



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Agronomiques



MÉMOIRE DE MASTER

Science de la Nature et de la Vie
Sciences Agronomiques
Hydro pédologie

Réf :

Présenté et soutenu par :
Louiza Chenini

Le : mardi 20 juin 2023

Effet des techniques d'épandage du compost sur l'évolution des propriétés chimiques d'un sol gypseux (cas des oasis Zibans)

Jury :

Dr.	Boukhile	MAAUniversité de Biskra	Président
Dr.	Bensmaine	MCAUniversité de Biskra	Examineur
Pr.	Khechi.S	PrUniversité de Biskra	Rapporteur

Année universitaire : 2022 - 2023

Remerciement

Nous tenons d'abord à remercier Dieu, qui nous a donné le pouvoir, volonté et
patience à

terminer ce travail réalisé à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de
l'Université

Mohamed Khaider –Biskra

Nous voudrions dans un premier temps remercier notre Docteur Khachie -Salime
pour son

encadrement, d'avoir accepté de diriger et d'orienter ce travail de recherche ;

nous le remercions

*Je tiens à remercier Mr. OTHMAN TARIK, chef du laboratoire D'analyse des sols
au CRSTRA, et les chefs de laboratoire de Département Agronomie-Biskra*

Je remercie également tous ceux qui m'ont aidé de près ou loin à réaliser ce
travail, je vous merci.

LOUIZA

Dédicace

Je Dédie ce modeste travail

A mes très chers parents,

A mes très chers grands-parents,

A mes très chères sœurs,

A mon très cher frère,

A toute ma famille,

A tous mes Amis,

LOUIZA

CHENINI

Résumé

Ce travail a consisté essentiellement de faire une synthèse sur les effets des fertilisant organique (le compost) sur l'évolution des propriétés chimique du sol gypseux dans région du Zibans à savoir le l'analyse (pH, la capacité d'échange cationique, le gypse, calcaire totale et actif, carbone organique). Aussi pour d'étudier l'effet de trois techniques différence de d'épandage de matière organique végétale (compost) Ceci est basé sur les résultats d'analyses de sol en laboratoire pendant une période de trois mois (mars-Avril-Mai) pour choix la meilleur techniques et comparez l'effet des d'amendement de MO végétale (compost) et MO animale (fumure d'ovin) sur l'évolution de propriétés chimique du sol.

MOTS CLÉS: matière organique, le compost, propriétés chimiques, d'épandage, fertilité, gypse .

Tableau 1 Propriétés de la matière organique	22
Tableau 2 Le rôle chimique de la matière organique du sol (Mackiewicz, 2005)	23
Tableau 3 Caractéristiques du fumier des bovins et des ovins	23
Tableau 4 Caractéristiques de différents types de fumiers (Weill et Duval, 2009)	25
Tableau 5 Effet de température sur la teneur de MO dans le sol	29
Tableau 6 Classification des sols en fonction du taux de gypse (C.P.C.S., 1967)	35
Tableau 7 Classification des déchets composables (MUSTIN, 1987).....	41
Tableau 8 Relie la concentration de sulfate de calcium avec la CE	56
Tableau 9 Mesures de la conductivité électrique du sol	75
Tableau 10 Mesures de pH.....	75
Tableau 11 Mesures de la matière organique.....	75
Tableau 12 Mesures du gypse	75
Tableau 13 Mesures du Calcaire totale	76
Tableau 14 Mesures du Calcaire Actif.....	76
Tableau 15 Mesure de la capacité d'échange cationique	76
Tableau 16 Mesures du Le sodium soluble dans le sol	77

Figure 1 Prélèvement des échantillons par la tarière (photo originale).....	53
Figure 2 Le sol utilisé dans l'essai (photo originale).....	53
Figure 3 Détermination du pH type HANNA - OHAUS (photo original).	54
Figure 4 mesure CE par conductimètre type HI 8733 (photo original).	55
Figure 5 Dosage de gypse par la centerfiguse (photo original). Error! Bookmark not defined.	
Figure 6 mesure calcaire totale (photo original).	56
Figure 7 Détermination de calcaire actif (photo original).....	58
Figure 8 Dosage du Carbone organique (photo originale).....	59
Figure 9 La capacité d'échange cationique CEC (photo original).Error! Bookmark not defined.	
Figure 10 Dosage de sodium Na+ échangeable (photo original).	61
Figure 11 Variation du la conductivité électrique de la couche de surface (0-20 cm).....	63
Figure 12 Variation du la conductivité électrique de la couche de profondeur (20-40 cm) ...	64
Figure 13 Variation des pH du sol de la couche de surface (0-20 cm)	64
Figure 14 Variation pH du sol de la couche de profondeur (20-40 cm).....	65
Figure 15 Evolution de la matière organique du sol de la couche de surface (0-20 cm)	65
Figure 16 Evolution de la matière organique du sol de la couche souterraine (20-40 cm)	66
Figure 17 Evolution de la teneur de gypse de la couche de surface (0-20 cm).....	66
Figure 18 Evolution de la teneur de gypse de la couche de profondeur (20-40cm).....	67
Figure 19 Evolution de la teneur de en calcaire totale de la couche (0-20cmError! Bookmark not defined.	
Figure 20 Figure 22 Evolution de la teneur de calcaire actif de la couche (20-40cm)....Error! Bookmark not defined.	
Figure 21 Evolution de la teneur de calcaire actif de la couche (0-20cm)Error! Bookmark not defined.	
Figure 22 Evolution de la teneur de en calcaire totale de la couche (20-40cm).....Error! Bookmark not defined.	
Figure 24 Evolution de CEC de la couche de profondeur.....	70
Figure 25 Evolution de sodium de la couche de surface (0-20cm)	71
Figure 26 Evolution de sodium de la couche de profondeur (20-40cm)	71

Sommaire

<i>Dédicace</i>	3
I Chapitre I Généralités sur la matière organique du sol.....	17
I.1 Définitions	18
I.1.1 Notion de la fertilité du sol.....	18
I.1.2 Définition des engrais.....	19
I.1.3 Engrais organiques.....	19
I.1.4 Types des engrais organiques	19
I.1.4.1 Fumier.....	19
I.1.4.2 Compost.....	20
I.1.5 Amendements organiques	20
I.1.6 Types d'amendements organiques	20
I.2 Les matières organiques	21
I.3 Propriétés des matières organiques	22
I.4 Rôle de la matière organique dans le sol.....	22
I.5 Origines de la matière organique	23
I.6 Types des matières organiques	24
I.6.1 Le fumier	24
I.6.1.1 Caractéristiques générales des fumiers.....	25
I.6.2 L'humus.....	25
I.6.3 Le lisier.....	26
I.6.4 La litière	26
I.7 Actions de la matière organique sur les propriétés chimiques du sol.....	26
I.8 Le dépendage des matières organiques sur le sol	27
I.8.1 Définition de la d'épandage.....	27
I.8.2 Types d'épandage des engrais	28
I.8.3 Techniques du d'épandage des matières organiques sur le sol.....	28
I.8.4 Les avantages de l'épandage sont d'ordre pratique et économique :.....	28
I.9 Les Facteurs effet à la teneur du sol en matière organique	28
I.9.1 La température :.....	28
I.9.2 Humidité du sol et la précipitation	29

I.9.3	Agriculture.....	29
I.9.4	Érosion du sol.....	29
I.10	Importance des matières organiques.....	29
I.10.1	Sur le sol.....	29
I.10.2	Sur la plante.....	30
I.10.3	Sur environnement :.....	30
II	Chapitre II : Généralités sur les sols gypseux.....	31
II.1	Introduction.....	32
II.2	Définition :.....	32
II.3	Origine du gypse dans les sols.....	32
II.3.1	Origine des géologique.....	32
II.3.2	Origine hydraulique :.....	33
II.3.3	Origine éoliennes.....	33
II.4	Caractéristiques des sols gypseux.....	33
II.5	Les formes du gypse dans le sol.....	33
II.6	Classification des sols en fonction du gypse.....	33
II.7	Processus de la dissolution du gypse.....	35
II.7.1	Facteurs géologique.....	35
II.7.2	Facteurs environnementaux.....	35
II.8	Fertilité des sols gypseux.....	36
II.9	Les propriétés chimiques des sols gypseux.....	36
II.9.1	Formes hydratées et déshydratées du sulfate de calcium.....	36
II.9.2	Relation de solubilité.....	36
II.9.2.1	Solubilité du gypse dans l'eau pure en fonction de la température.....	36
II.9.2.2	Solubilité du gypse en présence des sels solubles.....	36
II.9.2.3	Action du pH sur la solubilité du gypse.....	36
II.9.3	Relation gypse calcaire.....	37
II.9.4	La capacité d'échange cationique(CEC).....	37
II.9.5	PH.....	37
II.9.6	Calcaire actif.....	37
II.9.7	Matière organique (MO).....	38

II.10	Effet du gypse sur le sol.....	38
III	CHAPETRE III : Le Compostage et le Compost.....	39
III.1	1- Définitions	40
III.1.1	Le compost	40
III.1.2	Le compostage	40
III.2	L'équilibre dans le composteur	40
III.3	Déchets compostables et non compostables	40
III.4	Etapas de compostage	41
III.4.1	Collecte des déchets	41
III.4.2	Préparation des substrats	41
III.4.2.1	Le broyage.....	41
III.4.2.2	L'homogénéisation	42
III.4.3	La fermentation.....	42
III.4.4	La maturité du compost.....	42
III.4.5	Le criblage et tamisage des composts	42
III.4.6	Le stockage et le conditionnement des composts	42
III.5	Principaux paramètres de compostage	42
III.5.1	La teneur en eau	42
III.5.2	Le pH.....	43
III.5.3	La température	43
III.5.4	L'aération	43
III.5.5	Le rapport C/N.....	43
III.5.6	Les micro-organismes	44
III.6	Evolution de la matière organique au cours du compostage	44
III.6.1	La minéralisation	44
III.6.1.1	La minéralisation du carbone.....	44
III.6.1.2	La minéralisation de l'azote	45
III.6.2	L'humification des matières organiques	46
III.7	Les différents types de compost.....	46
III.7.1	Composts d'origine urbaine	46
III.7.2	Les composts d'effluents d'élevage	47

III.7.3	Les composts de déchets industriels et agricoles	47
III.8	Les différents types de composteurs	47
III.8.1	Composteur de type commercial (en plastique)	47
III.8.2	Composteur à plusieurs compartiments	47
III.8.3	Composteur à faire soi-même	47
III.8.4	Le tas à l'air libre ou le compostage en andain	47
III.9	Les avantages du compost	47
III.9.1	Avantages agronomiques	48
III.9.1.1	Amélioration d'ordre physique.....	48
III.9.1.2	Amélioration d'ordre chimique	48
•	Disponibilité des éléments.....	49
III.9.1.3	Amélioration d'ordre biologique	49
III.9.2	Avantages environnementaux.....	49
III.9.3	Bénéfices économiques :	49
Chapitre IV	: Matériels et méthode	51
IV	Travail de terrain :	52
IV.1.1	Dispositif expérimentale :.....	52
IV.1.2	Echantillonnage	52
IV.2	Travail Au laboratoire :.....	53
IV.2.1	Préparation du sol :	53
IV.2.1.1	Analyses effectués.....	53
IV.2.1.2	Détermination du pH.....	53
IV.2.1.3	Détermination de la conductivité électrique.....	54
IV.2.1.4	Dosage de gypse :	55
IV.2.1.5	Calcaire totale	56
IV.2.1.6	Dosage de la matière organique dans le sol :	58
IV.2.1.7	Capacité d'échange cationique CEC.....	60
V	CHAPITRE V: Résultat et Discussion	62
V.1	Evolution de la conductivité électrique du sol.....	63
V.2	Evolution de réaction des sols (pH des sols)	64
V.3	Evolution de la matière organique (MO)	65

V.4	Evolution de la teneur du gypse.....	66
V.5	Evolution de la teneur calcaire totale et actif.....	67
V.6	Evolution de la capacité d'échange cationique (CEC).....	69
V.7	Evolution du sodium soluble du sol	70
	Annexes.....	74

Introduction générale

Introduction générale

L'agriculture moderne en Algérie est la cause majeure de la dégradation des sols constatée. Partout de l'état du sol par le manque de la matière organique (MO) et la propreté physico-chimique. Celui qui impose à l'agronomie à la recherche des techniques d'amélioration le sol. Il est bien connu que les sols des régions de Zibans sont des sols à structure dégradée (Khechai et Daoud, 2017), cette dégradation est souvent liée à la salinité élevée, le gypse et le calcaire. En effet, la matière organique (MO) est une pratique agricole réussie, efficace et peu coûteuse pour l'amélioration des propriétés physico-chimiques des sols salés par l'application de la matière organique.

La majorité des sols agricoles sont caractérisés par leur faible taux en MO. Cet état est dû au type du climat, qui favorise leur la minéralisation rapide dans les sols, aux pratiques culturales non appropriées et aux faibles ou non apports d'amendements organiques suite à la raréfaction du fumier de ferme, habituellement utilisé (Diridi et Toumi, 1998).

La matière organique est une composante essentielle du sol et joue un rôle fondamental dans leur conservation. Pour améliorer la fertilité du sol effectivement à long terme, il faut améliorer la structure du sol et accroître le niveau de MO dans le sol. Afin d'augmenter la fertilité du sol à court terme, il faut ajouter des substances nutritives au sol.

Les produits d'amendements organiques permettent non seulement l'amélioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, mais aussi constituent un réservoir important d'éléments nutritifs. Parmi ces éléments l'azote, nutriment essentiel (Duthil, 1973).

Dans ce contexte, le compost constitue une alternative du fait qu'il contient des substances nutritives (Madeleine, 2005) pour entretenir le niveau de fertilité du sol.

L'application du compost d'origine végétale intervient dans la rétention de l'eau et les éléments nutritifs, même si l'on applique de l'engrais chimique. Cela veut dire que chaque fois qu'un agriculteur applique ces engrais, il doit veiller au niveau de MO du sol (Inckel et al., 2005).

En effet, le compost est un excellent amendement du sol. Il possède une forte concentration en MO et est permet la restitution des propriétés du sol épuisées avec le temps (ZEGELS, 2012). Pour obtenir un bon rendement avec le compost, il est important de garantir de bonnes conditions de vie aux micro-organismes, qui décomposent et transforment les matières organiques (ZEGELS, 2012).

L'objectif de cette étude est l'évaluation l'effet des différents techniques épandages du compost confectionné à partir des palmes sèches sur les propriétés chimiques du sol gypseux.

Ce mémoire comprend cinq chapitres principaux :

Le premier présente une synthèse bibliographique, qui traite la matière organique et la deuxième chapitre les sols gypseux dans.

Le deuxième chapitre : Technique de compostage ;

Le troisième chapitre : Matériels et méthodes ;

Le quatrième chapitre consacré aux résultats obtenus et à leur interprétation ;

Enfin, une conclusion générale.

Première partie
Synthèse
bibliographique

I Chapitre I Généralités sur la matière organique du sol

Introduction

La fertilité d'un sol correspond à sa capacité à donner des cultures de rendement élevé et de qualité. Elle dépend de plusieurs facteurs : la structure et la texture du sol, son pH, le taux de matière organique, la capacité d'échange cationique (absorption des éléments), la teneur en éléments nutritifs nécessaires à la croissance (Ca, Mg, P, K, N principalement) (Centre Provincial de l'Agriculture et de la Ruralité (CPAR), 2008).

