

Table des matières

DEDICACES	1
REMERCIEMENT	2
RESUME	3
LISTE DES FIGURES	7
LISTE DES TABLEAUX	8
INTRODUCTION GENERALE :	9
CHAPITRE I. GENERALITES SUR LE MILIEU PHYSIQUE ET DESCRIPTION DE SITE DE L'ETUDE & INCIDENCES DES AMENDEMENTS ORGANIQUES SUR L'ETAT PEDOLOGIQUE DU SOL ET SA FERTILITE PHYSIQUE ET CHIMIQUES	11
I. GENERALITES SUR LE MILIEU PHYSIQUE ET DESCRIPTION DE SITE DE L'ETUDE	12
1.1. Introduction	12
1.2. Localisation géographique	12
1.3. Découpage administratif	12
1.4. Situation climatique :	13
1.5. Cadre hydrologique	14
1.5.1. Eaux de surface	15
1.5.2. Eaux souterraines.....	16
1.6. Cadre géologique	16
1.7. Cadre pédologique	17
1.7.1. LES SOLS ISOHUMIQUES.....	18
1.7.2. LES SOLS PEU EVOLUES	18
1.8. Conclusion	19
II. . INCIDENCES DES AMENDEMENTS ORGANIQUES SUR L'ETAT PEDOLOGIQUE DU SOL ET SA FERTILITE PHYSIQUE ET CHIMIQUES	20
2.1. Introduction	20
2.2. Importance de la matière organique dans l'agrégation et le maintien de structures stables	21
2.3. Les modèles de cycle de la stabilité structurale	21
2.4. Conclusion	23

CHAPITRE II : OBJECTIF, STRATEGIE DE L'ETUDE & MATERIELS ET METHODES DE TRAVAIL	24
I. Objectif, stratégie de l'étude et les hypothèses de travail	25
1.1. Objectifs de l'étude	25
1.2. Les objectifs suivants ont été ciblés	25
1.3. Hypothèses de travail	25
1.4. Cadre et stratégie de la recherche	25
II. Matériels et méthodes	27
2.1. Site expérimental	27
2.2. Climat du domaine pendant la période d'expérimentation	27
2.3. Nature et caractéristiques des amendements utilisés :	28
2.3.1. Caractéristique de fumier ovine :	29
2.3.2. Composition et caractéristiques du composte (PLANTA-MIX)	29
2.4. Préparation et conditionnement des échantillons du sol	30
2.5. Analyses physico-chimiques du sol :	31
2.5.1. Analyse granulométrique :	31
2.5.2. Analyse de pH (H ₂ O)	32
2.5.3. Analyse de la Conductivité électrique	32
2.5.4. Analyse de Carbonate du sol	32
2.5.5. Analyse de Calcaire actif	33
2.5.6. Analyse du carbone organique	33
2.5.7. Analyse de l'azote total	34
2.5.8. Analyse de phosphore soluble (Méthode Olsen)	35
2.5.9. Analyse des éléments échangeables (Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺) :	36
2.5.10. Analyse de carbone actif :	36
2.5.11. Analyse de capacité d'échange cationique :	37
CHAPITRE III: PROPRIETES ET DIAGNOSTIC DE LA STRUCTURE ET L'ETAT PEDOLOGIQUE DES SOLS ETUDIÉS.....	38
I. PROPRIETES ET DIAGNOSTIC DE LA STRUCTURE ET L'ETAT PEDOLOGIQUE DES SOLS ETUDIÉS	39
1.1. Introduction :	39
1.2. Matériels et méthodes	39
1.3. Résultats et discussion :	39
1.3.1. Etats pédologiques des sols étudiés :	39
1.3.2. Effet des amendements organiques sur la structure des sols étudié :	43

1.4.	Conclusion partielle	47
CHAPITRE IV: EFFETS DES AMENDEMENTS ORGANIQUES SUR LES PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES ET LA PEDOGENESE DES SOLS		48
I. EFFETS DES AMENDEMENTS ORGANIQUES SUR LES PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS		49
1.1.	Introduction.....	49
1.2.	Matériels et méthodes	49
1.3.	Résultats et interprétations	49
1.3.1.	Effet sur la granulométrie du sol	49
1.3.2.	Effet sur le ph (H ₂ O) du sol	51
1.3.3.	Effet sur l'EC du sol.....	52
1.3.4.	Effet sur la matière organique du sol	54
1.3.5.	Effet sur le carbone actif du sol.....	57
1.3.6.	Effet sur l'azote total du sol	58
1.3.7.	Effet sur le carbonate du sol	59
1.3.8.	Effet sur le carbone actif du sol.....	61
1.3.9.	Effet sur le CEC du sol :.....	62
1.3.10.	Effet sur le sodium du sol (Na ⁺)	63
1.3.11.	Effet sur le potassium de sol (k ⁺).....	64
1.3.12.	Effet sur le calcium de sol (Ca ²⁺).....	65
1.3.13.	Effet sur le phosphore assimilable du sol :.....	66
1.4.	Conclusion	68
II. EFFET DES AMENDEMENTS ORGANIQUES SUR LA PEDOGENESE DES SOLS ETUDIES		69
2.1.	Introduction.....	69
2.2.	Matériels et méthodes	69
2.3.	Résultats et discussions	69
2.4.	Conclusion	70
CONCLUSION GENERALE.....		71
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		73
ANNEXES.....		76

Liste des figures

Figure. 1: Localisation géographique de la région Souss Massa.....	11
Figure. 2: provinces et préfectures de la région.....	12
Figure 3 : Pluviométrie moyenne annuel du Maroc	13
Figure. 4 : Ressources en eau dans le bassin hydraulique du Souss	14
Figure. 5: carte géologique des bassins de plain de Souss,	15
Figure.6 : carte pédologique de la zone d'étude	16
Figure.7 : Structure schématique des différents types d'humus	19
Figure. 8 : Les différents types de stabilisation par les matières organiques.....	20
Figure.9 : Modèle conceptuel du turnover des agrégats avec et sans travail du sol (Six et al., 2000).....	21
Figure 10 : Localisation du domaine expérimental Melk Zher de CRRA d'Agadir.....	26
Figure.11: Variations mensuelles de P, ETP, T° pendant la période d'essais(INRA.2015)....	27
Figure. 12 : schéma explicatif de la méthode de quartage par cône.....	29
Figure.13: Etapes de préparation d'un échantillon.....	30
Figure.14 : Présentation schématique des sols étudiés	37
Figure.15 : Présentation schématique du sol témoin.....	38
Figure.16 : Présentation schématique du sol amendé par les débris de gazon.....	38
Figure. 17: Présentation schématique du sol amendé par fumier et débris végétaux.....	39
Figure.18 : Présentation schématique du sol amendé par composte.....	39
Figure. 19: modèle conceptuel de stabilisation des agrégats par les agents biologiques au cours de la décomposition (INRA de France. 2004).....	41
Figure. 20: Granulométries des horizons et limite entre eux des profils étudiés.....	43
Figure.21 : Le statut acido-basique des sols selon le projet PNUD/FAO).....	74
Figure.22 : Evolution de ph dans les profils des sols étudiés.....	48
Figure.23: Evolution de conductivité électrique dans les profils des sols étudiés.....	49
Figure.24 : Evolution du carbone organique dans les profils des sols étudiés.....	51
Figure.25 : Evolution de la matière organique dans les profils des sols étudiés.....	53
Figure.26 : Evolution du carbone actif dans les profils des sols étudiés.....	54
Figure.27 : Evolution de l'azote total dans les profils des sols étudiés.....	56
Figure.28 : Evolution du carbonate dans les profils des sols étudiés.....	57
Figure.29 : Evolution de calcaire actif dans les profils des sols étudiés.....	58
Figure.30 : Evolution de capacité d'échange cationique dans les profils des sols étudiés.....	59
Figure.31 : Evolution de sodium échangeable dans les profils des sols étudiés.....	60
Figure.32 : Evolution de potassium échangeable dans les profils des sols étudiés.....	62

Figure.33 : Evolution de calcium échangeable dans les profils des sols étudiés.....	63
Figure.34 : Evolution de phosphore assimilable (P2O5) dans les profils des sols étudiés	64
Figure.35 : présentation schématique de pédogenèses des sols étudiés.....	67

Liste des tableaux

Tableaux. 1 : Provinces et Préfectures de la région Souss Massa (Annuaire Statistique du Maroc -2013).....	12
Tableaux. 2 : Capacité et volume régularisé en Mm3 des barrages de Souss Massa.....	14
Tableau.3 : Caractéristique physico-chimique due fumier ovin.....	28
Tableau.4 : Caractéristique physico-chimique du composte.....	28
Tableau.5 : Classe de la qualité des sols selon l'échelle de Durand J.H. (1983).....	49
Tableau 6 : Répartition des classes de la M O des sols selon les normes Diaea /Drha /Seen (2008).....	52
Tableau 7 : Classification du sol selon la teneur on CaCO3. (Denis, 2000).....	57
Tableau 8 : Répartition des classes de phosphore assimilable (P2O5) selon les normes Delaunois (2008).....	64

Introduction générale :

Parmi les menaces pesant sur les sols, l'érosion et la diminution de la teneur en matières organiques occupent une place importante (Chenu et al., 2011). Pour remédier à ces problèmes liés à la structure physique des sols, l'utilisation d'amendements organiques est une pratique classique. La structure du sol définit la façon dont le sol est organisé dans l'espace (Dexter, 1988) et dans le temps (Roger-Estrade, 1995).

La zone d'étude est celle du domaine expérimental Melk Zhar du centre régional de la recherche agronomie d'Agadir (CRINRA) à la Province de Had Belfaa. Elle est répartie entre la plaine du Souss, la plaine du Massa Chtouka et les zones montagneuses du Haut et de l'Anti-Atlas. Ces régions offrent une gamme assez variée de sols favorables pour la productivité agricole. Dans la région de Sous Massa les majorités des agronomes utilisent le sol comme un support pour les végétaux, l'utilisation accrue d'engrais et de produits phytosanitaires ont malheureusement contribué à la dégradation des sols (engorgement des sols, salinité et alcalinisation, perte de fertilité) et la contamination des eaux.

La Fertilisation est l'apport des éléments nutritifs minéraux nécessaires au développement de la plante sous forme d'engrais, compost ou fumier. Elle est basée sur l'apport de matières organiques, celles-ci en plus de leur rôle de réservoir d'éléments nutritifs, ont un rôle majeur dans la fertilité physique des sols, leur aération et dans leur résistance à la dégradation et l'érosion (Adas, 2000).

Dans ce contexte, le présent travail s'intéressera à l'étude de l'effet des amendements organiques sur la structure et la fertilité physico-chimique des horizons d'un sol alluvial et cultivé par différentes cultures (bananier, tomate ..), ayant reçu trois types d'amendements organiques : le fumier d'ovin, le composte commercial et débris de végétaux de les cultures bananier et gazon, à raison de 20 T/ha/an, durant cinq années successives.

La démarche de cette étude consiste à mener des essais sur le terrain dans le domaine expérimental Melk Zher du CRINRA d'Agadir, pour connaître l'effet de l'apport des amendements organiques sur la structure du sol, sa fertilité physico-chimique, ainsi que la pédogénèse des sols.

L'analyse structurale des sols sera effectuée avec différentes méthodes, pour classer les agrégats et leur mode d'assemblage, Il existe donc différents types de facteurs, agissant à différentes échelles de la structure, et ayant une action délimitée dans le temps. On distingue des facteurs physico-chimiques, plus liés à la matière minérale, et des facteurs liés à la matière organique.

Les analyses physico-chimiques des sols ont été faites, en majorité, au laboratoire du centre régional de la Recherche Agronomique d'Agadir, par des méthodes normalisées (NF Afnor

2004). Nous allons procéder à l'étude de la fertilité des sols avant et après les apports des amendements organiques, notamment le pH (H₂O), la conductivité électrique, le carbone organique, le carbone actif, l'azote total, la capacité d'échange cationiques, le phosphore assimilable, le potassium échangeable, le sodium échangeable, le calcium échangeable, le carbonate total et le calcaire actif. Ces résultats vont permettre de choisir l'amendement le plus favorable pour améliorer l'état structural et les propriétés physico-chimiques du sol. En dernier lieu nous aurons plus de données pour comprendre l'effet des amendements organiques sur la pédogenèse des sols alluviaux de cette région de Sous Massa.

Rapport-Gratuit.com

Chapitre I. Généralités sur le milieu physique et description de site de l'étude & Incidences des amendements organiques sur l'état pédologique du sol et sa fertilité physique et chimiques

I. Généralités sur le milieu physique et description de site de l'étude

1.1.Introduction

La zone d'étude est celle du domaine expérimental Melk Zhar du centre régional de la recherche agronomie d'Agadir (CRINRA) à la Province de Had Belfaa. Elle est répartie entre la plaine du Souss, la plaine du Massa Chtouka et les zones montagneuses du Haut et de l'Anti-Atlas. Ces région caractérisée par un climat semi-aride à subdésertique, avec la présence d'un courant adoucissant de l'Océan Atlantique et d'une barrière montagneuse de l'Anti-Atlas constituant une protection contre l'influence désertique. Ainsi cette région jouit de grands atouts sur le plan température et ensoleillement qui lui confèrent une renommée internationale dans la production des cultures intensives de contre saison (ORMVA, 2010).

Le développement intensif des productions agricoles reste freiné par la rareté des ressources en eau, accentué par les sécheresses prolongées qui deviennent structurelles dans la région.

1.2.Localisation géographique

Située au centre du Maroc, la région du Souss Massa est bordée à l'ouest par l'océan Atlantique, au nord par la région de Marrakech-Safi, à l'est par la région du Drâa-Tafilalet, au sud-est par l'Algérie et au sud-ouest par la région de Guelmim-Oued Noun (fig. 1). La région est bordée au nord par les massifs du Haut Atlas occidental, suivant la vallée de l'oued Souss, traversée au centre par l'oued Massa et l'Anti-Atlas, bordée au sud par la rivière de draa.



Figure. 1: Localisation géographique de la région Souss Massa

1.3.Découpage administratif

La région comprend deux préfectures et quatre provinces (fig.2).

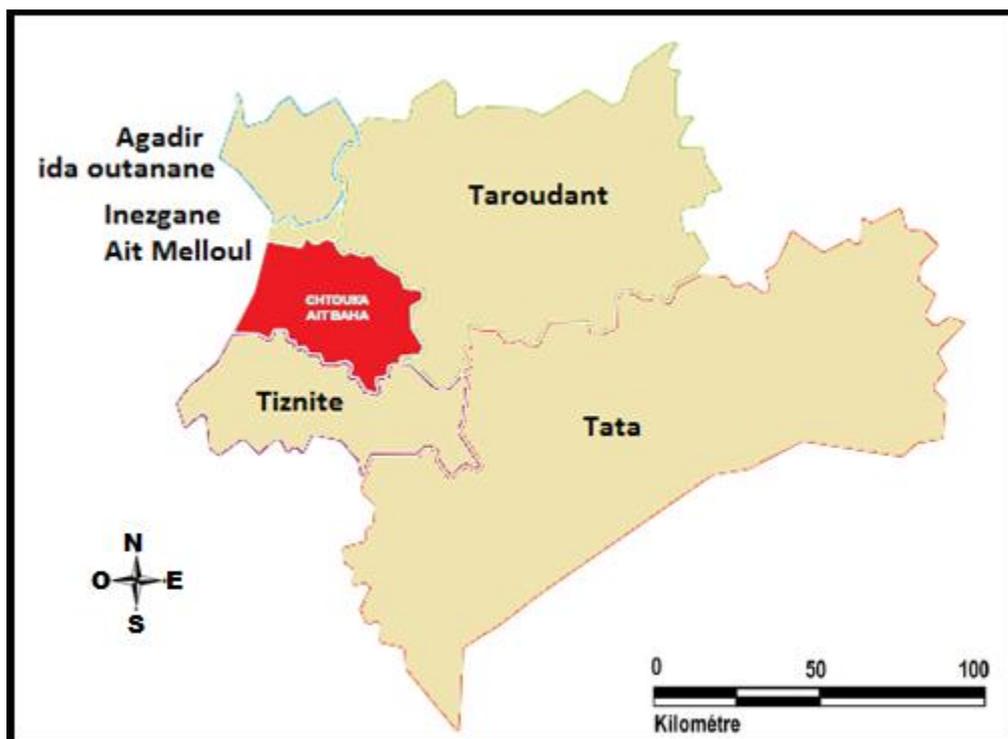


Figure. 2: provinces et préfectures de la région

Elles sont réparties entre les préfectures Agadir Ida Outanane et Inezgane Ait Melloul et les provinces de Chtouka Ait Baha, Tiznit, Taroudant et Tata. Elle déborde légèrement sur les provinces d'Essaouira et de Chichaoua au Nord (www.cgem.ma/doc1/ed-cgem/siege/ur/souss/1.pdf).

Tableaux. 1 : Provinces et Préfectures de la région Souss Massa (Annuaire Statistique du Maroc -2013)

Préfectures et provinces	Cercles	Communes		
		Urbaines	Rurales	Ensemble
Agadir Ida Outanane	1	1	12	13
Inezgane Ait Melloul	1	4	2	6
Chtouka Ait Baha	3	2	20	22
Taroudannt	5	8	81	89
Tiznit	3	2	23	25
Tata	3	4	16	20
Région	16	21	154	175
National	185	221	1282	1503
Part de la région (en%)	8,6	9,5	12,0	11,6

La région compte au total un grand nombre de communes, avec 154 communes rurales et 21 municipalités, 174 communes dont 17 urbaines et 157 rurales.

1.4.Situation climatique :

La région du Souss-Massa est caractérisée par un climat de type semi-aride (fig.3) à subdésertique ; mais le courant adoucissant de l'océan (courant froid des Canaries) et la chaîne montagneuse de l'Anti-Atlas qui constitue une barrière contre l'influence désertique,

favorisent la mise en valeur des cultures maraichères dans cette région. Les précipitations annuelles sont faibles et irrégulière, atteignant en moyenne 250 mm/an, recueillies sur une période de 20 à 30 jours. Elles varient en moyenne entre 300 et 600 mm/ an dans le haut atlas, 120 à 150 mm/ an dans l'anti - atlas et 140 à 200 mm/an dans les plaines du Souss et Massa. (ORMVA, 2010)

Les températures sont modérées et sont en moyenne de 19°C avec une moyenne des maxima de 27°C et des minima de 11°C. En général, l'ensoleillement élevé (environ 3.000 Heures/An) et la douceur du climat, font de cette zone l'une des premières régions primeuristes du pays. (ORMVA, 2010).

