échelle domestique ou industrielle génère inévitablement des déchets en quantités de plus en plus élevées, leur gestion pose de gros problèmes. On prend le cas des eaux usées qui sont recueillies par les égouts et dirigées vers les stations d'épuration afin d'être purifiées avant leur réintroduction dans le milieu naturel. Leur traitement dans les stations permet de séparer une eau épurée d'un résidu secondaire, les boues, qui présentent les caractéristiques d'un amendement organique bien pourvu en matière organique, azote, phosphore ainsi qu'en oligo-éléments.

Le statut organique d'un sol, paramètre essentiel de sa fertilité, est à ce jour apprécié le plus souvent de manière globale et statique par la teneur totale en carbone organique, complétée éventuellement par le rapport carbone / azote. Or, les matières organiques des sols constituent un compartiment hétérogène, un mélange de composés carbonés aux origines diverses et aux fonctions tout aussi. Depuis plusieurs décennies, la recherche agronomique s'est intéressée à la problématique et a développé de nombreuses méthodes, plus ou moins transposables en routine, permettant d'apprécier les différentes qualités et fonctionnalités des matières organiques des sols.

Les sols en Algérie sont pauvres en éléments nutritifs indispensables à la vie des plantes, c'est dire que leur fertilité naturelle est moindre, ce qui limite la mise en culture des terres si on ne manifeste aucun travail d'amélioration envers ces sols. Toutefois, cette amélioration doit porter sur la connaissance préalable des caractéristiques physico-chimiques de ces sols pour mieux cerner le déficit et le corriger ultérieurement.

L'utilisation des boues résiduaires urbaines en agriculture a été effectuée compte tenu de la richesse diversifiée de ces boues en éléments indispensables aux végétaux et au maintien de la fertilité des sols.

En effet, les sols traités avec des boues gardent plus longtemps l'humidité et la végétation installée sur de tels sols présente 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).

Dans l'ensemble de ce document on a pour objectif de traiter un sol à tendance sableuse dans une région à climat subhumide avec un hiver tempéré, pour voir l'effet d'apport de boue résiduaire dans l'amélioration du statut de matière organique et l'amélioration de la densité apparente qui sont l'objectif de notre étude

Ce travail est présenté en 3 parties :

- Une synthèse bibliographique sur les boues et la matière organique ;
- Une étude de milieu et méthodes d'analyses ;
- Résultats et leurs discussions.

I- Les boues résiduaires :

I.1 Définition de boues :

Les boues sont définies comme un mélange d'eau et de matières solides, séparé par des procédés naturels ou artificiels des divers types d'eau qui le contiennent. (ADEME, 2001).

I.2 Les différents types de boues :

Selon l'origine, on distingue les types de boues suivantes :

I.2.1 Les boues industrielles :

C'est l'ensemble de déchets liquides, pâteux ou solides sortant du site de production.

(SALHI, S 2003).

I.2.2 Les boues primaires :

Obtenues par simple décantation d'un résidu insoluble. Ces boues correspondent à la pollution particulière directement décantable. Elles sont produites par les industries de la cellulose, les industries de traitement des métaux, des minerais, les industries agroalimentaires générant des déchets fibreux (ADEME, 1999).

I.2.3 Les boues biologiques ou secondaires :

Sont issues d'un bassin aéré ou d'une cuve anaérobie ; des industries chimiques et pharmaceutiques, agroalimentaires (laiteries, boissons...), textiles et, plus généralement, de toute industrie rejetant de la pollution organique biodégradable.

Elles sont essentiellement constituées de bactéries et sont très organiques et peu concentrées (MURILLO, M 2004).

I.2.4 Les boues physico-chimiques :

Sont générées par l'ajout d'un réactif injecté soit en tête de traitement, soit en traitement de finition ou tertiaire. On retrouve souvent dans ces boues des hydroxydes, voire d'autres métaux dans le cas des industries de traitement de surface. Ces boues peuvent donc présenter certaines similitudes avec des boues d'eau potable (ADEME, 2001).

I.2.5 Les boues mixtes :

C'est le mélange des boues biologiques et des boues primaires.

Elles existent au niveau des STEP (station de traitement des eaux polluées) dotées d'une filière de traitement complète (REMY ALBRECHT, 2007).

I.3 Caractéristiques des boues :

I.3.1 Caractéristiques physico-chimiques :

I.3.1.1 Matière sèche(MS) et siccité (S) :

C'est le paramètre principal de la définition de filière et surtout un des plus faciles à mesurer. MS est exprimée en g/L. Rapporté à la masse totale de boue, on l'exprimera en fraction massique S qui correspond à la siccité. Il permet de connaître la quantité de boue à traiter, quel que soit son niveau de concentration dans la filière de traitement (KORMANIK, R.A,1972).

I.3.1.2 Matières en suspension (MES) :

Si les MS sont faciles à déterminer sur les phases concentrées, il n'en va pas de même sur les phases clarifiées où la procédure de mesure de MES par filtration sur membrane est plus appropriée.

Afin d'écrire un bilan matière rigoureux soit en MS, soit en MES sur une opération de séparation de phase (qui ne sépare que les MES), on reliera les deux paramètres par la relation expérimentale suivante :

$MES = MS - [\text{substances organiques et minérales dissoutes}]$ (EMILIE JARDE 2002).

I.3.1.3 Fraction volatile (FV) :

C'est le rapport des matières volatiles MV (en g/L) sur les matières sèches MS (en g/L). Elle donne une précieuse indication sur le degré de stabilisation de la boue, et son aptitude à divers traitements (déshydratation, incinération...) (DUDKOWSKI, A 2000).

I.3.1.4 Indice de boue (Sludge Volume Index) :(SVI)

Il caractérise l'aptitude à la décantation, et donc ultérieurement à l'épaississement puis à la déshydratation d'une boue issue d'un traitement biologique. Il est à relier indirectement aux MS et MV (AMADOU, H, 2007).

I.3.2 Caractéristique biologique :

I.3.2.1 Composition des matières organiques :

La connaissance de la composition élémentaire de la boue en terme de C, H, O, N, S permet de déterminer l'aptitude d'une boue à être dégradée biologiquement (digestion anaérobie avec production de biogaz) ou thermiquement (incinération) par écriture de la stoechiométrie de dégradation. Elle est exprimée par rapport aux MV, voire par rapport aux

MV dégradables uniquement si l'on s'intéresse à la stabilisation biologique. $C_5H_7O_2N$ est souvent pris comme « formule brute » d'une boue biologique. (ECHAB, A 1998).

I.3.2.2 (Pouvoir calorifique inférieur) (PCI):

Son importance est primordiale en incinération. Généralement exprimé par rapport aux MV, il est à relier au C, H, O, N, S par écriture de la stœchiométrie de combustion. Différentes approches (formule de Dulong, théorie des électrons disponibles, etc.) permettent de le calculer approximativement, à défaut de le mesurer expérimentalement à la bombe calorimétrique (HOODA, P. S, ALLOWAY, B.J 1993).

I.3.2.3 Composition des matières minérales :

Silice, aluminés, carbonates et phosphates constituent les éléments les plus couramment rencontrés, à l'exception des boues minérales d'industries spécifiques. Carbonates et phosphates ont ainsi leur importance pour préciser la qualité agricole d'une boue épandue ; la silice est un élément défavorable en centrifugation.

Par ailleurs les chlorures, essentiellement solubles, sont peu appréciés en cas d'utilisation des cendres de boues incinérées en valorisation dans le béton (TAUZIN, C, et. JUSTE C., 1986)

I.3.2.4 Les Micropolluants :

Ils doivent être caractérisés en cas d'épandage agricole comme en cas d'incinération, car ils peuvent alors se retrouver dans les fumées. Les législations se sont longtemps tenues aux seuls micropolluants minéraux en limitant les rejets des métaux lourds suivants : plomb, chrome, cuivre, manganèse, nickel, arsenic, cadmium et mercure (SUH, Y.J, et ROUSSAUXP., 2002).

I.3.3 Caractéristiques physiques :

Afin de concentrer, chauffer, convoyeur et stocker la boue, il est indispensable de préciser ses propriétés physiques.

I.3.3.1 Aptitude au convoyage et au stockage :

La boue peut présenter différents états liés à sa rhéologie dont il est important de connaître les limites afin de dimensionner les capacités de pompage, convoyage et stockage. (RADA A., 1996).

I.3.3.2 Masse volumique :

Elle permet de calculer le volume de boue à convoier. En l'absence de mesure, pour une boue liquide ou pâteuse.

$FM = (1 - FV)$ représente la fraction de matière minérale, de masse volumique 2 700 kg/m³, la fraction organique ayant une masse volumique proche de 900 kg/m³ (ADEME, 2001).

I.3.3.3 Viscosité :

Les boues fraîches, dont la concentration dépasse rarement 10 à 15 g/L, ont un comportement newtonien. Leur viscosité est alors de l'ordre de quelques mPas. Quand la teneur en MS prend des valeurs plus importantes, la boue adopte un comportement généralement rhé fluidifiant, modélisable. (SEDKI, A, 1995).

I.3.3.4 Granulométrie :

Idéalement, la valeur du diamètre particulaire permettrait de connaître, d'après la loi de Stokes, l'aptitude d'une boue à épaissir. La distribution granulométrique d'une boue est cependant difficile et longue à mesurer. Les rares mesures effectuées montrent en outre une forte dispersion autour du diamètre moyen. Par ailleurs, si la taille est généralement un critère favorable, des particules de taille importante peuvent entraîner des problèmes de convoyage (dépôts) ou d'abrasion (silice), notamment en cas de centrifugation. (ADEME, 1999).

I.3.3.5 Conductivité thermique :

Ce paramètre ne sert que dans le cas d'une modélisation fine du séchage indirect ou d'échangeurs où des calculs de coefficients d'échange sont nécessaires. (AGGELIDES, S.M., LONDRA, P.A. 2000).

I.4 Les phases de traitement d'une boue :

I.4.1 Le pré traitement de l'eau :

I.4.1.1 Le dégrillage :

Le dégrillage a pour but de séparer et d'évacuer facilement les matières volumineuses charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements (BRAME, 1986).

I.4.1.2 Dessablage :

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, sables et particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduits, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion, à éviter de perturber les stades de traitement suivants (MOREL, 1977).

I.4.1.3 Dégraissage et de déshuilage :

Les opérations de dégraissage et de déshuilage consistent en une séparation de produits de densité légèrement inférieure à l'eau, par effet de flottation, naturelle ou assistée dans une enceinte liquide de volume suffisant.

Le dégraissage est une opération de séparation liquide-solide réalisant un compromis entre une rétention maximale des graisses et un dépôt minimal de boues de fond fermentescibles.

Le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide. Est habituellement réservé à l'élimination d'huiles présentes en quantité notable dans les eaux (DUCHENE, 1990).

I.4.2 L'épaississement :

L'épaississement permet d'augmenter la concentration en solide de la boue.

Les deux techniques principales sont la décantation et la flottation.

- Réduction du volume de la boue.
- Production d'une boue plus concentrée en MS.
- Évacuation d'une eau claire, peu chargée, qui est ré-circulée en tête de station. (JOCTEUR MONROZIER, L. 2001).

I.4.2.1 Les épaisseurs gravitaires :

- Hersés ou non, ils ont pour fonction d'épaissir et non de stocker.
- Les temps de séjours des boues sont au maximum de trois jours.
- Le mode de gestion de ces ouvrages prévoit que le surnageant soit évacué. (ONA 20017).

I.4.2.2 Les épaisseurs stockeurs :

- Ce sont des ouvrages mixtes assurant simultanément épaissement et court stockage.
- Le recours à ce mode de gestion devrait être interdit. En effet, il est responsable de nombreux dysfonctionnements tant sur la file eau que sur la file boue. Dans la pratique, leur usage est encore hélas assez courant. (ONA 2017).

I.4.3 Stabilisation de boue :

Les traitements de stabilisation utilisés sont de type biologique, chimique ou thermique. Ils s'appliquent aux boues mixtes fraîches, aux boues secondaires ou à l'ensemble des boues.

La stabilisation biologique réduit la teneur des boues en matières fermentescibles. Elle se fait soit par voie aérobie (en présence d'oxygène) dans les bassins d'aération ou dans des bassins de stabilisation aérobie, soit par voie anaérobie dans des digesteurs avec production de biogaz (méthane), ce dernier procédé réduit sensiblement la masse de matières organiques (30% environ).

La stabilisation chimique bloque l'activité biologique et donc l'évolution de la boue par adjonction d'une quantité importante de chaux (10 à 50% de la matière sèche), ce qui a pour conséquence d'augmenter le pH.

La stabilisation par Chaulage et compostage se pratique sur des boues déjà stabilisées biologiquement en station d'épuration. Pour les boues primaires ou physico-chimiques, le chaulage est l'unique mode de stabilisation. (HUE, 1995).

I.4.4 La déshydratation :

- Réduction de la teneur en eau de la boue (humidité inférieure à 88% ce qui correspond à des siccités supérieures à 12%.
- L'aspect de la boue obtenue diffère ; il est pâteux, solide ou sec. (KROGH NET BRUUS, PEDERSEN, 1997).

Procédés de Déshydratation :

- Il existe plusieurs procédés de déshydratation qui sont choisis selon le contexte local et l'objectif à atteindre :
- Système drainant : c'est un égouttage à travers un système filtrant.
- Filtre-presse Filtration sous pression
- Filtre à bandes pression
- Centrifugation : c'est une décantation accélérée.
- Lit de séchage : c'est une filtration et évaporation naturelle.

- Nous ne verrons que les procédés existants au niveau des installations gérées par l'ONA c'est-à-dire : lits de séchage, filtres à bandes et filtres-presses.
- Ces deux derniers procédés nécessitent un conditionnement préalable de la boue (c'est-à-dire la rendre apte à la déshydratation) ; ce sera un conditionnement réalisé par l'ajout d'un réactif chimique :
- C'est de la chaux et du chlorure ferrique pour les Filtre-presse.
- C'est du poly électrolyte pour les filtres à bande. (ONA 2017).