La fertilisation est un ensemble de techniques qui consiste à amender le sol par l'apport de substances minérales ou organiques destinées à augmenter ou à maintenir la fertilité d'un sol en vue d'améliorer le rendement de la plante (Zian, 2002).

Les fumiers et les composts sont avant tout des amendements de sol. Ils améliorent la structure, augmentent l'activité biologique et contribuent à maintenir l'humus du sol. En maraîchage, ces matériaux ne sont pas seulement utilisés comme amendements. Ils sont souvent utilisés comme fertilisants (Jobinet et Petit, 2004).

En effet, le sol peut être en bon état, il faut apporter de l'azote aux légumes et aussi du phosphore et de la potasse pour obtenir un bon rendement.

Toutefois, une fertilisation basée uniquement sur les composts et les fumiers n'est pas toujours écologique ou équilibrée, car les quantités de phosphore apportées au sol sont souvent trop élevées par rapport aux besoins des légumes (Jobinet et Petit, 2004).

I.1 Définitions

I.1.1 Notion de la fertilité du sol

La fertilité d'un sol correspond à sa capacité à donner des cultures de rendement élevé et de qualité. Elle dépend de plusieurs facteurs : la structure et la texture du sol, son PH, le taux de matière organique, la capacité d'échange cationique (absorption des éléments), la teneur en éléments nutritifs nécessaires à la croissance (Ca, Mg, P, K, N principalement) (CPAR, 2008).

La fertilisation est un ensemble de techniques qui consiste à amender le sol par l'apport de substances minérales ou organiques destinées à augmenter ou à maintenir la fertilité d'un sol en vue d'améliorer le rendement de la plante (Zian, 2002).

I.1.2 Définition des engrais

On entend par engrais tous les composés minéraux et organiques qu'on ajoute au sol et qui sont destinés à être acheminés directement ou indirectement vers les plantes alimentaires (Bliefert et Perraud, 1997).

Les engrais tout produit contenant au moins 05% ou plus de l'un ou plus des trois principaux éléments nutritifs des plantes (N, P₂O₅, K₂O), fabriqué ou d'origine naturelle. Les engrais issus de fabrication industrielle sont appelés les engrais minéraux Toute matière fertilisante organique ou minérale incorporé au sol pour en accroître ou en maintenir la fertilité, apportant notamment aux végétaux les éléments qui leur sont directement utile (FAO, 2012).

I.1.3 Engrais organiques

Les engrais organiques sont généralement d'origine animale ou végétale. Ils peuvent aussi être synthétisés, comme l'urée (Loué, 1970).

Les premiers sont typiquement des déchets industriels, tels que des déchets d'abattoirs, boues d'épuration des eaux (Chafai , 2007).

Ils sont intéressants pour leur apport en azote à décomposition relativement lente, et pour leur action favorisant la multiplication rapide de la microflore du sol, mais n'enrichissent guère le sol en humus stable. Les seconds peuvent être des déchets végétaux : résidus verts, compostés ou pas, et ils peuvent être constitués aussi de plantes cultivées spécialement comme engrais vert, ou préparées dans ce but, comme le purin d'ortie, ou les algues.

I.1.4 Types des engrais organiques

I.1.4.1 Fumier

C'est l'ensemble des déjections animales mélangés avec des pailles. Il existe plusieurs types :

- Le fumier des fermes est une source importante d'humus par l'apport des déchets végétaux qu'il contient.
- Le fumier pondu à l'automne avant la tête de rotation doit être enfoui aussitôt pour diminuer les pertes d'azote. Les épandages de printemps limitent les risques d'érosion allègent les terres lourdes et donnent du corps aux terres légères (Vigneron, 1967).

I.1.4.2 Compost

Le compost est un produit stable, riche en humus, issu de la décomposition rapide de toutes les matières organiques : fumiers, résidus de récolte, déchets agro-industriels, déchets animaux, déchets ménagers (Mustin, 1987).

C'est une source importante de matière organique produite par la dégradation ou la décomposition de la matière organique fraîche par des micro-organismes (Petit et Jobin, 2005), d'insectes et de vers de terre dans des conditions bien définies.

I.1.5 Amendements organiques

Les amendements servent à améliorer l'état physique, chimique et biologique du sol en favorisant le maintien d'une bonne structure (Benamara et Djotni, 2018).

Ce sont des produits qui améliorent l'état structural du sol avec des apports limités. Le but de cet apport est l'obtention d'un produit stable riche en humus. Il s'agit des matières fertilisantes composées principalement de combinaisons carbonées d'origine végétale fermentées ou fermentescibles destinées à l'entretien ou à la reconstitution du stock de la matière organique du sol. Les amendements améliorent les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols (Soltner, 2003).

I.1.6 Types d'amendements organiques

Il ya Différents types d'amendements organiques

Un premier type d'amendement est composé de déchets organiques. Les fumiers compostés ou non, les lisiers ou les composts de déchets ménagers appartiennent à cette catégorie. Ils sont utilisés depuis très longtemps en agriculture, surtout pour l'entretien du pool de matière organique dans le sol, mais possèdent aussi un effet bénéfique sur la stabilité structurale du sol (Villenave et *al.* 2007) .

Un autre type d'amendement organique Ces résidus, incorporés dans le sol, forment un engrais vert, riche en matière organique fraîche, non préalablement décomposée ou fermentée. Cette matière organique peut être beaucoup plus labile et facilement dégradable que celle des produits compostés, selon la teneur en cellulose et en lignine du matériel de départ. De nombreux composés actifs peuvent être produits lors de la dégradation biologique de ces résidus de culture (Bellahammou, 2001).

I.2 Les matières organiques

Les matières organiques du sol sont un ensemble très hétérogène : êtres vivants, tels que racines des plantes, faune ou microorganismes et produits de la décomposition de ces derniers, qu'il s'agisse de débris végétaux en cours de décomposition, de matières organiques de taille très fine « colloïdales », ou de matières organiques solubles (Chenu, 2003), elles renferment de nombreux éléments chimiques dont les principaux sont : C, O, H, N, P, S : le carbone représente 50 à 60 % de la totalité, l'oxygène de 30 à 35 % et l'azote environ 5% (Vilain, 1997).

La présence de MO dans les sols est à l'origine de l'apparition des propriétés physico-chimiques favorisant le développement des végétaux cultivés et naturel. L'augmentation des ces teneurs s'accompagne d'une amélioration de la structure, de la facilité de l'infiltration de l'eau (Leprun, 1988).

La MO augmente la CEC des sols en plus de constituer un réservoir de nutriments assimilables pour la végétation. Lorsqu'elle se décompose, la MO relâche les divers nutriments sous forme d'ions, les rendant ainsi disponibles pour la végétation. Enfin, la matière organique animale et végétale constitue la principale source d'énergie et de carbone pour les organismes du sol. L'activité biochimique du sol serait impossible sans ces apports (Brady et Weil, 2008).

Les constituants organiques du sol proviennent de la décomposition de la matière organique végétale, animale et bactérienne. Ces substances sont en constante évolution dans le sol et sont transformées par divers processus géochimiques à travers le temps. Comme elle joue un rôle majeur sur les propriétés du sol, il est important que la matière organique soit constamment renouvelée (Brady et Weil, 2008). D'ailleurs, la matière organique est un important indicateur de fertilité et de qualité des sols, c'est pourquoi ce paramètre est souvent le premier mesuré lors de l'étude d'un sol et de son écosystème (Paré, 2011).

La MO du sol, principalement composée de carbone, sera en partie transformé lors des réactions d'oxydation au contact de l'oxygène. Cependant, c'est la transformation par les organismes décomposeurs qui est le processus biochimique le plus important pour la transformation de la matière organique au sol (Legros, 2007 ; Paré, 2011).

Divers processus chimiques, physiques et biochimiques peuvent protéger la matière organique du sol de la décomposition. Les phénomènes d'adsorption (c.-à-d. fixation des composés organiques sur les argiles et les limons) et d'agrégation (c.-à-d. assemblage des constituants organiques en agrégats) sont les principaux processus chimiques et physiques

retardant la transformation des composés organiques.

(Paré, 2011).

S'accompagne d'une amélioration de la structure, de la facilité de l'infiltration de l'eau, de l'accroissement de la capacité de la rétention en eau, ainsi que du pouvoir de résistance à l'érosion (Leprun, 1988).

1.3 Propriétés des matières organiques

Tableau 1 Propriétés de la matière organique

Type de MO	Fonctions
Matière organique vivante : végétaux et animaux vivants	Transformation/minéral
Matière organique fraîche : débris végétaux et animaux	Substrat énergétique et croissance/fertilité chimique
Matière organique transitoire : matières évoluées (cellulose réduite, lignine, protéines)	Substrat énergétique/fertilité physique (structure du sol)
Matière humique : lignine, cellulose, matières azotées microbiennes	Fertilité physique (stabilité à long terme)

Un sol prend naissance dès lors que la vie végétale et animale vient s'installer dans les débris de la décomposition d'une roche mère. A la mort de ces êtres vivants, leur matière s'incorpore au sol, se mélangeant aux substances minérales. Ils représentent alors les « constituants organiques » ou « matières organiques » (SOLTNER, 1988). Par rapport à une approche plus fonctionnelle, nous pouvons classer différents types de matières organiques pour différentes fonctions (**Tableau 1**).

1.4 Rôle de la matière organique dans le sol

Les MO jouent un rôle important dans le fonctionnement global du sol au travers de ses composantes physiques, biologiques et chimiques, qui ont des conséquences majeures pour la fertilité des sols.

Tableau 2 Le rôle chimique de la matière organique du sol (Mackiewicz, 2005)

	Action	Bénéfice
Rôle chimique = nutritif	Dégradation, minéralisation	Fournitures d'éléments minéraux (N, P, K, oligo-éléments...)
	CEC	Stockage et disponibilité des éléments minéraux
	Complexations ETM	Limitation des toxicités (Cu par exemple)
	Rétention des micropolluants organiques et des pesticides	Qualité de l'eau

1.5 Origines de la matière organique

La M.O du sol comprend l'ensemble des résidus des La M.O du sol comprend l'ensemble des résidus des organismes vivants, animaux et végétaux incorporés dans le sol, sans tenir compte de leur état de décomposition (Koull, 2007).

Les fumiers contiennent des quantités plus ou moins importantes de M.O d'origine animale, mélangées ou non à des litières (paille, sciure, copeaux...). Ces produits ont une double valeur agronomique en tant que fertilisants azotés, phosphorés et potassique et aussi comme amendement organique et basique (Koull, 2007).

Tableau 3 Caractéristiques du fumier des bovins et des ovins

Caractéristiques du fumier	Valeurs	
	Fumier bovin	Fumier ovin
MS (%)	34,12	41,11
pH eau (1/5)	6,83	6,39

CE à 25°C (1/5) (dS/m)	13,59	14,17
M.O (%)	69,81	57,32
C (%)	40,59	33,21
N total (%)	1,57	1,48
C/N	25,85	22,43
Na ⁺ (ppm)	87,50	90,00
K ⁺ (ppm)	57,50	60,00
Ca ⁺⁺ (ppm)	26,42	61,00
Mg ⁺⁺ (ppm)	41,96	23,08
Cellulose (%)	11,00	24,00
Composés humiques totaux (%o)	-	21,40
Acide humique (%o)	-	14,85
Acide fulvique (%o)	-	6,55
(Source : Koull, 2007)		

L'efficacité agronomique du fumier résulte de sa composition chimique, sa forte teneur en M.O et l'apport convenable en éléments fertilisants surtout (N, P, K) qui varie selon l'espèce animale.

I.6 Types des matières organiques

La Mo du sol est constitué 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 cité par Koull, 2007). Ces substances nouvelles reconstruites à partir de certaines M.O transitoires et certaines matières minérales (Soltner, 2003 cité par Koull, 2007).
- Les composés biochimiques tels que les acides organiques, sucres, lipides et polysaccharides (Morrill et al, 1982, Gary et al, 1994 cité par Koull N, 2007).

I.6.1 Le fumier

Le fumier est composé généralement de litière végétale et de déjections animales. Les sous-produits d'élevage sont une source valorisable pour fertiliser les sols. Ils contiennent des macronutriments et des micronutriments permettant la croissance des plantes mais aussi l'amélioration de la structure et de la qualité du sol (Bresson *et al.* 2002).

Le fumier améliore la fertilité du sol en agissant sur ses propriétés physico-chimiques et biologiques. Il provoque la réduction de la densité apparente des sols. Cette diminution est attribuée à l'augmentation de la porosité totale du sol. L'apport du fumier permet la rétention de l'eau nécessaire au développement des plantes et des microorganismes. Aussi, le fumier permet de

lutter contre les phénomènes de ruissellement et d'érosion En outre, cette fumure est souvent plus efficace que la fertilisation minérale (Konan,2014).

I.6.1.1 Caractéristiques générales des fumiers

L'état de l'animal, la nature de la litière, la ration alimentaire, la fertilisation pratiquée par l'agriculture, les soins apportés à sa conservation, son état de décomposition sont les principales causes de la variation de la composition des fumiers

(Source ; Mohamed abed, 2020). Les caractéristiques chimiques de différents types de fumiers sont illustrées dans le tableau suivant :

Tableau 4 Caractéristiques de différents types de fumiers (Weill et Duval, 2009)

Type de fumiers ou lisiers	Matière sèche	Densité (t/m ³)	N (kg/t)	P ₂ O ₅ (kg/t)	K ₂ O (kg/t)	NH ₄ ⁺ (%)	C/N
Bovin laitiers –fumier Solide	21	0,80	5,7	3,6	5,3	31	16,6
Bovin laitiers – lisier	5	1	3,1	1,5	3,4	52	10,8
Bovin de boucherie (Élevage intensif)-fumier	27	0,75	7,1	4,4	6	–	–
Ovins-fumier solide	25	0,62	11	5	14	–	–

I.6.2 L'humus

L'humus est la MO transformée par voie biologique, chimique et incorporée à la fraction minérale du sol, avec laquelle elle contracte des liens physique, chimique, plus ou moins étroits.

Par extension le mot humus désigne en écologie l'ensemble de la matière organique du sol, y compris les résidus d'origine végétale peu transformés et incomplètement incorporés au sol. Il est avec l'eau le garant de la fertilité du sol. Il joue le rôle d'une éponge fixant 10 à 50 fois sa masse en eau c'est l'humus en sens strict. En effet, c'est lui qui assure la rétention de l'humidité nécessaire à la croissance des plantes (Vigneron, 1967).

I.6.3 Le lisier

C'est le mélange de déjections solide et liquide, avec ou sans litière. Il a un rôle réduit sur l'entretien humique du sol. Sa composition est très variable selon le type d'animaux, le lisier a un rôle surtout dans la fertilité chimique du sol. (Adas, 1993)

I.6.4 La litière

Elle est généralement de nature végétale sous forme de débris (feuilles, rameaux, fruits, graines, et exsudats racinaires et foliaires) (Duchaufour, 1984). Elle est plus ou moins biodégradable selon les espèces végétales installées. On parle de litière améliorante riche en azote et de litière acidifiante, qui se décompose plus difficilement. Les premières, activent la vie microbienne ; les secondes, la dépriment (Bonin, 2006).

I.7 Actions de la matière organique sur les propriétés chimiques du sol

Les M.O contribuent classiquement à la fertilité chimique des sols. Elles sont une réserve d'éléments nutritifs, principalement pour l'azote, le phosphore et le soufre (Koull, 2007).