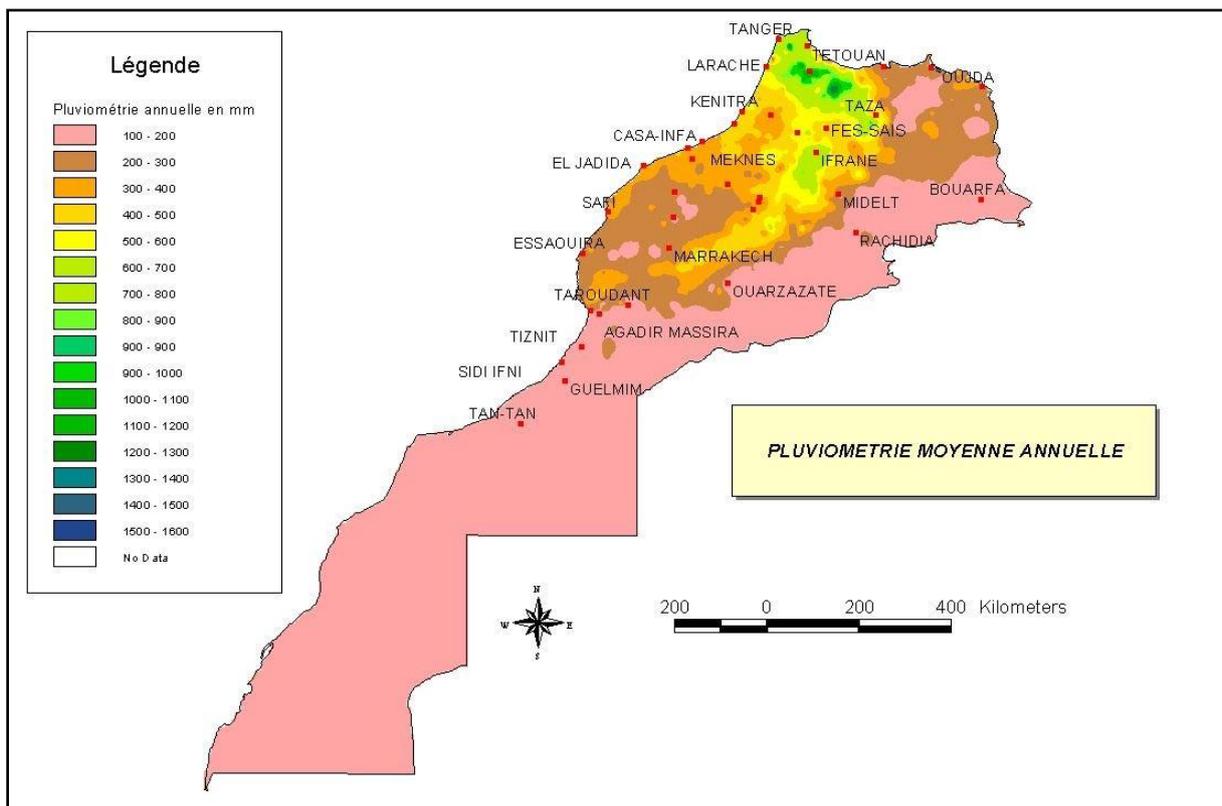


Figure 3 : Pluviométrie moyenne annuel du Maroc (CGMS-MAROC)

La région est relativement ventée. Des vents d'Est chauds, communément appelés Chergui, peuvent souffler en été et en automne. La vitesse moyenne annuelle du vent est de l'ordre de 3km/h en montagne et 5km/h en plaine. Elle peut atteindre au piémont des montagnes près de 8km/h (CSEC, 2001).

1.5.Cadre hydrologique

Les ressources en eau au niveau de la zone sont de type superficiel et souterrain. Les prélèvements annuels qui s'élèvent à 937 Mm³, occasionnent un déficit hydrique de 340 Mm³ /an.

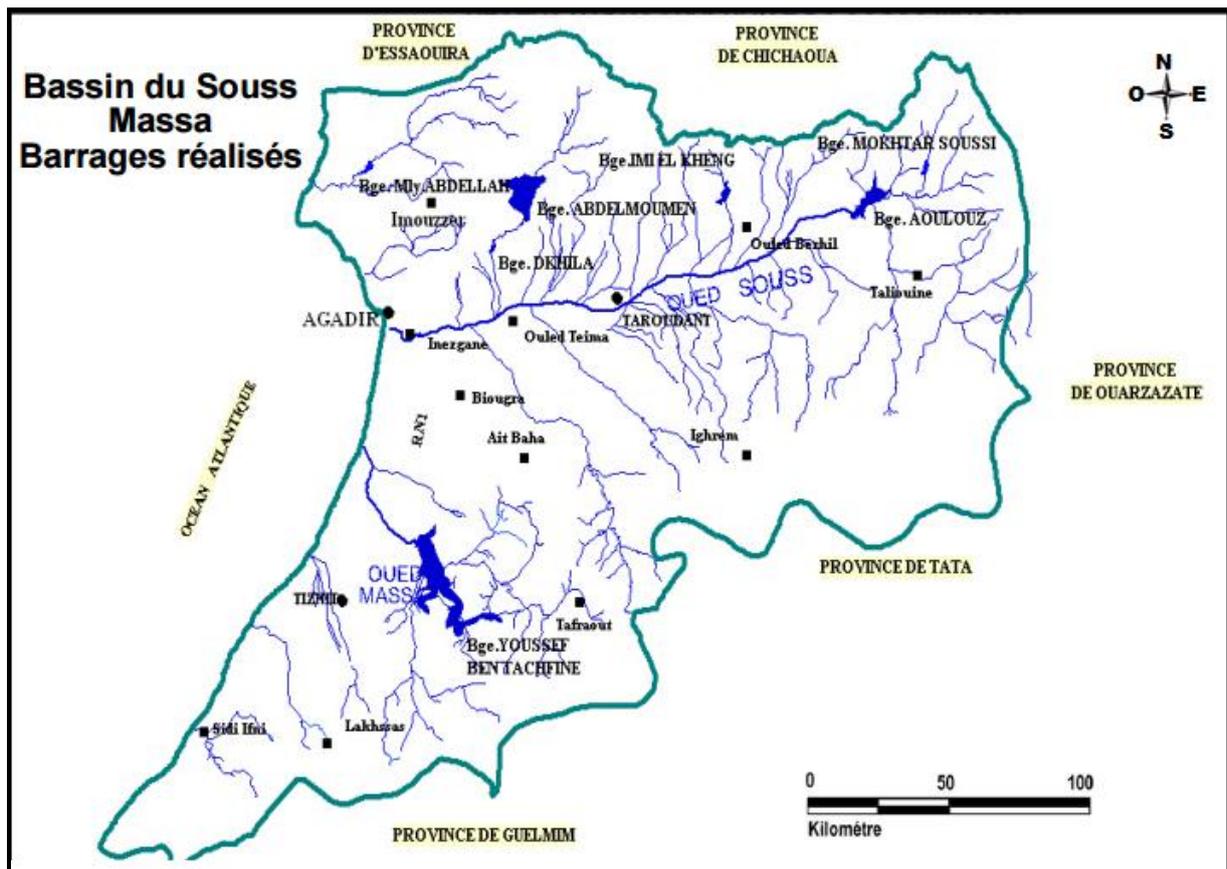


Figure. 4 : Ressources en eau dans le bassin hydraulique du Souss (BHSM, 2003)

1.5.1. Eaux de surface

L'oued Souss et ses nombreux affluents et celui de Massa constituent les sources principales d'alimentation en eau superficielle. Le volume moyen annuel des apports est estimé à 635 Mm³. Ces apports sont principalement régularisés par 6 barrages (tab. 2)

Tableaux. 2 : Capacité et volume régularisé en Mm³ des barrages de Souss Massa.

Barrage	Capacité (Mm ³)	Volume Régularisé (Mm ³)	Année de mise en services	Périmètres desservis
Youssef ben Tachfine	303	88	1974	Irrigation du périmètre du Massa et Tassila
Abdelmoumen	214	80	1986	Irrigation du périmètre d'Issen
Aoulouz	108	108	1991	Irrigation PMH et recharge de la nappes du souss
Prnce Moulay Abdellah	110	30	2004	Irrigation PMH aval du barrage
Imin El Kheng	11	5	1993	Irrigation du périmètre P12 et P13 et recharge de la nappe du souss
Mokhtar soussi	52	50	2002	Irrigation zone agrumicole El Guerdane

1.5.2. Eaux souterraines

Les réserves en eaux souterraines sont estimées à 38 Milliards de m³, 37 Milliards de m³ dans la nappe du Souss et 1 Milliard de m³ dans celle de Chtouka dont 8 Milliards de m³ sont économiquement exploitables.

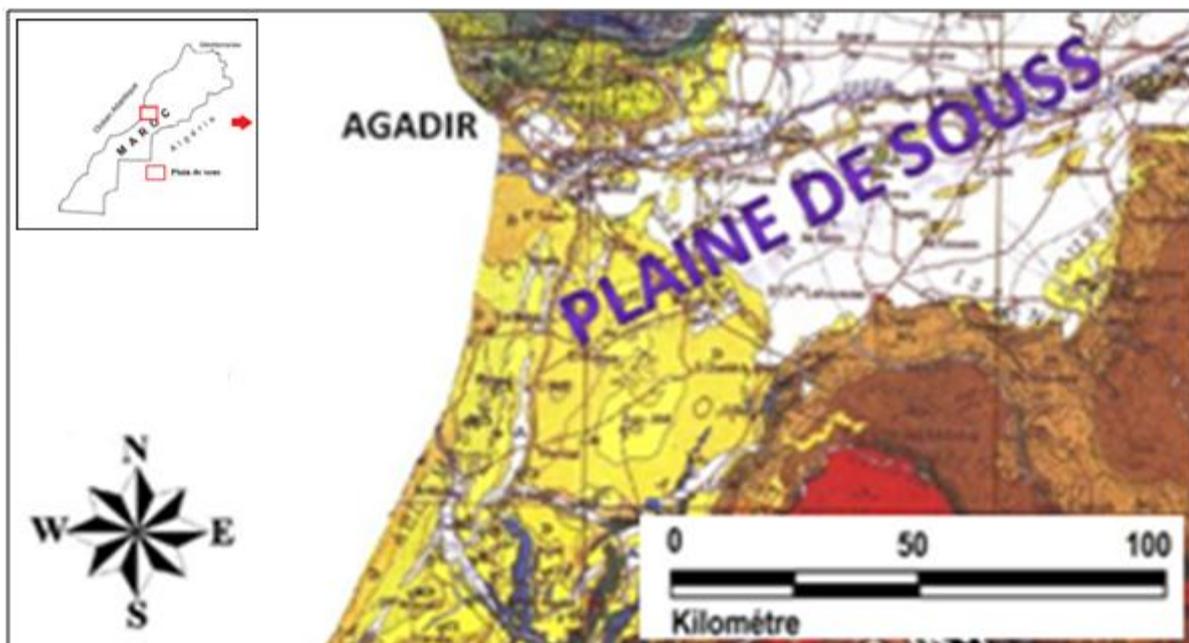
Les apports annuels renouvelables de ces nappes sont estimés à 440 Mm³ dont 400 Mm³ pour la nappe du Souss et 40 Mm³ pour la nappe de Chtouka. Le bilan au niveau de ces nappes présente un déficit moyen de 260 Mm³/an.

1.6. Cadre géologique

La géologie de la plaine du Sous est caractérisée par trois domaines bien différents (Combe et El Hebil, 1972) : le domaine haut atlasique, anti atlasique et le plain de souss

La géologie régionale est caractérisée par une vaste dépression synclinale orientée Est-Ouest à remplissage plioquaternaire. Ce matériel de remplissage, sédimenté durant le Néogène et jusqu'au Quaternaire, surmonte des formations crétacées et éocènes qui affleurent le long de la bordure haut atlasique méridionale, sauf entre Amskroud et Erguita. Cet ensemble forme la plaine de Souss, en dessous de laquelle plongent les formations crétacées et éocènes en synclinorium faillé.

Le flanc nord du synclinal crétacé-éocène, qui adosse au haut atlas est affecté par un système de failles subverticales s'étendant d'ouest en est et délimitant des bas fonds où se sont accumulés des terrains récents plio-quaternaires.



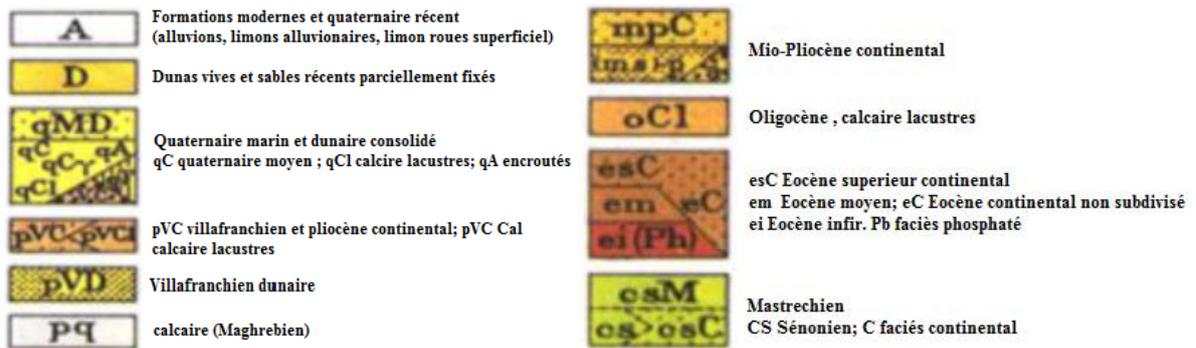


Figure. 5: carte géologique des bassins de plain de Souss, (Extrait de la carte géologique 1/500000 de Marrakech et 1/500000 d'Ouarzazate), (BHSM, 2012).

1.7.Cadre pédologique

La pédogenèse est liée au climat, à la lithologie et au relief. En effet, les principaux sols de la plaine du Souss ont été décrits par Watteuw, 1964 (fig. 6).

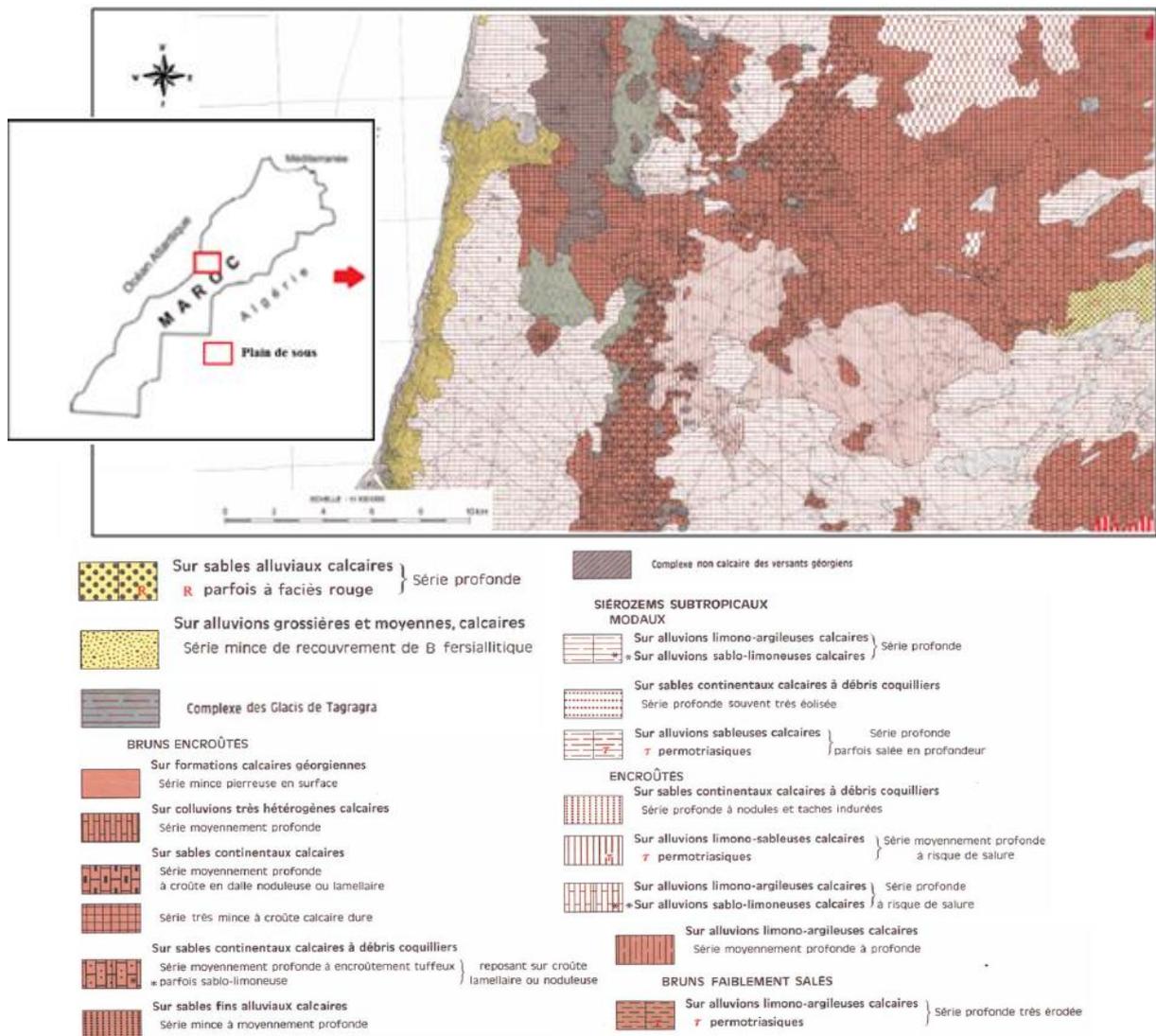


Figure.6 : carte pédologique de la zone d'étude (extrait de la carte pédologiques de la région de souss

(Staimesse, 1978)

Dans sa carte simplifiée, l'auteur a spécifié quatre grandes classes des sols : Les sols isohumiques (sierozems et sols bruns steppiques) ; les sols calco-magnésimorphe (bruns calcaires et rendzines) ; les sols peu évolués (colluviaux et sableux) et les sols alluviaux.

La carte d'occupation du sol montre que les sols peu ou pas évolués couvrent une importante superficie de la vallée du Souss, soit 26%. Le croisement entre la carte des sols et celle de la couverture du sol de 1992-1997 dérivées de l'imagerie satellitaire montre que 17% des surfaces agricoles (cultures de bour) s'étendent sur les sols peu évolués :

- les rendziniformes réservés autrefois à la forêt d'arganiers sont soustraits actuellement à cette dernière pour être couverts de routes, aéroport et autres constructions. Le croisement entre la carte des sols et celle de la couverture confirme ce constat : 16% des surfaces construites se développent dans ces sols (Staimesse, 1978).
- les sols isohumiques présentent une grande valeur agricole et constituent d'excellentes terres pour le maraîchage, la céréaliculture et l'agrumiculture, soit 26% pour les sols bruns et 31% pour les sierozems.
- Les sols halomorphes sont très peu étendus et ne présentent aucun intérêt de point de vue agricole.