I.4.5 Le séchage :

Le séchage ou l'incinération ne sont généralement appliqués qu'à des boues ayant subi une déshydratation préalable car l'élimination mécanique de l'eau est beaucoup moins coûteuse que son évaporation. Le séchage peut être nécessaire soit pour faciliter l'incinération ultérieure de la boue soit pour faciliter sa valorisation agricole sous forme sèche. (ADEME 1996).

I.4.5.1 Le Lit de séchage :

Le procédé ne nécessite pas un conditionnement chimique au préalable.

- C'est une filtration et évaporation naturelles de la boue sur une aire de séchage composée de :
- Une couche supérieure de sable de 5 à 10 cm. (calibre 0,5 à 15 mm).
- Une couche intermédiaire de gravier fin de 10 cm (calibre 5 à 15 mm).
- Une couche inférieure de gros graviers de 20 cm. (calibre 10 à 40 mm).
- Les matériaux reposant sur un sol imperméabilisé et nivelé.
- Des drains en ciment ou en plastique sont disposés avec une légère pente sur la couche de base.

La boue passe par deux étapes :

- Filtration naturelle à travers le lit : perte jusqu'à 80% de la teneur en eau.
- Evaporation naturelle (Séchage atmosphérique). (ONA 2017).

I.4.6 Incinération ou disposition :

Un procédé d'incinération englobe évidemment toujours une phase de séchage avant l'inflammation de la partie organique combustible de la boue.

Le pouvoir calorifique des boues est un critère important dans les coûts d'opération de l'unité. Prévoir aussi le Traitement des fumées. Valorisation agricole ou mise en décharge. (GABARDA, 2000).

I.4.7 Exploitation :

Les paramètres à suivre pour ce procédé :

- Veiller à l'enlèvement de toute végétation.
- Arroser le lit avant une coulée de boues.
- Alimenter le lit avec une boue pas trop épaisse.
- La couche de boues ne doit pas dépasser : 20 cm pour des boues épaissies, 10 cm pour des boues digérées.
- Le lit sera dégagé (enlèvement des boues) avant chaque nouveau remplissage.
- L'enlèvement des boues se fait à l'aide d'une fourche à cailloux.
- Apport en sable nécessaire (jusqu'à 5 cm) après quelques enlèvements sur un même lit. (HASSELGREN, 1999).

I.5 Facteurs influencent la boue :

I.5.1 L'action de l'eau :

Lorsqu'on déverse sur le sol des boues liquides, celles-ci contiennent environ 95% d'eau qui, comme toute eau tombant sur le sol, a plusieurs cheminements possibles :

- Infiltration dans le sol
- Evaporation
- Evapotranspiration par les plantes
- Ruissellement sur le sol. (WARD, T.E. & LARSON, R.J. 1989).

I.5.1.1 Infiltration de l'eau dans le sol :

Le facteur majeur de l'infiltration est la texture du sol. Si celui-ci est très perméable la majeure partie de l'eau s'infiltrerait entraînant avec elle une grande partie des sels dissous. Si au contraire le sol présente une certaine imperméabilité, l'eau stagne sur le sol ou ruisselle, dans le premier cas on risquera la fermentation anaérobie au niveau du sol et le dégagement d'odeurs nauséabondes, et dans le second une partie des substances utiles sera éliminée. En générale, la croûte de terre qui recouvre le sol assimile une grande partie de l'eau surtout si elle a été labourée. (ROBERT, M, 1996).

I.5.1.2 L'évaporation :

Le vent, la faible humidité de l'air et la chaleur favorisent l'évaporation, pour le climat. (Ademe, 1995).

I.5.1.3 L'évapotranspiration :

Il s'agit de la consommation de l'eau par la plante et sa restitution dans l'atmosphère. Ce phénomène est très important pendant la période végétative de la culture traitée.

L'épandage de boues liquides, pendant ce laps de temps, permet d'apporter au sol la totalité ou tout au moins une grande part de cette eau consommée par la plante. (BOUGRIER, C, 2005).

Dans le cas de boues déshydratées ou pulvérulentes, une irrigation complémentaire sera nécessaire.

I.5.2 Le ruissellement :

L'application de boues liquides sur des terrains en pente favorise le ruissellement des boues. On préconise de ne pas utiliser ce mode d'épandage pour des pentes de plus de 5%. Le ruissellement implique l'entraînement des sels contenus dans l'eau, des matières en suspensions de faible granulométries parfois l'érosion du sol. (KELLING, K.A, PETERSON, A.E, WALSH L.M).

Le drainage des sols peut être rendu nécessaire par les conditions pédologiques et climatiques.

I.5.3 L'action physico-chimique :

Les pédologues indiquent que le sol assimile bien les boues du fait de ses propriétés physiques (granulométrie, filtration des liquides...) mais aussi de ses propriétés physico-chimiques. (DUDKOWSKI, A, 2000).

I.5.3.1 L'échange d'ions :

Les sols possèdent la propriété d'échanger les cations ce qui présente une grande importance pour la rétention des métaux contenus dans les boues qui sont échangés avec des ions plus labiles comme le sodium, le calcium, ou l'aluminium. Par contre, les anions ne sont guère échangés et se retrouvent dans les couches inférieures comme les nitrates non utilisés par les plantes. (CELINE PERNIN 2003).

I.5.3.2 L'effet tampon :

Le caractère amphotère des sols leur confère un pouvoir tampon, ceci implique un changement du pH des boues et, dans le cas de pH proche de la neutralité, la solubilité des métaux lourds est largement inhibée. On préconise d'éviter l'épandage des boues sur des terrains dont le pH est inférieur à 6. (GABARDA 2000).

I.5.4 La présence d'air dans le sol :

L'air introduit par le labourage des sols ou par capillarité permet des réactions d'oxydation de substances contenues dans les boues par l'intermédiaire de microorganismes aérobies contenus dans le sol (KIRKHAM, M.B, 1974).

I.5.5 La nitrification-dénitrification :

Les substances azotées apportées par les boues représentent 2 à 6% de la matière sèche, il s'agit essentiellement de matière organique. Les bactéries contenues dans le sol utilisent l'azote assimilable pour leur développement, et, par des mécanismes complexes assurent la minéralisation des composés azotés en ammoniac puis en nitrate et parfois même en azote gazeux. C'est le phénomène de nitrification-dénitrification qui a déjà été partiellement réalisés lors du traitement des boues, particulièrement dans la digestion des boues et en moindre proportion dans les boues activées. (SOMMERS, L.E, NELSON, D.W, TERRY, R.E, SILVIERA, D.J, 1967).

Ces réactions présentent l'avantage de réduire le taux de matière organique dans les boues, et par conséquent, dans le sol, mais la teneur en nitrates, nitrites et ammoniac augmente dans le sol et les risques de pollution des nappes par infiltration et des cours d'eau par érosion sont accrus.

L'azote minéral est cependant plus assimilable par les plantes qui en consomment au cours de leur vie végétative une part importante.

I.5.6 Apport en éléments nutritifs :

Les boues contiennent certains éléments utiles à la croissance des plantes, ce sont l'azote, le phosphore, le potassium et le magnésium. Les quantités varient d'une boue à l'autre selon l'origine et le mode de traitement. (PICKFORD, J. 1971).

Il semble que les cultures les plus favorisées par la présence de l'azote soient les herbages et le maïs, puis les céréales. (DEBRUCK, J, VOMEL, A, 1972).

Le phosphore existant en quantité moindre que l'azote.

Quant aux trois autres éléments potassium, calcium et magnésium, ils sont utilisés comme oligo-éléments par les plantes plus que comme éléments de développement.

I.6 Utilisations agricoles des boues :

La production de boues urbaines croît avec le développement des stations d'épuration et la multiplication des fosses septiques. D'un autre côté la demande en substance nutritives pour le sol et les besoins en eau d'irrigation augmentent régulièrement. Du fait de ces deux données économiques, les pouvoirs publics ont été conduits à conseiller l'utilisation agricole des boues, et ce d'autant plus que le coût des engrais s'est considérablement accru pendant ces dernières années. (GAMRASNI, M. A, 1979).

Les boues d'épuration ont des propriétés agronomiques utiles dans le domaine de l'agriculture. Leur utilisation doit tenir compte des besoins nutritionnels des plantes sans toutefois compromettre la qualité des sols ni celle des eaux superficielles et souterraines. En effet, certains métaux lourds présents dans les boues d'épuration peuvent être toxiques pour les plantes et pour l'homme.

Cependant, l'utilisation des boues en agriculture soulève de plus en plus de débats passionnés en raison de leur origine et de la présence d'éléments indésirables tels que les micropolluants organiques, les éléments traces métalliques ou les éléments biologiques pathogènes. Les composés organiques des boues domestiques utilisées en agriculture sont soumis à une grande variété de processus physiques, chimiques et biologiques après épandage. (WEBBER & LESAGE, 1989).

I.7 Relation boue sol :

Les apports de boues d'épuration vont permettre d'accroître les sources en matière organiques dans le sol et donc enrichir ce dernier en carbone organique. Les composés organiques présents dans les boues vont permettre d'améliorer certaines propriétés du sol tel que la porosité ou la structure et le taux d'humidité du sol. (SOMMERS, 1977 ; PAGLIAI & VITTORI ANTISARI, 1993).

L'utilisation des boues d'épuration est interdite lorsque la concentration d'un ou de plusieurs métaux lourds dans les sols dépasse les valeurs limites fixées. (ANONYME I).

II.1. Définition de matière organique

La matière organique est l'ensemble des composés carbonés et azotés issus de la dégradation des produits de la faune et de la flore, de surface et du sous sol. Elle présente une gamme de substance très différents et à des stades d'évolution très variée (DUCHAUFOR, 1977). On distingue par ordre d'évolution: la matière organique vivante (racine, faune, microorganisme, microfaune), la matière organique fraîche , peu décomposée (provenant du reste de microorganisme vivant présent ou apporté dont la structure est encore facilement reconnaissable, les composés organiques chimiquement bien définis tels que les sucres, les acides organiques, les acides aminés (issus de la décomposition) et enfin l'humus (matière organique stabilisée) et les éléments microbiens constituant la biomasse (BACHELIER, 1963)

On désigne sous le terme de M.O un ensemble de substances organiques de nature et de propriétés variées (CHAMAYOU et LEGROS, 1987).

La matière organique est définie comme la matière spécifique des êtres vivants végétaux et animaux (MUSTIN, 1987). Elle provient de l'activité de tout organisme présent à la surface ou à l'intérieur du sol. Une partie de cette M.O est produite par les organismes vivants: déjections animales, exsudats racinaires, litière végétale et polysaccharides microbiens, le reste est constitué par les débris des végétaux morts, les cadavres d'animaux et les cellules microbiennes lysées (DAVET, 1996).

On appelle également matière organique l'ensemble des composés organiques susceptibles d'être incorporés au sol.

II.2. Les composés de la matière organique

La matière organique du sol est constituée de deux groupes de substances :

- Les substances humiques qui sont l'acide fulvique, l'acide humique et l'humine (MORRILL et al, 1982, GARY et al, 1994). Ces substances nouvelles reconstruites à partir de certaines M.O transitoires et certaines matières minérales (SOLTNER, 2003).
- Les composés biochimiques tels que les acides organiques, sucres, lipides et polysaccharides (MORRILL et al, 1982, GARY et al, 1994).

II.3. Sources de Matières Organiques

En absence totale de fumier, il serait très utile d'apporter au sol, afin de maintenir son « statut » organique et humique, les ressources suivantes :

II.3.1. Les engrais verts

En occurrence les Légumineuses (Mucunapruriens var. utilis, Leucaenasp.) et les Graminées (sorghos fourragers) (MESSIAEN, 1997)

II.3.2. La paille ou le mulch :

Il s'agit des résidus de culture (pailleux ou non), les déchets végétaux (Ligneux ou non). Une mention spéciale doit être accordée au paillis « plastique ». Il s'agira d'étendre sur le sol un film plastique de teinte blanche ou claire après une copieuse humification. Le film sera troué à chaque emplacement végétatif (Cas des Fraisiers) (KROLL, 1994). Beaucoup plus moderne, le paillage plastique, sans apporter au sol de matière organique, permet de protéger sa structure et d'éviter le développement des adventices (MESSIAEN, 1997).

II.3.3. Les déchets industriels ou urbains et les produits résiduels urbains :

On notera essentiellement :

- Les écumes de sucrerie (30% de matière organique et 8% de chaux) est un bon amendement organique en apportant 15 à 30 t/ha avant une culture. Aux Antilles, on laisse les écumes se fermenter 15 jours à 3 semaines avant de l'utiliser. Pendant cette période, il y a un réchauffement initial suivi du développement de diverses espèces de Coprins (champignons dont le chapeau se liquéfie en donnant une sorte d'encre noire. L'écume fermentée n'est utilisable qu'après la disparition des Coprins. (MESSIAEN, 1997).
- Les boues de station d'épuration dont les actions ont été étudiées en Guadeloupe par M. CLAIRON. Constituées en majeure partie de corps bactériens, les boues peuvent être incorporées au sol soit de façon échelonnée (10 tonnes de boues séchées à l'air une ou deux fois par an), soit de façon massive (100 tonnes). Elles sont particulièrement intéressantes sur sols ferrallitiques où elles induisent une importante augmentation de la fertilité pouvant dispenser de toute apport d'engrais durant les trois ou quatre années qui suivent (MESSIAEN, 1997).