Elles sont connues dans leur ensemble par leur minéralisation, une source d'aliments de certains éléments nutritifs et la facilité de leur utilisation suite à la libération par oxydation de l'humus et de gaz carbonique. Selon Duthil (1973), cette décomposition progressive est doublement intéressante : D'une part, elle s'étale sur la quasi-totalité de la période de végétation, ce qui correspond bien à une alimentation régulière et continue et évite des pertes par lessivage ou par insolubilisation. D'autre part, elle apparaît « complète » que la destruction microbienne des débris végétaux en libère aussi bien N, P, K, Ca, S que d'autre élément moins connus ou moins évidents Mg, Zn, B, Cu, Fe, Al, Si, etc. Les colloïdes humiques augmentent la capacité d'échange du sol dont un gramme fixe environ 5 fois plus de cations qu'un gramme d'argile. Cette propriété rend la M.O dans certains milieux comme les sols sableux, la principale réserve des bases disponibles (K^+ et Ca^{++}) (Koull, 2007).

I.8 Le dépendage des matières organiques sur le sol

I.8.1 Définition de la d'épandage

L'épandage est l'action de répandre dans les champs des matières présentant un intérêt agronomique. Le terme « épandage » est utilisé quelles que soient les matières épandues dans le sol : engrais ou amendements minéraux, matières organiques brutes ou transformées.

Lorsque l'on considère le retour au sol des déchets organiques, on envisage l'épandage avant tout comme un apport de produits bruts, notamment non compostés. La filière "épandage" concerne donc avant tout l'épandage direct de déchets organiques non transformés. Elle est encadrée par de nombreux textes réglementaires dans les domaines de l'eau et des déchets (Anonyme 2019).

I.8.2 Types d'épandage des engrais

Selon (Bliefert et Perraud, 1997) l'épandage des engrais peut être différencié entre :

- **L'épandage organique** : utilisation de compost, de fumier (ovin ou bovin etc..) , de purin, de résidus de récoltes comme la paille ou les feuilles, de lisier, de boues d'épuration, etc.
- **L'épandage minéral** : utilisation de composés contenant de l'ammonium, des phosphates, du calcaire et autres.
- **L'épandage d'engrais verts** : ajout de plantes vertes par les engrais agricoles et utilisation de compost de résidus de plantes

I.8.3 Techniques du d'épandage des matières organiques sur le sol

Il est important pour l'agriculteur de choisir la meilleure technique du dépendage de MO pour amélioration du sol.

On à distinguons trois techniques :

- MO au ras du sol :

La MO être ajouté à la surface du sol à la main ou avec une machine spéciale

- MO au en fausser (fausse) : On creuse un trou à la surface du sol à la main ou avec une machine spéciale, puis on enterre la matière organique
- MO incorporation (mélange + sol) labour la surface du sol puis ajouter MO et mélanger avec le sol (Mohamed abed, 2020).

I.8.4 Les avantages de l'épandage sont d'ordre pratique et économique :

- pratique car sa mise en œuvre ne nécessite pas d'investissement autre que celui d'un épandeur, et parfois d'un équipement d'entreposage ;
- économique car il permet un retour direct des déchets organiques au sol, sans coût supplémentaire généré par une quelconque transformation préalable, sauf parfois le séchage pour diminuer la teneur en eau initiale du produit (Mohamed abed, 2020)

I.9 Les Facteurs effet à la teneur du sol en matière organique

I.9.1 La température :

Le tableau ci-dessous montre sur l'évolution de la matière organique du sol

Tableau 5 Effet de température sur la teneur de MO dans le sol*(Source ; Mohamed abed, 2020)*

La température	Effet de température à teneur de MO dans le sol
Moyenne	L'augmentation de la température entraîne une diminution de la teneur du sol en MO, (augmentation l'activités des micro-organismes et décomposition la MO)
très	La température très élevée entraîne une oxydation de la matière organique et sa transformation en matériaux inutiles la plante
fable	La teneur en matière organique du sol ne change pas dans des conditions froides

I.9.2 Humidité du sol et la précipitation

Une augmentation de l'humidité du sol et une augmentation de la quantité de précipitations entraînent une augmentation de la teneur en MO du sol, et par contre la pluie et fable la MO est faible, en particulier dans les régions arides et semi-arides. (Mohamed abed, 2020)

I.9.3 Agriculture

L'agriculture continue entraîne un manque de MO du sol, et diminution de la teneur en sol Sur tout en l'absence de fertilisations par les engrais organiques ou chimiques ou engrais végétaux (Mohamed abed, 2020)

I.9.4 Érosion du sol

Selon Mohamed abed, (2020), L'érosion hydrique et l'érosion éolienne entraînent une baisse de la teneur en MO du sol.

I.10 Importance des matières organiques

I.10.1 Sur le sol

- Amélioration des propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol, et amélioration leur aération.

- Augmentation de la capacité de la rétention de l'eau, en particulier sur tous les sols sableuse
- Elles stimulent l'activité biologique, étant à la fois source d'énergie et d'éléments nutritifs pour les organismes du sol (Robert, 2002 ; Citeau et al. 2008)
- La facilité de l'infiltration de l'eau (Leprun, 1988).
- Augmentation de la capacité d'échange cationique (FAO, 2008).
- Améliorer leur fertilité
- Augmenter de la teneur du sol, en divers éléments nutritifs lorsque la décomposition de la MO est terminée, les éléments (azote, phosphore, potassium)
- Lorsque la MO se décompose, elle produit de nombreux acides organiques et du CO₂ qui se dissout dans la solution du sol en formant de l'acide carbonique. Ces acides dissolvent les nutriments présents dans le sol, notamment (phosphore, fer, zinc, manganèse et cuivre) et le rendre plus absorbant par les racines des arbres. (Robert, 2002 ; Citeau et al. 2008)

I.10.2 Sur la plante

- la matière organique favorisant le développement des végétaux cultivés et naturel (Leprun, 1988).
- La présence de la MO contribue à une bonne nutrition des espèces cultivées, ce qui se traduit par l'augmentation des rendements et l'amélioration de la production (Piccolo, 1996).
- la résistance aux agents érosifs et par conséquent affecte la croissance et le développement des cultures (Piccolo, 1996).

I.10.3 Sur environnement :

La matière organique joue un rôle environnemental capital en participant à contrer le phénomène de désertification et en diminuant, lorsque ses teneur augmente dans les sols, le dégagement de gaz carbonique pouvant rejoindre l'atmosphère (FAO, 2008).

II Chapitre II : Généralités sur les sols gypseux

II.1 Introduction

Les régions arides et sahariennes, sont caractérisées par des sols gypseux calcaires et salins, qui ont une influence défavorable sur les propriétés physico-chimiques, notamment la disponibilité et l'absorption des éléments minéraux nécessaires pour la vie végétale (F.A.O, 1994).

Selon Halitim, (1988) Les principaux types des sols dans les régions arides sont :

- Les sols gypseux
- Les sols calcaires
- Les sols salés.
- Les sols peu évolués
- Les sols à formation éolienne
- Les sols colluvionaires

Sols Gypseux

II.2 Définition :

Selon Pouget, (1968), le gypse est un minéral qui répond à la formule suivante $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. C'est la forme la plus répandue de sulfate de calcium dans le sol.

Les sols gypseux pouvant influencer les propriétés physiques et chimiques du sol et affecte la croissance des plantes et la production des cultures. Ils sont plus représentés dans les zones sèches (Boyadjieva et Verheye.1996).

II.3 Origine du gypse dans les sols

II.3.1 Origine géologique

Le gypse peut être contenu dans le substrat géologique (sédiment et roches). (Kadri, 1987). L'origine du gypse en quantité importante dans les sols est en relation avec la présence de roches sédimentaires gypseuses (Baize et Girard, 2008).

II.3.2 Origine hydraulique :

L'eau qu'elle soit souterraine ou superficielle, contenant l'ion calcium et l'ion sulfate dissous, peut donner naissance à un dépôt gypseux par l'effet de l'évaporation et de concentration (Pouget, 1968). L'eau d'écoulement de montagne est la première source de gypse pour le sol (Toomanian et al, 2001).

II.3.3 Origine éoliennes

La contribution du vent à la formation des accumulations gypseuses a été étudiée par plusieurs chercheurs (Coque, 1962 ; Trichet, 1963 ; Pouget, 1968). Les croûtes résultant d'un saupoudrage intermittent de poussières surtout salines, diffusées dans l'atmosphère par le vent. La cimentation de ces dernières serait le résultat de l'infiltration des eaux pluviales dans les recouvrements éoliens.

II.4 Caractéristiques des sols gypseux

La présence de gypse dans le sol affecte la plupart de leurs propriétés causant des problèmes sévères d'ordre physiques, chimiques et des problèmes de fertilité (Mashali, 1996). Cependant, quand les particules de gypse sont présentes dans la couche superficielle, leur type, leur quantité, et leur degré de cristallisation a un impact profond sur les propriétés physiques et physico- chimique du sol et sur la croissance des plantes (F.A.O., 1990).

II.5 Les formes du gypse dans le sol

Il peut se présenter sous formes pulvérulentes, en pseudo mycélium, en amas, en nodules, en roses de sables, en encroûtements, en croûte massives ou en croûtes polygonales, et ce selon plusieurs auteurs notamment (Pouget, 1968 ; Dekkiche, 1974 ; Halitim, 1988 ; Bensaïd, 1999). Le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) est formé d'une solution aqueuse, ou de l'hydratation de l'anhydride (CaSO_4). Il se cristallise sous forme d'un prisme monoclinique et occupe finalement la forme d'un granulaire (alabastre), comme un agrégat fibreux (gypse salin, sélénite) où se rassemble comme une rose (rose de désert). (Boyadgiev et Sayegh, 1992).

II.6 Classification des sols en fonction du gypse

Comme toutes les régions arides à l'échelle mondiale, les sols présentent des taux très important de gypse qui est en relation avec la présence des roches sédimentaires gypseuses.

Le gypse dessous, transporté à l'état de solution dans les nappes et dans les couvertures pédologiques ; ou sous forme solide et transporté par le vent.

Tableau 6 Classification des sols en fonction du taux de gypse (C.P.C.S., 1967)

Gypse %	Nom de la classe
< 0,3	Non gypseux
0,3 – 10	Légèrement gypseux
10 – 25	Modérément gypseux
25 - 50	Extrêmement gypseux

II.7 Processus de la dissolution du gypse

Selon Elorza et Santollala, (1998), différents facteurs contrôlent les mécanismes de dissolution du gypse

II.7.1 Facteurs géologique

- **Facteurs lithologiques** : texture, la taille et la géométrie des cristaux et/ou particules, structure interne, porosité, la présence des composants non solubles.
- **Facteurs stratigraphiques** : l'épaisseur des formations gypseuses, les intercalations des composés non solubles, l'existence d'une couche de halite, la présence des aquifères adjacents.
- **Facteurs structural** : la structure des formations gypseuses, plaines discontinues et leurs caractéristiques géométriques (extension, largeur, densité, orientation).
- **Facteurs géomorphologiques** : configuration des reliefs, le temps de développement.
- **Facteurs hydrogéologiques** : le type d'écoulement (écoulement interstitiel, écoulement dans un aquifère adjacent), le régime d'écoulement (laminaire ou turbulent), le temps de résidence de l'eau dans le système karstique, la composition chimique de l'eau.

II.7.2 Facteurs environnementaux

Les facteurs environnementaux sont reliés au climat, particulièrement à la précipitation et à la température. Les systèmes karstiques développés dans le gypse sont très sensibles aux variations climatiques (Elorza et Santollala, 1998).

II.8 Fertilité des sols gypseux

Les sols gypseux, ont une basse fertilité, en raison du manque des précipitations et la faible teneur d'humus et en éléments nutritifs. La teneur élevée du gypse affecte la mobilité et la disponibilité de P, K, Mg, Fe, Mo, Zn pour les plantes (Florea et Al-Joumaa, 1998).

Les micro-éléments nutritifs, doivent être appliqués aux sols gypseux, quand ils ont en besoin. Le teste régulier de tel sol est nécessaire, pour connaître les éléments indispensables et leurs taux d'applications. Cependant, la couverture des insuffisances en micronutriments par l'addition de différents fertilisants est limité par certains facteurs tels que : le type de sol, les procédures de gestion de l'eau, les systèmes d'agriculture et reliée aux pratiques agronomiques et environnementales (Mashali, 1996).

II.9 Les propriétés chimiques des sols gypseux

II.9.1 Formes hydratées et déshydratées du sulfate de calcium

Le gypse est un sel soluble (sulfate de calcium hydraté) sa solubilité est de 2.6 g/l dans l'eau pure à 25°C et à une pression de 1 atmosphère (Herrero et Porta, 2000). Il constitue la forme la plus répandue du sulfate de calcium dans le sol (Eswaran et al, 1981).

II.9.2 Relation de solubilité

II.9.2.1 Solubilité du gypse dans l'eau pure en fonction de la température

Jauzein (1974), montre que la solubilité de gypse, bassanite et anhydrite, en fonction de la température.

II.9.2.2 Solubilité du gypse en présence des sels solubles

La présence de NaCl dans la solution peut augmenter considérablement la solubilité de gypse (Schreiber B. et Shreiber E., 1977). La solubilité de gypse augmente avec la présence des chlorures, particulièrement les chlorures de sodium et de magnésium. Les tableaux suivants expliquent la relation entre le gypse et les sels solubles.

II.9.2.3 Action du pH sur la solubilité du gypse

Le pH influe aussi sur la solubilité de gypse, en raison de l'attachement des ions H sur les anions SO₄. La solubilité est élevée à pH bas (Artieda et Herrero, 1996). Mais ce

phénomène ne peut guère intervenir car dans tous les sols gypseux étudiés le pH est toujours supérieur à 7 (Pouget, 1968).

II.9.3 Relation gypse calcaire

La plupart des sols gypseux contiennent le carbonate de calcium en différentes quantités, le gypse et le carbonate de calcium ne sont pas indépendants l'un de l'autre. Il est observé que quand la teneur de carbonate de calcium diminue, la teneur en gypse augmente. Ceci peut être dû en fait à la différence de solubilité entre les deux sels (Fao, 1990).

II.9.4 La capacité d'échange cationique(CEC)

Les particules de gypse ne possèdent pas de charge négative et par conséquent la CEC totale des sols gypseux diminue quand la teneur du sol en gypse augmente.

Dans la vallée de l'Ebro en Espagne, Poch (1992) montre que la CEC des sols gypseux étudiés est faible. Dans les horizons hypergypses, la CEC est faible variant de 1 à 8 méq/100g de sol. Poch a retrouvé une corrélation négative entre les teneurs en gypse et la CEC. Généralement, la CEC des sols gypseux dépend de la teneur en matière organique, de la texture, et du type de minéraux argileux. Selon Mashali (1996), la capacité d'échange cationique diminue avec l'accroissement des quantités de gypse

II.9.5 PH

Les sols gypseux présentent un pH modérément à légèrement alcalin (pH=7,4 – 9,4) (Boyadgiev et Verheye, 1996). D'après Jafarzadeh et Burnham (1992), c'est un paramètre qui dépend largement du taux des autres sels présents dans le système, et ne présente aucun effet sur la formation « in situ » du gypse.

II.9.6 Calcaire actif

La fraction de calcaire d'un sol capable de libérer assez facilement du calcium est appelée calcaire actif. Une terre peut être riche en calcaire total et relativement pauvre en calcaire actif. L'excès de calcaire actif nuit à certaines plantes. On considère généralement que des problèmes sérieux peuvent commencer à apparaître à partir de teneurs en calcaire actif voisines de 50 pour mille (Pousset, 2000).