1.7.1. LES SOLS ISOHUMIQUES

a) Les Sierozemes :

Ces sols appartiennent au groupe des sols peu évolués subdésertiques. Ils couvrent la plus grande partie du centre de la plaine (figure 8). Ils sont généralement profonds, homogènes et sablo-limoneux.

Dans la vallée de l'Oued Issen, ces sols sont salés et supportent une végétation halophile. Ailleurs, la végétation est constituée d'un maigre maquis de Jujubier.

b) les sols bruns steppiques :

Ils occupent la partie amont de la vallée, le piémont de l'Anti-Atlas et la basse plaine de Souss (région d'Ait Melloul). Ces sols sont uniformément bruns, sablo-argileux et calcaires, la végétation est constituée en majeure partie d'arganiers.

c) Les sols bruns calcaires :

Ils se développent soit sur des limons encroûtés ou sur une croûte calcaire, soit sur une roche calcaire. On les rencontre au Sud-Ouest de Souss, le long du littoral et également au pied du Haut-Atlas. Ils se présentent sous forme d'un complexe de sols bruns souvent squelettiques et de sols peu évolués formés à partir des produits d'érosion de marnes du Crétacé.

1.7.2. LES SOLS PEU EVOLUES

a) Les sols Colluviaux

Ils sont soit calcaires ou non, selon la nature des produits de l'érosion sur lesquels se sont développés.

b) Les sols sableux

Outre les dunes côtières, les terrains sableux couvriront une grande partie de la zone avale. Ils ne présentent pas de structure apparente et supportent souvent une dalle calcaire massive. L'érosion éolienne y est très intense, pouvant transformée localement le relief ou mettre à nu le substratum calcaire.

c) Les sols alluviaux

Le Souss et ses affluents ont déposé sur leurs rives d'importantes alluvions sablo-limoneuses. Ces dépôts sont profonds mais souvent entraînés lors des crues

1.8.Conclusion

La région Souss Massa est caractérisée par des ressources naturelle homogène pour la production agricole, la nature des sols joue un rôle majeur dans ces ressources grâce a leur structure et leur fertilité. Les facteurs majeurs qui affectent le sol dans la région de Souss Massa sont ceux liés aux conditions climatiques tell que le vent qui favorise l'érosion. L'intensification des activités humaines notamment l'agriculture intensif, affecte davantage le stock en matière organique de l'horizon bioactif du sol, qui entraîne la dégradation de la structure des sols et par conséquent, occasionne l'érosion et la baisse de la fertilité des sols. La faible teneur en matière organique, principale source de carbone et de réserve nutritive et pourvoyeur d'un complément de la CEC constitue la grande problématique pour l'état des sols.

L'exploitation de ces sols exige un relèvement de la matière organique disponible capable d'apporter des éléments minéraux essentiels et améliorer les propriétés physico-chimiques et biologiques de ces sols. Il existe plusieurs types de matières organiques susceptibles d'être apportées aux sols. Cependant, la voie consistant à diversifier les ressources organiques disponibles localement et à moindre coût mérite d'être explorée. Le chapitre suivant donne quelques informations essentielles sur l'impact d'apport de matières organiques aux sols.

II. . Incidences des amendements organiques sur l'état pédologique du sol et sa fertilité physique et chimiques

2.1. Introduction

Les matières organiques sont des constituants complexes du sol. Elles peuvent être classées en trois compartiments distincts dans les sols cultivés (Leclerc, 2001) : la matière organique vivante, végétale, animale et micro-organismes, qui englobe la totalité de la biomasse en activité; la matière organique fraîche, débris d'origine végétale (résidus végétaux, exsudats) et d'origine animale (déjections et cadavres); et l'humus (matière organique amorphe), dû à la recombinaison des déchets en dégradation et représentant toutes les autres formes de matière organique liées à la fraction minérale du sol, et plus ou moins résistantes à la biodégradation. L'humus est la fraction la plus importante qui assure la formation du complexe argilo-humique et la micro-agrégation des sols (fig.7). La fraction des autres compartiments, dite labile, est constituée de carbone organique jeune et est reliée à la macro-agrégation des sols, à leur capacité de minéralisation et à leur activité biologique (Quenum et al. 2004).

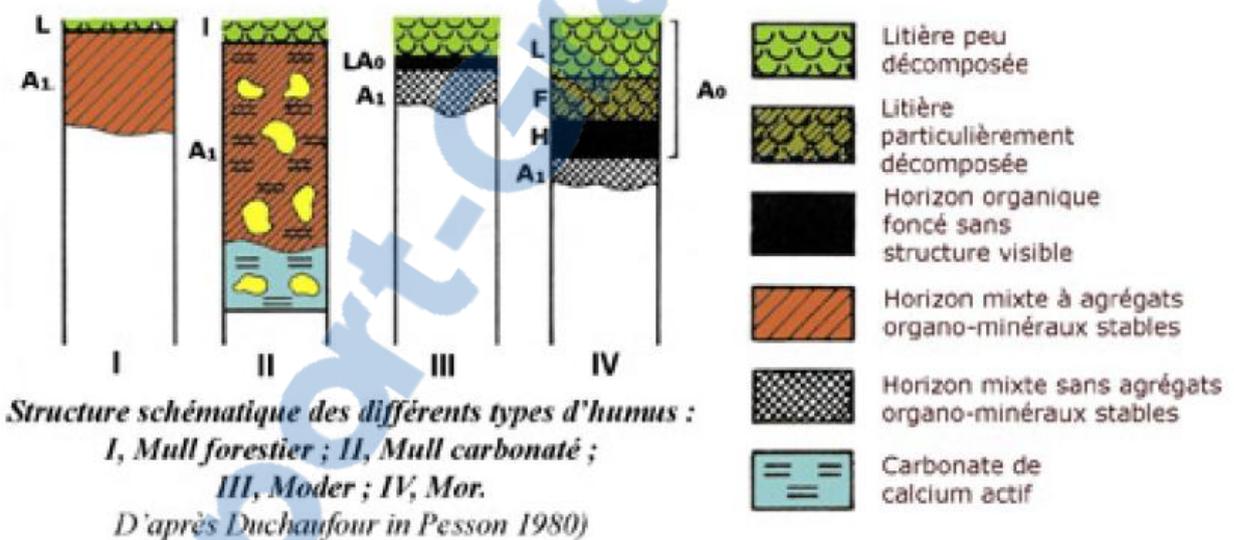


Figure.7 : Structure schématique des différents types d'humus (Duchaufour 1980)

La matière organique est d'une importance fondamentale dans la durabilité pour la fertilité des sols et donc pour une production agricole durable, du fait de ses effets physiques, chimiques et biologiques (FAO, 2005; Farinet et Niang, 2004; Tejada et al., 2008a). Son influence sur les propriétés du sol dépendra de la quantité et du type de matière organique ajoutée (Tejada et al., 2009b). Pour certains auteurs, la matière organique, et plus particulièrement l'humus, serait un facteur de sécurité et d'économie dans la production végétale. Le taux de matière organique d'un sol serait l'un des indicateurs les plus sensibles de son évolution. Un sol cultivé vieillit inéluctablement car, que la culture soit intensive ou non, les pertes par minéralisation de matières organiques sont toujours supérieures aux apports des cultures par rapport à celles des végétations naturelles (FAO, 2005; Chaussod et

al., 1992). Les méthodes dites modernes de fertilisation et de travail du sol, conjuguées à une intensification parfois mal maîtrisée (monoculture, abandon des jachères), accélèrent ce vieillissement de l'humus. L'apport de la matière organique au sol revêt alors une dimension capitale. Son intérêt se mesure cependant à long terme, selon son aptitude à se transformer en humus (forme stable de cette transformation). Outre l'amendement des sols cultivés, la matière organique peut sous certaines conditions être utilisée pour remplacer le sol.

2.2. Importance de la matière organique dans l'agrégation et le maintien de structures stables

On peut établir un parallèle entre les trois types de facteurs de Tisdall & Oades (1982) et les travaux de Monnier (1965) qui dresse un schéma théorique de l'action de la matière organique sur la stabilité structurale. Il distingue en effet trois types d'actions (Fig.8) : la décomposition rapide de la matière organique provoque une augmentation rapide et importante de la stabilité structurale, mais son effet n'est mesurable que durant quelques semaines : zone A, effet moins marqué mais plus pérenne, associé à une décomposition moins rapide de la matière organique : zone B, augmentation de faible amplitude de la stabilité structurale, qui persiste quelques années. Elle est associée à une décomposition lente de la matière organique : zone C. On peut donc déjà mettre en évidence une action directe de la matière organique par ses propriétés intrinsèques, et indirecte, car l'apport de matière organique stimule l'activité des microorganismes et de la faune du sol (Guckert et al., 1975 ; Díaz et al., 1994 ; Guerrero et al., 2000 ; Abiven, 2004 ; Annabi, 2005).

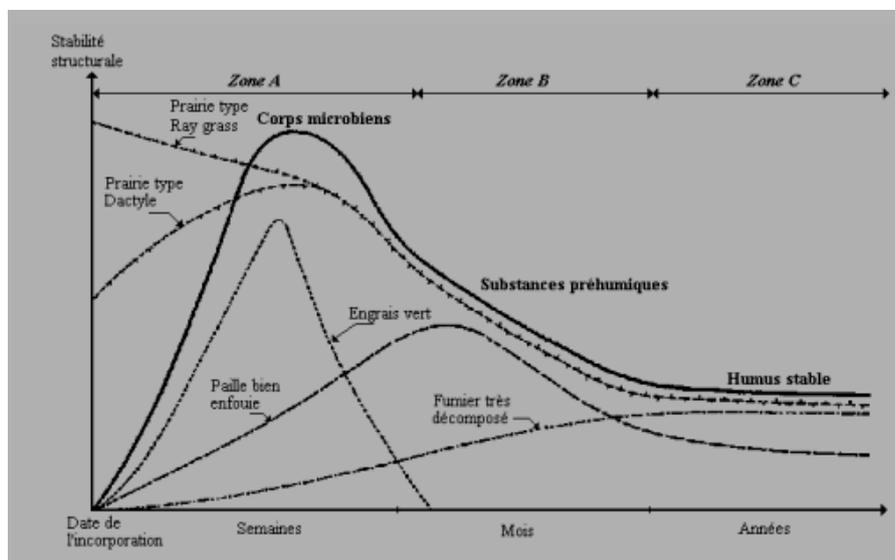


Figure. 8 : Les différents types de stabilisation par les matières organiques (Monnier, 1965)

2.3. Les modèles de cycle de la stabilité structurale

Le modèle de Six et al. (2000) va dans le même sens : il suppose que les macroagrégats sont formés autour de résidus organiques frais (MOP) (Fig.9). Ces résidus peuvent en effet être à la base de la formation de microagrégats car ils stimulent l'activité microbienne du sol, et donc la production de substances agrégeantes. L'activité biologique du sol implique une

fragmentation de ces particules de matières organiques grossières en MOP plus fines, qui sont piégées dans une "gangué" d'argile et de produits microbiens. Il y a donc formation de microagrégats à l'intérieur de macroagrégats, ce qui a pu être montré par des études à l'aide de carbone radioactif (Angers et al., 1997). Les agents liant les microagrégats peuvent se dégrader, et les microagrégats sont alors dispersés et peuvent servir de matériel de base pour le prochain cycle d'agrégation.

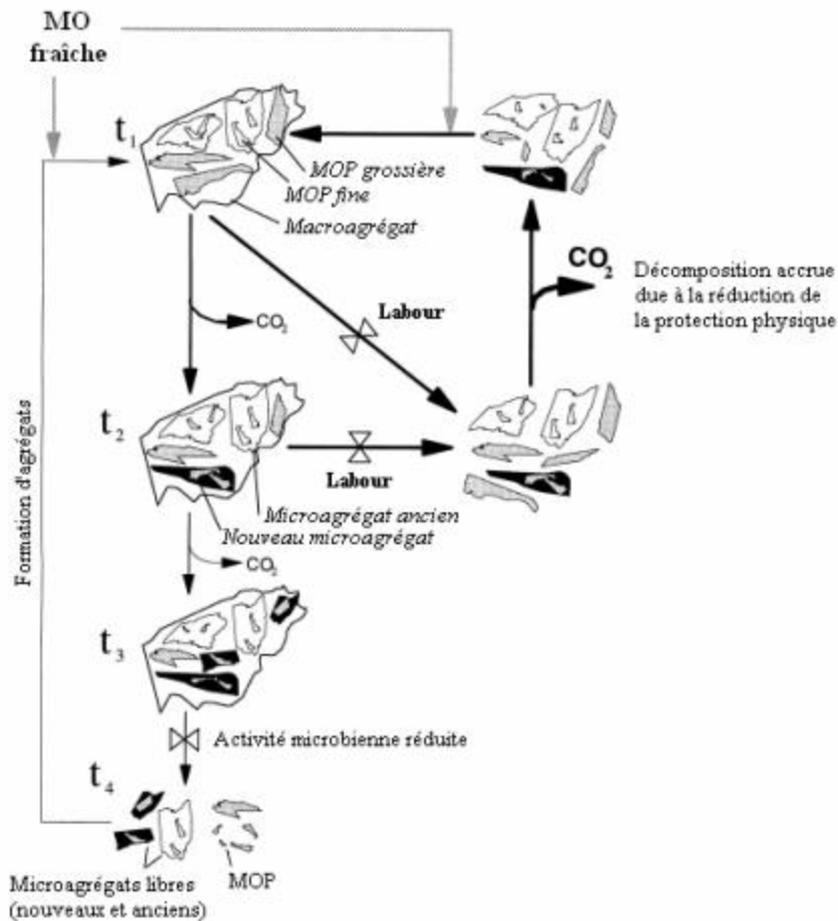


Figure.9 : Modèle conceptuel du turnover des agrégats avec et sans travail du sol (Six et al., 2000)

2.4. Conclusion

De nombreuses études ont mis en évidence des gains qualitatifs et quantitatifs pour les cultures et l'amélioration de la fertilité des sols par l'usage de la matière organique ou des composts en agriculture. Cette amélioration semble résulter davantage de l'effet de l'apport organique sur le sol que d'un apport en éléments nutritifs.

L'incorporation au sol de composts permet d'entretenir, voire d'enrichir le stock de matière organique du sol, améliorant ainsi les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol favorisant la fertilité des sols. Cependant, la valeur amendante peut être variable selon l'origine des composts et leur degré d'évolution c'est-à-dire le processus d'optimisation et de maturité.

L'application de composts dans le sol peut conduire à une immobilisation temporaire de l'azote dans le cas des composts riches en substrats carbonés facilement minéralisables, ou à une minéralisation lente dans le cas des composts ayant une matière organique résistante à la biodégradation. Cette variabilité des comportements peut rendre difficile la gestion de la fertilisation azotée (par les agriculteurs). Ce phénomène s'atténue avec les apports au cours des années.

Chapitre II : Objectif, stratégie de l'étude & Matériels et méthodes de travail

I. Objectif, stratégie de l'étude et les hypothèses de travail

1.1. Objectifs de l'étude

L'objectif général de cette étude consiste à évaluer les effets des amendements organiques (composts, fumier, débris végétaux) sur la fertilité physico-chimiques et la structure des sols de la zone d'étude. La zone d'étude est celle du domaine expérimental Melk Zhar de l'institut national de la recherche agronomie d'Agadir (INRA) à la Province de Had ait Belfaa.

1.2. Les objectifs suivants ont été ciblés

- mettre en place l'utilisation des amendements organiques au lieu d'utilisation des engrais minéraux ;
- diagnostiquer l'état actuel de la structure et la pédologie du sol de sites étudié au point de vue de leurs propriétés physiques, chimiques;
- évaluer l'effet de l'apport de l'amendement organique sur la dynamique des propriétés chimiques, physico-chimiques dans les conditions naturelles de terrain;
- évaluer l'effet de l'apport des amendements organiques sur la pédogénèse du sol du site étudié

1.3. Hypothèses de travail

Conformément aux objectifs ci-dessus basés sur les investigations déjà réalisées sur cette problématique, les hypothèses suivantes ont été émises et les résultats de cette étude permettront de vérifier leur validité.

- Les propriétés chimiques, physico-chimiques des sols de la Province Had ait Belfaa sont très favorables pour une production agricole telle que les cultures maraichère ;
- Les amendements organiques peuvent contribuer à améliorer les propriétés des sols, plus particulièrement la structure, le pH, la disponibilité en éléments nutritifs notamment par l'augmentation de la CEC et les propriétés biologiques;
- Les amendements organiques peuvent constituer une meilleure alternative aux engrais minéraux chimiques hydrosolubles qui sont coûteux et qui sont rapidement lessivés dans un sol à faible CEC notamment les sols sableux.

1.4. Cadre et stratégie de la recherche

Face à la croissance démographique et à la production des déchets solides ménagers dans la région Souss Massa, aux difficultés de leur gestion en ce qui concerne leur collecte et leur élimination; et à la production agricole intensif dans les sols sableux de la région sous l'effet des facteurs naturels du milieu physique favorable au agriculture contre sison(ORMVA, 2010)., la présente étude rentre dans le cadre de la valorisation des ressources organiques disponibles dans les déchets par la production des composts à petite ou grande échelle pour des applications agronomiques à base d'amélioration de la structure et la fertilité des sols de la région.

La démarche de cette étude a consisté à mener des essais sur terrain dans le domaine expérimental Melk Zher du CRINRA d'Agadir, pour connaître l'effet de l'apport des amendements organiques sur la structure du sol, sa fertilité physico-chimique, ainsi que la pédogénèse du sol sous différentes cultures. L'apport des amendements organiques a commencé il y a 5 ans avec une dose de 20 T/ha/an.

II. Matériels et méthodes

2.1. Site expérimental

Le domaine expérimental Melk Zher de CRINRA est situé dans la région de Had Blfaa au cœur de la vallée de Sous, elle est répartie entre la plaine du Sous (4150 Km²) et la plaine de Chtouka (1600Km²). Elle est délimitée à l'est par la province de Bouigra, à l'ouest par l'océan atlantique, au nord par préfecture d'Inzegane - Aït Melloul et au sud par la province de Tiznit, cette commune a été créée en 1989. Son économie est basée sur l'activité agricole et les principales productions agricoles sont : le maraîchage de primeurs et de saison, les Agrumes les céréales, l'Olivier, le bananier et la fleur coupée. (CMV896).