- Les bagasses de distillerie ou de sucrerie les ordures ménagères et les écorces concassées peuvent être aussi utilisées. Apporter au sol à l'état brut, elles risquent de nuire aux plantes par « rétrogradation de l'azote ». On les utilisera de préférences compostées. (MESSIEAN, 1997)

Lorsqu'il est possible d'avoir du fumier, on pourra l'utiliser de deux manières : seul ou en association avec d'autres matières organiques.

II.4. Importance de la matière organique dans la fertilisation du sol

II.4.1. Amélioration des rendements

L'utilisation de la matière organique demeure indispensable pour une meilleure productivité agricole des sols. Les travaux de KOULIBALY et al., (2009) indiquent une amélioration des rendements en coton graine et en maïs grain suite à une utilisation conjointe de fumure organique et de fumure minérale comparativement à l'utilisation exclusive de fumure minérale. La fumure organique joue un rôle important dans la fertilisation en améliorant les propriétés physico-chimiques et biologiques des sols. La teneur en matière organique des sols est l'un des principaux indicateurs de la fertilité des sols en zone tropicale. La fumure organique est donc un facteur important de maintien de fertilité et d'amélioration de l'efficacité des engrais minéraux.

II.4.2. Effets de la matière organique sur les propriétés du sol

- Rôle dans l'amélioration des propriétés physiques

La matière organique (humus), associée à la composante argile (complexe argilo humique) permet une nette amélioration de la structure ainsi que de la stabilité structurale. Elle est à la base de l'augmentation de la porosité et de la rétention en eau du sol (ANNABI et al., 2009). Cependant, PIERI (1989) précise que l'effet stabilisant de la matière organique sur la structure du sol nécessite une teneur qui est estimée de 0,6 à 0,75% de la masse totale du sol en fonction des teneurs en éléments fins (argile et limons).

Les matières organiques permettent de fortifier les propriétés physiques du sol tout en créant des micro-agrégats résistants au lessivage et aux effets néfastes de l'érosion avec les particules minérales du sol (CIRAD et GRET, 2002).

- **Rôle dans l'amélioration des propriétés chimiques**

La matière organique améliore chimiquement le sol par la fourniture d'éléments minéraux à travers le processus de minéralisation. De plus, elle contribue à une solubilisation des minéraux insolubles comme les phosphates naturels par la production d'acide au cours de la minéralisation. Elle améliore la capacité d'échange cationique (CEC), et corrige l'acidité d'un sol par effet tampon. En effet, la minéralisation de la matière organique du sol atteint 40 à 50% en moins de 20 ans en forte température et fortes pluies (CIRAD et GRET, 2002).

Associée à la fraction 0-50 μ m, elle améliore la fertilité chimique des sols en accroissant la capacité d'échange cationique, la somme des bases échangeables et améliore l'efficacité des engrais minéraux (PALLO et al, 2006).

La restitution des résidus de récolte est indispensable pour atténuer les pertes en éléments nutritifs, surtout pour les producteurs des pays en voie de développement où très peu d'intrants minéraux sont utilisés.

- **Rôle dans l'amélioration des propriétés biologiques**

Elle constitue une source importante aux micro-organismes activateurs et améliorateurs des activités biologiques du composant sol. L'activité microbienne permet un meilleur développement racinaire (mycorhizes plus actifs) tout en permettant à la plante la possibilité de mieux exploiter à la fois les réserves du sol et les apports d'engrais. L'amélioration des propriétés physique et chimique crée une ambiance favorable aux activités biologiques dans le sol (MUSTIN, 1987).

La matière organique sert de support et d'aliment à la faune et à la microflore lorsqu'elle entre en fermentation aérobie dans les horizons supérieurs du sol. (MUSTIN, 1987). Plus de ces fonctions agricoles, les matières organiques particulièrement l'humus, exercent un rôle de premier plan dans la formation et l'évolution des sols.

De façon générale, la matière organique est d'une importance capitale dans l'amélioration de la fertilité des sols, mais sa nature, son degré de décomposition et les conditions d'application, peuvent entraîner la libération d'acides organiques qui inhibent la croissance des plantes, par un blocage momentané des éléments nutritifs lorsque le rapport carbone/azote (C/N) est élevé.

La matière organique améliore la fertilité des sols, la qualité des cultures et celle de l'eau et de l'atmosphère (figure 1) d'après (CHENU et BELABANE, 2001).

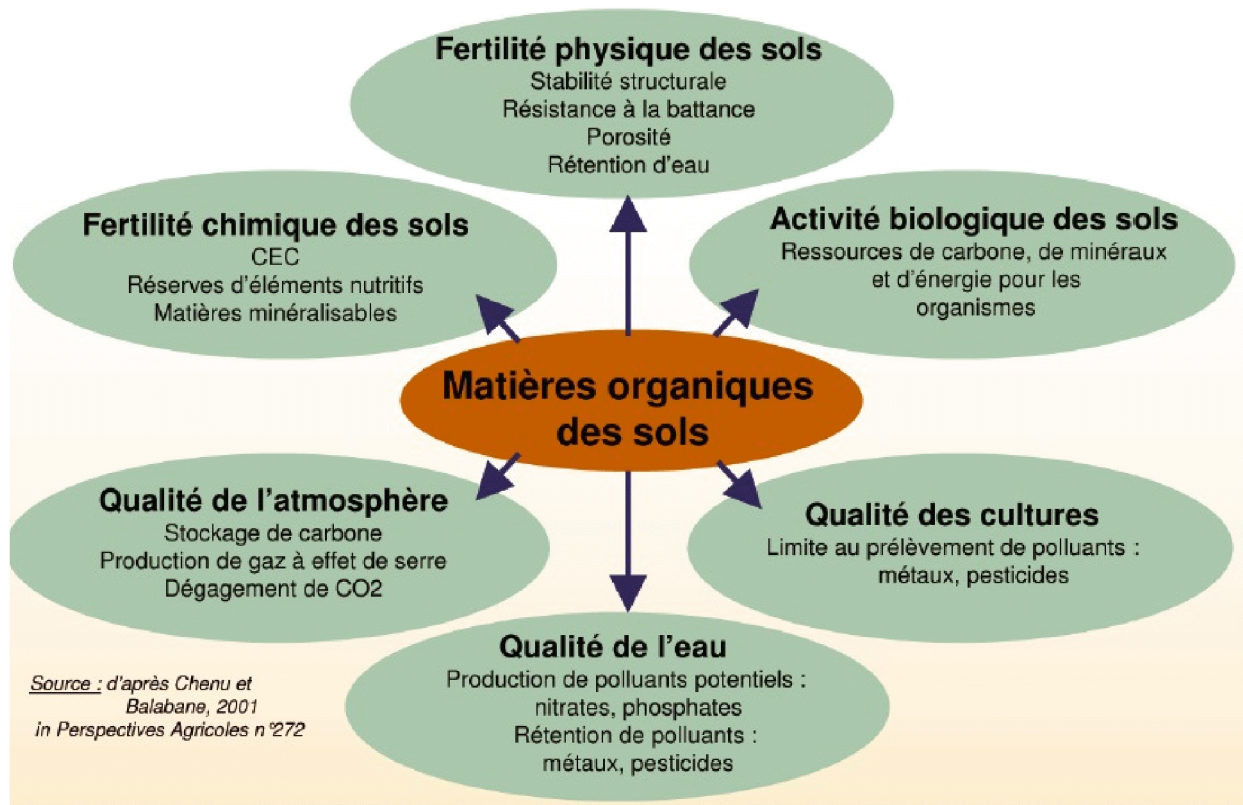


Figure 1 : Rôles et fonctions des M.O (DUPARQUE et P. RIGALLE, 2006)
II.5. Evolution de la matière organique (M.O) dans le sol

La décomposition de la matière organique est définie comme étant le processus de séparation de matériaux organiques dans le sol de leurs constituants de base (PAUL, 1992 in ABIVEN, 2004).

D'après DUCHAUFOR (1995), l'évolution de la matière organique fraîche (M.O.F) engendre l'humus un peu de la même façon que les minéraux primaires qui donnent naissance à l'argile.

Les molécules complexes de la matière organique fraîche subissent une décomposition microbienne qui libère des composés simples le plus souvent solubles.

Une partie subit le processus de minéralisation, c'est-à-dire la transformation en composés minéraux solubles ou gazeux : " c'est la minéralisation primaire". Certains de ces composés peuvent d'ailleurs se réorganiser au cours de l'humification (DUCHAUFOR, 1995).

Une partie échappe à la minéralisation et sert de matériau à l'édification de molécules nouvelles, de plus en plus complexe, dont l'ensemble constitue l'humus : c'est "l'humification". Ces composés humiques contractent des liens plus ou moins étroits avec les composés minéraux (argiles et

CHAPITRE II : Matière organique

oxydes) puis ils se minéralisent à leur tour, mais plus lentement que la matière organique fraîche "minéralisation secondaire"(figure 2).

a. La minéralisation primaire (M1)

Selon (DUCHAUFOR, 1995). C'est la dégradation de la M.O.F, en particulier les composants peu résistants comme les glucides, les protéines et les acides aminés, ainsi que les lipides et les acides nucléiques. Si elle est totale, les produits de la transformation sont des cations, des anions et des molécules simples qui sont suit :

1. Evacués dans l'atmosphère : CO_2 , H_2O , NH_4^+ , N_2 , H_2S par échanges gazeux.
2. Absorbés par les végétaux : des cations, anions et H_2O .
3. Absorbés par les microorganismes : CO_2 , NH_4^+ , NO_3^- et SO_4^{2-} , PO_4^{3-} .
4. Fixés sur le complexe adsorbant : K^+ , NH_4^+ et H^+ .
5. Entraînés par lixiviation : K^+ , Na^+ , Ca^{2+} et NO_3^- .

b. Humification (H)

Sous le terme général d'humification, se cachent trois voies de synthèse de matière organique stabilisée, formant l'humus :

- l'humification par héritage (H1), qui donne l'humine résiduelle ou héritée.
- L'humification par polycondensation (H2), qui fournit l'humine d'insolubilisation.
- L'humification par néo synthèse bactérienne (H3), qui fournit l'humine microbienne.

L'ensemble de ces trois humines (résiduelle, d'insolubilisation et de néo-synthèse bactérienne) forme la partie la plus insoluble et la plus stable de l'humus (l'humine).

C. La minéralisation secondaire (M 2)

C'est la plus lente (1à 3 %) de la matière humifiée par an mais aboutissant au même résultat que la minéralisation primaire et concernant les molécules organiques préalablement synthétisées par l'humification. Ces molécules sont plus stables et résistent mieux à la dégradation (GOBET et al, 1998).

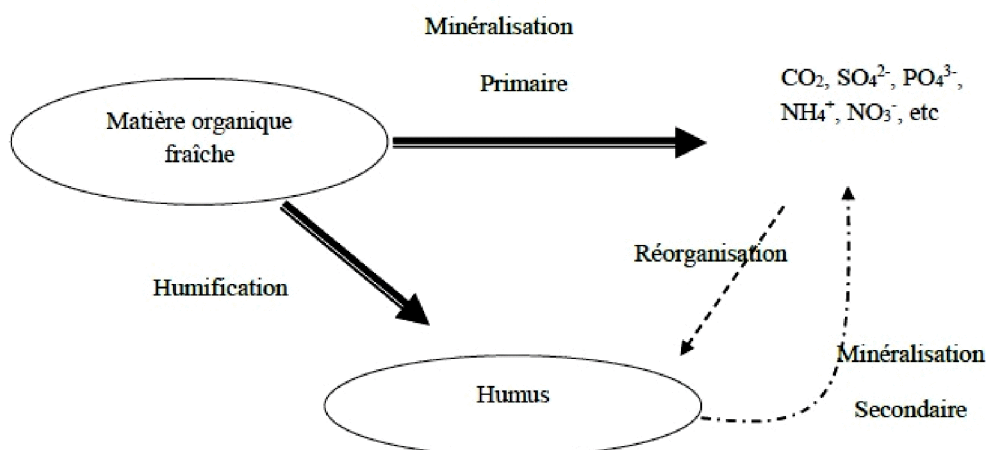


Figure 2 : Evolution des matières organiques dans sol (BONIN, 2006)

II.5. La matière organique des boues

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année et du type de traitement et de conditionnement pratiqué dans la station d'épuration (Werther et Ogada, 1999 ; Jarde et al. 2003 ; Singh et al., 2004). Les boues résiduaires représentent avant tout une matière première composée de différents éléments (Matière organique, éléments fertilisants (N et P ...), d'éléments traces métalliques, d'éléments traces organiques et d'agents pathogènes).

La concentration en matière organique peut varier de 30 à 80 %. La matière organique des boues est constituée de matières particulaires éliminées par gravité dans les boues primaires, des lipides (6 à 19 % de la matière organique), des polysaccharides, des protéines et des acides aminés (jusqu'à 33 % de la matière organique), de la lignine, ainsi que des produits de métabolisation et des corps microbiens résultant des traitements biologiques (digestion, stabilisation) (Kakii et al., 1986 ; Inoue et al., 1996 ; ADEME, 2001 ; Jarde et al., 2003).

II.6. Le rapport C/N

Le rapport C/N fournit d'utiles indications sur l'évolution de la matière organique du sol et la conduite de la fumure azotée. Aux trois classes de valeur de rapport C/N, correspondent les appréciations suivantes (GAGNARD et al., 1988) :

- Inférieur à 8 : faible ;
- De 8 à 12 : normale ;
- Supérieur à 12 : fort.

CHAPITRE II : Matière organique

Dans les sols cultivés, le rapport C/N s'abaisse davantage et traduit soit une bonne activité biologique qui conduit à la minéralisation de la matière organique (C/N inférieur à 10), soit une activité biologique réduite qui conduit à une humification (C/N supérieur à 10) (SOLTNER, 2000).