II.9.7 Matière organique (MO)

Les classes d'appréciation de la teneur du sol en matière organique sont réalisées en fonction du taux d'argile. En effet, la matière organique améliore la structure et diminue l'érosion du sol, a un effet régulateur sur sa température, permet au sol de stocker davantage d'eau et représente aussi un milieu de culture pour les organismes vivants, contribuant ainsi à améliorer significativement la fertilité du sol (Mirsal, 2004).

II.10 Effet du gypse sur le sol

Les sols gypseux sont largement répandus dans les zones arides et semi-arides où la pluviométrie est insuffisante pour évacuer le gypse des profils.

Les milieux gypseux se caractérisent par leurs propriétés physiques et chimiques particulières

- une faible stabilité des agrégats.
- Une faible rétention en eau qui est sous la dépendance du taux d'argile d'une part et de la teneur et la dimension des cristaux du gypse d'autre part.
- La capacité d'échange cationique est diminuée avec l'augmentation des teneurs en gypse.

Les fortes teneurs en gypse ont un effet défavorable sur la croissance des plantes, cependant, le gypse en petites quantités à un effet bénéfique sur les propriétés physiques chimiques et biologiques des sols.

III CHAPETRE III : Le Compostage et le Compost

III.1 1- Définitions

III.1.1 Le compost

Le compost est un produit stable riche en humus issu de la décomposition rapide de toutes les matières organiques : fumiers, résidus de récolte, déchets agro-industriels, déchets animaux, déchets ménagers (MUSTIN, 1987). C'est une source importante de matière organique produite par la dégradation ou la décomposition de la matière organique fraîche par des micro-organismes (PETIT et JOBIN, 2005), d'insectes et de vers de terre (DUPLESSIS, 2002) dans des conditions bien définies.

III.1.2 Le compostage

Il existe plusieurs définitions assez voisines du compostage (MUSTIN, 1987; POITRAS et al., 2000; NOVA Envirocom, 2002; PAQUETTE, 2003; FRANCOU, 2003) qui permettent de le définir comme suit :

Le compostage est un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques d'origine végétale et animale, par une succession de communautés microbiennes évoluant en conditions aérobies, entraînant une montée en température, et conduisant à l'élaboration d'une matière organique humifiée et stabilisée. Le produit ainsi obtenu est appelé compost.

Le compostage est une excellente solution pour réduire et valoriser les déchets destinés à l'incinération ou à l'enfouissement. Ainsi, il réduit le coût du traitement des déchets ainsi que leur impact environnemental. (POITRAS et al., 2000).

III.2 L'équilibre dans le composteur

L'équilibre entre les quantités de verts riches en azote et de bruns riches en carbone est nécessaire pour obtenir un compost de qualité.

En cas de surplus d'azote dans le tas, une partie de cet élément sera perdu sous forme de gaz ammoniacal dégageant une odeur nauséabonde. Par contre, une surabondance de bruns ou de carbone empêchera le compost de s'activer (NOVA Envirocom, 2002).

III.3 Déchets composables et non composables

Le déchet est le résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation; c'est aussi toute substance, matériau ou produit ou, tout généralement, tout objet abandonné ou que son usage destine à l'abandon (MUSTIN, 1987).

Pour le compostage, seuls les déchets organiques fermentescibles et non pollués sont susceptibles d'être utilisables (cf. Tableau 7).

Tableau 7 Classification des déchets composables (MUSTIN, 1987)

Suivant la nature chimique	<ul style="list-style-type: none"> • Déchets organiques : riches en carbone ou en azote • Déchets minéraux : adjuvant du compostage
Suivant l'état physique	<ul style="list-style-type: none"> • Déchets solides, semi-solides et déchets liquides.
Suivant leur origine	<ul style="list-style-type: none"> • Déchets provenant de l'activité des ménages : ordures ménagères. • Déchets provenant de la distribution et des activités de services : déchets organiques des commerces agro-alimentaires. • Déchets de secteur primaire : <ul style="list-style-type: none"> ○ Déchets agricoles (fumier et lisier, résidus de récolte et de stockage...); ○ Déchets des industries extractrices (déchets de mines, de carrières...) • Déchets provenant du traitement de l'effluent liquide et gazeux : (boues de traitement des liquides et boues de traitement des cendres volantes).

III.4 Etapes de compostage

Le compostage passe obligatoirement par plusieurs étapes à savoir

III.4.1 Collecte des déchets

Dans la plupart des cas, la collecte est encore unitaire. Les déchets industriels, ménagers et même agricoles sont constitués d'un mélange de déchets divers ; le produit final collecté est hétérogène ce qui rend l'opération de tri nécessaire.

III.4.2 Préparation des substrats

III.4.2.1 Le broyage

Le broyage est une opération mécanique de réduction de la taille moyenne des particules permettant, d'une part, l'augmentation de la surface de contact entre la masse organique et les volumes lacunaires, donc la vitesse de fermentation (GENEST, 2002); et, d'autre part, l'élargissement de la distribution des tailles des particules (MUSTIN, 1987).

III.4.2.2 L'homogénéisation

Elle doit être assurée lors de la préparation des substrats hétérogènes, ou du mélange de divers constituants.

III.4.3 La fermentation

On peut distinguer les systèmes de fermentation à basses températures qui concernent les couches minces de substrat (le compostage de surface comme l'épandage du fumier, d'un mulch; ou dans le lombric compostage), et ceux à moyennes et à hautes températures qui correspondent à une montée significative en température (plus de 40-45°C) dans la masse du substrat (MUSTIN, 1987).

III.4.4 La maturité du compost

Cette phase correspond à la stabilité du compost brut obtenu après l'achèvement des phases thermophiles.

III.4.5 Le criblage et tamisage des composts

Le criblage a pour but l'élimination des matériaux grossiers, alors que le tamisage porte sur des fractions granulométriques plus faibles augmentant, par conséquent, les quantités de refus.

III.4.6 Le stockage et le conditionnement des composts

Le compost mûr doit être stocké sous abri dans un milieu ventilé et leur conditionnement regroupe les opérations d'emballage et de préservation des produits mis à la vente.

III.5 Principaux paramètres de compostage

III.5.1 La teneur en eau

Le taux d'humidité de la matrice du compost conditionne les échanges en oxygène et donc l'activité microbienne (DOMMERGUES et MANGENOT, 1970; DAVET, 1996).

Le manque de l'eau ralentit ou cesse complètement l'activité biologique. Par contre, leur excès provoque la diminution de l'oxygénation et le composteur dégage alors une odeur de pourriture.

Bien que les matériaux azotés (verts) contiennent déjà de l'humidité, mais parfois, cela ne suffise pas (NOVA Envirocom, 2002).

Le compostage optimal dans les premières phases est obtenu pour des valeurs de 30 à 36% d'espaces lacunaires dans la masse qui correspond à 60-70% d'humidité (MUSTIN, 1987).

III.5.2 Le pH

DOMMERGUES et MANGENOT (1970) notent que l'action du pH sur les micro-organismes dépend de leur tolérance vis-à-vis de ce facteur. De ce fait, on distingue quatre catégories de micro-organismes :

- **Les micro-organismes indifférents** : ils se développent dans une large gamme du pH, de 6,0 à 9,0 (nombreuses bactéries, champignons *Penicilliumaculeatum*, algues vertes...);
- **Les micro-organismes neutrophiles** : cette catégories de micro-organismes préfèrent un pH voisin de la neutralité ou même légèrement basique (azotobacter, nitrosomonas, nitrobacter, de nombreux actinomycètes...);
- **Les micro-organismes acidiphiles** : les milieux franchement acides sont les plus préférés pour ces micro-organismes (*thiobacillusthiooxidans* et *thiobacillusferrooxidans*) dont le pH optimal se situe entre 2,0 et 3,5.
- **Les micro-organismes basiphiles** : ils ne supportent pas des pH inférieur à 8,0 comme les bacilles décomposant l'urée.

III.5.3 La température

La température est le principal déterminant de la vitesse des réactions chimiques jouant un rôle dans la fluidité des membranes et des sucs cellulaires (DAVET, 1996). Dans ce contexte, chaque organisme est caractérisé par un minimum et un maximum de température (température létale). Cette température est optimale aux environ de 30°C. Elle peut entretenir une activité microbienne moyenne à 10-15°C. L'activité est pratiquement nulle à 0°C (SOLTNER, 2000).

III.5.4 L'aération

L'aération est un élément essentiel pour la réussite du compostage puisque l'oxygène est indispensable pour la survie des organismes décomposeurs.

III.5.5 Le rapport C/N

Les organismes décomposeurs ont besoin d'une bonne proportion de carbone, pour stimuler la réaction, et d'azote pour former les protéines et fonctionner efficacement : il s'agit du rapport C/N, paramètre décisif dans l'appréciation d'un compost (GENEST, 2002).

SOLTNER (1986), montre que ce rapport tend à baisser jusqu'à une valeur caractéristique du type d'humus formé. En fait, cette baisse varie selon les végétaux humifiés. Plus ce rapport est petit, plus l'absorption de l'azote est plus facile (SCHÖLL, 1998).

III.5.6 Les micro-organismes

Les organismes décomposeurs diffèrent selon les stades de la biodégradation, dont les bactéries sont les premières. Puis, les champignons, les actinomycètes, les protozoaires, les arthropodes et les nématodes prennent le relais et attaquent les résidus plus coriaces. Finalement, les insectes, les vers de terre, les fourmis, les mouches et les larves de mouches transformeront les nutriments contenus dans le produit pour les rendre accessibles aux plantes (NOVA Envirocom, 2002).

III.6 Evolution de la matière organique au cours du compostage

III.6.1 La minéralisation

La minéralisation est un processus fondamental dans la dynamique des éléments minéraux d'un écosystème sous influence des micro-organismes ; il se produit une minéralisation primaire et une autre dite secondaire (DUCHAUFOR, 1983 ; SANTA REGINA et GALLARDO, 1995).

- **La minéralisation primaire** : elle désigne la transformation des matières organiques fraîches en composés minéraux solubles (CO_2 , SO_4^- , PO_4^- , NH_4^+ , NO_3^- , etc.).
- **La minéralisation secondaire** : c'est un processus plus lent qui affecte les matières très polymérisées et colloïdales, solidement reliées aux composés minéraux (DUCHAUFOR, 1977).

III.6.1.1 La minéralisation du carbone

L'apport de matières organiques correspond à l'entrée d'un grand nombre de molécules carbonées en décomposition par les micro-organismes (ABIVEN, 2004).

D'après DOMMERGUES et MANGENOT (1970), les sources de carbone y sont soumises à la biodégradation subissant des transformations et conduisant à l'apparition de nouvelles molécules (CO_2) ou de composés organiques. Ainsi des sucres solubles dérivent de la cellulose, des acides organiques au cours de la fermentation des sucres, etc. La minéralisation de carbone comporte les quatre étapes suivantes :

- **L'organisation du carbone minéral (CO_2)** par les phototrophes ;
- **La consommation du carbone organique synthétisé** par des consommateurs herbivores puis carnivores ;
- **La décomposition de carbone organique** par des micro-organismes hétérotrophes dégageant le CO_2 ;
- **L'accumulation ou le stockage de carbone sous forme d'humus (humification).**

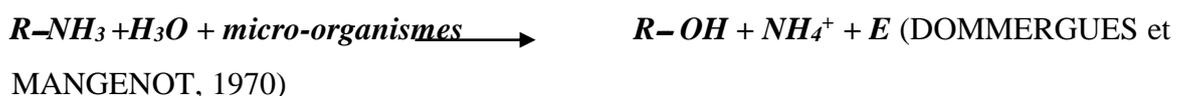
III.6.1.2 La minéralisation de l'azote

L'azote est généralement présent sous différentes formes :

- Formes minérales solubles: ammoniac, nitrates, oxyde d'azote
- Composés organiques solubles: urées, acides aminés;
- Organismes vivants: racines, micro-organismes animaux;
- Formes non solubles: matières organiques (organismes morts en décomposition, débris cellulaires, humus), ammoniac fixé sur les argiles.

La transformation de l'azote désigne le plus souvent les conversions entre ces formes (BOCKMAN et al. 1990). La minéralisation de l'azote passe à son tour par différentes étapes à savoir :

—**Ammonification** : c'est la transformation de l'azote organique en azote ammoniacal (DAVET, 1996) selon la réaction :



Le produit final reste toujours l'ammoniac sous forme libre NH_3 ou le plus souvent NH_4^+ (LAURENT, 1973). Ce processus est sous l'influence d'un grand nombre de bactéries et de champignons.

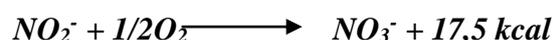
—**Nitrification** : elle désigne l'oxydation de l'azote ammoniacal en azote nitrique (NO_2^-) ou aussi en nitrates (NO_3^-) qui risquent d'être lessivés en cas de pluies (SCHÖLL, 1998).

On peut distinguer :

- **La nitritation ou nitrosation** : Cette oxydation est possible par les bactéries nitreuses (*Nitrosomonas europaea*) qui tolèrent les pH élevés et les fortes concentrations en azote ammoniacal (ZOUGARI, 1983). La réaction globale est la suivante :



- **La nitratisation** : les micro-organismes responsables de la nitratisation sont les bactéries nitriques. L'espèce la plus connue est *Nitrobacter winogradsky*. Les sels ammoniacaux influent sensiblement leur action et sont inactive à des températures $<5^\circ C$ et $>40^\circ C$, et aux $pH < 5$ et > 9 (ZOUGUARI, 1983). La réaction globale est :



—**La dénitrification** : la dénitrification est la réaction de réduction des nitrates en oxydes d'azote et en azote gazeux par les micro-organismes anaérobies (BOCKMAN et al., 1990; FNIE., 1985).

Certaines bactéries utilisent les nitrates comme sources d'oxygène dans les conditions d'anaérobies ou de l'asphyxie surtout dans les zones humides et inondées (SOLTNER, 2000). Cette anaérobiose est la cause la plus importante des pertes en azote (DIXON, 1986). Les bactéries qui provoquent ce processus peuvent être hétérotrophes (*Bacillus*, *Pyrocyanus*, *pseudomonasdenitrificans*, *Echerchiacoli*), ou autotrophes (*Thiobacillusdenitrificans*) (SUBBA RAO, 1988).

—**Immobilisation ou réorganisation de l'azote** :

L'immobilisation est la conversion ou la transformation de l'azote inorganique en azote organique (AHMED et al., 1969; SOLTNER, 2003).

Les deux processus antagonistes, minéralisation et immobilisation, constituent le cycle interne de l'azote (CALLEJA, 1971).

III.6.2 L'humification des matières organiques

L'humification consiste en une construction de nouvelles molécules de plus en plus grosses et polymérisées à partir des molécules plus ou moins simplifiées obtenues par décomposition des matières végétales ou animales (DOMMERGUES et MANGENOT, 1970; NKU NDIKIDJ-DESSAUX et al., 1976; SOLTNER, 2000).

L'humification n'est pas due uniquement à l'activité biologique, des agents physiques et des réactions chimiques en sont également responsables (SOLTNER, 2003).

On distingue deux grandes classes d'humus : les humus hydromorphes et les humus aérés. Les deux classes sont subdivisées en plusieurs types : hydromull, hydromoder, hydromor et anmoor, pour la première. Mull, moder et mor pour la deuxième (INRA, 1995).