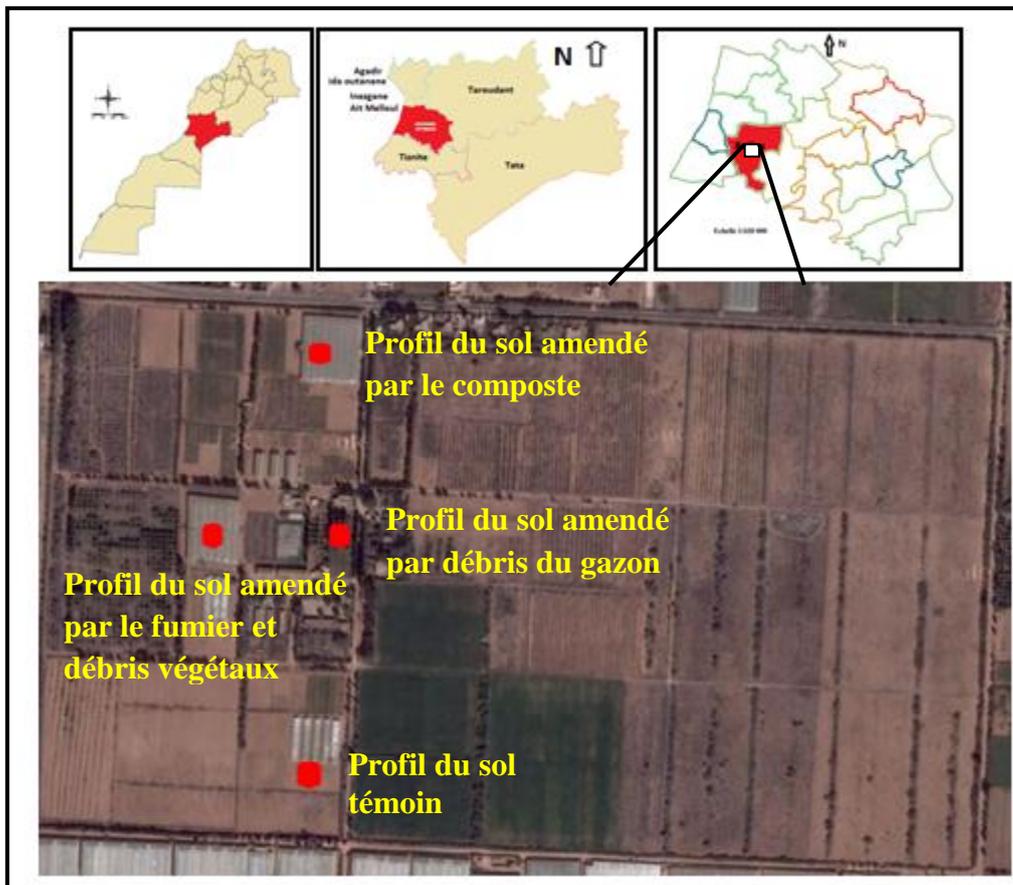


Figure 10 : Localisation du domaine expérimental Melk Zher de CRRA d'Agadir

2.2. Climat du domaine pendant la période d'expérimentation

L'apport des amendements organiques sur terrain ont été menées pendant la saison culturale 2010/2011 jusqu'à la saison 2014/2015. Le climat est de type semi-aride, on peut le classer en deux saisons la première froide et pluvieux et la deuxième chaude et sèche et un hiver relativement humide. Il subit la double influence de l'altitude saharienne de la zone, et de sa relative proximité de l'océan. La pluviométrie annuelle très faible et irrégulières, et en général ne dépasse pas 309.7 mm par an. L'humidité est très faible (1%) pendant les jours les plus secs et de 95% dans les jours les plus humides. L'amplitude d'humidité entre le jour et la nuit est très importante, elle est de 94%. Les mois les plus chauds sont : juillet, Aout, et

septembre .et les mois les plus froides sont Novembre, janvier, février et Mars. La figure représente les variations mensuelles de la température, des précipitations et de l'ETP pendant la période d'expérimentation (fig.10 ; Annexe 1).

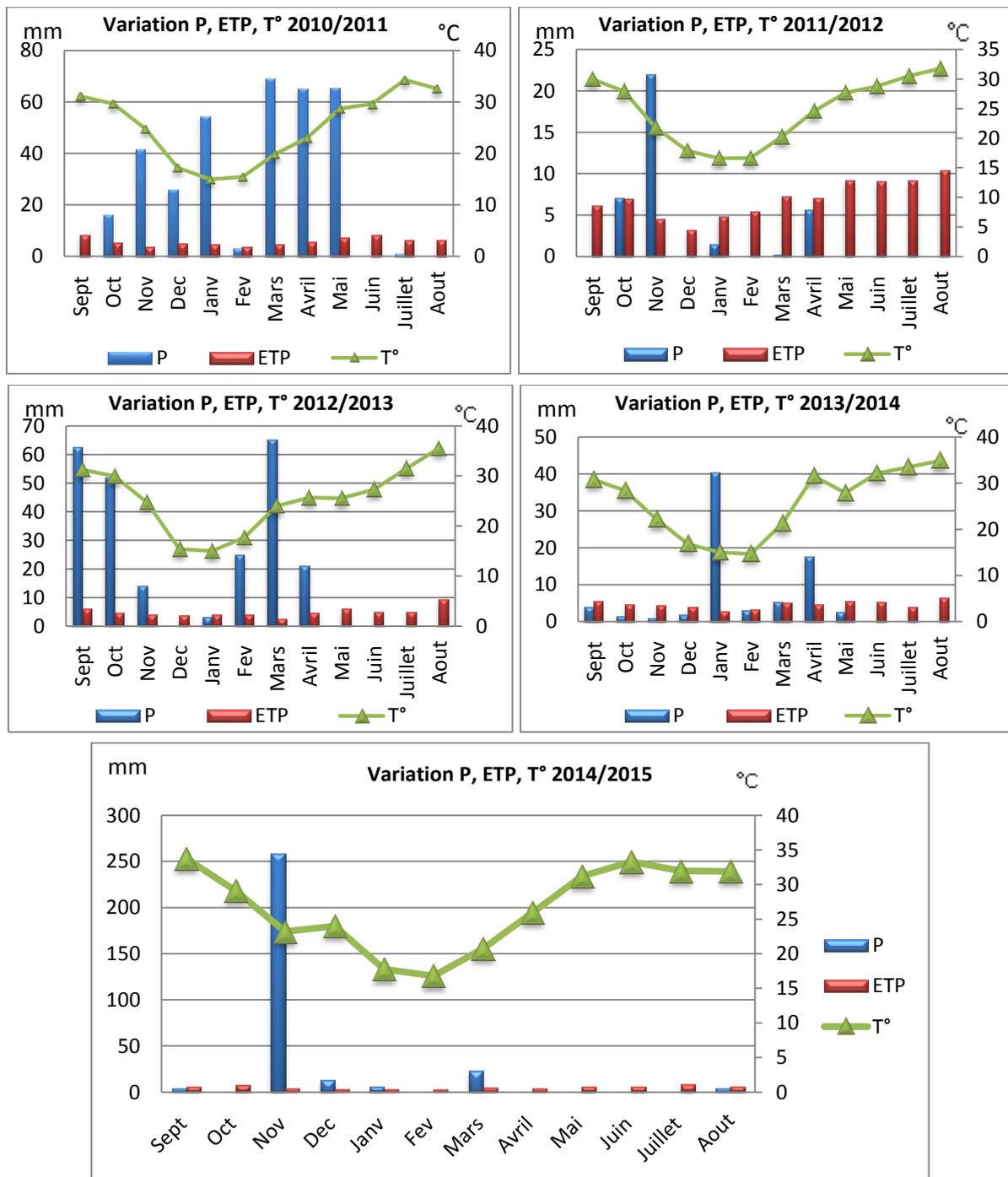


Figure.11: Variations mensuelles de P, ETP, T° pendant la période d'essais(INRA.2015)

2.3. Nature et caractéristiques des amendements utilisés :

Les fumiers et les compostes sont avant tout des amendements de sol qui améliorent la structure, augmentent l'activité biologique et contribuent à maintenir l'humus du sol. En maraichage. Ces matériaux ne sont pas seulement utilisés comme amendements, ils sont utilisés comme fertilisants. En effet, le sol a beau être en bon état, il faut apporter les

différents éléments notamment les éléments majeure (N, P, K) et les oligo-éléments. Les tableaux présentent les principales caractéristiques du fumier et du composte utilisés dans cette étude.

2.3.1. Caractéristique de fumier ovine :

Le fumier ovine est parmi les amendements classiques, enrichi la structure et la fertilité des sols, notamment les éléments majeurs à la culture (N, P, K).

Tableau.3 : Caractéristique physico-chimique du fumier ovine

Caractéristiques	Fumier de mouton	
	Signifier	Standard Déviation
Humidité	40%(en fonction des saisons)	18%
pH	8,14	0,48
CE (ms / cm)	2,85	1,17
Matière Organique Totale	77,55	9,11
Total des matières minérales en %	22,45	9,11
C / N Ratio en %	29,92	7,18
azote total g/100g	1,36	0,37
P2O5 g/kg	1,21	1,35
K2O meq/100g	1,19	0,12
Na2O meq/100g	0,24	0,20
CaO meq/100g	3,77	1,35
MgO meq/100g	0,51	0,14

2.3.2. Composition et caractéristiques du compost (PLANTA-MIX)

La maturation du compost est parmi les facteurs qui déterminent leurs caractéristiques physico-chimiques, ces dernières jouent un rôle très important sur la fertilité des sols selon la nature de la matière compostée.

Tableau.4 : Caractéristique physico-chimique du composte

Eléments majeurs	Matière sèche en %	Oligo-éléments	Concentration en ppm
N	2 à 3	Bore	45 à 50
P	2,5 à 3	Cuivre	50 à 60
K	1 à 2	Zinc	200 à 250
Mg	1 à 2	Manganèse	300 à 400
Ca	6 à 7	Fer	650 à 700
Matière organique.....25 à 30% (Par calcination, entre 80 et 90%)			
Humidité.....20 à 30% (en fonction des saisons)			
pH.....6,5 à 7,5			

2.4. Préparation et conditionnement des échantillons du sol

Sur chaque parcelle, un profil a été fait jusqu'à une profondeur de plus de 100 cm, et un échantillon de sol par horizon et la limite entre eux a été prélevée pour des raisons de classification du sol après l'apport des amendements organiques. En outre, pour la caractérisation détaillée des propriétés physico-chimiques des sols, nous avons possédés à un échantillonnage au long d'une Colonne du sol étudié, ces échantillons vont être par la suite sujet des analyses aux laboratoires.

Le premier profil été fait sur une parcelle non cultivée et sans apport des amendements organiques (sol témoin), le deuxième et le troisième profil étaient fait en parcelles sous serre de cultures : bananier et tomate avec un apport de 20 T/ha/an d'amendement (fumier ou composte) pendent 5 ans et le dernier profil été prélevé dans le jardin de domaine (culture de gazeux). Après chaque prélèvement les échantillons étaient préparés selon la méthode suivante:

➤ Le quartage par cône :

Le quartage manuel du cône se déroule comme suit (fig.12) :

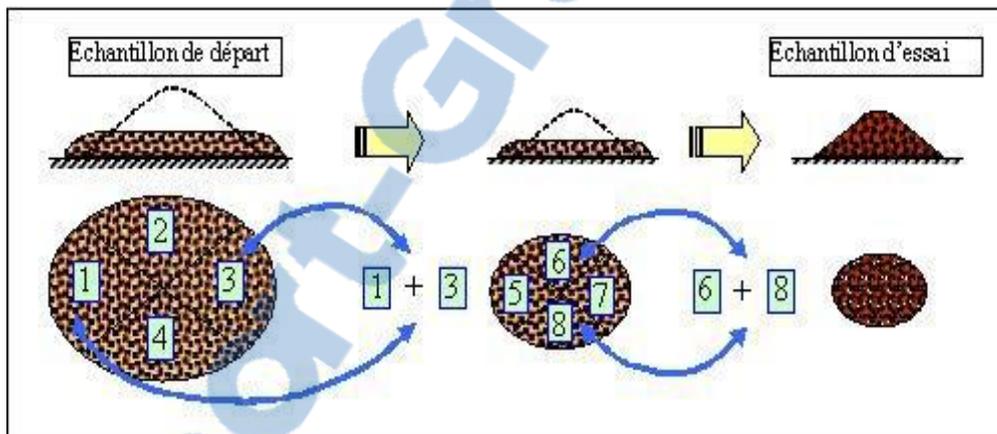


Figure. 12 : schéma explicatif de la méthode de quartage par cône

- Nous avons versé l'échantillon en un cône régulier sur une feuille.
- A l'aide d'une pelle ou papier rigide. Séparer le cône verticalement par son sommet en deux moitiés symétriques et écarter l'une des deux moitiés de quelques centimètres en prenant ce qu'un minimum de poudre reste sur la feuille de base.
- Diviser ensuite les deux moitiés par un nouveau plan vertical perpendiculaire au premier puis séparer l'échantillon de sorte que l'on obtienne quarts de cône identiques
- Prélever et rassembler les quarts (2 et 4) avec lesquels l'opération est répétée jusqu'à l'obtention de la quantité désirée.

➤ Etapes de préparation des échantillons :

Après le quartage manuel du cône, cette opération doit être faite dans les “règles de l’art”. Le schéma ci-dessous montre les étapes nécessaires à effectuer pour la préparation d’un échantillon pour des analyses physicochimiques : (Morel, 1989).

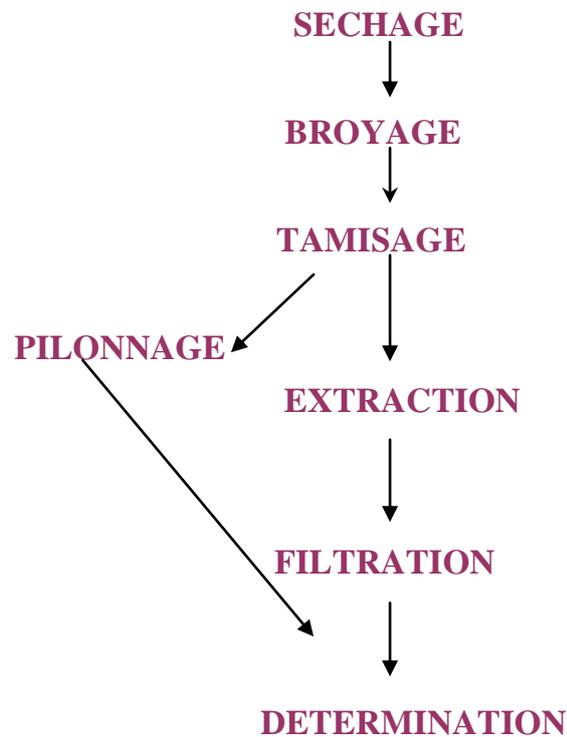


Figure.13: Etapes de préparation d’un échantillon

2.5. Analyses physico-chimiques du sol :

2.5.1. Analyse granulométrique :

La granulométrie est l’expression pondérale de la répartition des particules d’un échantillon de sol, classées selon leur diamètre. Elle est le complément analytique de la notion de texture.

Les normes internationales définissent et classent les particules selon :

- Argile 0 – 2 μm
- Limon fin 2 – 20 μm
- Limon grossier 20- 50 μm
- Sable fin 50- 200 μm
- Sable grossier 200- 2000 μm (= 2mm)

La méthode est basée sur la différence de vitesse de sédimentation entre les particules légères et les plus grosses. La sédimentation des particules résulte des deux forces opposées: gravité et friction entraînant un mouvement dans un milieu fluide. Dans la méthode Robinson un échantillon est pipeté à différentes périodes et à différentes profondeurs de la suspension du prélèvement dans une éprouvette. Durée et profondeur sont déterminées à l'aide de la loi de Stoke. Les deux suspensions pipetées (20ml) est condensées et séchées, et la pesée détermine le ratio de masse des fractions pipetées (argile et limon fin, et argile).

Après deux prélèvements, la suspension est renversée sur un jeu de deux tamis superposé. On lave abondamment les particules sur le tamis 1 d'abord et ensuite sur le tamis 2, le contenu de chaque tamis est transféré dans deux éprouvettes que l'on met à sécher (sable fin et sable grossier) (Annexe.2).

On dispose pour l'échantillon de sol des valeurs en % de la fraction du sol (Argile, limon fin, limon grossier, sable fin, sable grossier).



Photo.1: Appareil à pipette méthode Robinson

2.5.2. Analyse de pH (H₂O)

La mesure du pH se fait sur une suspension de sol (rapport sol/solution) d'abord dans l'eau distillé bouillie

- Sols acides pH<5-6
- Sols peu acides 6 < pH<7
- Sols neutres 7 < pH<8
- Sols calcaires 8<pH<9

On pèse 20 g du sol et on ajoute 50 ml d'eau distillée, ensuite on plonge l'électrode dans la suspension (après étalonnage) et après on mesure la valeur lorsque l'aiguille se stabilise.

2.5.3. Analyse de la Conductivité électrique

Après avoir mesuré le pH, on ajoute à la suspension 50ml d'eau distillé pour obtenir un mélange de 20g du sol dans 100ml d'eau, un rapport de 1/5, ensuite on agite pour bien homogénéiser la solution et on mesure la valeur lorsque l'aiguille se stabilise.

2.5.4. Analyse de Carbonate du sol

- **Principe**

L'acide chlorure d'hydrogène HCl (1/2) est ajouté à un échantillon de sol pour décomposer tous les carbonates présents.

Métal CO₃+2HCl Métal Cl₂+H₂O+CO₂

Généralement les carbonates du sol sont sous forme calcique, d'où l'intérêt de ce mode opératoire dans la détermination du calcaire total du sol.

- **Mode opératoire**

La prise d'essai de l'échantillon varie de 0.25g à 0.5g. Elle dépend du test d'effervescence. Le principe du test d'effervescence : Jeter une pincée de l'échantillon de sol pilonné dans un bécher contenant l'acide chlorure d'hydrogène (HCl ½). Plus l'effervescence observé est important plus la prise d'essai doit être faible.

- Introduire les prises d'essais dans des flacons à réaction.
- Remplir les tubes en plastique au 2/3 avec l'acide chlorure d'hydrogène HCl à ½ (v/v), et les introduire minutieusement sans les renverser aux flacons
- Boucher les flacons avec le tube de calcimètre et renverser l'acide contenu dans les tubes sur l'échantillon de sol à analyser.
- Placer les flacons à des compartiments au niveau de l'agitateur va-et- vient pendant 15 min.
- Egaliser le niveau de l'eau au niveau des deux tubes du calcimètre.
- Répéter l'analyse avec d'autres prises d'essai (à augmenter ou à diminuer), si le volume de gaz carbonique généré se trouve entre 20 et 50ml.

2.5.5. Analyse de Calcaire actif

On définit le calcaire actif comme la fraction de CaCO₃ fine facilement soluble dans l'eau carbonatée. Le calcaire actif est solubilisé par l'oxalate d'ammonium en excès et on titre cet excès par KMnO₄.

Mode opératoire

- On introduit 10 ml du filtrat (obtenu par extraction avec l'oxalate d'ammonium) dans une fiole de 250ml.
- En suite, on ajoute 5ml d'acide sulfurique concentré (H₂SO₄).
- On laisse reposer pendant une 3 à 5min afin d'augmenter la chaleur de mélange.
- Après on titre à chaud par KMnO₄ 0,1N, la fin de titrations est obtenue lorsqu'une goutte de KMnO₄ rosit la solution. Soit **n** le volume de KMnO₄ 0,1N et **n'** le volume de KMnO₄ 0,1N nécessaire pour titrer 10ml d'oxalate d'ammonium (témoin).