Le tableau 1 regroupe tous les classements des sols en fonction des rapports C/N

Tableau 1 : Classement des sols en fonction de leur rapport C/N (LCA, 2008)

6	8	9	10	11	12	14	
Très faible	Faible		Normal		Légèrement élevé	Élevé	Très élevé
Sol à décomposition rapide de la matière organique		Bonne décomposition de la matière organique				Sol d'activité biologique réduite ramenant à une décomposition lente de la matière organique	

II.7. Les principaux facteurs influençant le temps de résidence et le stock de la matière organique dans les sols.

Le stock de M.O représente la quantité totale de M.O présente sur une profondeur de sol et une superficie donnée. Il peut être exprimé en tonnes / ha. Par exemple ; La teneur en M.O représente, quant à elle, le contenu en M.O présente dans un poids de sol déterminé. Elle s'exprime couramment en % (g de MO/g de sol sec). Par conséquent, une teneur en M.O mesurée dans un sol peut correspondre à des stocks de carbone différents, en fonction de l'épaisseur de sol et de la superficie considérée.

L'évolution du stock de carbone organique dans les sols résulte de l'équilibre entre les apports organiques au sol et la vitesse de minéralisation (turnover).

Les principales variables pédologiques, climatiques et anthropiques affectant le temps de résidence (turnover) du carbone dans le sol (GIRARD MC et al., 2005) sont :

II.7.1 les facteurs qui diminuent le temps de résidence du carbone organique dans le sol :

Le temps de résidence de carbone organique dans le sol est réduit suite à :

- La température limite le temps de résidence, la minéralisation augmente avec la température.
- Le labour limite le temps de résidence par la suppression des protections des MO du sol.

- Le pH joue également un rôle majeur puisqu'une élévation du pH augmente les taux de minéralisation de la matière organique en favorisant l'activité microbienne, ce qui conduit à la diminution des stocks de carbone dans le sol (HALSTEAD et al., 1963).
- Les variations de la température et de l'humidité agissent sur l'activité biologique des sols, où les processus microbiens sont les plus actifs, globalement, à des températures variant de 20 à 35 °C et une humidité correspondante à 70 % de la capacité de rétention en eau. Une élévation de la température de 24 °C à 36 °C double la minéralisation. Aussi une humidité excessive qui sature les pores, réduit l'aération du sol et la minéralisation de la matière organique (STEVENSON, 1986).
- Le labour, en diluant le carbone apporté en surface sur toute la profondeur labourée, maintient une teneur basse dans la couche superficielle. Cette dilution sera d'autant plus forte que la profondeur du labour est importante.
- L'irrigation intensive ou les fortes précipitations et selon la composition minérale du sol augmente le taux de lessivages des particules minérales en profondeur.

II.7.2. Les facteurs qui favorisent le stockage du carbone organique dans le sol

Parmi les facteurs nous citant

- L'engorgement des sols et l'acidité permanente qui conduit à la formation de tourbe en conditions froides à long terme.
- La présence d'Aluminium libre, par une protection physique et physicochimique des M.O du sol.
- La teneur et la nature des argiles.

D'autres facteurs auraient tendance à augmenter ce temps de résidence :

- La fréquence des anaérobioses qui induit un rendement microbien moindre.
- La fréquence de dessiccation du sol, la teneur en carbonates de Ca et Mg contribuent à l'insolubilisations et l'adsorption des MO du sol.
- La proportion de Ca et Mg échangeables et la teneur en calcaire actif assurent une protection physique des MO du sol.
- Les carences en azote et phosphore disponibles limitent l'activité des micro-organismes.

II.8. Facteurs de dégradation de la matière organique

Les processus de dégradation des matières organiques dépendent de leur nature biochimique, des conditions édapho-climatiques et des aménagements (CHABALIER et al., 2006 ; GIVA, 2011). On peut les regrouper en deux facteurs, qui sont abiotique et biotique.

II.8.1. Facteurs abiotiques

Les facteurs abiotiques représentent les conditions du milieu, notamment la température, équilibre air/eau, pH du sol, salinité.

II.8.1.1. Température

La matière organique se décompose plus rapidement à des températures plus élevées, si bien que les sols des climats plus chauds tendent à contenir moins de matière organique que ceux des climats plus frais (SOCO, 2009 ; GIVA, 2011). Les microorganismes ont une activité optimale entre 25 et 35 °C, au-dessus l'activité microbienne est diminuée. La minéralisation est encore possible à des températures plus élevées, par des enzymes produites par ces microorganismes. En dessous de 10 °C, la minéralisation est très réduite (CHABALIER et al., 2006). Ainsi que la faune du sol qui fait partie de la décomposition de la matière organique a une gamme de température variée. NATURLAND (2010) a noté que quelques espèces de vers de terre, telles que, *Eisenia foetida* a une tolérance entre 0-30°C.

Donc, l'augmentation ou diminution de la température peut influencer négativement sur l'abondance de ces organismes, et donc sur l'évolution de la matière organique.

II.8.1.2. Equilibre air/eau

Le labour augmente la macroporosité dans le sol et sa température moyenne, contribuant ainsi à augmenter la vitesse de décomposition de la matière organique (SOCO, 2009 ; GIVA, 2011). Plus un sol est humide, il y a moins d'oxygène disponible pour que la matière organique se décompose, si bien qu'elle s'accumule (SOCO, 2009).

II.8.1.3. Ph du sol

Le pH du sol est considéré parmi les facteurs qui agissent sur la voie de dégradation des matières organiques. Les bactéries qui minéralisent la matière organique ne sont pas actives lorsque le pH descend au-dessous de 5,5 et optimale à la neutralité (CHABALIER et al., 2006).

L'engorgement des sols et l'acidité permanente augmentent le temps de résidence du carbone organique dans les sols, il y a formation de tourbe en conditions froides à long terme (GIVA, 2011).

II.8.1.4. Salinité

L'étude de l'évolution de la matière organique dans les sols salés montre certainement une inhibition des activités microbiennes du processus de la minéralisation, ainsi qu'une pénurie en produits humiques polymérisés. Le rapport AF /AH augmente proportionnellement par rapport au degré de la salinité (GALLALI, 1980 in OUSTANI, 2006).

La proportion du Ca et Mg échangeables et la teneur en calcaire actif assurent une protection physique des matières organiques du sol. Ainsi que l'Aluminium libre protègent physiquement et physico- chimiquement les matières organiques du sol (GIVA, 2011).

II.8.2. Facteurs biotiques

La nature de la matière organique et les organismes vivants sont des facteurs agissant sur la décomposition de la matière organique.

II.8.2.1. Nature de la matière organique

CHABALIER et al. (2006), montrent que le carbone de la matière organique du sol est la source énergétique des microorganismes. Les carences en azote et phosphore disponibles limitent l'activité des micro-organismes (GIVA, 2011). Le rapport C/N est toujours plus faible (donc présence davantage d'azote) en milieu acide (NDIRA, 2006).

On utilise souvent le rapport C/N pour comparer la teneur en azote total du sol. Ainsi, plus la valeur du ratio C/N de la matière organique est élevée, plus l'activité microbienne est limitée par la quantité d'azote disponible dans le sol, ce qui indique une faible décomposition de la matière organique (OUSTANI, 2006).

II.8.2.2. Les organismes vivants

L'évolution de la matière organique est influencée par les différentes catégories de la faune et de la microflore du sol ainsi que son abondance (GIVA, 2011). Les macrofaunes comme les vers de terre assurent la fragmentation de la matière organique et son brassage avec la matière minérale. Les méso-faunes sont des broyeurs de feuilles, les microflores, telles que les bactéries et les champignons sont indispensables aux cycles du carbone et de l'azote (CHABALIER et al., 2006). Les bactéries jouent un rôle essentiel dans la solubilisation et dans la précipitation des minéraux, mais aussi dans toutes les transformations de la matière organique, dont la minéralisation. Elles synthétisent des polysaccharides très résistants à la

CHAPITRE II : Matière organique

dégradation qui forment une part importante de la matière organique humifiée. D'autre part, certains champignons basidiomycètes, comme les bolets et certaines pourritures molles fabriquent des composés humiques incorporés rapidement à la matière organique du sol.(GIVA, 2011).

III.1. Présentation de la zone d'étude

III.1.1. Localisation géographique

Notre parcelle d'étude se situe à BOUKHALFA au nord-ouest de la commune de Tizi-Ouzou.

Et les limites de notre parcelle d'études sont :

- A l'Est : Redjaouna,
- A l'Ouest : Draà Ben Khedda,
- Au Nord : Sidi Naàmane et la vallée de sébaou,
- Au Sud : Tala Alame et la ville de Tizi-Ouzou.

III.1.2. Étude climatologique

III.1.2.1. Caractéristiques climatiques

La température et la pluviosité sont les deux éléments principaux du climat (ROGER D., 1996)

III.1.2.1.1. La température

La température est influencée par la topographie du milieu à savoir l'altitude, le relief, la pente et l'exposition, qui interviennent de façon déterminante dans la différenciation au sein d'un même méso climat et/ou de microclimat particuliers (ALAIN L. et ROBERT S., 1996).

Source : Station ONM de Boukhalfa, Tizi-Ouzou.

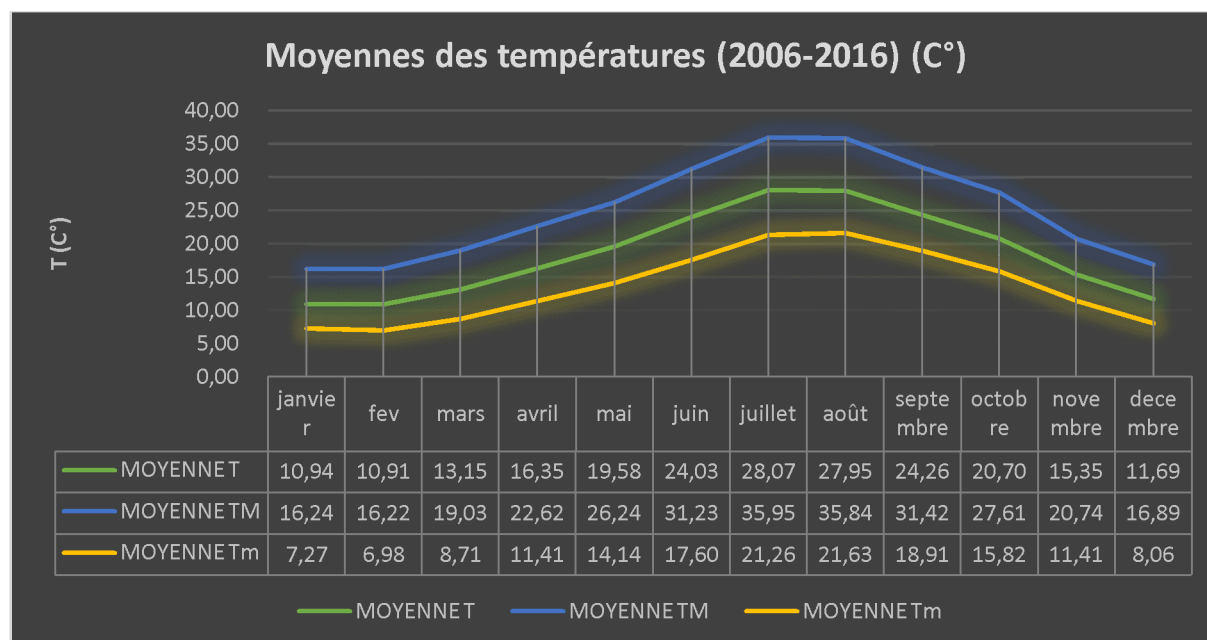


Figure 3 : moyennes des températures de la Wilaya de Tizi-Ouzou (2006-2016).

CHAPITRE III : Etude de milieu

Du mois de Janvier au mois de Juillet les températures moyennes mensuelles augmentent d'une façon significative, par la suite il y a diminution jusqu'au mois de Janvier.

Le mois de Juillet est le mois le plus chaud avec une température moyenne mensuelle de 28,07 °C, par contre le mois de Février est très froid avec une température moyenne mensuelle de 10,91°C.

III.1.2.1.2. La pluviométrie

L'eau provient des précipitations (pluie, neige et grêle) et, des phénomènes physiques et physiologiques respectivement l'évaporation et la transpiration.

En Algérie, la pluviosité augmente avec de l'altitude ce qui nous mène à dire que les pluies sont d'origine orographiques. Elles sont aussi soumises à l'influence de la continentalité et la latitude en allant direction de la mer (SELTZER, 1946 ; in REBAI et BOURAHLA, 2006).