III.7 Les différents types de compost

Selon l'origine des déchets à composter, on peut distinguer :

III.7.1 Composts d'origine urbaine

Les composts urbains sont élaborés d'une gamme hétérogène de matériaux composables pouvant être répartis en cinq catégories : déchets verts, ordures ménagères, ordures ménagères résiduelles, fraction fermentescible et boues de stations d'épuration urbaines (FRANCOU, 2003).

III.7.2 Les composts d'effluents d'élevage

Composter les effluents d'élevage est une pratique courante et ancienne. Le compost le plus courant est celui obtenu à partir de fumier de bovins, mais des composts de fumier d'ovins et de volailles sont également réalisés (LECLERC, 2001 *in* FRANCOU, 2003).

III.7.3 Les composts de déchets industriels et agricoles

Il s'agit principalement de déchets de sucreries de la filière betteravière pour les industries agro-alimentaires, et des déchets de papeteries (FRANCOU, 2003).

III.8 Les différents types de composteurs

III.8.1 Composteur de type commercial (en plastique)

La méthode de compostage la plus populaire et la moins dispendieuse. Elle consiste à utiliser un récipient carré ou rond, souvent fabriqué en plastique recyclé et couramment appelé composteur domestique (NOVA Envirocom, 2002).

III.8.2 Composteur à plusieurs compartiments

C'est le système parfait pour les foyers qui génèrent beaucoup de déchets. Un travail facile d'aération et une activité accessible de récolte de compost fini doivent être présentés par ce système (NOVA Envirocom, 2002).

III.8.3 Composteur à faire soi-même

Ce type de composteur peut être fabriqué à partir de bois, de briques, de dalles de bitons, de vieilles caisses ou de poubelles en plastique (GENEST, 2002). L'aération reste la condition la plus importante à respecter (NOVA Envirocom, 2002).

III.8.4 Le tas à l'air libre ou le compostage en andain

Ce mode est le plus simple et le plus utilisé autrefois. Dans ce type, il vaut mieux bien couvrir le tas par des matériaux riches en carbone (paille ou de foin). Ce mode nécessite un suivi rigoureux de l'humidité (NOVA Envirocom, 2002). En Outre, il faut laisser un espace entre les andains pour faciliter le transfert et la récupération du substrat final (HUEBER, 2001).

III.9 Les avantages du compost

Le compostage permet d'exploiter un matériau en fin de vie et de le rendre utilisable. Le compost présente une série d'avantages :

Agronomiques (amendement), environnementaux (dépollution) et économiques (réduction

des intrants agricoles).

III.9.1 Avantages agronomiques

Elles peuvent être d'ordre physique, chimique ou biologique.

III.9.1.1 Amélioration d'ordre physique

Le compost améliore les propriétés physiques des sols en favorisant la formation d'agrégats, ce qui améliore la structure (NOVA Envirocom, 2002).

Stabilité structurale du sol

Contrairement aux fertilisants minéraux, les composts favorisent le développement et l'établissement d'une meilleure stabilité structurale (ABIVEN, 2004). Cet effet est essentiellement dû aux mucilages microbiens, aux filaments de champignons et aux polysaccharides issus de la décomposition de la matière organique (CANTIN, 2001).

Réchauffement

Le compost est similaire à l'humus (NOVA Envirocom, 2002) dont la couleur finale est foncée donc absorbant plus de l'énergie incidente. De ce fait, les sols amendés par le compost ont une tendance à se réchauffer plus rapidement (CANTIN, 2001).

Capacité de rétention en eau

Les matières organiques ont le pouvoir de stocker de l'eau. L'application du compost a également des effets bénéfiques sur la capacité de rétention en eau du sol (effet éponge), avantage recherché tout particulièrement pour les régions arides.

III.9.1.2 Amélioration d'ordre chimique

- **Capacité d'échange cationique**

La capacité d'échange cationique augmente en général avec l'apport du compost (CANTIN, 2001). Il est considéré comme une source importante en éléments nutritifs (N, P et K) et également en oligoéléments (NOVA Envirocom, 2002). Dans ce contexte, le compost a un effet favorable sur la fertilité du sol (MEMENTO DE L'GRONOMIE, 2002).

Effet sur le pH

Le compost à pH basique tend à augmenter le pH des sols acides en raison des bases échangeables (Ca, Mg, K et Na), et à diminuer les risques d'exportation des métaux vers la plante en plus de son effet tampon dans le sol (FRANCOU, 2003).

- **Disponibilité des éléments**

Le compost est considéré comme une réserve d'éléments nutritifs qui les libère après incorporation par la minéralisation (CANTIN, 2001).

III.9.1.3 Amélioration d'ordre biologique

Le compost stimule l'activité biologique du sol. Les micro-organismes du sol trouvent dans le compost une source de nutriments indispensables pour leur croissance et leur développement. En Outre, le sol profite de milliards de micro-organismes diversifiés inoculés par l'apport du compost. Enfin, le compost contribue efficacement à l'accroissement de la biodiversité du sol par la phytoprotection des plantes contre certaines infections et par la lutte contre les mauvaises herbes (MUSTIN, 1987; CANTIN, 2001).

III.9.2 Avantages environnementaux

L'application du compost diminue le volume de résidus organiques à éliminer aux sites d'enfouissement ou dans les décharges.

Par le compostage, il est possible de limiter ou de diminuer le taux de biogaz, notamment, le gaz de méthane impliqué dans l'effet de serre (63 fois plus dommageable que le dioxyde de carbone produit lors du compostage) et qui se produit par la fermentation anaérobie dans les sites d'enfouissement (NOVA Envirocom, 2002).

En outre, les eaux de lixiviation formées par la dissolution des métaux lourds et des autres composés dangereux (huiles souillées) dans des acides produits lors de la fermentation anaérobie des matières organiques, constituent une source importante de pollution. Ces eaux, par contre, lors du compostage peuvent être recyclées et réutilisées pour humidifier le tas (HUEBER, 2001).

De plus, l'atmosphère est certainement influencée par le carburant des milliers de camions qui transportent des milliers de tonnes de déchets (NOVA Envirocom, 2002). Enfin, il faut signaler que le compostage est une bonne solution pour le traitement des boues résiduaires afin de les désinfecter et de les valoriser, surtout, en agriculture (PERRIN et IMPENS, 1995; FAC, 1995).

III.9.3 Bénéfices économiques :

Les bénéfices économiques liés à la pratique du compostage sont :

- L'allègement des décharges ;
- La diminution des coûts de collectes, de transport et d'élimination des déchets ;

- La réduction des coûts des engrais de synthèse ;
- La pratique du compostage est une source d'emploi.

Chapitre IV : Matériels et méthode

IV Travail de terrain :

L'essai est effectué au niveau de la palmeraie de Haddoud, elle comporte 1200 palmiers dont 83 % de la variété Dgolet-Nours. Les palmiers sont plantés sur un sol gypseux irrigué par un forage capté à 450 mètre de profondeur, l'eau présente une salinité de 3,4 dS/m.

IV.1.1 Dispositif expérimentale :

Pour mieux évaluer l'impotence de différentes techniques dépendant de MO habituellement, pratiquées au Ziban un épandage d'un compost (MO d'origine végétale à partir d'un broya de palmes sèches) est réalisé au niveau de trois palmiers de dattes Déglét-Nour par trois techniques différentes :

E₁ : Représenté l'épandage du compost au ras du sol (sur le sol) du palme.

E₂ : Représenté le compost incorporé (entière) à 40cm de la profondeur du sol.

E₃ : Représenté le compost enfoui avec pour une couche du sol de 40 cm.

Pour mieux apprécier, également l'effet du compost sur les paramètres du sol, une comparaison est effectuée avec un sol marqué par un amendement de MO d'origine animale (ovin) (T₁) et un autre dépourvu de matière organique (T₂). L'épandage de l'essai T₁ est effectué par enfouissement dans le sol.

Les palmiers expérimentaux d'une vingtaine d'année n'ont reçu aucun apport organique, durant les trois dernières années. L'apport organique est réalisé sur une surface de 2 m² à l'intérieur du Dair (fosse de plantation) du palmier de 10m² avec une dose de 40 Kg par palmier. La dose recommandée par ITDSA est de 30 tonnes par hectare soit 144 palmier. Les apports de MO végétale et animale sont effectués le 09/02/2023. Le compost est confectionné dans l'entreprise Palme-compost, situé à la commune de Chetma.

IV.1.2 Echantillonnage

L'échantillonnage est effectué chaque trente jours au cours des mois de Mars, Avril et Mai. Un échantillonnage du sol est réalisé dans une deux profondeurs de (0-20cm) et (20-40cm) le choix des profondeurs est conduit par les profondeurs des racines respiratoire et de la nutrition du palmer dattier (Figure 1).



Figure 1 Prélèvement des échantillons par la tarière (photo originale).

IV.2 Travail Au laboratoire :

IV.2.1 Préparation du sol :

Une fois les échantillons sont ramenés au laboratoire, ils sont séchés dans l'étuve pendant 24h, puis broyés et tamisés à 2mm (Figure 2)



Figure 2 Le sol tamise 2mm (photo originale).

IV.2.1.1 Analyses effectués

Après tamisage, les analyses effectuées sont :

IV.2.1.2 Détermination du pH

Par pH mètre type HANNA - OHAUS

- Peser 20 g du sol dans un bécher de 100ml et ajouter 100 ml d'eau distille
- Agitation pendant 2 heures
- Filtration
- Mesuré par la solution du sol par pH mètre



Figure 3 Détermination du pH type HANNA - OHAUS (photo original).

IV.2.1.3 Détermination de la conductivité électrique

Par conductimètre type HI 8733

La conductivité électrique, mesurée par le conductimètre avec le rapport sol/ eau est de 1/5 à 25°C.



Figure 4 mesure CE par conductimètre type HI 8733 (photo original).

IV.2.1.4 Dosage de gypse :

Réactifs : Acétone

Mode opératoire :

_ Peser 1g du sol, mettre dans un bécher de 1L, ajouter 500ml d'eau distillée, agiter pendant une heure, puis filtrer.

Prélever 20ml, mettre dans un godet de la centrifugeuse, ajouter 20ml d'acétone concentré, puis centrifuger à 3000T pendant 5min.

Jeter la solution et ajouter encore dans le godet 10ml d'acétone puis centrifuger à 3000T pendant 5min puis jeter la solution.

_ Ajouter 40ml d'eau distillée dans le godet, mélanger avec une spatule et laisser en contacte pendant 10min.

_ Mesurer la conductivité électrique de la solution.

Calcul:

Le taux de gypse est calculé par l'utilisation de la courbe standard qui relie la concentration de sulfate de calcium avec la CE.

Calcule:

CaSO ₄ (méq/l)	Conductivité électrique à 25°C (dS/m)
1.0	0.121
2.0	0.226
5.0	0.500
10.0	0.900
20.0	1.584
30.5	2.205

$$y = 0.0705 A + 0.118 \quad \text{donc} \quad A = \frac{y - 0.118}{0.0705} \quad R^2 = 0.9942$$

L'expression utilisée pour calculer le taux de gypse dans l'échantillon est la suite :

$$\text{Gypse\%} = \frac{A \text{ méq CaSO}_4}{1000 \text{ ml}} * \frac{B \text{ ml}}{C \text{ ml}} * \frac{1}{D \text{ g/ml}} * \frac{0.086 \text{ g}}{1 \text{ méq gypse}} * 100$$

A : méq CaSO₄ calculer de l'équation $A = \frac{y - 0.116}{0.0705}$.

B : volume de H₂O pour apporter tout le précipité dans la solution 40ml.

C : volume de l'aliquote ; 20ml.

D : rapport sol/eau ; 1/500.

Tableau 8 Relie la concentration de sulfate de calcium avec la CE

IV.2.1.5 Calcaire totale

La mesure du calcaire total est effectuée par Calcimètre de Bernard.

-Peser 1g du sol et introduire dans un erlenmeyer du calcimètre, ajouter 0,3ml d'HCl (50% ,10ml HCl +10ml d'eau distillée).

-Poser le tube d'HCl avec précaution dans calcimètre, verser sur le sol qui va dégager CO₂.

- Abaisser l'ampoule du calcimètre jusqu'à ce que le niveau d'eau dans cette dernière soit au même niveau horizontal avec celle de la colonne puis lire le volume (V).

-Faire les mêmes étapes pour CaCO₃ pure (0.25g) et prendre le volume (V').



Figure 5 mesure calcaire totale (photo original).

$$\text{CaCO}_3\% = \frac{V \cdot 0.3}{V' \cdot P}$$

V : volume de CO₂ dégagé

V' : volume de CO₂ dégagé du CaCO₃ pure

Echelle de classification du sol calcaire :

1% : non calcaire

1-5% : peu calcaire

5-25% : modérément calcaire

25-50% : fortement calcaire

50-80% : très calcaire

>80% : électivement calcaire

2.2.5. Calcaire Actif

Matériel utilisé

- Fiole de 1000ml
- Bécher de 500 et 100ml
- Agitateur

Préparation des solutions

- Oxalate d'ammonium (0.2N) :
Peser 28.4g d'oxalate d'ammonium +1l d'eau distillée, mais on a besoin de 60g/l.
- Acide sulfurique : 40ml concentré.
- Permanganate de potassium (0.2N) :
Peser 25.5g dans 1l d'eau distillée.
- Peser 5g du sol +250ml d'oxalate l'ammonium, agitation pendant 2h, filtration.
- Prendre 25ml du filtrat, ajouter 5ml H₂SO₄ avec agitation et chauffage puis titration par permanganate de potassium jusqu'à l'apparition de la couleur rose persistante, prendre le volume (N).
- **Pour le témoin**
- 25ml d'eau distillée +5ml H₂SO₄+agitation, chauffage puis titration ; prendre le volume(N').

Calcul

$$\text{CaCO}_3 = (N' - N) \cdot 5$$

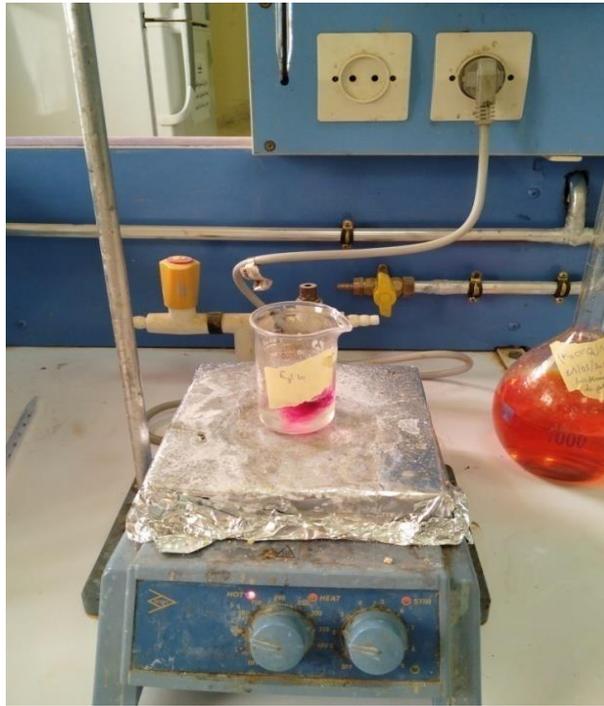


Figure 6 Détermination de calcaire actif (photo original).

IV.2.1.6 Dosage de la matière organique dans le sol :

Par méthode Walkley et Black.

Matériel utilisé :

- bécher de 500 ml
- Fiole de 1000 ml
- Agitateur

Réactifs utilisés

-Le bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) 1N : peser 49,04g de $K_2Cr_2O_7$, ajouter de l'eau distillé dans une fiole de 1L jusqu'à le trait de jauge.