2.5.6. Analyse du carbone organique

La méthode Walkley-Black est utilisée pour déterminer la matière organique dans les sols agricoles par dosage du carbone organique présent selon la méthode Walkley-Black modifiée. Le domaine d'étalonnage se situe entre 1 et 20 % de matière organique.

Principe

La méthode Walkley-Black repose sur le principe que le bichromate de potassium oxyde le carbone contenu dans le sol. Le bichromate de potassium change de couleur selon la quantité de produits réduits et ce changement de couleur peut être comparé à la quantité de carbone

organique présent dans le sol. Cette méthode permet de mesurer le carbone organique. Elle ne peut être utilisée si les sols contiennent plus de 20 % de matière organique.

Mode opératoire

- On pèse avec précision environ 1 g de sol dans un erlang de 500 ml.
- On ajoute 10 ml de Dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$), puis on ajoute rapidement 20 ml H_2SO_4 technique et on agite et on le laisse reposer environ 30min.
- Ensuite, on ajoute 200 ml de l'eau distillé puis 10 ml de $BaCl_2$ et 5 ml de Acide ortho-phosphorique concentré (H_3PO_4) et 1 ml d'indicateur diphénylamine (0,5g de diphénylamine dissout dans un mélange de 100 ml H_2SO_4 + 20 ml H_2O).
- On fait un titrage par $FeSO_4$ 0,5 N (139 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ dans environ 500 ml de H_2O , puis on ajoute 40 ml de H_2SO_4 et on complète à 1000 ml avec H_2O) jusqu'à virage au vert franc.
- Soit n le volume de $FeSO_4$ en ml (Annexe).

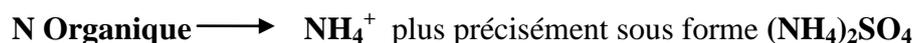
2.5.7. Analyse de l'azote total

La méthode Kjeldahl décrit la détermination de la teneur en azote dans les sols (sous sa forme ammonium, nitrate, nitrite et organique). L'azote dans les liaisons N-N et N-O, et dans certains hétérocycles (telle que la pyridine) n'est que partiellement dosé. La présente procédure est applicable à tous les types de sol et notamment aux terres agricoles.

Principe

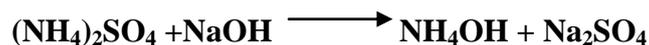
La présente procédure est fondée sur la minéralisation de type Kjeldahl, elle consiste en une minéralisation des diverses formes d'azote jusqu'à réduction sous forme NH_4^+ en présence d' H_2SO_4 et réducteurs métalliques.

- La première étape est la minéralisation son but étant de dégrader la matière organique azotée sous la forme de sel d'ammonium.



Le pH acide permet au sel d'ammonium d'apparaître sous sa forme acide de l'ammonium NH_4^+ . La dégradation de la matière organique azoté se fait à l'aide d'un catalyseur (du sulfate de cuivre et du sulfate de potassium), de l'acide sulfurique à haute température (421 °C).

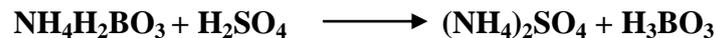
- La deuxième étape est la distillation de l'ammonium par l'ajout de soude : on cherche à transformer l'ammonium sous sa forme volatile, l'ammoniac.



La soude est ajoutée en excès afin de changer le pH acide en un pH basique, ce qui a pour effet d'obtenir de l'ammoniac. L'ammoniac est entraîné par la vapeur d'eau par distillation. Les vapeurs d'ammoniac sont condensées au contact d'un réfrigérant et recueillies dans une solution contenant l'acide borique. L'acide borique va retenir l'ammoniac sous sa forme acide.



- La troisième étape est le titrage de l'ammoniaque par une solution titrée d'acide sulfurique.



- On titre la solution jusqu'à équivalence par le virage de l'indicateur coloré, le rouge de méthyle (couleur rose rouge). L'acide borique est un acide faible, il ne libère pas d'ions H⁺ et n'interfère donc pas avec le pH.

Mode opératoire

- ✓ On pèse sur un papier filtre 2 g de sol puis on introduit tout dans un matras Kjeldahl.
- ✓ Après on ajoute 10 ml d'H₂SO₄ concentré et une pincée de mélange catalyseur.
- ✓ Ensuite, on chauffe doucement, puis plus fortement jusqu'à ébullition et décoloration du mélange.
- ✓ L'attaque (minéralisation) est terminée lorsque la solution est verte et le résidu blanc ou légèrement grisâtre.
- ✓ Après on refroidit et on ajoute 10 ml d'H₂O distillée pour rassembler tout au fond du matras puis on ajoute 0,5 ml de phénophtaléine
- ✓ Ensuite, on fait une distillation à volume constant (50ml) ou à temps constant (3,25 min), et on titre par H₂SO₄ 0,1 N (Annexe 8 et 9).



Photo.2 : Appareil à distiller de marque VELP

2.5.8. Analyse de phosphore soluble (Méthode Olsen)

Ce mode opératoire permet la détermination de la teneur du sol en Phosphore soluble dans une solution d'hydrogencarbonate de sodium NaHCO₃ (0.5mol/l) à un pH de 8.5.

Mode opératoire

- Peser 5g du sol séché à 40°C puis tamisé à 2mm et Introduire la prise d'essai dans le récipient.
- Ajouter 1g de charbon activé.

- Ajouter 100ml de solution d'extraction hydrogénocarbonate de sodium NaHCO_3 (0.5mol/l)
- Agiter pendant 30min à une température de 20°C avec un agitateur va-et-vient.
- Verser 2ml de filtrat dans des tubes en verre
- Ajouter 8ml de réactif colorant
- Mélanger les tubes avec un agitateur vortex.
- Placer les tubes dans un bain marie à une température 90°C pendant 10min et laisser refroidir et mélanger avec un agitateur vortex.
- La lecture se fait à l'aide d'un spectrophotomètre à UV-Visible à une longueur d'onde $\lambda = 825 \text{ nm}$.

2.5.9. Analyse des éléments échangeables (Na^+ , K^+ , Ca^{2+}) :

Ce mode opératoire permet la détermination de la teneur du sol en bases échangeables (K^+ , Na^+ et Ca^{++}) sous extraction d'acétate d'ammonium ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$).

Mode opératoire :

- Peser 2g d'un échantillon de sol
- Ajouter 50 mL d'acétate d'ammonium (à préparer)
- Laisser agir dans l'agitateur pendant 30 minutes et 140 tours
- Filtration
- Laisser la nuit si le sol est passé à travers le filtre afin de laisser le mélange se précipiter
- Passer les échantillons au spectrophotomètre à Flamme afin de doser les bases

2.5.10. Analyse de carbone actif :

Principe :

Les bactéries se nourrissent des matières organiques présentes dans le sol mais seulement de la partie la plus accessible aux microorganismes : le carbone actif (CA) ou labile. Grâce à un test au permanganate de potassium (KMnO_4), il est possible de doser la quantité de ce dernier dans le sol.

Mode opératoire :

- Peser 5g de sol (noter précisément la masse) à disposer dans un tube de 50 mL
- Ajouter 20mL de permanganate de potassium (KMnO_4) à 0,02 mol/ L préalablement préparé (à l'aide d'une éprouvette graduée)
- Ajouter 1mL de CaCl_2 à 0,1 M
- Agiter durant 2 minutes à l'agitateur (120 tours/min) durant 2 minutes précisément
- Laisser reposer 10 minutes en évitant toute perturbation des échantillons
- Diluer le surnageant par 100(qsp 100 mL H_2O)
- Réaliser la mesure de l'absorbance au spectrophotomètre après avoir effectué un blanc à Longueur d'onde 550 nm

Préparation de la gamme étalon

A partir de la solution mère, diluer de 2 en 2 jusqu'à D11. Passer la gamme étalon au spectrophotomètre. A l'aide des absorbances mesurées et de la concentration connue en KMnO_4 , construire tracé le courbe étalon.

2.5.11. Analyse de capacité d'échange cationique :

La CEC correspond à la quantité de charges positives portées par les cations susceptibles d'être fixés, de façon réversible, sur les sites chargés négativement de certains constituants du sol. On distingue les sites à charges permanentes dont le nombre varie peu avec les conditions de milieu (minéraux philliteux) et les sites à charges variables (matière organique) dont la quantité est fortement liée au pH.

Mode opératoire :

➤ **Soustraction :**

Peser 5g de sol dans un tube de 50 ml ; Ajouter 30 ml d'acétate de sodium (1 N) Agiter durant 30 min, centrifugé ; Verser le surnageant ; Répéter la manipulation trois fois

➤ **Lavage du culât :**

Ajouter 30 ml d'alcool isopropylique pour éliminer l'excès d'ions de sodium ; Agiter durant 30 min, centrifugé ; Verser le surnageant ; Répéter la manipulation trois fois.

➤ **Réextraction du sodium par acétate d'ammonium (1N) :**

Ajouter 30 ml d'acétate d'ammonium au culât ; agiter pendant 30 min, centrifugé et recueillir le surnageant à la fiole jauger de 100 ml, Répéter la manipulation trois fois ; compléter à 100 ml avec l'acétate d'ammonium ; filtrer a l'aide d'un papier filtre ; Réaliser la mesure de l'absorbance au spectrophotomètre à Flamme

Les modes des calculs pour chaque analyse site dans la partie des annexes

Chapitre III: Propriétés et diagnostic de la structure et l'état pédologique des sols étudiés

I. Propriétés et diagnostic de la structure et l'état pédologique des sols étudiés

1.1. Introduction :

Si le sol est un milieu vivant, il peut aussi être défini par ses propriétés physiques. Ce système comporte les trois phases de la matière : solide, liquide, gazeuse. C'est un milieu poreux, caractérisé par sa structure, arrangement de particules solides du sol qui génère une porosité, permettant des transferts. Nous allons nous intéresser à la structure du sol, puis à sa fertilité et son évolution pédologique en fonction d'un apport des amendements organiques.

1.2. Matériels et méthodes

Les différentes méthodes d'échantillonnage des sols et d'analyse structurale des profils des sols, sont décrites dans le troisième chapitre de ce document.

1.3. Résultats et discussion :

1.3.1. Etats pédologiques des sols étudiés :

Description des sols :

Les sols étudiés sont situés dans le même domaine expérimental, qui fait partie de la plaine du Souss. Ces région offre une gamme assez variée de sols favorables pour la productivité agricole grâce a leur morphologie (Cf. chapitre I).En effet, une grande partie des sols de cette région sont sableux. L'observation des profils permet de constater l'effet des amendements organiques sur l'évolution pédologique du sol.

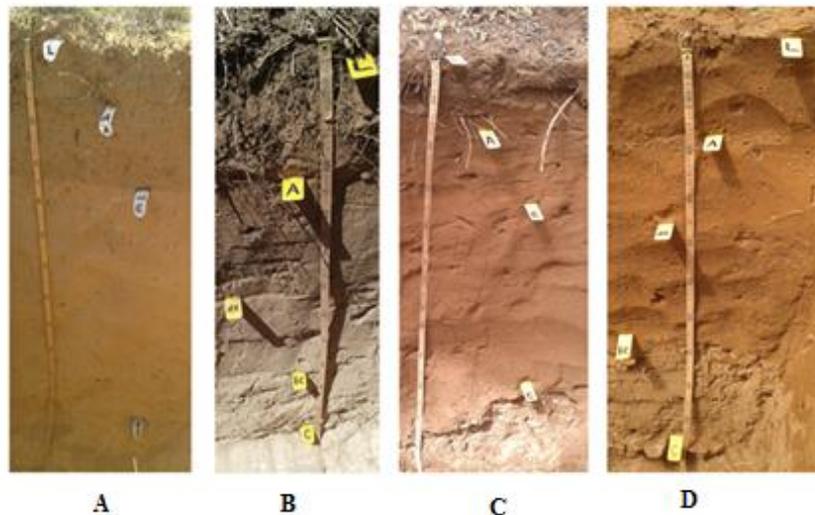
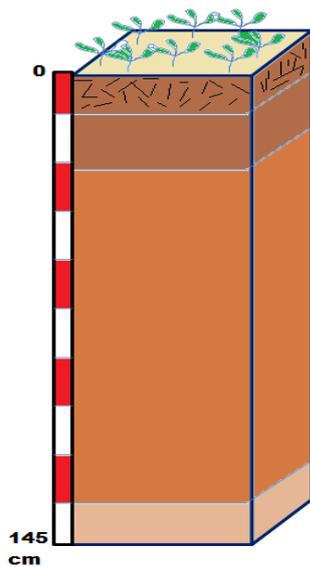


Figure.14 : Présentation schématique des sols étudiés

A : sol témoin (sans amendement) ; B : sol amendé par débris du gazon ; C : sol amendé par le fumier et débris végétaux ; D : sol amendé par le composte

- **Description due sol témoin (sol sans amendements organiques) :**

Dans un premier temps nous avons constaté qu'au niveau du profil, il existe deux couleurs différentes en générale : une partie claire à l'inférieure et d'autre relativement sombre en partie supérieure. Ce profil met en évidence quatre horizons :



0-35 cm: sableux, brun, peu calcaire; structure particulaire; très meuble; débris de coquillages; transition rapide.

35-70 cm: sableux, brun clair, calcaire; structure en éclats; très cohérent; débris de coquillages, pas de radicelles; transition nette.

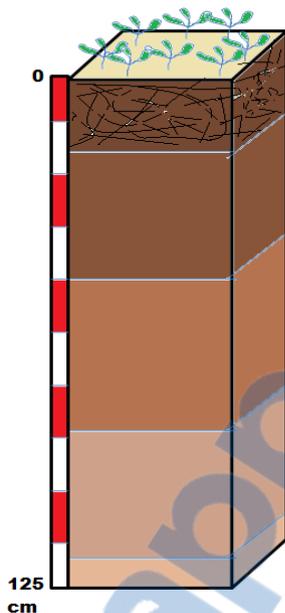
70-125 cm: sableux, brun orangé; structure particulaire et en éclats; très cohérent; horizon enrichi en calcaire; quelques granules calcaires ; débris de coquillages ; transition diffuse.

125-145 cm: sableux, gris clair; structure en éclats; débris de coquillages, très cohérent; très calcaire; assez nombreuses granules calcaires.

Figure.15 : Présentation schématique du sol témoin.

- **Description de sol amendé par les débris du gazon :**

Le premier effet des amendements organiques sur ce profil est remarqué par : un changement de sa couleur du brun à noir, développement important des racines à l'horizon du surface et une évolution importante des horizons. Ce profil met présente Cinq horizons :



0-20 cm: sableux, brun-noir, peu calcaire; structure particulaire; très meuble; débris de coquillages; transition rapide.

20-50 cm: sableux, brun foncé, calcaire; structure en éclats; très cohérent; débris de coquillages, pas de radicelles; transition nette.

50-85 cm: sableux, brun clair; structure particulaire et en éclats; très cohérent; horizon enrichi en calcaire; quelques granules calcaires ; nombreux débris de coquillages ; transition diffuse.

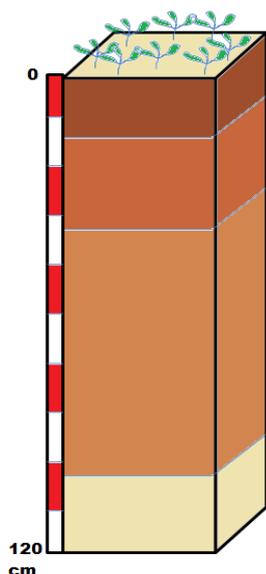
85-115 cm: sableux, gris clair; structure en éclats; rares débris de coquillages, très cohérent; très calcaire; assez nombreuses granules calcaires.

115-125 cm: limono-sableux, gris-blanc, structure en éclats; très cohérent; très calcaire; assez nombreuses granules calcaires.

Figure.16 : Présentation schématique du sol amendé par les débris de gazon.

- **Description due sol amendé par fumier et débris végétaux :**

La comparaison de profil du sol cultivé par le bananier avec le profil du sol témoin, nous a permis de remarquer, qu'il n'y a pas une grande différence, sauf l'amélioration au niveau structural notamment dans les horizons de la surface, ainsi l'épaisseur de la couche sableuse qui ne dépasse pas 1 m de la profondeur. Ce profil met en évidence quatre horizons :



0-18cm: sableux, brun foncé, peu calcaire; structure particulaire; très complexe; riche en matière organique; transition rapide.

18-40 cm: sableux, brun orangé, peu calcaire; structure particulaire; très cohérent; rares débris de coquillages, pas de radicelles; transition rapide.

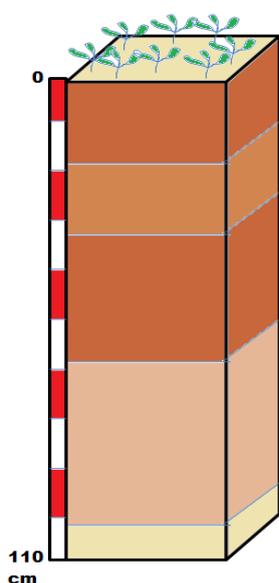
40-100 cm: sableux, brun clair; structure particulaire; très cohérent; horizon enrichi en calcaire; quelques granules calcaires ; rares débris de coquillages ; transition diffuse.

100-120 cm: roche mère; très cohérent; très calcaire; assez nombreuses galets de calcaires dolomitique.

Figure. 17: Présentation schématique du sol amendé par fumier et débris végétaux.

- **Description du sol amendé par compost :**

Le profil du sol amendé par le compost et cultivé par la culture de la tomate, est caractérisé par la minéralisation complète de l'amendement, altération importante de la roche mère, ainsi que l'épaisseur faible de la couche sableuse par rapport au sol témoin. Ce profil met en évidence Cinq horizons :



0-20 cm: sableux, brun, peu calcaire; structure particulaire; pauvre en matière organique, rare débris de coquillages; transition rapide.

20-35 cm: sableux, brun orangé, peu calcaire; structure en éclats; très cohérent; rare débris de coquillages, pas de radicelles; transition rapide.

35-65 cm: sableux, brun rougeâtre; structure particulaire et en éclats; très cohérent; horizon enrichi en calcaire; quelques granules calcaires à la limite inférieur ; rares débris de coquillages ; transition diffuse.

65-100 cm: limono-sableux, blanc cassé; structure en éclats; très cohérent; très calcaire; assez nombreuses granules calcaires.

100-110 cm: roche mère; très calcaire.

Figure.18 : Présentation schématique du sol amendé par composte.

Actuellement, après les études des profils au terrain on remarque que l'effet des amendements organiques sur l'état pédologique des sols est faible en comparaison avec le sol témoin, sauf le sol amendé par les débris du gazon qui est caractérisé par un grand changement notamment aux niveaux de la couleur et de l'évolution des horizons de la surface, par contre les sols amendé par le fumier, compost, débris végétaux sont caractérisés par une petite différence au niveau de l'évolution des horizons, ainsi au niveau structural.