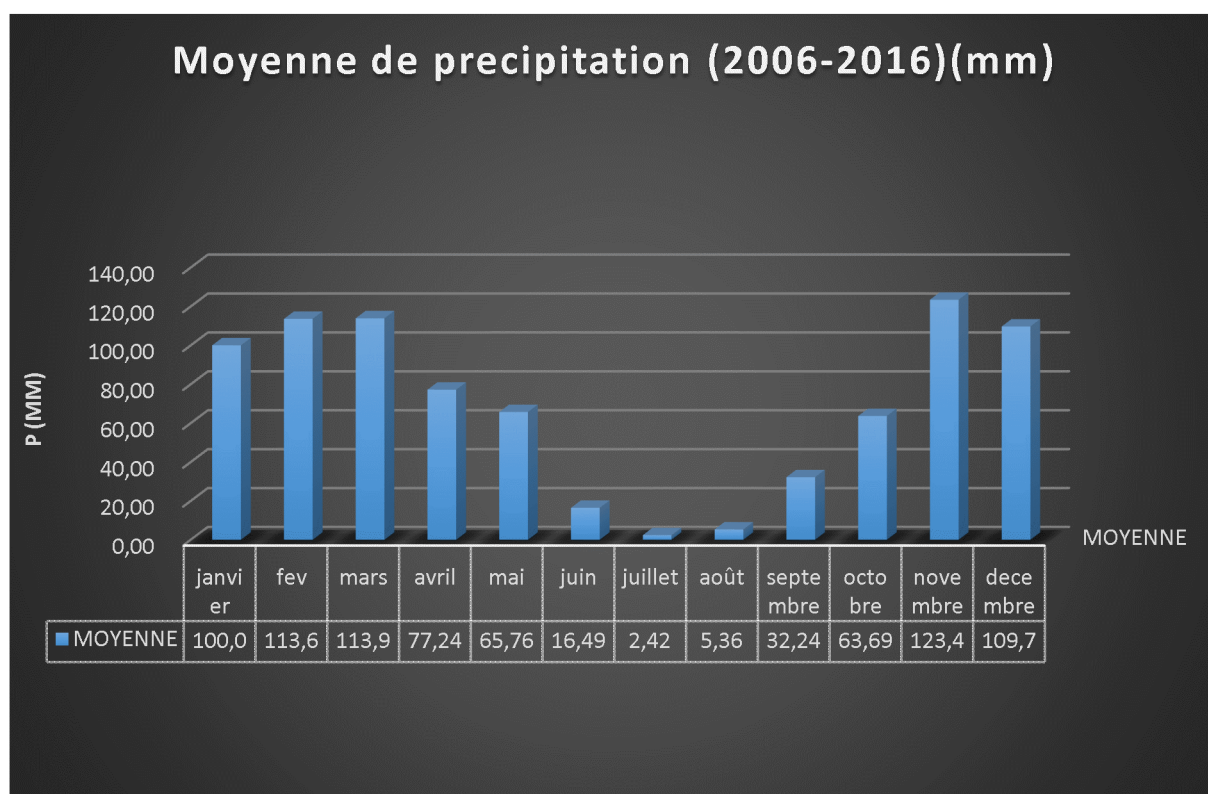


Figure 4 : moyenne des précipitations de la Willaya de Tizi-Ouzou (2006-2016).

III.1.2.2. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

En 1957, Gaussen a élaboré une classification du climat méditerranéen basée sur les rythmes des températures et précipitations au cours de l'année (moyennes mensuelles) (REMICHI, 1984).

Gaussen (1953), considère un mois est sec quand le total mensuel des précipitations exprimées en millimètre est égal ou inférieur au double de la température moyenne mensuelle exprimée en °C comme l'indique la relation suivante : $P = 2T$.

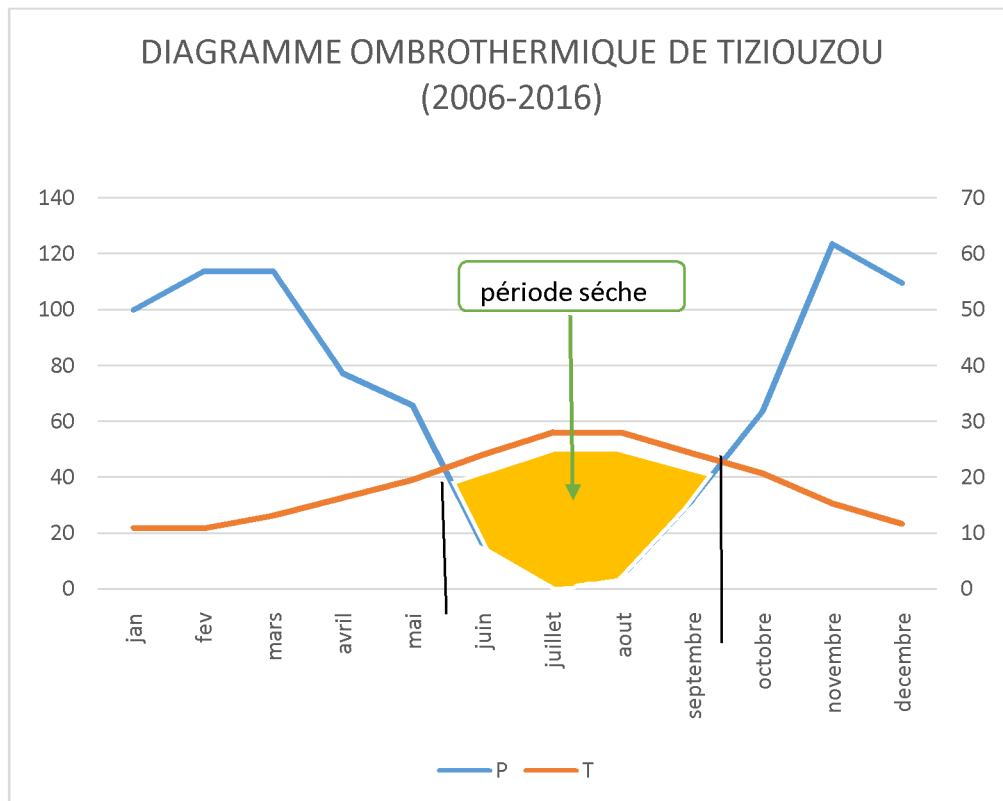


Figure5: Diagramme ombrothermique de la région de Tizi-Ouzou entre 2006 et 2016.

Durant la période comprise entre 2006 et 2016, le diagramme ombrothermique pour la région de Tizi-Ouzou révèle une saison sèche qui s'étale de fin du mois de mai jusqu'à la fin du mois de septembre.

III.1.3. Le Quotient Pluviométrique et Climagramme d'EMBERGER

Proposé par EMBERGER (1936), le quotient pluviométrique est un rapport plus précis faisant appel en plus des précipitations P, la moyenne (M) des maxima du mois le plus chaud et la moyenne (m) des minima du mois le plus froid. L'amplitude extrême (M-m) rend compte de l'évaporation. (SAHMOUNE F., 2001).

La proposition d'EMBERGER a été simplifiée par STEWART en 1969 (in DEKHINAT., 2005), pour l'Algérie et le Maroc par la formule suivante :

$$Q2 = 3,41P / (M-m)$$

Avec :

P : Pluviométrie annuelle moyenne (mm),

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud,

m : Moyenne des minima du mois le plus froid.

Tableau 2 : Valeurs de quotient pluviométrique de la région de Tizi-Ouzou.

PA	M	m	M-m	Q2
824,06	35,95	6,98	28,97	96,99

Ce tableau permet de classer la région de Tizi-Ouzou dans l'étage bioclimatique subhumide à hiver tempéré (Figure).

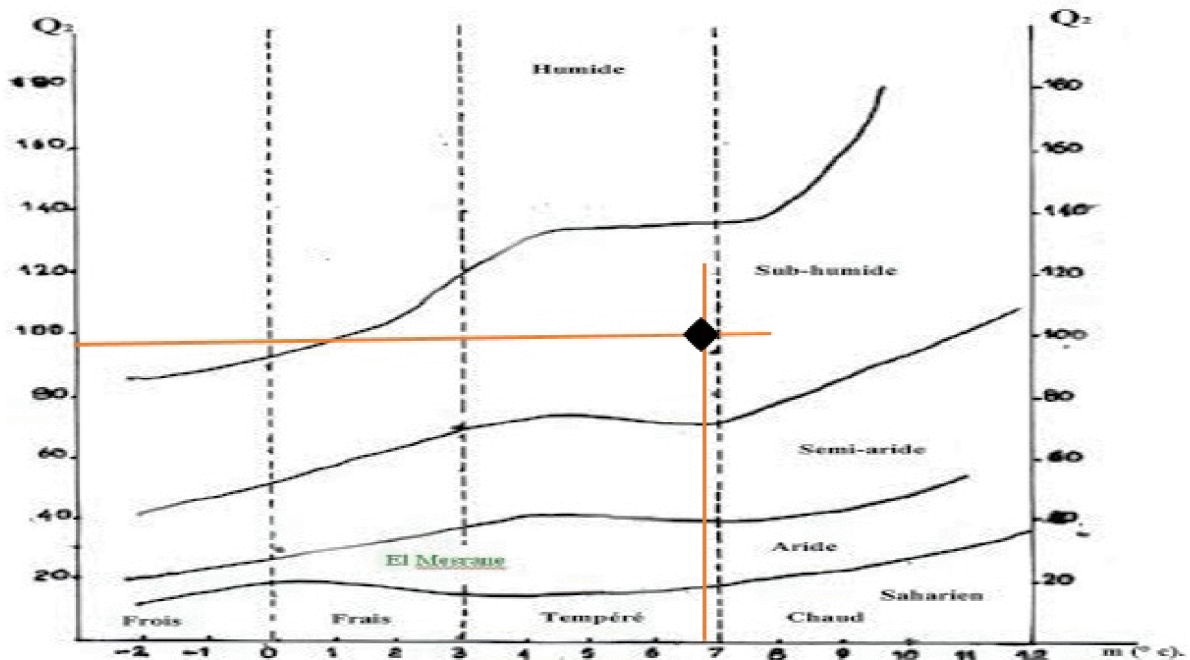


Figure 6: situation de la région de Tizi-Ouzou dans le Climagramme d'Emberger.

III.1.4. Indice d'aridité

L'indice d'aridité de DE-MARTONNE est aussi basé sur les valeurs des précipitations et des températures (HUETZ DE LEMPS, 1970. in SAHMOUNE F., 2001). On distingue un indice annuel A et des indices mensuels tels que :

CHAPITRE III : Etude de milieu

$$A = P/(T+10).$$

Avec :

P : Total des précipitations annuelles (mm) ;

T : Températures moyennes annuelles (0C).

Et

$$a = 12p/(t+10)$$

Avec :

p : Total des précipitations mensuelles (mm) ;

t : Températures moyennes mensuelles (0C).

Les valeurs sont d'autant plus faibles que le climat est aride.

- Un indice supérieur à 20 indique une humidité suffisante.
- Les valeurs comprises entre 10 et 20 montrent une sécheresse absolue ;
- Inférieur à 10 c'est l'aridité,
- Et au-dessous de 5 le climat est hyperaride (Sidi mansour F., 2001).

Tableau 3 : Indice d'aridité mensuel de DE-DEMARTONNE appliqué à Tizi-Ouzou entre 2006 et 2016.

	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
T moyenne	10,94	10,91	13,15	16,35	19,58	24,03	28,07	27,95	24,26	20,70	15,35	11,69
Moyenne P	100,05	113,65	113,96	77,24	65,76	16,49	2,42	5,36	32,24	63,69	123,49	109,71
a	57,35	65,23	59,08	35,17	26,68	5,81	0,76	1,69	11,29	24,89	58,47	60,69
l'humidité est suffisante						l'aridité	hyperaridité		la sécheresse est absolue	l'humidité est suffisante		

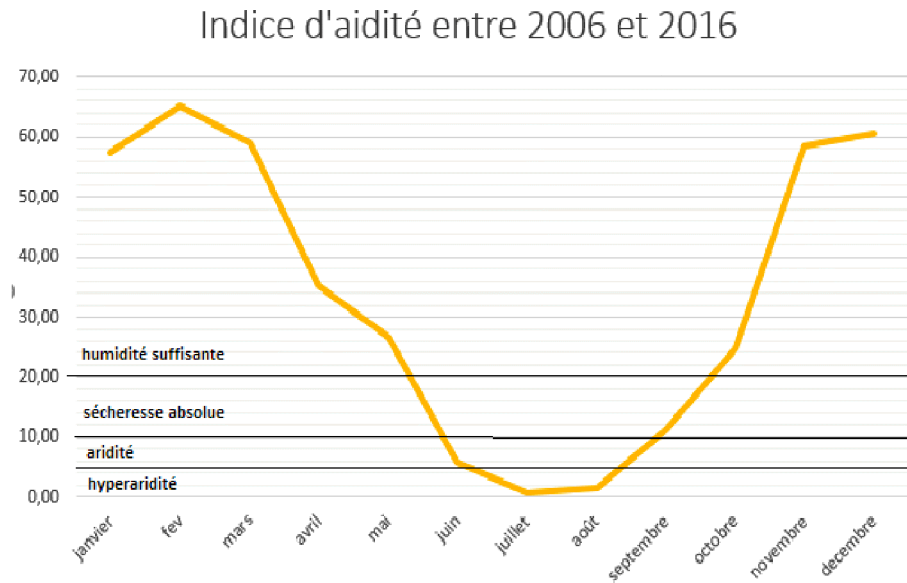


Figure7: Indice d'aridité moyenne mensuelle pour la région de Tizi-Ouzou (2006 à 2016).

- Du mois de janvier à la fin du mois de mai et du mois d'octobre au mois de décembre l'humidité est suffisante ($a > 20$).
- De la fin du mois de mai à la fin de juin : on a une aridité (a entre 5 et 10), s'aggrave par une hyperaridité pour les deux mois, juillet et août avec un indice inférieur à 5 ($a < 5$).
- Puis en mois de septembre on remarque le revenu de la sécheresse absolue

III.2. Protocole expérimentale :

Pour notre expérimentation nous avons optés pour un essai de parcelle divisé en 4 blocs où chaque bloc est divisé en 4 micro-parcelles où on a mis des différentes doses de boue.

Dans le but est de choisir la dose de boue qui donne une bonne fertilité et amélioration ainsi des paramètres physique d'un sol sableux.