-Acide sulfurique concentré (H_2SO_4)

-Acide phosphorique (H_3PO_4) concentré

-Sulfate de fer d'ammonium ($(NH_4)_2 SO_4 \cdot Fe SO_4 \cdot 6H_2O$) 0,5M : dissoudre 196g de sulfate de fer d'ammonium dans une quantité d'eau distillé, ajouter 5 ml H_2SO_4 , ajouter l'eau distillé jusqu'à un litre (trait de jauge de la fiole 1L)

-Diphénylamine (indicateur coloré) $(C_6H_5)_2NH$: dissoudre 1g de Diphénylamine dans 100ml d'acide sulfurique concentré.

Mode opératoire

-Peser 1g de la matière végétale dans un bécher de 500 ml

-Ajouter 20 ml de Le bichromate de potassium 1N

- Ajouter 10 ml d'Acide sulfurique concentré

-Laisser reposer 30min

-Ajouter 200 ml d'eau distillé

-Ajouter 10 ml Acide phosphorique H_2SO_4 concentré

-Ajouter 10-15 gouttes de Diphénylamine

- Prendre 50 ml du solution

-Titrer avec Sulfate de fer d'ammonium jusqu'à l'apparition d'une couleur verte.

-Préparer un témoin avec la même méthode mais sans matière végétale



Figure 7 Dosage du Carbone organique (photo originale)

Calcul

$$C\% = \frac{n' - n/p}{1} * 0,3 / 0,77$$

n' : volume de témoin

n : volume de titrage

p : poids du sol

Echelle de richesse

≤ 1 : très pauvres

1 à 2 : pauvre

2 à 4 : moyenne

$4 \geq$: riche

IV.2.1.7 Capacité d'échange cationique CEC

Matériel utilisé :

- Par centrifugeuse à 3000 t/min à 10 min.
- Bécher de 1000ml

Préparation de la solution d'acétate de sodium

Peser 82.03g d'acétate de sodium dans un litre d'eau distillée +agitation dans un bécher d'un litre.

Préparation de la solution d'acétate l'ammonium

Peser 77.04g d'acétate d'ammonium dans un litre d'eau distillée +agitation.

Préparation de l'échantillon

-Peser 5g du sol et le mettre dans des tubes de centrifugeuse

+20ml d'éthanol et les poser dans la centrifugeuse 3000 tr/min pendant 10 min et jeter la solution (répétition 3 fois).

-Ajouter 50ml d'acétate de sodium (1N) et les mettre dans la centrifugeuse 3000 tr/min pendant 10 min 3 Fois solution a spectromètre a flamme pour

recupérer la solution pour les cations K, Mg, Ca échangeable. Laver à l'éthanol (3fois) et jeter la solution. Ca et Mg sont dosés par compléxométrie

Ajouter au culot 50ml d'acétate d'ammonium à 3 reprises (50ml, 50ml, 50ml), doser la « CEC »dans cette solution par le dosage du Na.

-Peser 5g du sol.

-Ajouter (50ml, 50ml, 50ml), x3 d'acétate d'ammonium pour le dosage du sodium échangeable.

- **Dosage de sodium Na⁺ échangeable :**

Par photomètre à flamme type JUNWAY PFP

La lecture de l'échantillon du CEC:

$$\text{CEC} = \frac{R \cdot S}{5} \cdot \frac{100}{1000}$$

S : poids du sol

R : résultat en méq du Na.

V : volume de l'extraction (150ml)

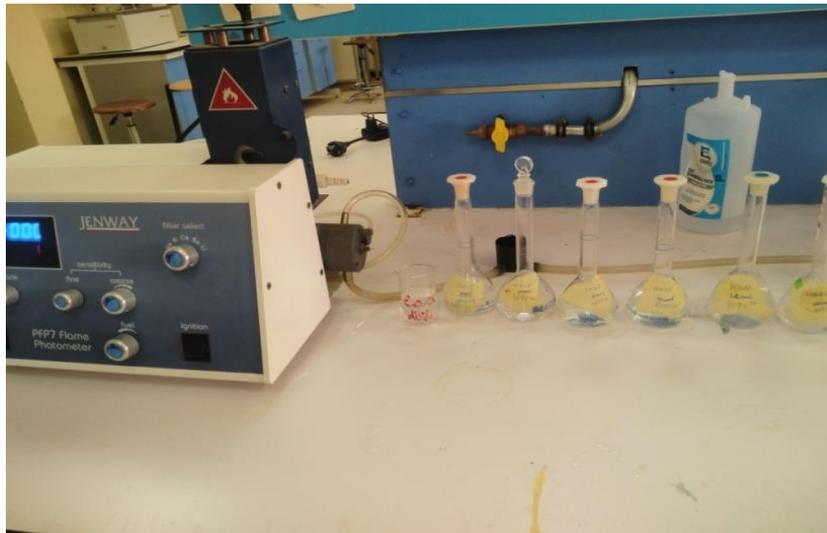


Figure 8 Dosage de sodium Na⁺ échangeable (photo original).

V CHAPITRE V: Résultat et Discussion

V.1 Evolution de la conductivité électrique du sol

L'analyse des valeurs de la CE (**Figure 9** et **Figure 10**) montre que le horizon de surface est plus salé que l'horizon souterrain pour l'ensemble de échantillons analysés.

IL est à noter, aussi, que le sol marqué par l'absence de la MO présente les CE le plus importantes. La salinité augmente dans le temps et in situ, les valeurs obtenues montrent une forte salinité du sol, elle varie de 14.2 dS/m pour atteindre 19.6 ds/m

Cependant, on note que les échantillons du sol caractérisés par les apports organiques (compost végétale ou fumure d'ovin) présentent des valeurs 4 à 5 fois plus faibles que le timon (**T₂**) ceci confirme le rôle des apports organique pour la lutte contre la salinisation du sol.

Dans ce contexte, on signale que l'épandage du compost au ras du sol (surface du sol présente une salinisation plus élevée que celle obtenue par enfouissement et incorporation du compost. En effet ces deux dernières techniques montrent des CE similaires à celles obtenues après l'épandage de la fumure ovin (**T₁**) pour l'horizon de la surface. Les résultats obtenus après épandage de la MO d'origine végétale et animale sont respectivement entre (3,2 et 5,4 dS/m) (3,8 et 4,3 dS/m) ; (2,9 et 4,9 dS/m) et (1.36 et 4.1 dS/m).

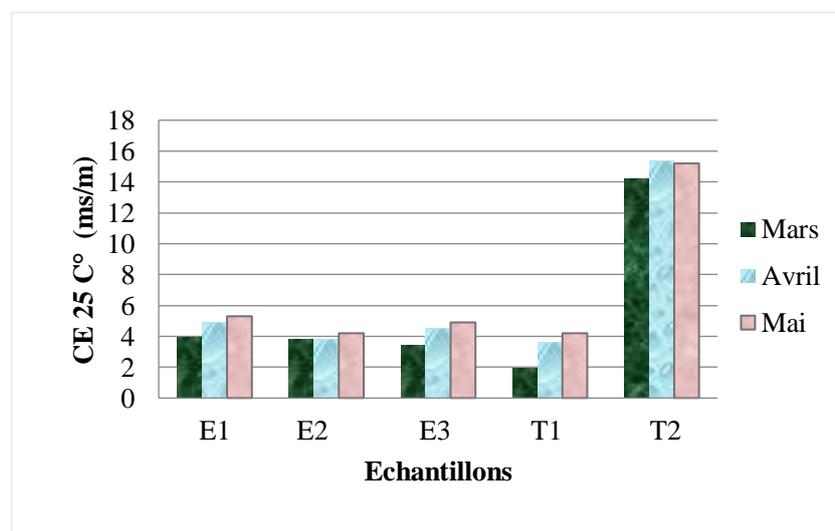


Figure 9 Variation de la conductivité électrique de la couche de surface (0-20 cm)

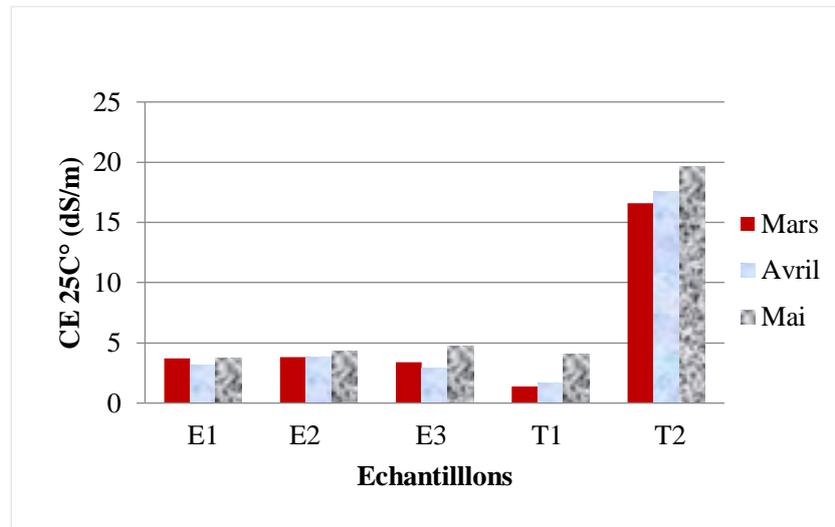


Figure 10 Variation de la conductivité électrique de la couche de profondeur (20-40 cm)

V.2 Evolution de réaction des sols (pH des sols)

L'examen des **Figure 11** **Figure 12** illustre que les amendements organiques quelle que soit son origine induisent un abaissement des pH, ce qui renforce les résultats rapportés par la bibliographie. Cependant le sol dépourvu en MO présente des pH du sol légèrement alcalin où les pH varient de 7.82 et 8.07. Cette valeur indique la concentration des carbonates de sodium responsable de l'augmentation des pH.

Aussi, on note que le compost et la fumure animale enfouie montre des pH similaires qui tendent vers la neutralité pour la couche de surface, alors que l'épandage au ras du sol aussi que l'enfouissement du compost produisent des pH de sol plus basique.

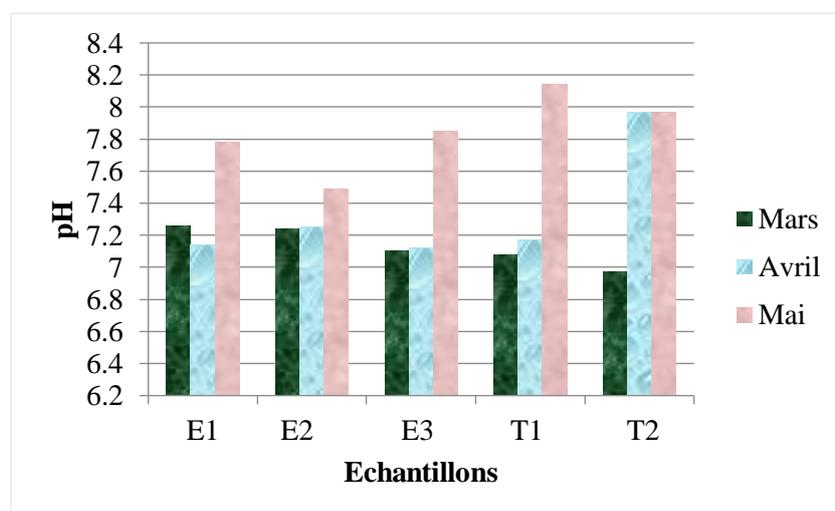


Figure 11 Variation des pH du sol de la couche de surface (0-20 cm)

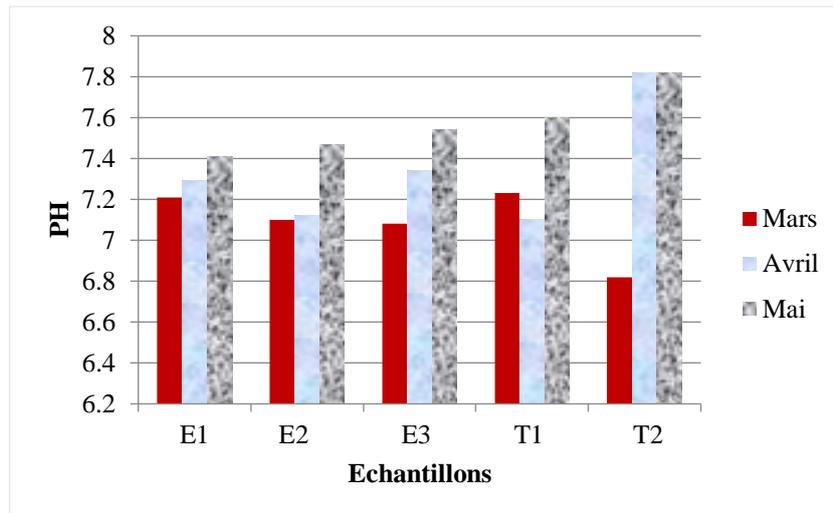


Figure 12 Variation pH du sol de la couche de profondeur (20-40 cm)

V.3 Evolution de la matière organique (MO)

Les **Figure 13** **Figure 14** montrent que le sol dépourvu en MO présente les teneurs le plus faible en MO. De même, on note que la technique d'épandage du compost à la surface du sol présente des teneurs plus importantes en surface ainsi que ce sol présente des teneurs similaires à celles du sol dépourvu en MO de 1, 2 à 1,5 %.

Ace propos, on signale que la minéralisation du compost à la surface du sol est très faible. Les teneurs en MO sont similaires pour les trois différentes techniques d'apport du compost avec un taux à l'ordre de 2,5 %. La technique d'enterrement du compost montre un apport de MO à l'ordre de 2,4 à 2,8 % tandis que, une faible minéralisation de ce compost est noté, malgré trois mois d'épandage.

Enfin, il est à signaler que la technique d'enfouissement de la MO d'origine végétale ou animale présente une minéralisation plus importance comparativement au deux autre techniques. A ce sujet l'enfouissement du compost semble présente une meilleure bio-décomposition que le fumier d'ovin dans les deux couches du sol, là où on note

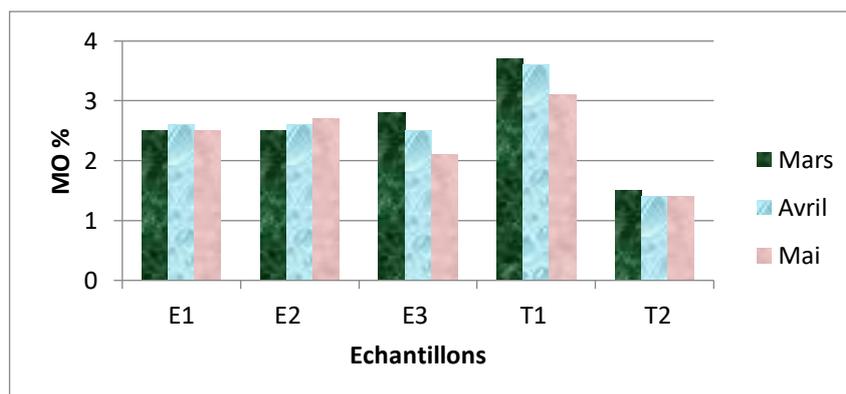


Figure 13 Evolution de la matière organique du sol de la couche de surface (0-20 cm)

respectivement une biodégradation de MO de 0,7 % pour la premier et entre 0,1 et 0,6 % pour la seconde fumure.