- **Interprétations :**

L'évolution des sols est liée principalement à l'eau et à la température, les deux allant de pair ; la pluviométrie se répartit pratiquement sur les trois mois d'hiver, avec quelques rares averses en été. Par ailleurs, la température est relativement élevée durant cinq mois et ce, sans aucune pluie. Le ruissellement est très actif sur toute l'étendue de la plaine, la couverture végétale est faible ou nulle. Les horizons de surface de la majorité des sols ont une structure battante, donc l'eau pénètre faiblement dans le sol.

Dans ce contexte on peut expliquer la différence entre les profils du sol étudié après l'apport des amendements organiques par les étapes suivantes :

Sol témoin (sans amendement) :

Les observations macroscopiques de la couleur, la texture sableuse, et la présence des carbonates nous permettent de supposer que le sol est de dépôt quaternaire déposé sur la roche calcaire dolomitique de l'Adoudounien.

On peut expliquer la profondeur de 145 cm sans avoir la roche mère et la présence des débris de coquillages par les dépôts des couches après chaque érosion des sables.

L'accumulation des carbonates dans les horizons profonds, est liée à leur lessivage dans les horizons superficiels

Sol amendé par les débris de gazon :

L'évolution importante au niveau de couleur et le développement des racines est liée au forte d'enracinement de la culture du gazon, ainsi à l'apport des débris du gazon après chaque réaménagement du jardin pendant 30 ans, ce qui favorise le stockage de la matière organique notamment aux horizons de surfaces.

L'érosion du sol chaque année, par le vent améliore l'épaisseur de la couche sableuse, ce qui explique l'absence de la roche mère au niveau de 125 cm.

Sol amendé par fumier et débris végétaux

Généralement on peut expliquer la faible épaisseur de la couche sableuse par apport au celle de sol témoin par l'augmentation de la pente. L'apport des débris végétaux de la culture bananière à la surface du sol, diminue l'aération du sol, ainsi la dégradation de la matière organique apportée (fumier) qui explique la couleur brune foncée du premier horizon. L'évolution faible du profil peut être liée à la faible dégradation de la matière organique, ainsi à la fertilisation de la culture bananière.

Sol amendé par composte :

L'absence des débris racines est liée à l'arrachage des cultures tomate a la fin de saison culturale et à le travail du sol (labour) la faible épaisseur de la couche sableuse (65 cm) peut être liée à la pente des affleurements vers le sud, l'utilisation des engrais chimique notamment les acides nitrique et phosphorique expliquent la dégradation de la roche mère.

1.3.2. Effet des amendements organiques sur la structure des sols étudié :

L'analyse structurale des sols sera effectuée avec différentes méthodes, pour classés les agrégats et leur mode d'assemblage, Il existe donc différents types de facteurs, agissant à différentes échelles de la structure, et ayant une action délimitée dans le temps. On distingue des facteurs physico-chimiques, plus liés à la matière minérale, et des facteurs liés à la matière organique.

Dans notre étude; on peu cité la différence entre la structure des sols amendés et la structure de sol témoin (sans amendement), par le nombre et la nature des agrégats (schéma.1, 2, 3, 4), ainsi a leur fertilité physico-chimique.

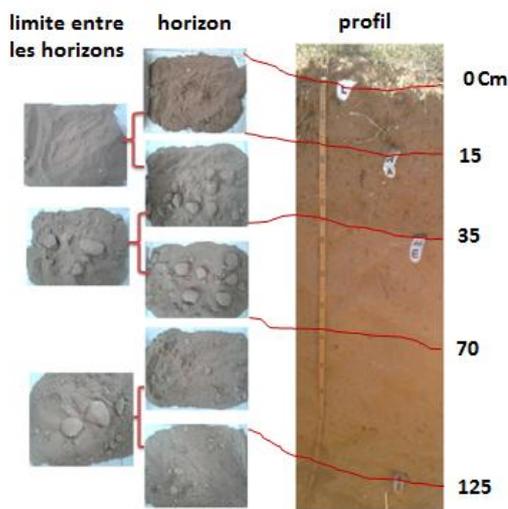


Schéma 1 : Caractéristique structural des horizons de sol témoin (Sol sans amendements)

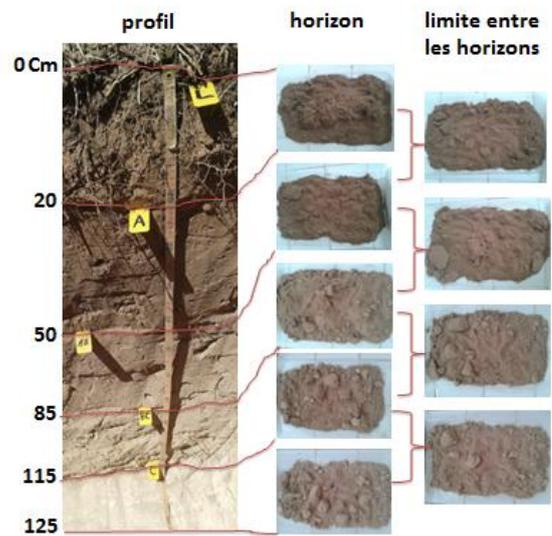


Schéma 2 : Caractéristique structural des horizons de sol amendé par les débris de gazon

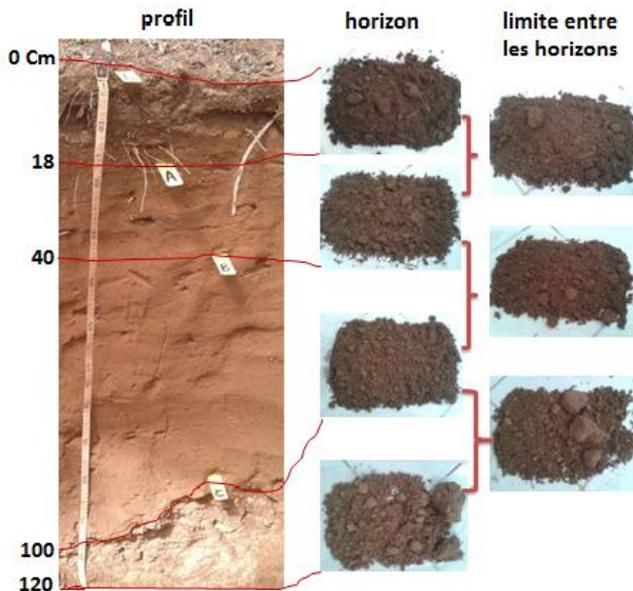


Schéma 3 : Caractéristique structural des horizons de sol amendé par les débris végétaux et fumer

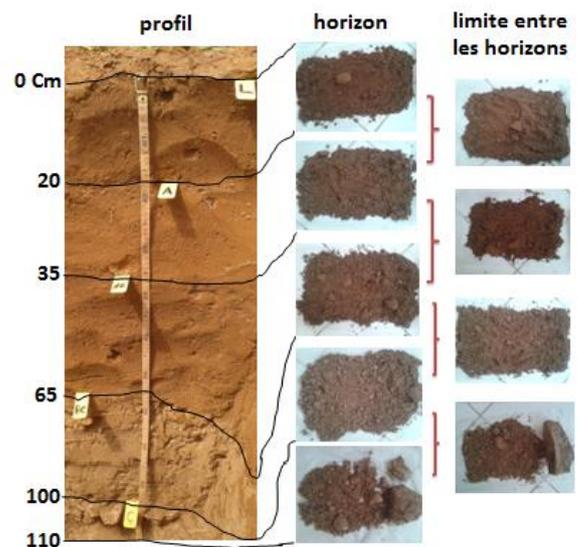


Schéma 4 : Caractéristique structural des horizons de sol amendé par compost commerciale

D'après ces résultats, l'état structural du sol témoin plus faible que l'état structural des sols amendés, avec une différence au niveau d'évolution de la structure des sols amendés selon la nature d'amendement apporté. L'effet des amendements organiques dans les quatre profils est remarqué dans par l'augmentation des agrégats par apport au profil du sol témoin.

La structure de sol amendé par les débris de gazon est moins développé par apport au sol témoin, notamment dans les horizons profond, par contre les autres sols amendés (composte, fumier et débris végétaux) qui connaît un développement plus important telle que dans les horizons de surface.

L'évaluation de l'apport de matières organiques au sol sableux influencé par nombreux facteurs telle que la porosité, l'indice de perméabilité et l'aération de sol, ce qui fait face à l'augmentation de l'état structurale et la pédogenèse du sol. Alors que l'amélioration de la fertilité, l'état structural et la pédogenèse des sols sableux nécessite une diminution de la perméabilité et l'aération du sol pour diminuer la dégradation intensif de matière organique apporté, ainsi que le lessivage des éléments nutritifs. Ceci peut être modifié par l'apport des complexes d'argile et d'amendements organiques.

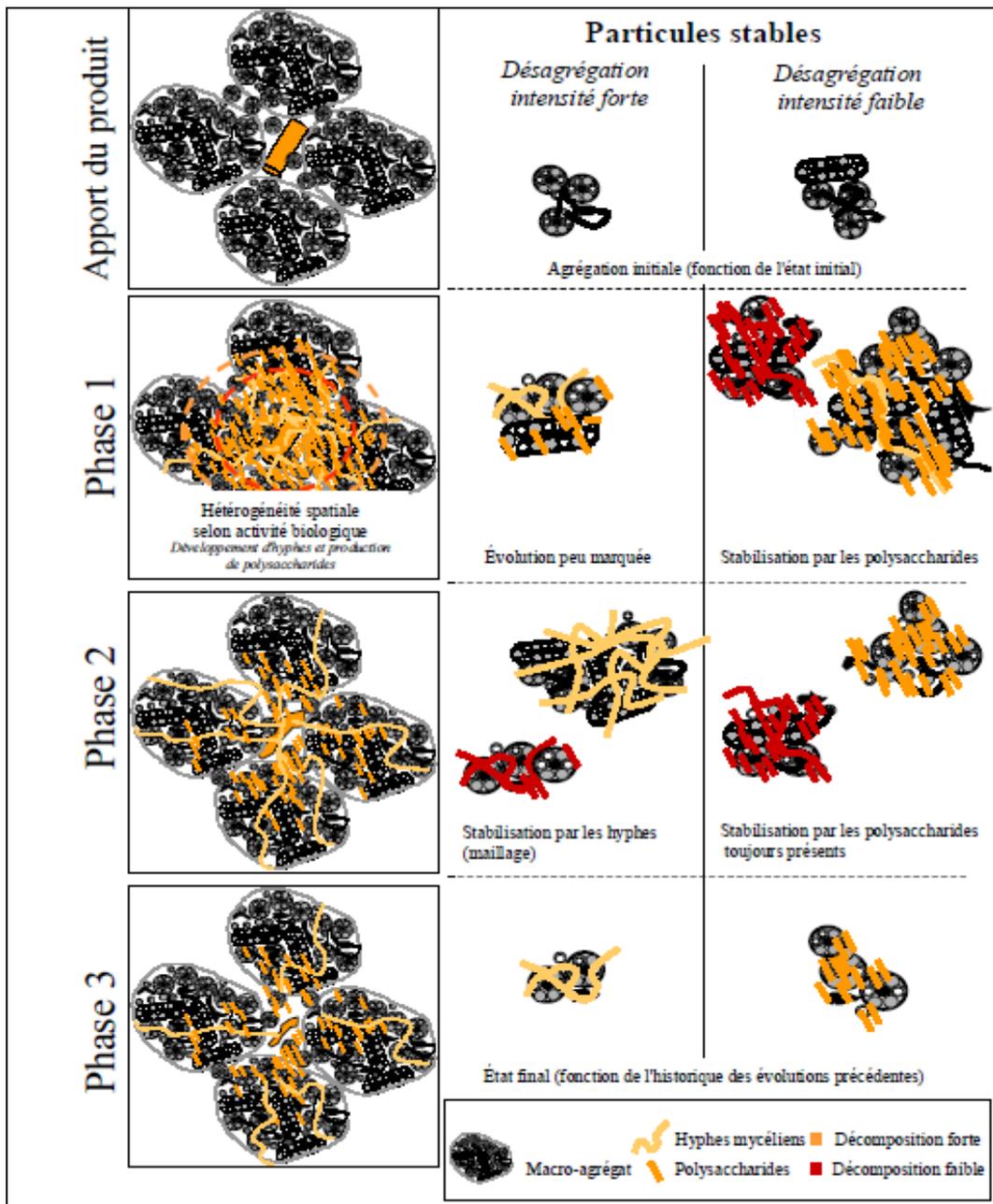


Figure. 19: modèle conceptuel de stabilisation des agrégats par les agents biologiques au cours de la décomposition (INRA de France. 2004)

Généralement on conclure que la structure du sol amendé par le fumier et débris de culture bananier (schéma 3) est très développé grâce a la texture d'amendement utilisé et leur mode d'agréant, ainsi a la diminution de l'aération du sol par l'ajoute de débris de culture bananier au surface du sol, photo 7:



Photo.3 : mode d'apport des amendements organiques au sol

La structure du sol amendé par le compost est peut développer, grâce a l'effet des engrais chimique utilisé notamment les acides nitrique et phosphoriques sur l'activité biologique du sol et celle de composte utilisé, ce qui favorise la dégradation de matière organique apporté. (Photo 5) ; par contre le faible développement de la structure du sol amendé par débris du gazon (photo 4) lié au mode d'apport sur la surface du sol, ainsi a l'effet de culture de gazon qui minimisé l'aération du sol et l'activité biologique.



Photo.4: Sol témoin



Photo.5: Sol amendé par débris de gazon



Photo.6: Sol amendé par le compost



Photo. 7: Sol amendé par le fumier et débris végétaux

1.4. Conclusion partielle

L'apport des amendements organiques dans les horizons de surface d'un sol sableux appartenant à la plaine de Sous pendant cinq années successives a amélioré ces propriétés physiques. La structure du sol, l'évolution pédologique ont été significativement affecté par le type d'amendement appliqué, l'évolution des horizons du sol amendé par le composte est très important que les sols amendé par le fumier et débris de culture bananière ou débris du gazon d'une part, et d'autre part au niveau de la structure, le sol amendé par le fumier et débris de végétaux est bien structuré que les deux autres. Alors que ces types de matière organique ne stimulent pas de façon équivalente l'activité biologique, la teneur en carbone et par conséquent, interagissent ou non avec la matrice minérale.

Les profils culturaux observés, après cinq ans d'apport d'amendements, ont montré que l'état structural des sols amendés est faible notamment dans les horizons, avec moins de mottes compactées. Les observations réalisées sur les quatre sols étudiés, vont dans le même sens, avec un état structural néanmoins un peu inférieur pour le sol amendé par débris du gazon, par rapport aux autres sols amendé par le compost ou le fumier et débris végétaux.

Généralement on peut conclure qu'il est évident que les caractéristiques du sol ont un rôle majeur sur l'état structural et aussi sur l'effet des produits organiques sur la stabilité structurale. Les effets peuvent être différents en fonction de la texture du sol, de la culture cultivée, de la quantité et la qualité de la matière organique appliqués.

Chapitre IV: Effets des amendements organiques sur les propriétés physico-chimiques et la pédogénèse des sols

I. Effets des amendements organiques sur les propriétés physico-chimiques des sols

1.1. Introduction

La Fertilisation est l'apport des éléments nutritifs minéraux nécessaires au développement de la plante sous forme d'engrais, compost ou fumier. La fertilisation du sol est basée sur l'apport de matières organiques, celles-ci en plus de leur rôle de réservoir d'éléments nutritifs, ont un rôle majeur dans la fertilité physique des sols, de leur aération et de leur résistance à la dégradation et l'érosion (Adas, 2000).

Dans la région de Sous Massa les majorités des agronomes utilisent le sol comme un support pour les végétaux, l'utilisation accrue d'engrais et de produits phytosanitaires ont favorisé la dégradation des sols (engorgement des sols, salinité et alcalinisation, perte de fertilité) et la contamination des eaux et des sols par les pesticides.

Pour ces raisons les matières organiques sont essentielles pour la fertilisation en agriculture et la base du mode de production par les techniques biologiques et pour l'amélioration des sols au niveau structurale. Le présent chapitre est consacré à l'effet des amendements organiques sur les propriétés physico-chimiques du sol.

1.2. Matériels et méthodes

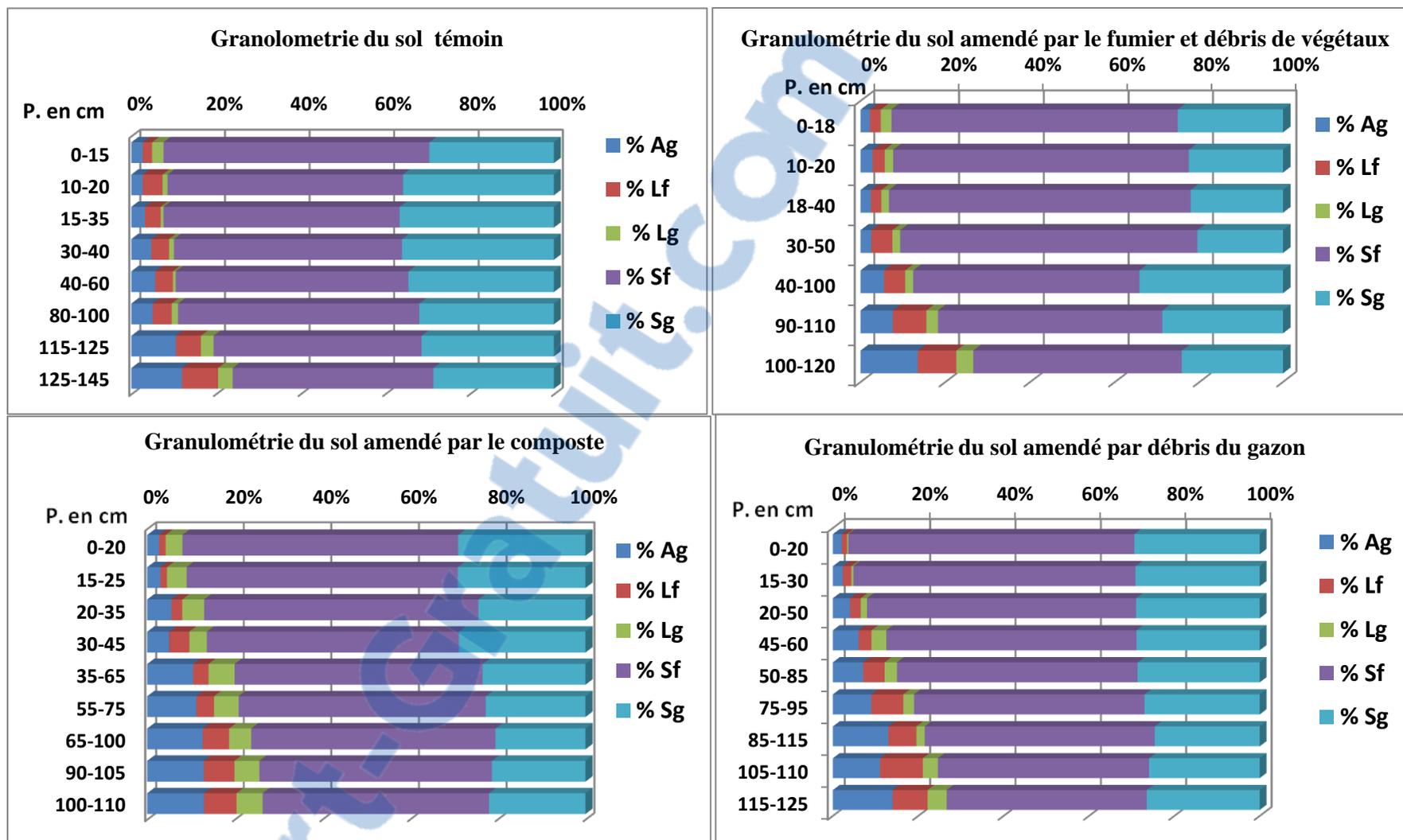
Les différentes méthodes d'échantillonnage et d'analyses physico-chimiques des sols sont décrites dans le troisième chapitre de ce document.