III.2.1. Mise en place de la parcelle :

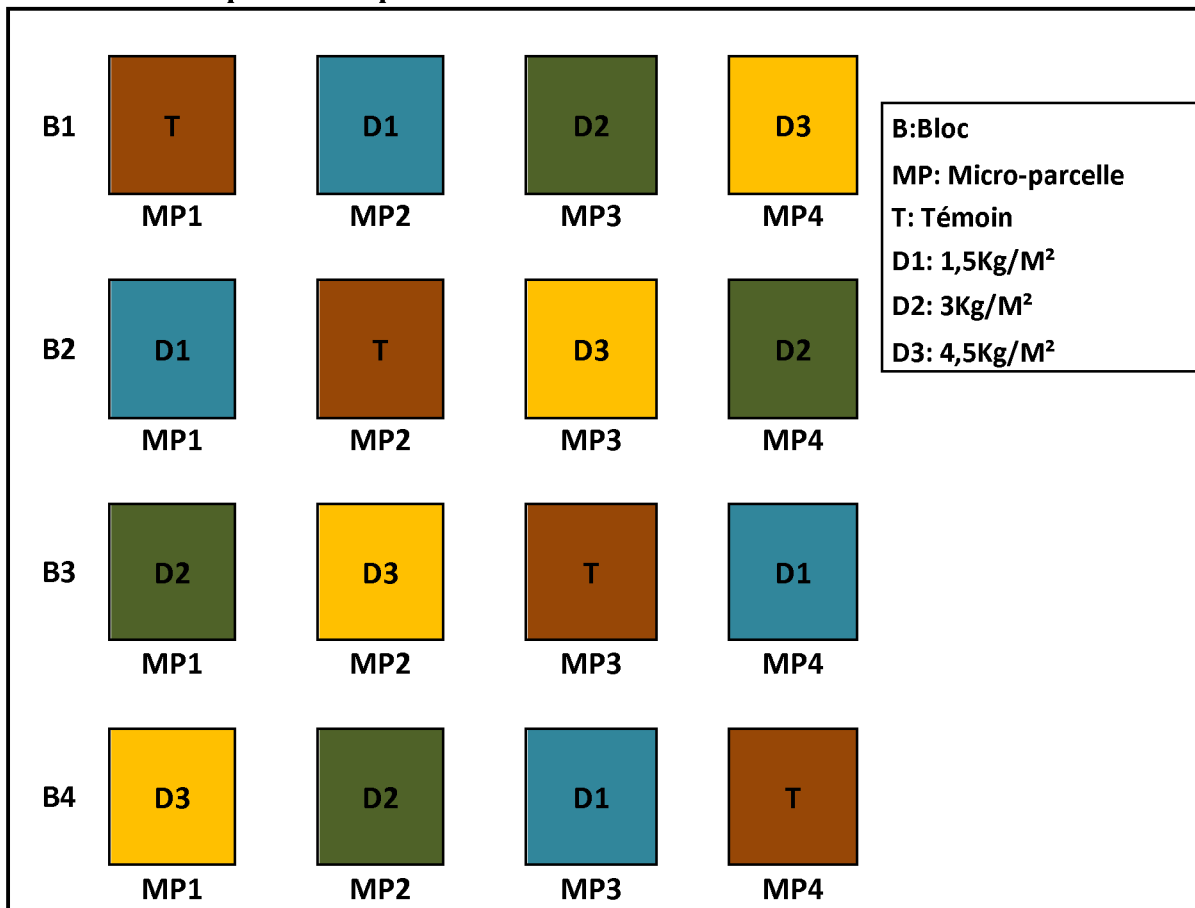


Figure 8 : la mise en place du plan parcellaire

Le tracé et la délimitation des blocs et les micro-parcelles sont réalisés le 13/avril/2017. Suivant un dispositif expérimental adopté où chaque bloc contient 4 micro-parcelles de 121 m² chacune et contenant 4 arbres (oranger), pour chaque micro-parcelle ; et pour ne pas influencer sur ces arbres on a délimité chaque arbre de 4 m² d'espace non concerné par l'épandage des boues, ce qui fait 16m² dans chaque micro-parcelle resté à l'état naturel, donc la surface épandue dans chaque micro-parcelle est de $121\text{m}^2 - 16\text{m}^2 = 105\text{m}^2$.

Pour bien comprendre l'effet de cet apport, on a épandu par des doses différentes qui sont mise en place en alternative pour ne pas avoir l'influence de l'extrémité et l'homogénéité du sol, où on a mis des doses de :

- D1 : 1,5 kg/m²
- D2 : 3 kg/m²
- D3 : 4,5 kg/m²

L'épandage est fait manuellement en pesant toutes les quantités des doses par parcelle et les étaler en surface du sol puis les mélanger avec ce dernier sur une profondeur de 20cm.

III.2.2. Échantillonnage

Pour échantillonner sur le terrain, on a attendu 45 jours après la mise en place de la parcelle et l'épandage des boues, nos micro-parcelles délimitent chacune 4 arbres, et au milieu de ces micro-parcelles qu'ont prélevé nos échantillons en trois prises à l'aide d'une tarière, puis on a mélangé les trois prélèvements pour avoir un échantillon composite de chaque parcelle et chaque profondeur.

Donc, à la fin on a obtenu 32 échantillons qu'on a pris au labo pour le séchage à l'aire libre et le tamisage pour avoir de la terre fine à utiliser dans notre dosage du carbone.

Pour les échantillons utilisés dans la détermination de la densité apparente, on les a prélevés deux mois après l'épandage, sur une profondeur de 0 à 20 cm de la surface à l'aide d'un cylindre d'un volume connu.

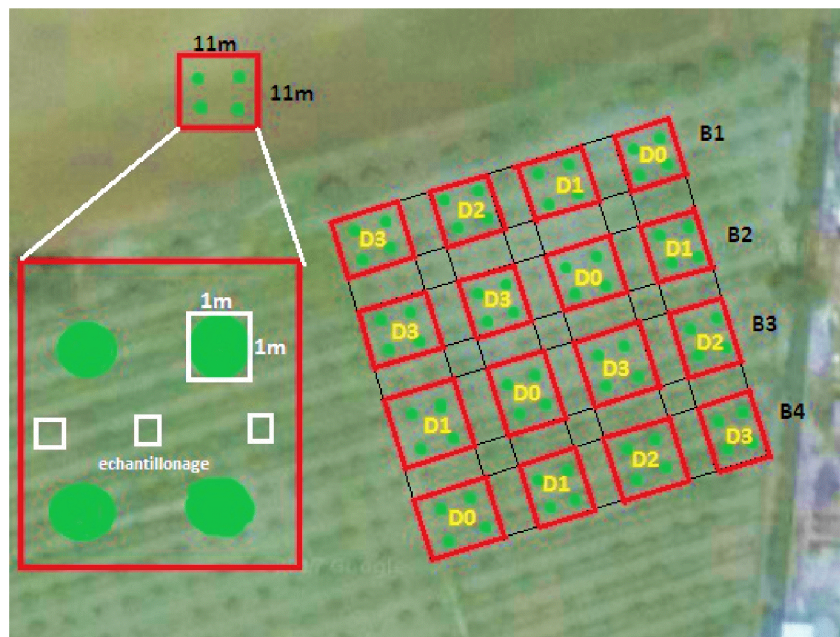


Figure 9 : la mise en parcelle sur le terrain et l'endroit d'échantillonnages

III.3. Analyse des échantillons de sol

III.3.1. Préparation des échantillons

Les échantillons prélevés sont acheminés au laboratoire où ils ont subi ; le séchage à l'air libre et le tamisage au tamis 2mm.

- **Le séchage** : consiste à étaler les échantillons sur du papier journal ; chaque horizon sur une feuille tout en laissant de l'espace entre eux pour éviter toute contamination, puis fragmenter les mottes de terre à la main et homogénéiser ; et on dernier on les laisse sécher à l'air libre le temps qu'il le faut.
- **Le tamisage** : c'est de faire passer le sol à travers un tamis de 2mm. La fraction inférieure à 2mm est appelée terre fine fera l'objet de certaines analyses physiques et toute analyses chimiques ; ils sont par la suite conservés dans des sachets jusqu'à l'utilisation.

III.3.2. La densité apparente (D_a)

La densité apparente est l'un des paramètres les plus importants dans les études portant sur la structure du sol. Elle est en effet, liée à la nature et à l'organisation des constituants du sol et caractérise l'état de compaction du sol (Chauvel, 1997). Il existe plusieurs méthodes de mesure de la densité apparente, dans notre étude ; nous avons choisis la méthode au cylindre.

Le mode opératoire consiste à suivre les étapes suivantes :

- Aplanir la surface du sol en dégageant les débris végétaux.
- Placer le cylindre et le poussoir.
- Enfoncer le cylindre avec précaution jusqu'à ce que la surface de la couche, mesuré dépasse la section supérieure du cylindre.
- Retirer le poussoir.
- Extraire le cylindre avec un couteau à lame résistante, en passant sous le cylindre à distance suffisante pour éviter tout arrachement de la terre de la partie inférieure du cylindre.
- Araser progressivement les deux côtés du cylindre, d'abord avec une règle métallique en biseau pour la finition.
- Refermer hermétiquement le cylindre

- En arrivant au laboratoire, les mettre dans l'étuve et les sécher à 105°C pendant 48 heures jusqu'à la stabilisation du poids.
- Peser les échantillons séchés
- Une fois les pesées sont effectuées, nous avons calculer la densité apparente de l'échantillon comme suit

$$Da = \frac{P(sec)}{V(cylindre)}$$

Où

Da : la densité apparente

V : le volume du cylindre

P : le poids sec de l'échantillon.

III.3.3. Le dosage carbone organique (méthode Anne simplifiée).

a) Principe

Le carbone se trouve, dans les sols, sous forme minérale (carbonates p. ex.) et sous forme organique (débris végétaux, colloïdes humiques). Le dosage du carbone organique du sol sert à apprécier une partie du taux de matière organique totale de ce sol. D'autre part, la valeur du carbone organique entre dans le calcul du rapport C/N, qui est un bio-indicateur de la nature de la matière organique (vitesse de décomposition, type d'humus).

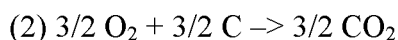
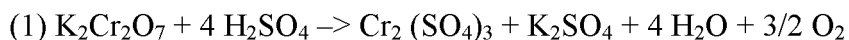
Le carbone se trouve, dans les tourbes essentiellement sous forme organique. Le dosage du carbone organique sert à apprécier une partie du taux de matière organique totale des tourbes et à estimer le taux des composés non organiques (cendres) contenus dans les résidus végétaux. D'autre part, la valeur du carbone organique entre dans le calcul du rapport C/N, qui est un bon indicateur de la nature de la dégradation de la tourbe.

La méthode Anne combine l'oxydation de la matière organique d'un échantillon de sol par un excès de dichromate de potassium en milieu sulfurique à ébullition et la titration en retour de l'excès de dichromate de potassium en présence d'un indicateur.

• l'oxydation.

Le carbone organique de l'échantillon de sol est oxydé par le bichromate de potassium en milieu sulfurique.

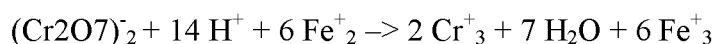
Le bichromate doit être en excès, la quantité réduite est en principe proportionnelle à la teneur en carbone organique. La réaction s'écrit en deux temps :



Le chrome passe du degré d'oxydation Cr+6 au degré d'oxydation Cr+3, en libérant 3 atomes d'oxygène (1) qui vont oxyder à leur tour le carbone organique (2).

- **la titration.**

Le bichromate en excès, non utilisé dans la réaction d'oxydation précédente, est titré par une solution de sel de Mohr $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$. La réaction est la suivante :



Le bichromate en excès est réduit par le sel ferreux (Fe^{+2}) qui donnera un sel ferrique (Fe^{+3}). Un indicateur, l'acide diphénylaminosulfonique, vire du bleu-violet au vert quand tout le Fe^{+2} est transformé en Fe^{+3} , autrement dit quand tout le bichromate restant a été réduit (virage pour un potentiel d'oxydo-réduction de (0.83 V).

b) La méthode

- **Matériel**

- Ballons jaugés de contenance adaptée. Attention, les produits employés sont coûteux à recycler, veiller à bien calculer les quantités avant de se lancer dans l'analyse !
- Balance analytique, précision 0.0001 g.
- Bain chauffant à sec avec ses colonnes réfrigérantes et ses allonges de 500 ml à col rodé.
- Pipettes jaugées de 25 ml et système d'aspiration.
- Burette manuelle 25 ou 50 ml (voire burette automatique).
- Système de fixation pour les allonges.
- Agitateur magnétique et barreau aimanté.
- Pipettes automatiques de 5 ml et embouts adaptés.
- Divers béciers de petite taille.

- **Réactifs**

- Acide sulfurique concentré (H_2SO_4 à 96 ou 98 % p/p, densité = 1.83 g/ml).
- Acide orthophosphorique concentré (H_3PO_4 à 85 % p/p, densité = 1.70 g/ml).

- L'acide phosphorique est utilisé pour rendre plus sensible le virage indiqué par la diphénylamine (voir notes ci-dessous)
- Bichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$
- Chlorure de Baryum $BaCl_2 \cdot 2H_2O$
- Indicateur acide diphénylaminosulfonate de Baryum
- Ammonium-fer(II) sulfate hexahydraté $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$

c) Calculs

Une solution (N) oxydante ou réductrice est une solution susceptible de fixer ou de céder un électron gramme par litre.

A une solution normale (N) correspond à un atome gramme d'hydrogène ou un demi atome gramme d'oxygène.

A 1 ml de solution normale (N) correspond $\frac{1}{2}$ d'oxygène en mg.

A 1 ml de solution N/5 correspond à N/10 O_2 en mg ou d'après la réaction d'oxydation, à 2 atomes d'oxygène correspond à 1 atome de carbone, donc à 1 ml de sel de Mohr N/5 correspond à 12/20 soit 0,6 mg de carbone. On effectue une légère correction car le carbone n'est oxydé qu'à 98%.

Soit 1 ml de sel de Mohr 0,2 N pour $0,6 \times 100/98 = 0,615$ mg de C.

• Calcul du pourcentage de carbone du sol

1/ Le dosage de témoin a donné N' ml de solution réductrice (sel de Mohr).

2/ Le dosage de l'échantillon a donné N ml de solution réductrice (sel de Mohr).