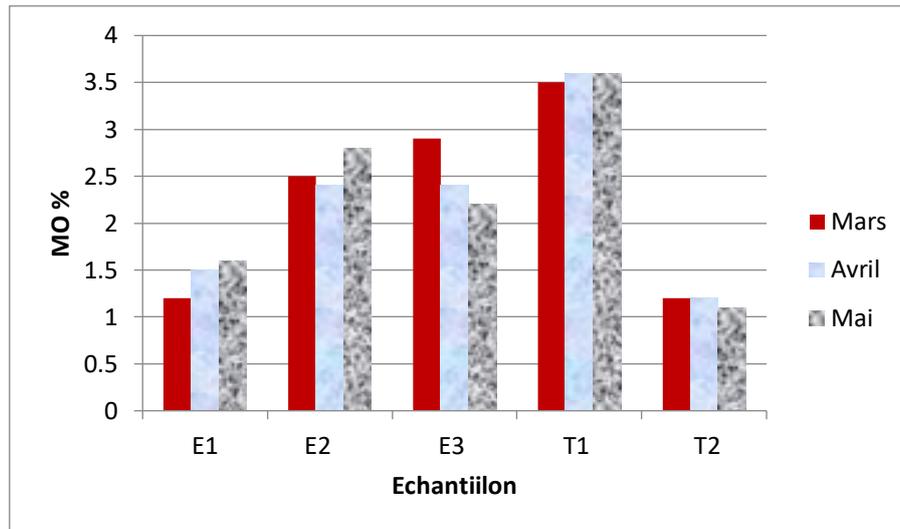


Figure 14 Evolution de la matière organique du sol de la couche souterraine (20-40 cm)

V.4 Evolution de la teneur du gypse

L'analyse des **Figure 15** et **Figure 16** ci-dessous ne montrent aucun effet des techniques d'épandage et de la nature de la MO végétale ou animale sur le taux gypse. Les teneurs $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ sont au delà de 80%, elles montrent la nature gypseuse du sol expérimental.

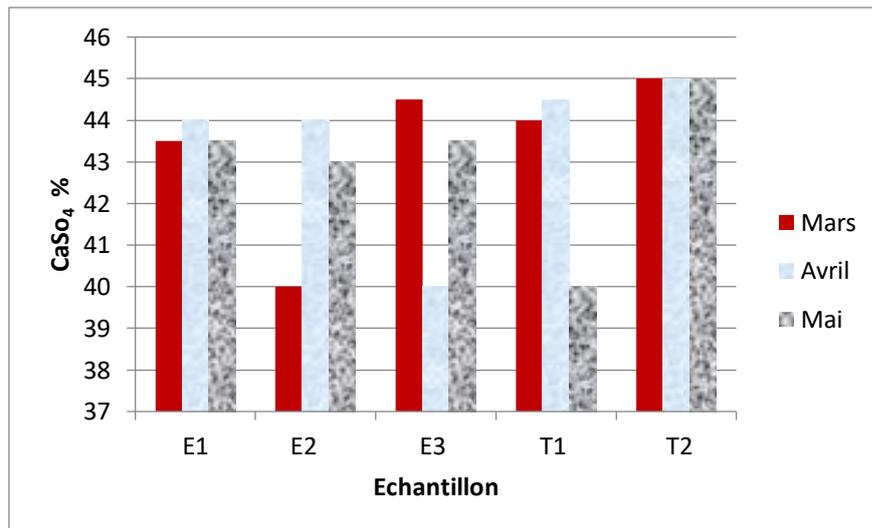
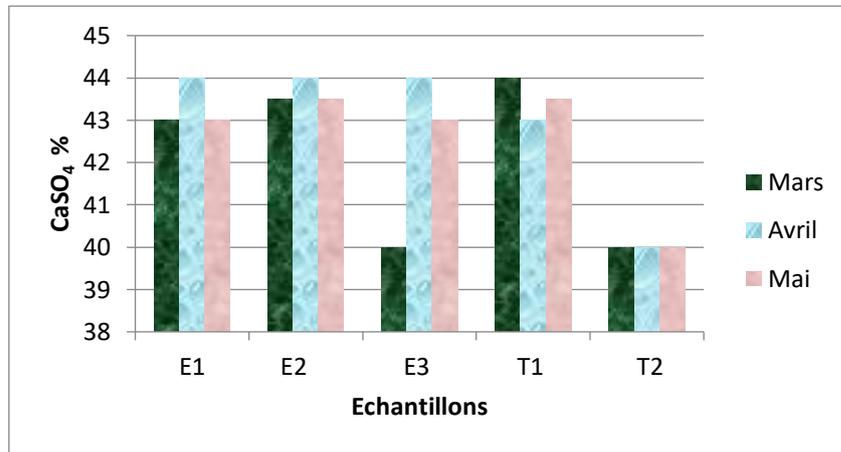


Figure 16 Evolution de la teneur de gypse de la couche de profondeur (20-40cm)

V.5 Evolution de la teneur calcaire totale et actif

Selon les **Figure 17****Figure 18****Figure 19****Figure 20** ci-dessous, les teneurs de calcaire total obtenues sont au dessous de 10%, ceci montre l'effet de calcaire comme un cation commun ente le $\text{CO}_3\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ et CaCO_3 , en effet toute augmentation des taux de gypse se traduit par une diminution de la teneur en calcaire.

Les techniques d'épandage et la matière organique ne montre aucune effet sur la teneur de CaCO_3 . l'augmentation de taux de calcaire semble être lié à l'irrigation agricole.

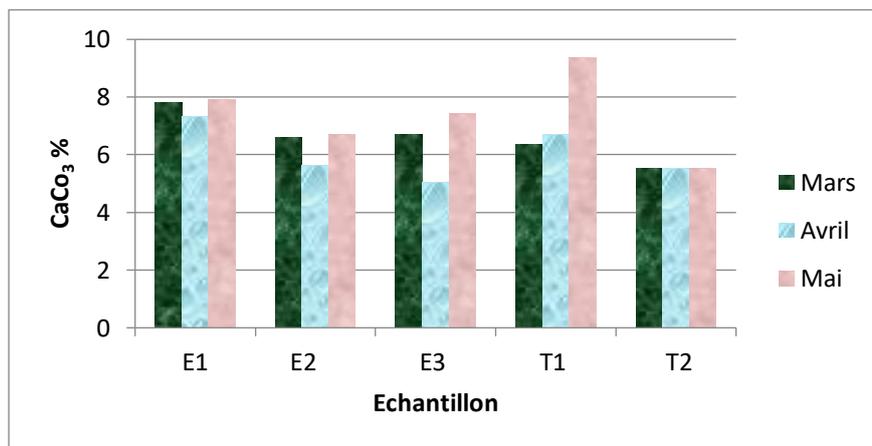


Figure 17 Evolution de la teneur de en calcaire totale de la couche (0-20cm)

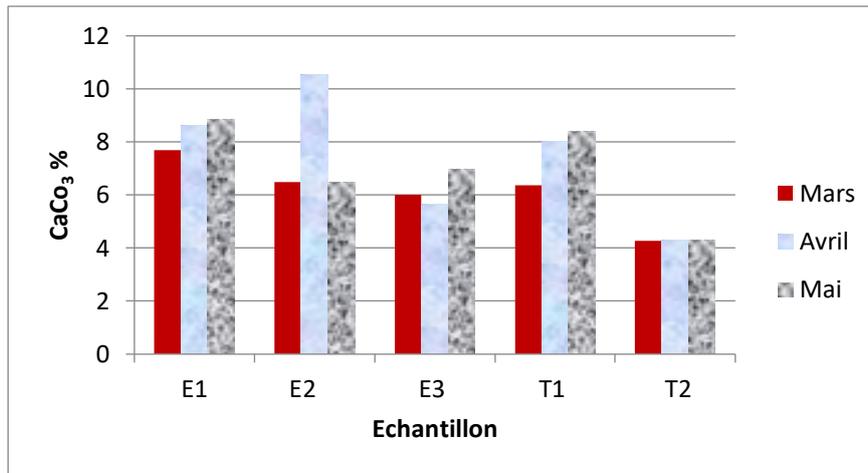


Figure 20 Evolution de la teneur de en calcaire totale de la couche (20-40cm)

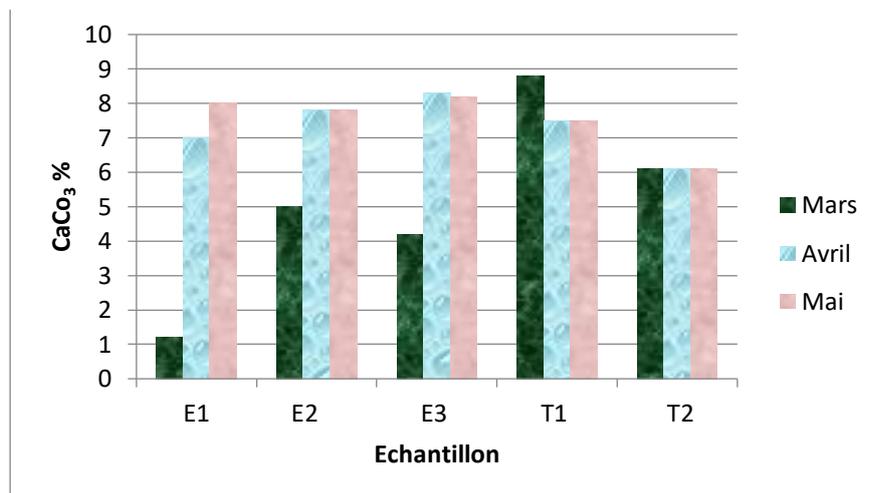


Figure 19 Evolution de la teneur de calcaire actif de la couche (0-20cm)

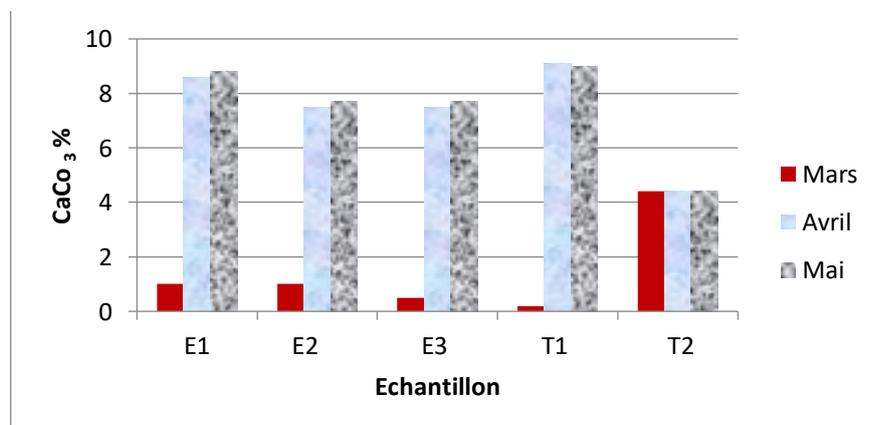


Figure 18 Evolution de la teneur de calcaire actif de la couche (20-40cm)

V.6 Evolution de la capacité d'échange cationique (CEC)

L'examen de les **Figure 21** **Figure 22** montre que les couches de sol dépourvu de MO présentent les capacités d'échanges cationiques (CEC) les plus faibles. Les valeurs varient entre 5,56 et 7,63 méq/100g su sol. Alors que l'épandage de MO d'origine végétale ou animale induit une augmentation de la CEC du sol.

La technique d'épandage du compost par enfouissement présente les valeurs les plus importante qui sont à l'ordre de 10 à 11 méq/100g du sol à la fin de l'expérimentation.

Enfin, il est à noté que les meilleurs résultats de la CEC montre une fertilité moyenne du sol alors que les CEC inférieures à 10 méq/100g du sol comme indice de fertilité faible.

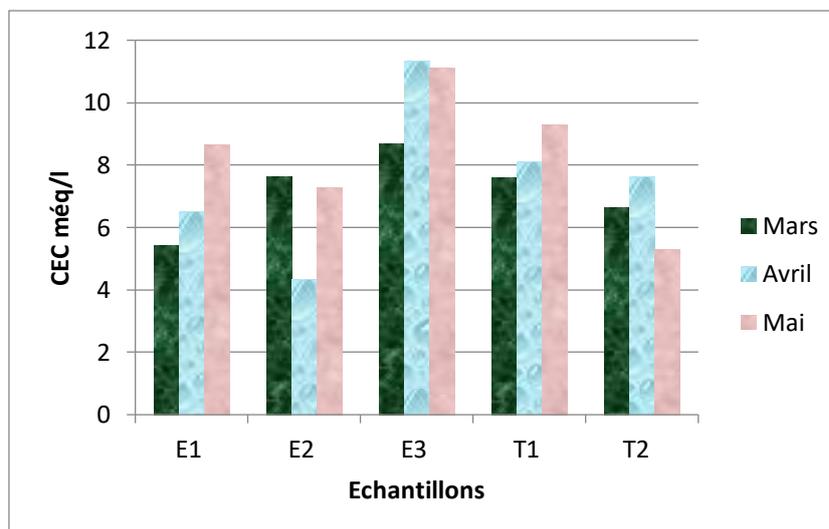


Figure 21 Evolution de CEC de la couche de surface

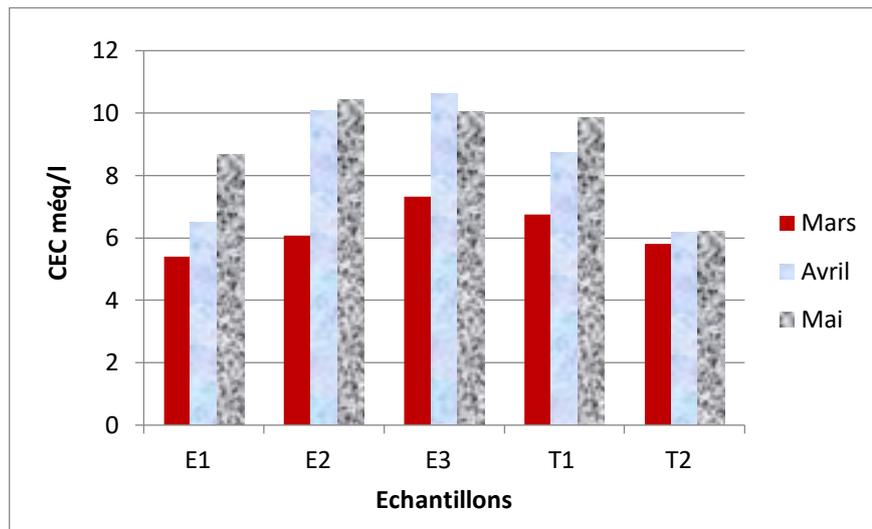


Figure 22 Evolution de CEC de la couche de profondeur (20-40cm)

V.7 Evolution du sodium soluble du sol

L'analyse des **Figure 23** **Figure 24** ci-dessous n'illustre que le sol dépourvu en MO présente les taux de sodium échangeable les plus importantes avec des teneurs qui varient entre 22 et 24 még. Ce valeurs restent constate au cours de l'essai expérimentation, cependant, on note une nette régression de sodium après l'épandage du compost par les différences techniques.

En effet la diminution du sodium par l'épandage de compost est similaire à celle obtenue par épandage de la fumure d'ovin. Les résultats obtenus semblent être expliqué par une fixation du sodium par le nombre de charge négative libérée par le compost.