1.3. Résultats et interprétations

1.3.1. Effet sur la granulométrie du sol

D'après les résultats granulométriques on constate que cette dernière dépend essentiellement de la texture du sol. En effet, la détermine la fertilité des sols en donnant une idée sur la perméabilité, la porosité et l'aération des sols. D'autre part, une bonne texture est un facteur déterminant la bonne santé biologique des sols. Les résultats de l'analyse granulométrique (fig. 20) révèlent des pourcentages de sable supérieurs à 70%. D'après le triangle de texture (FAO) la zone d'étude représente des sols essentiellement à texture sableuse. Cependant, on constate qu'il n'y a pas de différence significative entre les quatre profils étudiés hormis les fractions fines qui présentent quelques différences. Les sables présentent une diminution avec la profondeur.

Ceci peut être expliqué par l'origine de dépôts qui est des formations sédimentaires quaternaires sur les calcaires dolomitiques de l'Adoudounien (cf. chapitre I). La forte perméabilité des sols sableux pourrait expliquer l'augmentation des fractions fines vers les horizons profonds par lessivage.



Ag : Argile ; Lf : Limon fin ; Lg : Limon grossier ; Sf : Sable fin ; Sg : Sable grossier

Figure. 20: Granulométries des horizons et limite entre eux des profils étudiés

1.3.2. Effet sur le pH (H₂O) du sol

Le pH est un paramètre important de la dynamique du sol, car leur degré d'acidité ou de basicité joue un rôle très important sur l'assimilation des éléments nutritifs par la plante. Il a une influence sur trois composantes importantes de la fertilité d'un sol : la biodisponibilité des nutriments, l'activité biologique et la stabilité structurale, La variation de pH dépend des variations saisonnières et du pouvoir tampon du sol (le nombre d'ions en réserve sur le complexe argilo-humique) ,l'état hydrique du sol, sa température et la présence ou non d'une culture en période de croissance active. (Dinon et al, 2008 ; Baize et al, 2000)

Généralement, les résultats obtenus (fig.22) montrent qu'on est au niveau d'un sol à pH basique, dont les valeurs s'échelonnent de 7.7 à 8.9 à avec de légères variations le long des colonnes étudiées, et selon la répartition des sols en fonction de leur pH présentée ci-dessous on peut attribuer ce sol à un sol alcalin voire même à alcalinité douce ou Modérée :

Echelle	0	2	3	4	5	6	7	8	9	
pH	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	
Degré	Très acide		Acide		Peu acide		Neutre	Peu alcalin		Alcalin

Figure.21 : Le statut acido-basique des sols selon le projet PNUD/FAO).

L'effet des amendements organiques sur le ph des sols varie selon la nature d'amendements utilisé, car on remarque que le ph du sol amendé par le fumier et débris de culture bananier diminue le long du profil, par apport au sol témoin. , par contre le sol amendé par le composte connait une petite augmentation de 7.8 a 8.2 dans les horizons du surface et une diminution de 8.7 à 8.2 dans les horizons profonds. Alors que dans le sol amendé par les débris de culture gazon, on remarque une augmentation de 7.8 à 8.1 dans les horizons de surface et de 8.7 à 8.9 dans les horizons profonds.

Cette étude montre que le ph des sols amendé par le fumier et débris végétaux est plus favorable à l'activité biologique et la capacité d'échange cationique.

En effet, les pH des sols à réaction alcaline sont souvent des sols calcaires qui entraînent d'une part une solubilisation incomplète de certains éléments comme le fer et le manganèse ainsi qu'une chlorose ferrique, et d'autre part la structuration du sol, étant donné que la structure du sol et le pH sont indirectement liés : le pH alcalin maintien la structure élémentaire des éléments en gardant les liaison entre les différents éléments constitutifs d'un même sol afin de former la matrice de celui-ci, de même l'alcalinité d'un sol va entrainer une libération du calcium et comme on est dans un sol carbonaté celle-ci participera également au maintien de sa structure.

La diminution ou l'augmentation du ph dans les sols amendés, lié à la nature et le mode de dégradation de matière organique et à l'origine d'amendement apporté. Ces facteurs favorisent l'état acido-basique des sols selon les éléments libérés après la minéralisation et l'humification de la matière organique apportée.

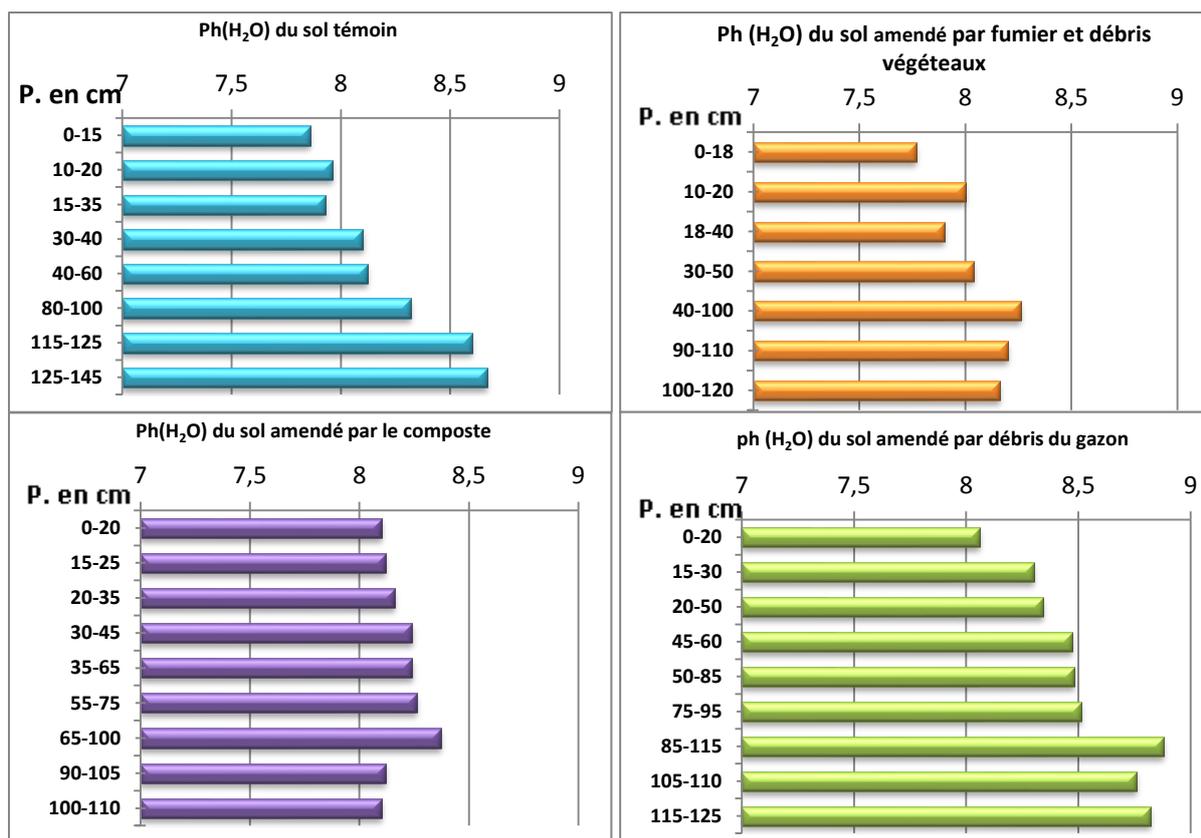


Figure.22 : Evolution de ph dans les profils des sols étudiés

1.3.3. Effet sur l'EC du sol

La conductivité électrique des sols détermine leur degré de salinité. Cette salinité se traduit par un comportement différent des cultures vis-à-vis des classes de salinité. L'échelle de Durand J.H. (tab. 5) a été utilisée pour indiquer la classe de salinité des sols sur extrait 1/5 et l'effet sur le rendement des cultures.

Tableau.5 : Classe de la qualité des sols selon l'échelle de Durand J.H. (1983)

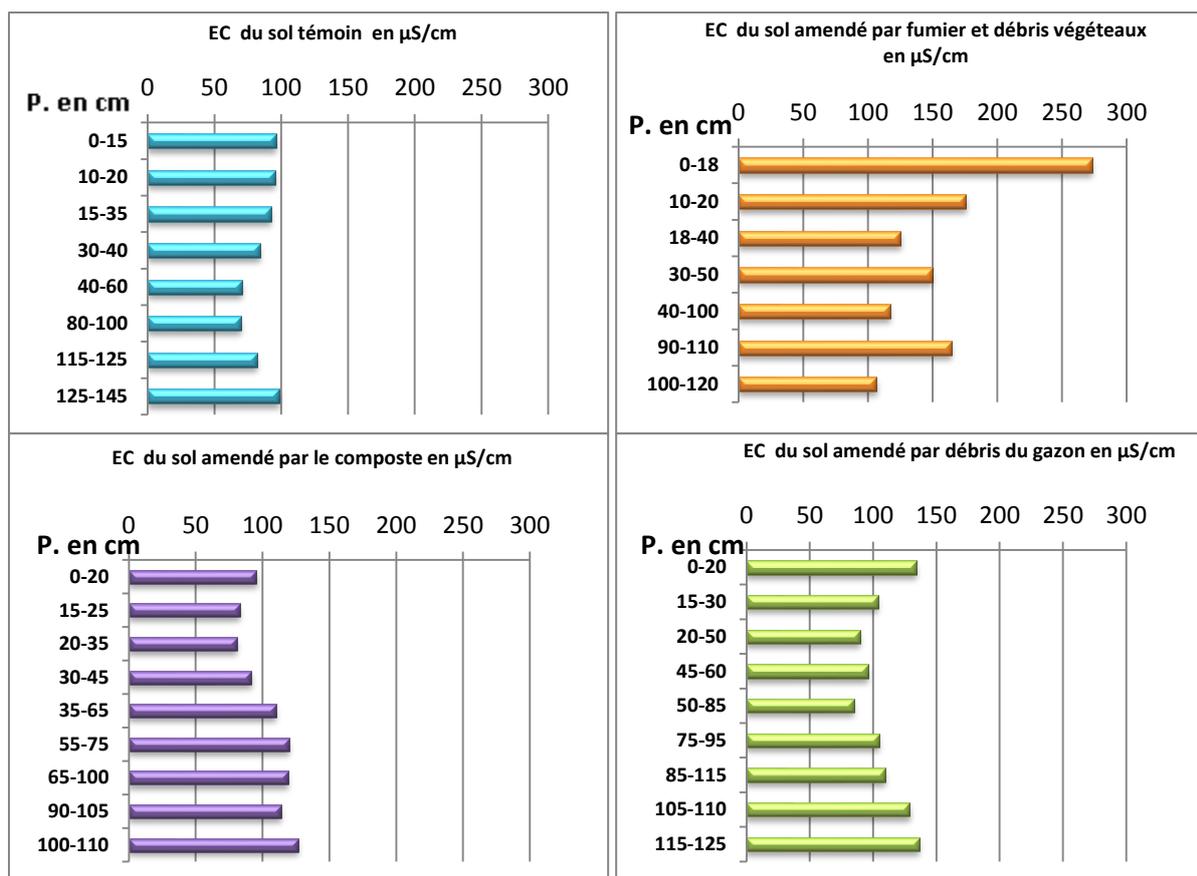
Classe	EC en $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 25°	Qualité des sols	Effet sur rendement
I	0 à 500	Non salé	Négligeable
II	500 à 1000	Légèrement salé	Diminution du rendement des cultures très sensibles au sel
III	1000 à 2000	Salé	Diminution des rendements de la plus part des cultures
IV	2000 à 4000	Très salé	Seules les cultures résistances donnent un rendement satisfaisant
V	Plus de 4000	Extrêmement salé	Seules quelques cultures donnent des rendements satisfaisants

En se référant à la classification de Durand J.H., nous avons en générale dans un sol non salé avec une évolution plus ou moins faible de CE, selon la nature d'amendement apporté :

- Au niveau du sol témoin, le long de colonne non salés par suite du fait de leurs faibles valeurs de CE qui sont inférieures à 100 μ S/cm. Sur ces sols, la salinité est négligeable et n'aura aucun effet sur la fertilité des sols et le rendement des cultures.
- Au niveau du sol amendé par le fumier et débris de végétaux, les horizons sont généralement non salés, avec une augmentation de leurs valeurs de CE notamment dans l'horizon de 0-18 qu'est dépassé 250 μ s/cm.
- Au niveau du sol amendé par le composte, les valeurs de CE des horizons superficiels (0-20 et 20-35 cm) sont diminué par apport au sol témoin, par contre ceux qui sont plus en profondeur de 35-65 et 80-110 cm qui connait une augmentation jusqu'à 125 μ s/cm.
- Au niveau du sol amendé par les débris du gazon, on note une augmentation de CE dans la majorité des horizons par apport au sol témoin, avec un petit changement (75 à 85 μ s/cm) dans les horizons intermédiaires.

Dans les régions arides, les sols, d'une manière générale, posent d'énormes problèmes de mise en valeur. Ils présentent souvent des croûtes calcaires ou gypseuses et sont la plupart du temps salés et sujets à l'érosion et à une salinisation secondaire (Aubert, 1960). La salinité négligeable des sols étudiés est liée à leur origine et leur nature lithologique et pétrographique ainsi qu'à leur texture sableuse qui favorise lessivage des sels.

L'augmentation de CE du sol dans les horizons du surface, après l'apport des amendements organiques et peut être expliqué par sa CEC. La nature d'eau d'irrigation peut également jouer un rôle salinisant.



EC : Conductivité électrique

Figure.23: Evolution de conductivité électrique dans les profils des sols étudiés

1.3.4. Effet sur la matière organique du sol

Pour calculer la teneur en matière organique du sol (MO %) la teneur en carbone du sol (C %) est multiplié par un coefficient de valeur 1,72. Cette valeur correspond à la proportion moyenne de carbone dans la matière organique du sol (cette proportion doit être 58%).

Pour la plupart de ces unités, la fertilité chimique potentielle a été caractérisée en fonction principalement de la teneur en matière organique des horizons superficiels. Les résultats obtenus après analyse des échantillons des sols étudiés (fig.24 et 25) montrent que l'apport des amendements organiques amélioré la teneur de matière organique des sols, l'évolution de cette dernière lié à la nature d'amendements appliqué.

- Au niveau du sol témoin, les valeurs de matière organique des horizons de surface (0-35 cm) < 0.7 %, avec une absence nette dans les horizons profonds.
- Au niveau de sol amendé par le fumier et débris de végétaux, l'horizon de surface (0-18 cm) est riche en matière organique (4%), avec une augmentation de 0 à 0.2 % dans les horizons profonds par apport au sol témoin.
- Au niveau du sol amendé par le composte, on note une augmentation de la matière organique dans le long de profil. Avec des valeurs varient en fonction de profondeur : 1.8 % dans l'horizon de 0-20 cm ; 0.8% dans les horizons de 55 à 105 cm.

- Au niveau du sol amendé par les débris du gazon, les valeurs de matière organique des horizons de surface (0-20 ; 20-50 cm) sont augmentent à 2% ; 0.8% par apport aux celle de sol témoin (0.7 ; 0.4%) avec variation entre 0.3 à 0.6% dans les horizons profonds.

La matière organique du sol est un indicateur important de la dégradation de la qualité des sols de part sa contribution dans la stabilité du sol, l'augmentation de la capacité de rétention en eau du sol, la fixation des éléments minéraux, et le substrat pour les microorganismes du sol. Le contenu en matière organique des sols est influencé globalement par les facteurs climatiques, la végétation, la texture du sol, les conditions topographiques, influençant le microclimat et le drainage et les pratiques culturales. (Drouet, 2010).

Les résultats des sols étudiés montrent que les sols analysés sont très pauvre en matière organique dans les horizons profonds et pauvre à moyennement pauvre (tab. 6) dans les horizons de surface. Ceci peut être expliqué par l'influence du climat aride à semi-aride de la région d'étude, la texture sableuse favorise l'aération du sol et le développement de l'activité biologique. Cette dernière joue un rôle important sur la dégradation de la matière organique. De ce fait, l'utilisation des apports organiques comme amendement améliore la situation dégradée de ces sols. Mais la faible teneur en argile dans les sols étudiés faire face au cette amélioration.