3/ La teneur en C organique de la prise d'essai est :

$$C = (N' - N) 0,615 \times 10$$

Si (P) est le poids de l'échantillon, la teneur en C organique pour 100g de sol est :

$$C\% = C\% = \frac{(N - N') 0,615 \times 10 \times 100}{P} = (N - N') 0,615$$

• Calcul du pourcentage de matière organique du sol

On admet que C représente environ 58% de la matière organique totale. Le résultat du dosage permet donc d'évaluer la teneur en matière organique du sol.

$$MO\% = \frac{100}{58} * C\% = 1,72 * C\%$$

CHAPITRE III : Matériels et méthodes

- **Interprétation des résultats**

% MO	SOL
<0,5	Très pauvre en matière organique
0,5 – 1,5	Pauvre en matière organique
1,5 – 2,5	moyennement pauvre en matière organique
2,5 - 5	Riche en matière organique
6 - 15	Très riche en matière organique

IV.1. Variation de la teneur en matière organique

Les résultats de la mesure de la matière organique sont présentés au niveau de la figure 11

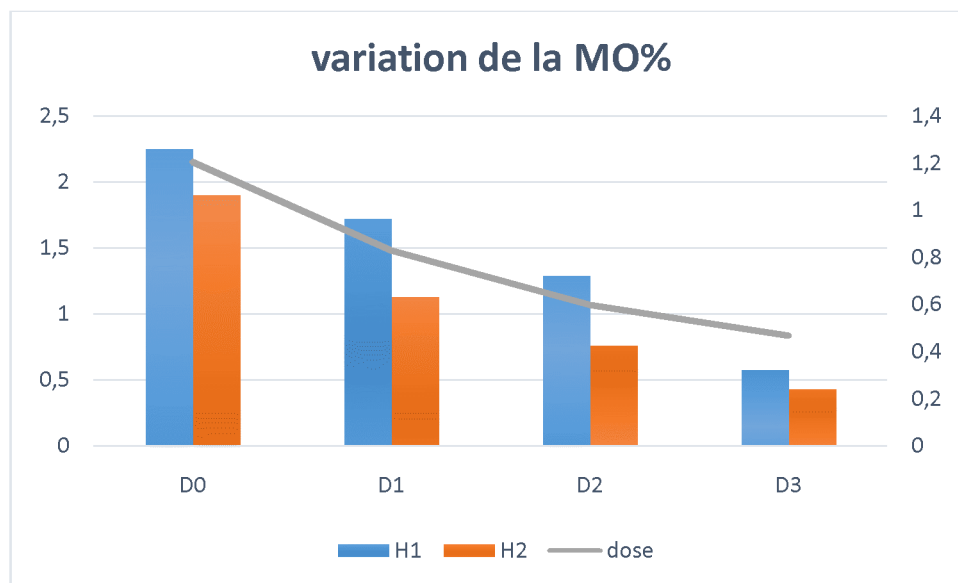


Figure 10 : variation des moyennes de la matière organique

En examinant les résultats présentés sur (la figure 11), on déduit que le taux de matière organique diminue avec l'augmentation des doses, en effet la valeur la plus élevée obtenue dans la parcelle non épandue(D0) qui est de $1,207 \text{ g/cm}^2$ comparativement aux parcelles épandues, et celle la parcelle D1 $\text{MOS} = 0,83 \text{ g/cm}^2$, la D2 $\text{MOS} = 0,6 \text{ g/cm}^2$ et la plus basse valeur est celle de la parcelle D3 $= 0,469 \text{ g/cm}^2$. L'analyse des tests statistiques de la variance montre une diminution très hautement significative pour le facteur dose (tableau 4).

Pour ce qui est de la profondeur, on remarque que le taux de matière organique diminué en allant de la surface vers la profondeur. La matière organique de l'horizon 0-20 Cm varie de $0,907 \text{ g}$ à $0,664 \text{ g/100 g}$ de terre (figure 12). En effet, d'après l'analyse de la variance présentée dans le tableau 4, le résultat montre une diminution hautement significative des taux de matière organique pour le facteur niveau (horizon) qui est présenté dans (la figure 12).

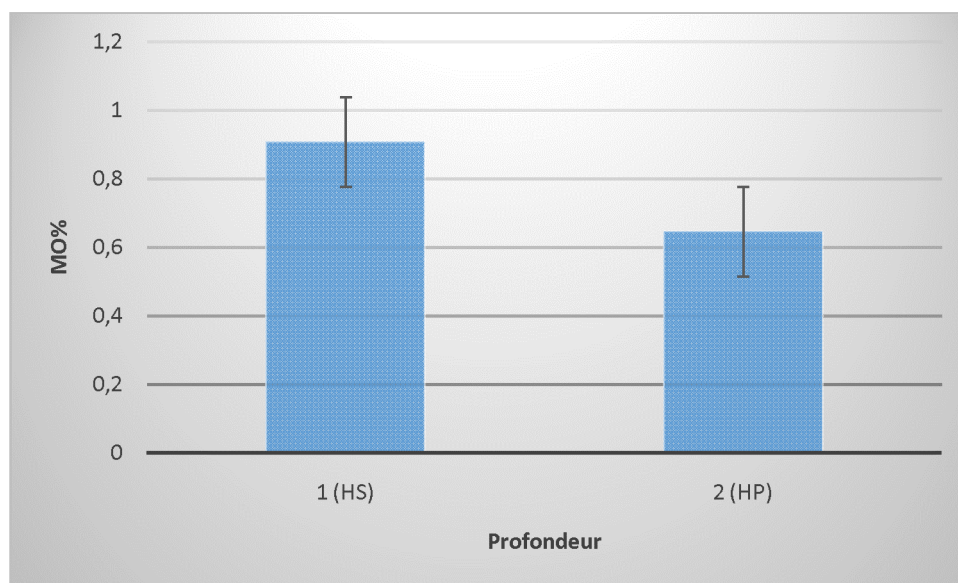


Figure 11 : moyenne de la matière organique sur les profondeurs

Tableau 4 : les valeurs de la variance de la matière organique

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	3,297	31	0,106				
VAR.FACTEUR 1	2,513	3	0,838	97,486	0		
VAR.FACTEUR 2	0,547	1	0,547	63,61	0		
VAR.INTER F1*2	0,031	3	0,01	1,21	0,32766		
VAR.RESIDUELLE 1	0,206	24	0,009			0,093	11,94%

Nos résultats ont montré une diminution de la teneur en MO avec l'augmentation de l'apport des boues résiduelles.

Cette chute du taux de la matière organique pourrait s'expliquer par une accélération de la minéralisation de MO dans le sol alluvial (sol sableux) et par l'irrigation.

L'augmentation des températures pendant la période d'échantillonnage, l'irrigation permet de mettre en place des conditions propices à la minéralisation de la matière organique du sol. Cependant le fait que le sol son amendement qui possède le taux de la MO le plus élevé nous permet d'émettre l'hypothèse suivante : l'augmentation de la minéralisation de la matière organique de sol, résultant de l'apport de la MO il peut s'agir d'une activité accrue des microorganismes du sol stimulé par l'énergie facilement disponible provenant des matières organiques fraîches ajoutées (Asmar et al. 1994).

Le processus est connu sous le vocable *priming effect*. L'apport massifs de la matière organique notamment riche en azote (N) comme la boue et avec les conditions d'humidité et

la température du mélange déclenche une activation de la biomasse microbienne de sol (Fontaine et al 2003).

IV.2. Variation de la densité apparente

La densité apparente est une des caractéristiques physiques essentielle du sol. Elle renseigne sur la compaction et le volume poral du sol, la détermination de la densité apparente de l'échantillon prélevé montre que la parcelle amendée avec des boues caractérisées par une valeur plus grande que la parcelle non amendée. (Figure13).

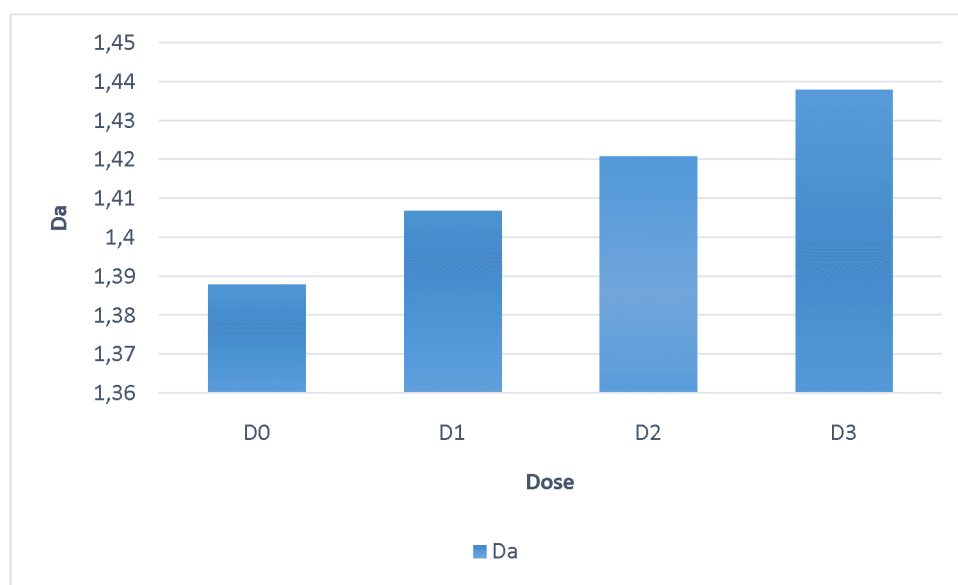


Figure 12 : variation de la densité apparente avec l'augmentation des doses

L'analyse des résultats consignés dans la figure 13, montre que la densité apparente du sol augmente significativement avec l'augmentation des doses des boues apportées.

Pour le témoin, la valeur de la densité apparente est de $1,388\text{g/cm}^3$. Pour la dose D1, la densité apparente est de $1,407\text{g/cm}^3$. Quant à la dose D2 la densité apparente du sol est $1,421\text{g/cm}^3$. Pour D3, la valeur de la densité apparente est de $1,438\text{g/cm}^3$.

Cependant, cette augmentation reste sur le plan agronomique, une augmentation significative après le test de la variance (tableau 5).

Chapitre IV : Résultats et Discussions

Tableau 5 : analyse statistique de la densité apparente

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,006	15	0				
VAR.FACTEUR 1	0,006	3	0,002	26,859	0,00002		
VAR.RESIDUELLE 1	0,001	12	0			0,008	0,59%

Cette augmentation de la densité apparente du sol en fonction des doses des boues épandues, peut être expliqué par l'apport dans des périodes où toutes les conditions sont favorables (T°, irrigation) pour l'accélération du processus de minéralisation de la matière organique de sol, cela influence directement sur la structure de ce sol par la désagrégation des particules et qui fait diminuer la porosité en augmentant la densité apparente.

IV.3. Variation du stock de la matière organique

Après la détermination de la densité apparente qui augmente significativement par les quantités des doses des boues apportées, et les teneurs en matière organique diminuant significativement par rapport au parcelle non épandue.

Ces résultats nous ont permis de calculer les quantités du stock de la matière organique contenues dans les parcelles par hectare, pour pouvoir déterminer les quantités de perte en matière organique (tableau 6).

Tableau 6 : quantités de la MO contenus dans un hectare du sol et les quantités des pertes.

	QTT de sol T/ha	QTT Mo/ha	perte T/ha	perte en %
D0	2776	33,5		
D1	2814	23,35	10,15	30,29
D2	2842	17,05	16,45	49,1
D3	2860	13,41	20,09	59,97

Le calcul de perte en MO montre une perte de matière organique qui s'élève avec l'augmentation d'amendement en boues.

Conclusion

Ce travail a été mené au niveau d'un sol sableux à BOUKHALFA. Il a permis de déterminer les effets de l'épandage des boues résiduelles sur le paramètre matière organique et densité apparente du sol.

Au terme de cette étude, il en ressort que :

L'apport de dose élevée de boue, entraîne la perte en matière organique dû à l'accélération du processus de minéralisation voire la richesse de ces boues en éléments minérales, incluant le niveau d'activité des enzymes extracellulaires qui active les microorganismes.

Un changement dans le comportement physique de ce sol après épandage, d'où la densité apparente a augmenté successivement avec l'augmentation de la dose d'épandage qui va sûrement influencer la porosité du sol étudié.

Une diminution des taux de matière organiques dans ce sol, contrairement aux études qui affirme l'augmentation de la fertilité organique après épandage des boues, peut-être dû à quelques conditions qui favorise la minéralisation de la matière organique qui sont les températures élevées, l'humidité (irrigation) et l'aération de la surface du sol par labour. Aussi les diminutions des taux de matière organique sont peut-être dû au *priming effect*, qui est l'objet de certaines études qui s'intéresse à la diminution de la matière organique dans les sols par effet de minéralisation plus, on apporte la matière organique.

Les résultats obtenus, contribuent à améliorer les pratiques d'épandage par des boues notamment, et par conséquent, à réaliser les conditions d'une meilleure utilisation pour faire face à la perte des sols en matière organique. Toutefois, les résultats de cette étude sur la fertilisation organique qui est notre objectif de départ devraient être améliorés par d'autres travaux ultérieurs pour une meilleure fertilisation, en améliorant les conditions d'utilisation des boues résiduelles. Dès lors, pour y parvenir, il serait nécessaire d'entreprendre des actions notamment dans le sens de :

Soit

- éviter d'utiliser ces boues dans ces conditions

Conclusion

Soit

- Reconduire ces essais en mettant un accent particulier sur les conditions d'installation des essais.
- Elargir la gamme d'épandage des boues en l'associant avec des matières carbonées pour assurer l'élévation de rapport C/N et faire ralentir le processus de minéralisation ; tel que le fumier riche en paille, le compost riche en carbone (grignon d'olive).
- Faire une analyse des boues et les valoriser avant toute utilisation.
- Diminuer et voir la suppression du travail intensif des sols en profondeur.
- Et surtout de faire une analyse de sol et même si c'est possible de faire des calculs du stock de la matière organique pour maîtriser les doses d'apports.
- Et surtout de ne pas attendre une amélioration dans des essais à court terme, mais de longue durée voir 4 à 5 ans et même plus.