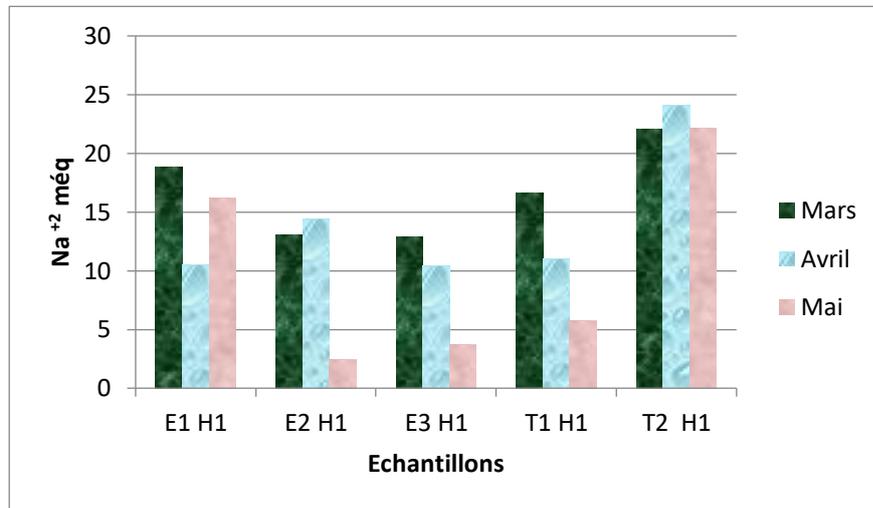


Figure 24 Evolution de sodium de la couche de surface (0-20cm)

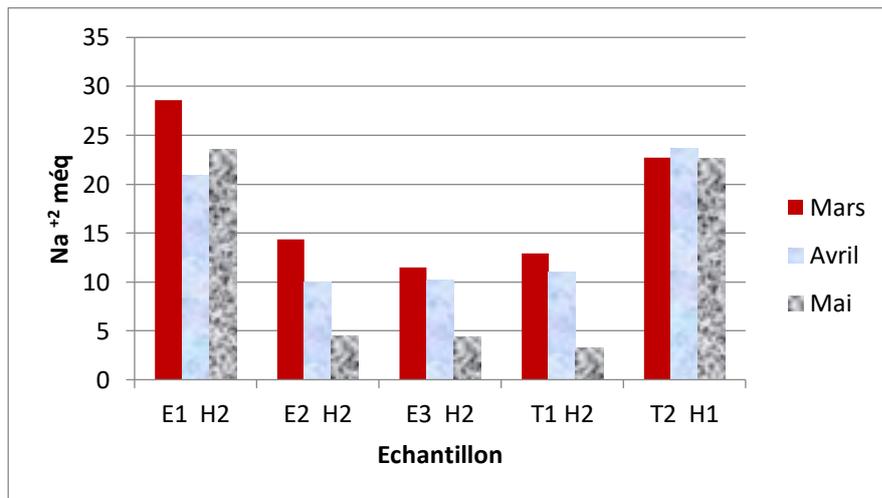


Figure 23 Evolution de sodium de la couche de profondeur (20-40cm)

Conclusion Générale

Conclusion générale

Le présent travail a pour objet l'évaluation de l'effet de différentes techniques d'épandage du compost d'origine végétale, habituellement pratiquées dans les palmeraies des Ziban, sur propriétés chimique d'un sol gypseux des oasis des Ziban.

Les principaux résultats obtenus montrent l'importance des apports organique (compost et fumier ovin) comme un moyen de lutte contre la salinisation des sols. Ainsi, l'épandage du compost au ras du sol présente les teneurs les plus élevés en sels comparative aux deux autres techniques du compost par enterrement ou par enfouissement. L'épandage du compost présente des résultats de désalinisation du sol, matérialisés par la fixation de sodium soluble sous forme échangeable.

Les résultats montrent l'effet bénéfique de l'apport organique d'origine végétale ou animale dans la diminution du pH. Dans le contexte des sols des climats arides, les symptômes de mal nutrition sont induits par l'augmentation de pH, en effet l'épandage du compost par enfouissement montre des résultantes de pH qui tend vers la neutralité.

En effet, l'enterrement et de l'épandage du compost au ras du sol ne montrent aucune minéralisation, ceci renforce l'importance de remaniement du compost avec le sol renfermant une biomasse microbienne capable de bio décomposition de la MO. Cependant la technique d'enfouissement du compost présente une bonne minéralisation de la MO matérialisée par une perte de 0,7 % ce ci consolide le rôle de la biomasse microbienne du sol dans transformation biologique du compost d'origine animale

Effet on note que les techniques d'amendement et la nature de la MO ne montre aucun effet sur l'évolution des taux de gypse et du calcaire actif et totale

Dans le but de mieux comprendre l'importance des techniques d'amendement organique du compost et ses effets sur les paramètres du sol gypseux en milieu oasisien, d'autres études sont indisponibles.

Annexes

Tableau 9 Mesures de la conductivité électrique du sol

CE 25°C (dS/m)	E ₁ H ₁	E ₁ H ₂	E ₂ H ₁	E ₂ H ₂	E ₃ H ₁	E ₃ H ₂	T ₁ H ₁	T ₁ H ₂	T ₂ H ₁	T ₂ H ₂
Mars	3,9	3,7	3,8	3,8	3,4	3,4	1,9	1,37	14,2	16,6
Avril	4,9	3,2	3,8	3,8	4,5	2,9	3,6	1,7	15,4	17,6
Mai	5,3	3,7	4,2	4,3	4,9	4,7	4,2	4,1	15,2	19,6

Tableau 10 Mesures de pH

pH	E ₁ H ₁	E ₁ H ₂	E ₂ H ₁	E ₂ H ₂	E ₃ H ₁	E ₃ H ₂	T ₁ H ₁	T ₁ H ₂	T ₂ H ₁	T ₂ H ₂
Mars	7,26	7,21	7,24	7,1	7,08	7,08	7,08	7,23	6,97	6,82
Avril	7,74	7,09	6,85	7,12	7,12	7,34	7,17	7,1	6,97	6,82
Mai	7,78	7,41	7,49	7,47	7,85	7,54	8,14	7,6	6,97	6,82

Tableau 11 Mesures de la matière organique

MO %	E ₁ H ₁	E ₁ H ₂	E ₂ H ₁	E ₂ H ₂	E ₃ H ₁	E ₃ H ₂	T ₁ H ₁	T ₁ H ₂	T ₂ H ₁	T ₂ H ₂
Mars	2.5	1.2	2,5	2,5	2,8	2.9	3.7	3,5	1,5	1,2
Avril	2.6	1,5	2.6	2,4	2,5	2.4	3.6	3.6	1,4	1,2
Mai	2.5	1,6	2.7	2.8	2.1	2.2	3.1	3.6	1,4	1.1

Tableau 12 Mesures du gypse

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ %	E ₁ H ₁	E ₁ H ₂	E ₂ H ₁	E ₂ H ₂	E ₃ H ₁	E ₃ H ₂	T ₁ H ₁	T ₁ H ₂	T ₂ H ₁	T ₂ H ₂
Mars	43	43,5	43,5	40	40	44,5	44	44	40	90
Avril	44	44	44	44	44	40	43	44,5	40	90
Mai	43	43,5	43,5	43	43	43,5	43,5	40	40	45

Tableau 13 Mesures du Calcaire totale

CaCO_3 %	E ₁ H ₁	E ₁ H ₂	E ₂ H ₁	E ₂ H ₂	E ₃ H ₁	E ₃ H ₂	T ₁ H ₁	T ₁ H ₂	T ₂ H ₁	T ₂ H ₂
Mars	7,8	7,68	6,6	6,48	6,72	6,0	6,36	6,36	5,52	4,28
Avril	7,32	8,64	5,64	10,56	5,04	5,64	6,72	8,04	5,53	4,29
Mai	7,92	8,86	6,72	6,48	7,44	6,96	9,36	8,4	5,54	4,30

Tableau 14 Mesures du Calcaire Actif

CaCO_3 %	E ₁ H ₁	E ₁ H ₂	E ₂ H ₁	E ₂ H ₂	E ₃ H ₁	E ₃ H ₂	T ₁ H ₁	T ₁ H ₂	T ₂ H ₁	T ₂ H ₂
Mars	1,2	1	5	1	4,2	0,5	8,8	0,2	6,1	4,4
Avril	7	8,6	7,8	7,5	8,3	7,5	7,5	9,1	6,1	4,4
Mai	8	8,8	7,8	7,7	8,2	7,7	7,5	9	6,1	4,4

Tableau 15 Mesure de la capacité d'échange cationique

CEC méq/100g du sol	E ₁ H ₁	E ₁ H ₂	E ₂ H ₁	E ₂ H ₂	E ₃ H ₁	E ₃ H ₂	T ₁ H ₁	T ₁ H ₂	T ₂ H ₁	T ₂ H ₁

Mars	5,41	5,8	7,62	6,08	8,67	7,33	7,6	6,75	6,62	5,8
Avril	6,51	5,56	4,33	10,07	11,33	10,63	8,09	8,74	7,63	6,18
Mai	8,66	5,73	7,26	10,44	11,12	10,05	9,29	9,86	5,28	6,2

Tableau 16 Mesures du Le sodium soluble dans le sol

Na ⁺ méq/l	E ₁ H ₁	E ₁ H ₂	E ₂ H ₁	E ₂ H ₂	E ₃ H ₁	E ₃ H ₂	T ₁ H ₁	T ₁ H ₂	T ₂ H ₁	T ₂ H ₁
Mars	18,8	28,62	13,07	14,36	12,89	11,46	16,65	12,92	22,1	22,69
Avril	10,51	20,86	14,44	10,03	10,45	10,21	11,03	10,96	24,1	23,7
Mai	16,22	23,6	2,43	4,49	3,71	4,35	5,77	3,3	22,12	22,68

E : Echantillon

H : Couche su sol

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Barriuso E., 1985 : Caractérisation des fractions organo-minérale et des constituants humiques d'un sol de pelouse sub-alpine thèse Doctorat. Université. De Nancy.

Bellahammou M.S, 2001. Effet des amendements organiques sur la structure des communautés de nématodes sur la culture de tomate dans la région de Touggourt. Mémoire de DEA, Université De BLIDA. 60 p

Bliefert C et Perraud R., 1997. Chimie de l'environnement : Air, Eau, Sols, Déchets. 1ère éd. Espagne. 477p.

BONIN G., 2006. Connaissance des sols- introduction à la pédologie. P10 ,11

Boughendjioua Z., 1998 : Evaluation quantitative des retombées de litière sous chêne liège (P.N.E.K) : Mémoire d'Ing. Ecol. I.S.N- Annaba.

Boyadgiev T.G., Verheye W.H., 1996. Contribution to a utilitarian classification of gypsiferous soil Géoderma 74, pp: 321-338.

Boyadgiev TG., et Sayegh AH., (1992): Forms and evolution of gypsum in arid soils and soil parent materials. Pedologie, 42, 2, pp 171-182.

Brady, N.C., Weil, R.R., 2007. The nature and properties of soils. 14th Edition, PrenticeHall, London, United Kingdom.

C.P.C.S., (1967): Classification des sols. Laboratoire de géologie pédologie de l'E.N.S.A. Paris, Grignon, 87p.

Chenu C., 2003, Comment caractériser les matières organiques du sol?, Actes des 6èmes rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de terre, G Thevenet L Faedy

DRIDI B.ET TOUMI C.,1998. Influence d'amendements organiques et d'apport de boues sur les propriétés d'un sol cultivé. Rev.Etude et gestion des sols ,6,1:7-14 Dubusc.954p.

Ed. Tec et Doc (3eme éditions, V1), 478p.

Eds., 107-117.

F.A.O, 1994: Management of gypsiferous soils. Soil resources, management and conservation service. FAO land and water development division. FAO soils bulletin 62

.Rome, 1990.Florea .N,AlJoumaa KH., 1998: Genesis and classification of gypsiferous soils

F.A.O., (1990): Management of gypsiferous soils. F.A.O. Soils? Bulletin, 62 p 81.

Halitim A., (1988): Les sols des régions arides d'Algérie. Ed. it, O.P.V., Alger, p 345.

Herrero J., et Porta J., (2000): The terminology and the concepts of gypsum rich soils. Geoderma 96. pp 47-61.

Inkel M., De Smet P., Tersmette T et Veldkamp T. 2005. La fabrication et l'utilisation de composte. Ed. Agronomisa. 73p

Jafarzadeh, A., Burnham, C.P., 1992. Gypsum crystals in soils. J. Soil Sci. 43, 409–420.

Jauzein A., (1974): Les données sur le système $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ et leurs implications géologiques.

Konan K.E., 2014. Test de quelques traitements sur l'entomofaune inféodé à la culture de la courgette (*Cucurbita pepo* L., Cucurbitaceae) dans la région de la Mé au Sud de la Côte d'Ivoire.

KOULL N., (2007) – Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région de Ouargla. Mémoire de Master, Univ. Kasdi Merbah Ouargla, 92p..

Leprun J.C. 1988. Matière organique et conservation des sols, exemple brésilien. Cahier OROSTOM, série pédologie. Vol. XXIV. N°4. pp 333-334.

Loué., 1970. SCP le document technique n °7 de la fumure et qualités. 5p.

Mackiewicz P., 2005 : Fertilisation de la vigne Un point sur les préconisations (Fiche3)

- Mackiewicz P., 2005 :Fertilisation de la vigne Un point sur les préconisations (Fiche3)
- Mashali A.M., (1996): Soil management practices for gypsiferous soils. A review. Proc. Int. symposium on soils with gypsum.Lleida, Catalonia, Spain. of the middleeuphrates floodplain. Syria .geoderma , volume 87. Issue 1-2, pp 67-85.
- Mémoire de MasterI de Protection des Végétaux et de l'Environnement, Université Nangui Abroguoua, 30p
- Mustin M., 1987.Le compostage, gestion de la matière organique, Dubusc Ed, 954 p.
- organiques : fumiers et composts ». Manuscrit du guide de la ferme maraichère biologique et diversifiée. 19p.
- Paré, M.C., 2011. Organic matter quality in cryosols: Effect on soil nitrogen dynamics and greenhouse gas emissions. Ph D thesis, Saskatchewan University, Saskatoon, Canada.
- Petit et Jobin., 2005. La fertilisation organique des cultures, 48p
- Piccolo, A., 1996: Humic Substances in Terrestrial Ecosystems. Amsterdam, Elsevier.
- Pouget M., (1968): Contribution a l'étude des croutes et les encroutements gypseux de nappe dans le sud Tunisien. Cah. ORSTOM, Serie. Pedol. 6, pp 309-365.
- Revue geogr. Phys. Geol. Dyn 2 a Serie. Vol XVI (2), pp 151-159.
- Robert M., 2002, La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres. Rapp sur les ressources en sols du monde, Ed. FAO. 59p.
- Schreiber B. et Shreiber E., (1977): The salt that was. Geology 5pp 527-528.
- Vigneron J., 1967. L'arrosage et les propriétés physiques du sol. Ingénieur au service des sols à la C.N.A.B.R.L bas Rhône Languedoc,29 p.
- VIGNERON J., 1967. L'arrosage et les propriétés physiques du sol. Ingénieur au service des sols à la C.N.A.B.R.L bas Rhône Languedoc.29p.
- Vilain M., 1997, La production végétale, volume 1 : les composantes de la production,

Paris,

Weill A et Duval J., 2009. Module 7. Amendement et fertilisation- Chapitre 12 « Les amendement

ZEGELS A., 2012. Composter les déchet organique, Guide des bonnes pratiques pour la transformation des déchets de cuisine et de jardin, Claude DELBEUCK,DGARNE 15, Avenue Prince de Liège- 5100jambes, SPW, ISBN9778- 2-8056-0109-5.