Bibliographie

- **ADEME, 1995** : - Les micro-polluants métalliques des boues résiduelles des stations d'épuration urbaines, Ademe édition, Paris, pp. 209.
- **ADEME, 1996** : - La faune, indicateur de la qualité des sols, Ademe édition, Paris, pp. 62.
- **ADEME, 1999** : - Situation du recyclage agricole des boues d'épuration urbaines en Europe et dans divers autres pays du monde, Ademe édition, Paris, pp. 159.
- **ADEME, 2001 a** : - Les boues chaulées des stations d'épuration municipales : production, qualité et valeur agronomique, Ademe édition, Paris, pp. 224.
- **ADEME, 2001 b** ; Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture, Ademe édition, Paris, pp. 59.
- **AGGELIDES, S.M., LONDRA, P.A, 2000**: - Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and clay soil. *BioresourceTechnology*, 71, p 253-259.
- **AMADOU, H, 2007** : - Modélisation du séchage solaire sous serre des boues de stations d'épuration urbaines. Thèses de doctorat, Université Louis Pasteur.
- **ANNABI M., BAHRI H., LATIRI K., 2009**. Statut organique et respiration microbienne des sols du nord de la Tunisie. *Biotechnicol. Agron. Soc. Environ.* 13 (3), pp. 401-408.
- **Asmar, F., F. Eiland, and N. E. Nielsen (1994)**. Effects of extracellular-enzyme activities on solubilisation rate of soil organic nitrogen. *Biology and Fertility of Soils* 17 : 32-38.
- **BONINS., 2006**- Connaissance des sols - Introduction à la pédologie. 21p.
- **BOUGRIER, C, 2005** : - Optimisation du Procédé de Méthanisation par Mise en Place d'un Co-Traitement: Application au Gisement de Biogaz Représenté par les Boues d'Epuration des Eaux Usées', Thèse de doctorat, INSA Toulouse.
- **BRAME, V, 1986** : - les procédés physico-chimiques d'épuration des eaux usées urbaines. Série documents techniques A.F.E.E. France.
- **CHABALIER P F., VAN DE KERCHOVE V ., MACARY H S., 2006** – Le Guide de la fertilisation organique à La Réunion. Chambre d'Agriculture de La Réunion & CIRAD, La Réunion, 304p.

- **Chamayou H. et Legros J.P., 1987.** Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol. Technique vivante. Presses universitaires de France. Paris. pp 212-213
- **CIRAD-GRET. 2002.** Ministère Français des Affaires Etrangères, Mémento de l'agronome, 5ème éd. 1691 p.
- **Davet P., 1996.** Vie microbienne du sol et production végétale. INRA. Paris. 383p.
- **DEBRUCK, J., VOMEL, A 1972:** - Die Verwertung der NährstoffimAbwasserschlamLandwirtschaftlicheForschungDtsch, tome 17, N°1, P 39-60.
- **DUCHAUFOR Ph., 1984 :** Abrégé de pédologie.
- **Duchaufour Ph., 1995.**Abréges pédologie : sol, végétation, environnement. 4^{ème}Ed. Masson. Paris.324p.
- **Duchaufour, P. (1977).**Pédologie.Pédogénèse et Classification, Masson/Ed., Paris, New york, Barcelone, Milan, Mexico, Sao Paulo.
- **DUDKOWSKI, A, 2000 :** - L'épandage agricole des boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaines. Courrier de l'Environnement de l'INRA, pp. 134-135.
- **DUPRARQUE A, RIGALLE P, 2011 :** Composition des MO et turn over ; Rôles et fonctions des MO, actes du colloque « Gestion de l'état organique des sols », 27 janvier 2011, Agrotransfert.
- **Fontaine, S., A. Mariotti, and L. Abbadie (2003).** The priming effect of organic matter: a question of microbial competition? SoilBiology&Biochemistry 35 : 837–843.
- **GABARDA, O.D, 2000 :** - Les boues de station d'épuration d'eaux usées urbaines: les filières alternatives à l'épandage. In Que faire des boues ? Une approche socio-économique du Club Environnement et Société. Ecrin, Paris. P. 58-60.
- **GAGNARD J., HUGUET C. et RYSER J.P., 1988** - l'analyse du sol et du végétal dans la conduite de la fertilisation, le contrôle de la qualité des fruits., Secrétariat générale OILB/SROP, Edition - Diffusion ACTA., 87 P.
- **GAMRASNI, M.A, 1979 :** - Utilisation agricole des boues résiduelles d'origine urbaine. P 73-92.
- **GIRARD MC et al., 2005 :** Sols et Environnement, 2ème édition, Editions DUNOD, 2005.

- **GIVA G., 2011-** Les produits organiques utilisables en agriculture en Languedoc-Roussillon: Guide technique en 2 volumes. Chambre d'agriculture Languedoc-Roussillon, Languedoc-Roussillon, P198.
- **Gobet J.M., Aragno M. et Mathey W., 1998.** Le sol vivant, bases de pédologie des sols. Ed. Presses Polytechnique et Universitaire. Ramandes. 519p.
- **GODIN, P, 1982 :** - Sources de contamination et enjeux. - Séminaire Eléments traces et pollution des sols, Paris, 3 p.
- **HASSELGREN, K, 1999:** - Utilization of sewage sludge in short rotation energy forestry: A pilot study. Waste Management and Research, 17, p 251-262.
- **HUE, N.V, 1995:** - Sewage sludge. In Soil amendments and environmental quality, Chp 6, CRC Press. p. 199-247.
- **JOCTEUR, M, L 2001 :** - Conséquences de l'anthropisation des sols. Les boues : quels risques ? Colloque Marseille. 5 avril 2001. Mouvement National de Lutte pour l'Environnement éd.
- **KIRKHAM, M.B, 1974:** - Disposal of Sludge on land: Effect on Soils, Plants, and Ground Water. Compost Science, P. 6-10.
- **KORMANIK, R.A, 1972:** - Estimating solids production for sludge handling Water & Sewage Works, P 72-74.
- **KOULIBALY B., TRAORE O., DAKUOU D., ZOMBRE PN., 2009.** Effets des amendements locaux sur les rendements, les indices de nutrition et les bilans culturaux dans un système de rotation coton-maïs dans l'ouest du Burkina Faso. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 13(1), pp. 103-111.
- **KROGH, P.H., PEDERSENN, M, 1997:** - Ecological effects assessment of industrial sludge for microarthropods and decomposition in a spruce plantation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 36, p 162-168.
- **KROLL R. (1994),** Les cultures maraîchères, Maisonneuve et Larose, Paris, 219p.
- **MESSIAEN C. M. (1997),** Le Potager Tropical, 3è éditions, CILF, Paris, 583 p.
- **MOREL, J. L, 1977 :** - Contribution à l'étude de l'évolution des boues résiduelles dans le sol. Thèse de Docteur Ingénieur, Université de Nancy 1, France, p 117.
- **Morril L.G., Mahilum B.C. et Mohiuddin S.H., 1982.** Organic compounds in soils: sorption, degradation and persistence. Science. Publisher. 326p.
- **MURILLO, M, 2004 ;** Caractérisation de l'Effet d'un Traitement au Peroxyde d'Hydrogène sur une Boue - Application la Réduction de la Production de Boue', Thèse de doctorat, INSA Toulouse.

- **Mustin M., 1987.**Le composte, gestion de la matière organique. Ed. François Dubusc. Paris. 954p.
- **OUSTANI M., 2006-** Contribution à l'étude de l'influence des amendements organiques (fumier de volailles et fumier de bovins) sur l'amélioration des propriétés microbiologiques des sols sableux non salés et salés dans les régions Sahariennes (Cas de Ouargla). Mémoire de Magister en Agronomie Saharienne, Univ. KASDI MERBAH, Ouargla, 187p.
- **PALLO F.J.-P; ASIMI S.; ASSA A.; SEDOGO P.M., SAWADOGO N. 2006.**Statut de la matière organique des sols de la région sahélienne du Burkina Faso. *Etude et Gestion des Sols* pp. 289-304.
- **PICKFORD, J, 1971:** - Sludge treatment and disposal. Fourth public health engineering conference.
- **RADA A, 1996 :** - Étude de la contamination métallique des sols de la zone d'épandage des eaux usées de la ville de Marrakech (Maroc) : contribution du fond géochimique et des apports anthropogéniques dans le transfert du cadmium dans un système sol-plante. Thèse Doct. État. Univ. Cadi Ayyad, Fac. Sci., Semlalia, Marrakech, Maroc, 153 p.
- **SALHI S, 2003 :** - Procèdes Couplés aux Boues Activées-Ozonisation pour la Réduction dans la Production de Boues: Etude Modélisation et Intégration dans la Filière de Traitement des Eaux'. Thèse de Doctorat, INSA Toulouse.
- **SEDKI, A, 1995 ;** Étude écotoxicologique de la contamination de deux chaînes alimentaires terrestres dans la palmeraie périurbaine de la zone d'épandage des eaux usées de la ville de Marrakech. ThèseDoct. État, Univ. Cadi Ayyad, Fac. Sci. Semlalia, Marrakech, Maroc. 140p.
- **SOCO., 2009-** Réduction du taux de matière organique, l'agriculture durable et la conservation des sols, Mai 2009, N°: 3, 4p.
- **SOLTNER D., 2000** - Les bases de la production végétale, T I : le sol et son amélioration., 22^e Edition, Editions Sciences et techniques agricoles "Le Clos Lorelle"- 49130 Saint-Gemmes-Sur-Loire., 472 P.
- **Soltner D., 2003.** Les bases de la production végétale. Tome I. Le sol et son amélioration. Collection Sciences et Techniques Agricoles.23^{ème}. Ed. Paris. 472p
- **SOMMERS, L.E., NELSON , D.W., TERRY, R.E., SILVIERA, D.J 1967:** - Nitrogen and metal contamination of natural waters from sewage sludge disposal on land.N.T.I.S.

- **SUH, Y.J. AND. ROUSSAUX, P, 2002:** - An LCA of Alternative Waste Water Sludge Treatment Scenarios', Resources, Conservation and Recycling, Vol. 35, pp. 191 – 200.
- **TAUZIN, C, JUSTE, C, 1986 :** - Effet de l'application à long terme de diverses matières fertilisantes sur l'enrichissement en métaux lourds des parcelles. Rapport du contrat 4084/93. Ministère de l'environnement, France.
- **WARD, T.E. & LARSON, R.J,1989:** - Biodegradationkinetics of linearalkylbenzenesulfonate in sludge-amended agricultural soils. Ecotoxicology and Environmental Safety. 17, 119-130.
- Water, Air, Soil Pollution, 6, n°1, P3-7
- **WEBBER, M.D. & LESAGE, S, 1989:** - Organic contaminants in Canadian municipal sludges. Waste Management and Research, 7, p 63-82.

Résumé

Le retour au sol en agriculture de matières fertilisantes d'origine résiduaire est encouragé. Aujourd'hui dans un contexte de développement d'une économie circulaire. La plupart de ces matières sont organiques et sont épandues après avoir subi un traitement ou non. Elles sont utilisées pour un double bénéfice : leur valeur fertilisante leur permettant de se substituer aux engrais minéraux de synthèse (N) et l'augmentation des teneurs en matière organique des sols.

Le but de notre travail est de présenter une synthèse des effets des apports de boue sur les taux du carbone et la densité apparente dans le sol et d'expliquer ses effets différenciés à partir des doses différentes sur les variations des teneurs en carbone organique et des densités apparentes d'une dose à une autre et avec le témoin et aussi d'un niveau à autre, de surface et en profondeur.

Les résultats obtenus, ont montré une diminution de taux de matières organiques d'une façon très hautement significative en augmentant la dose de boue, et aussi une diminution très hautement significative de la surface vers la profondeur, dû à la minéralisation rapide de la matière organique, provoquée par la présence de tous les facteurs activant les microorganismes tels que : les taux d'azote élevé contenu dans les boues, les températures élevées, l'humidité dû à l'irrigation et le travail de sol (labour de la surface). Une augmentation très hautement significative de la densité apparente pour le facteur dose, cela signifie une destruction des matières organiques déjà présentes dans le sol avant épandage par l'activation des microorganismes.

D'où il serait intéressant d'associer avec ces boues un apport de matière sèche riche en carbone, pour faire augmenter le rapport C/N et faire ralentir le processus de minéralisation, et avoir une bonne teneur et un stockage important de la matière organique à longue durée.

Abstract

The return on the ground in fertilizing matter agriculture of waste origin is encouraged, today in a context of development of a circular economy. Most these matters are organic (organic waste products or PRO) and are spread after having undergone a treatment or not. These PRO are used for a double benefit: their fertilizing value allowing them to replace mineral manures of synthesis (NR) and the increase in the contents of organic matter of the grounds.

The goal of our work is to present a synthesis of the effects of the mud contributions on the rates of carbon and the apparent density in the ground and to explain these effects differentiated starting from the amounts different of mud on the variations from the percentages of organic carbon and the densities apparent of an amount with another and with the witness and also from a level to other, of surface and in-depth.

The got results, showed a reduction in organic matter rates in a way very highly significant by increasing the mud amount, and also a reduction very highly significant in surface towards the depth due to the fast mineralization of the organic matter, caused by the presence of all the factors activating the micro-organisms such as high the nitrogen rates contained in muds, the high temperatures, moisture due to the irrigation and the work of ground by plowing surface. An increase very highly significant in the apparent density for the factor proportions, that means destruction of the matter organic already present in the ground before spreading by the activation of the micro-organisms.

From where it would be important to associate with these mud a matter contribution dries rich in carbon to make increase ratio C/N and make slow down the process of mineralization to have a good content and an important storage of the organic matter at long life in the soil.