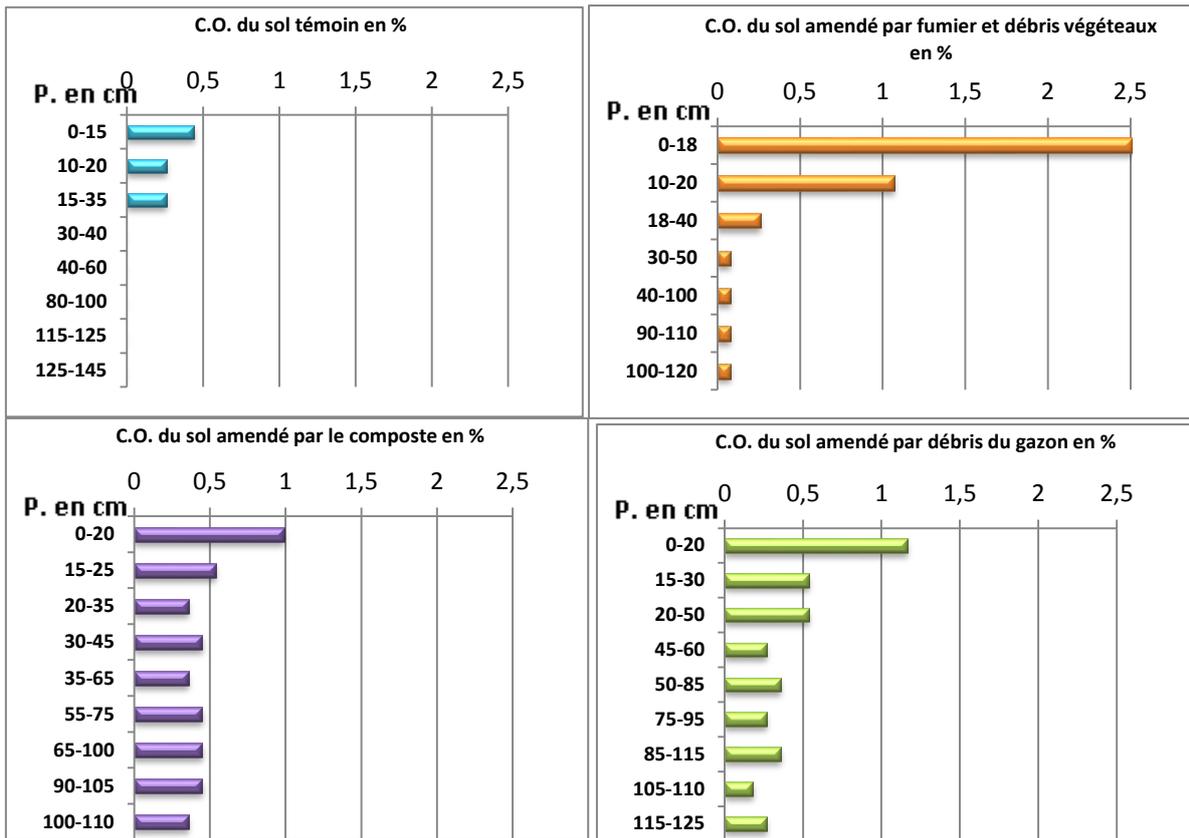
Tableau 6 : Répartition des classes de la M O des sols selon les normes Diaea /Drha /Seen (2008)

Classe du sol	MO (%)
Très pauvre	<0,7
Pauvre	0,7-1,5
Moyennement pauvre	1,5-3
Riche	3-6
Très riche	>6

Remarque : Les valeurs élevées sont à relier avec les conditions d'évolution défavorables (acidité, défaut d'aération). D'après Dabin, une bonne teneur en matière organique dans un sol sableux doit être supérieure à 11 %.

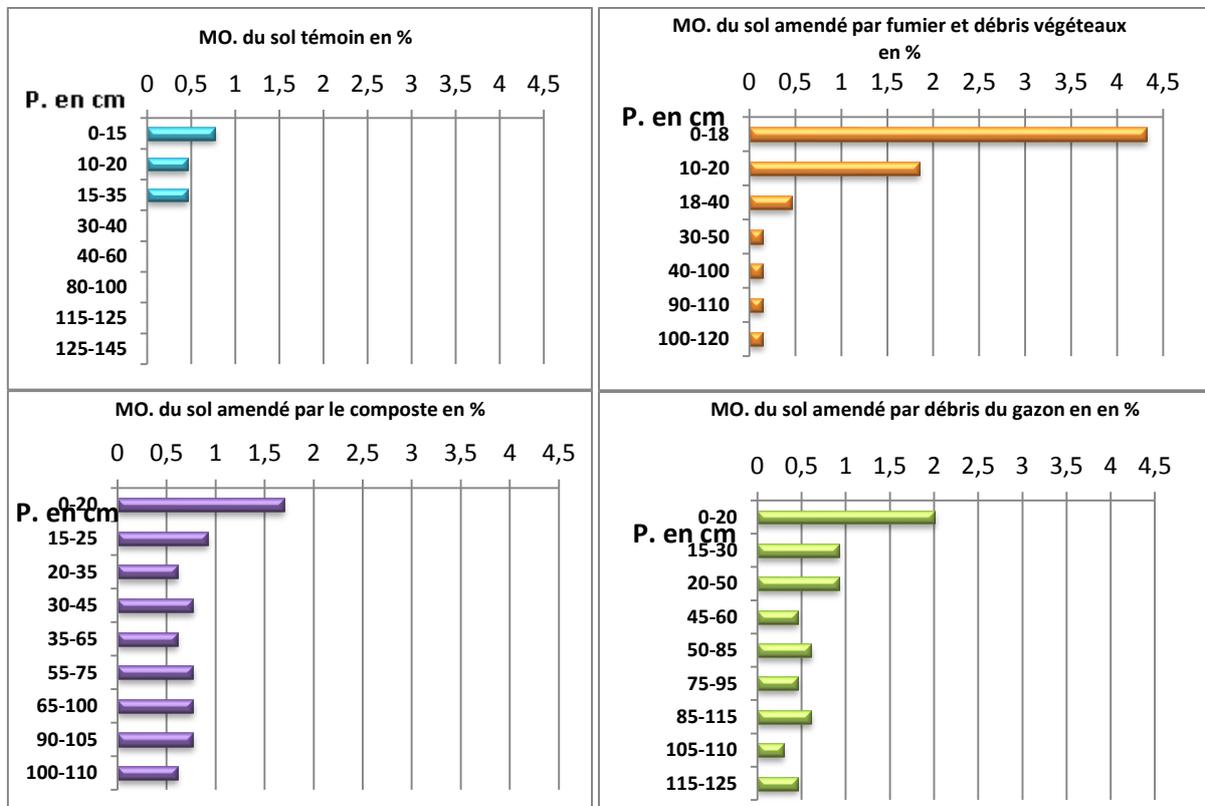
Nous avons constaté que les pourcentages de matière organique obtenus (fig. 25), après application des amendements organiques sont inférieurs à 4.3% pour les quatre profils qui ont fait l'objet d'analyses.

En conclusion, bien que l'évolution de la matière organique dans ces sols soit jugée satisfaisante, il faut cependant signaler que sa teneur reste insuffisante, ce qui nécessite un apport des argiles pour amélioré le taux de fixation de la matière organique après les agrégations du sol.



C.O : Carbone organique

Figure.24 : Evolution du carbone organique dans les profils des sols étudiés



M.O : Matière Organique

Figure.25 : Evolution de la matière organique dans les profils des sols étudiés

1.3.5. Effet sur le carbone actif du sol

L'apport des amendements organique est une technique classique pour améliorer la fertilité physique, chimique et biologique des sols. L'analyse du carbone actif est parmi les indicateurs d'analyse d'évolutions de la matière organique apporté au sol.

Les résultats obtenus (fig. 26) montrant que le carbone actif des sols étudiés est plus important dans les horizons de surface entre 220 à 500 mg/kg du sol, par apport au sol témoin(200 mg/kg), par contre les horizons profonds qui connait une faible teneur entre 20 à 80 mg/kg du sol, d'une part, d'autre part la teneur du carbone actif du sol amendé par le fumier et débris de végétaux est plus important (500 mg/kg du sol), suivi par le sol amendé par débris du gazon (280 mg/kg du sol) et le sol amendé par composte(220 mg/kg du sol).

Ceci peut être expliqué par :

Au niveau du sol amendé par le fumier et débris végétaux : la teneur élevée du carbone actif lié à la nature d'amendement appliqué notamment les types des bactéries favorables dans ces conditions et à la conduite technique de culture bananier qui demande une forte humidité du sol et la température élevée.

Au niveau du sol amendé par le débris du gazon : la teneur moyennement élevée du carbone actif lié au mode d'apport de l'amendement sur la surface du sol et à l'occupation du sol par le gazon qui bloque le contact direct avec le sol après l'apport.

Au niveau du sol amendé par le composte : la faible teneur du carbone actif du sol par apport au deux sol amendé lié à l'utilisation des engrais chimiques qui influence la santé biologique du sol et la dégradation de la matière organique, notamment l'utilisation des acide nitrique et phosphorique.

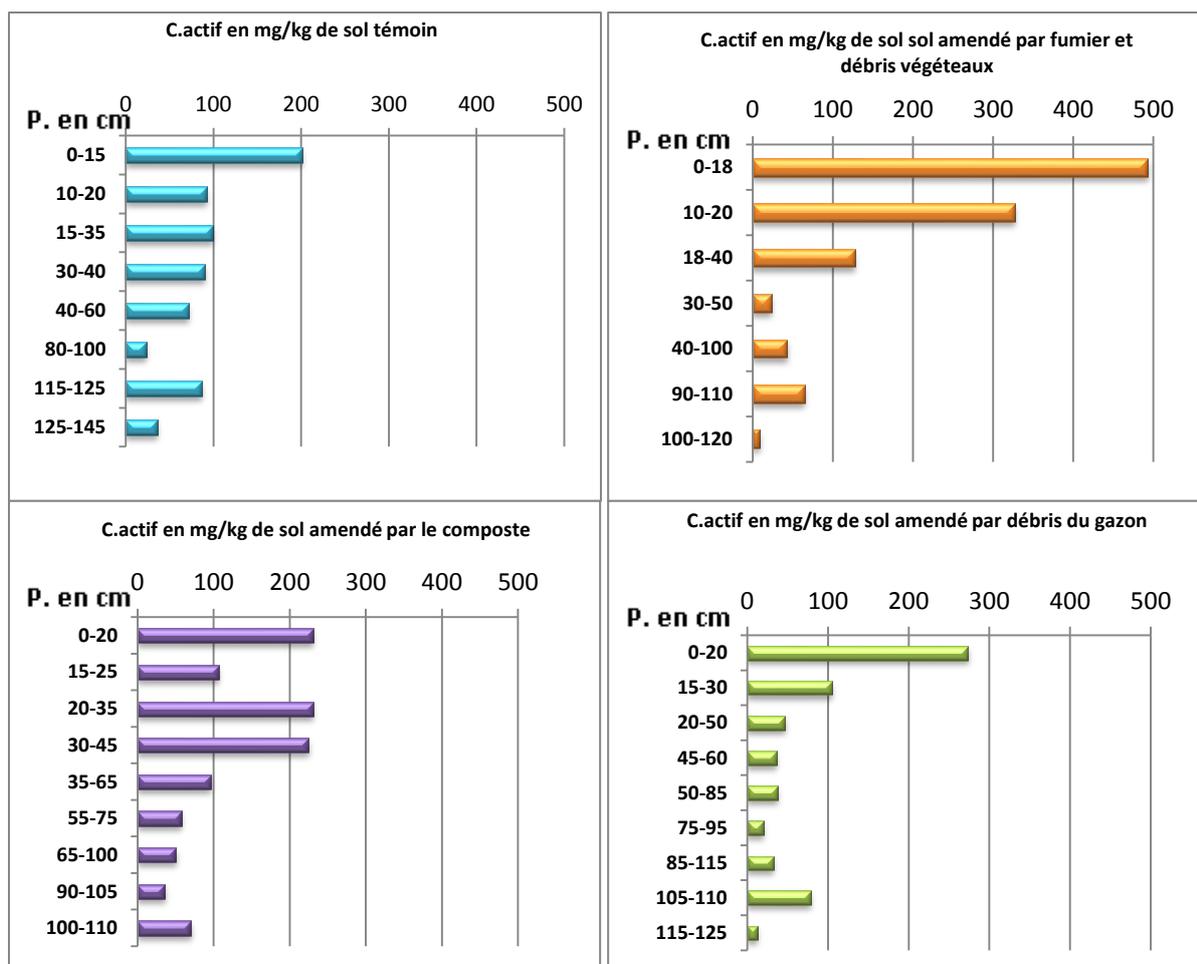


Figure.26 : Evolution du carbone actif dans les profils des sols étudiés

1.3.6. Effet sur l'azote total du sol

L'apport des amendements organique au sol joue un rôle important dans le développement et le fonctionnement des écosystèmes terrestres. Elle est source d'éléments nutritifs pour les plantes et les micro-organismes du sol, et peut améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol. Les résultats de l'évolution de l'azote total (fig.27) montrent que les apports de la matière organique ont augmenté le taux de l'azote total dans les trois sols amendés. Avec une variation selon la nature d'amendement appliqué.

Concernant le sol amendé par le fumier et débris de végétaux, le taux de Nt a été presque multiplié par 4, passe de 0.055 à 0.22 g/100g du sol, dans les horizons de surface et de 0.01 à 0.04 dans les horizons profonds.

Pour le sol amendé par débris du gazon, le taux de Nt a presque multiplié par 2, passe de 0.055 à 0.12 g/100g du sol, dans les deux horizons du surface, par contre les horizons profonds qui connaît pas une grand déférence par apport au sol témoin, le taux de Nt a été passe de 0.01 à 0.02.

Pour le sol amendé par le composte, le taux de Nt a presque multiplié par 2, passe de 0.055 à 0.12 g/100g du sol, dans l'horizon de surface, par contre les horizons profonds qui connaît une augmentation de 0.01 à 0.04.

Ceci peut être expliqué par :

Au niveau du sol amendé par le fumier et débris de végétaux, le taux de Nt lié à la nature d'amendement apporté; la conduite technique de culture cultivé notamment le taux d'irrigations, ainsi le degré de développements de la flore microbien.

Au niveau du sol amendé par débris du gazon, le taux de Nt lié au taux de N d'amendement utilisé et au mode d'apport.

Au niveau du sol amendé par le compost, l'évolution de Nt est liée à l'utilisation des engrais chimique, ces derniers influencent la forme de l'azote du sol, ce qui favorise le lessivage et l'incubation de l'azote aux horizons profonds.

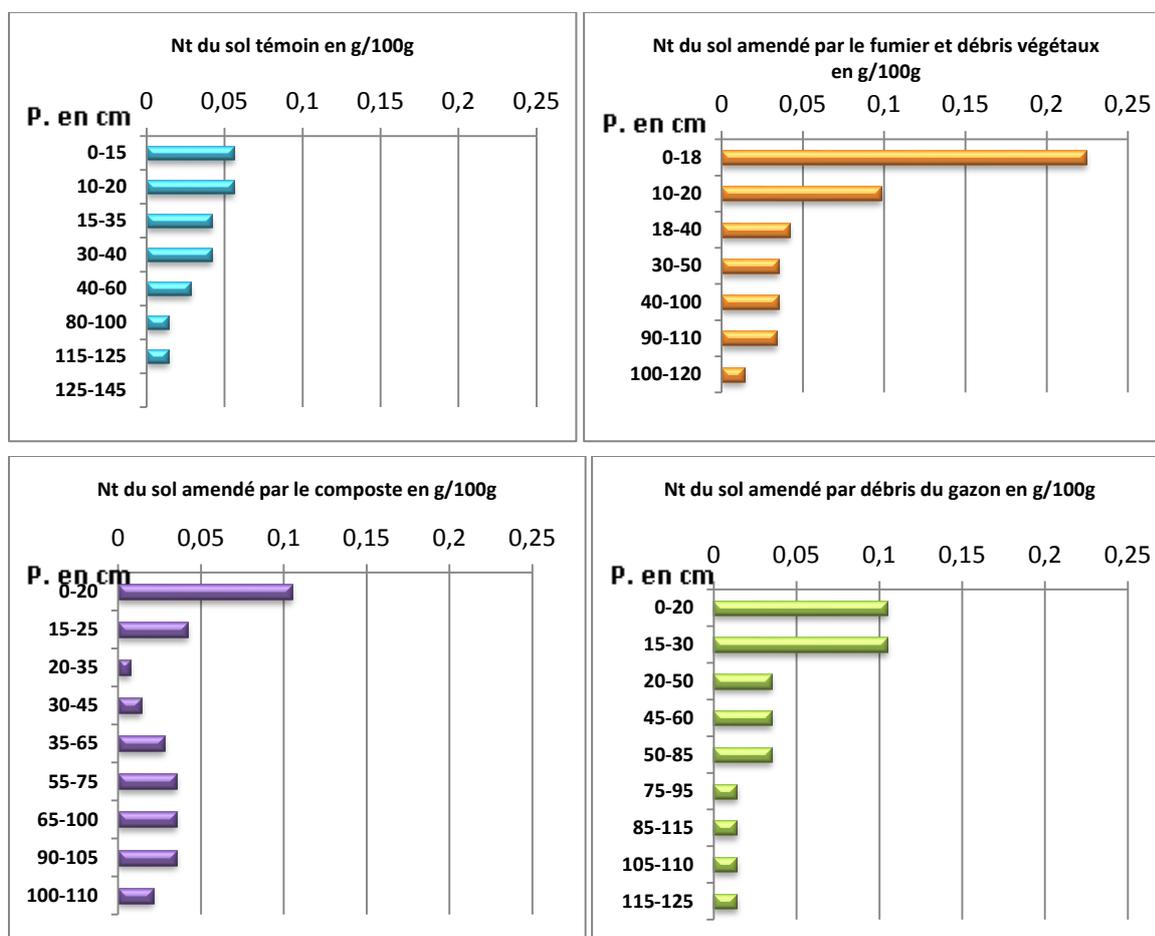


Figure.27 : Evolution de l'azote total dans les profils des sols étudiés

1.3.7. Effet sur le carbonate du sol

Le calcaire total est présent en des proportions variables avec des valeurs pouvant être parfois élevées, comprise entre 13.02 et 56.75 %. On a des horizons calcaires modérément à la surface des profils et des horizons fortement calcaires au profondeur (fig.28).

Au niveau du sol témoin, la teneur en carbonate varié entre 16.95 et 22.70 % au long de profil sauf l'horizon de 125 à 145 cm qui dépasse 31%.

Au niveau du sol amendé par le fumier et débris de végétaux, la teneur en carbonate varié entre 13.02 et 17.32 % au long de profil sauf l'horizon profond de 100 à 120 cm qui dépasse 53.36%.

Au niveau du sol amendé par le composte, la teneur en carbonate varié entre 15.62 et 20.04 % dans les horizons du surface; 31.84 et 42.75 % dans les horizons profond.

Au niveau du sol amendé par débris du gazon, le taux de carbonate augmentent en fonction de la profondeur, en allant d'une valeur de 14.84 % jusqu'à 56.75 %.

Plus le taux de CaCO_3 total est abondant dans le sol, plus il y a un risque de blocage des éléments de traces et du phosphore ; donc il faut contrôler le taux du calcaire dans le sol. Le tableau suivant présent la classification du sol selon la teneur on CaCO_3 . (Denis, 2000)

Tableau 7 : Classification du sol selon la teneur on CaCO_3 . (Denis, 2000)

% CaCO_3	Teneur
< 1%	Horizon non calcaire
1 à 5 %	Horizon peu calcaire
5 à 25 %	Horizon modéré calcaire
25 à 50 %	Horizon fortement calcaire
50 à 80 %	Horizon très fortement calcaire
> 80 %	Horizon excessivement calcaire

D'après Denis, les résultats obtenus montrent que les sols étudiés sont des sols calcaires, le taux des carbonates augmente en fonction de profondeur.

Ces taux peuvent s'expliquer par une altération des roches carbonatées qui sont très répondu dans cette région puis leur transport par l'érosion notamment le vent, ce dernier (érosion) favorise l'augmentation de taux de carbonate après chaque dépôt.

La variation du carbonate dans les quatre sols étudiés est liée d'une part au climat régional qui est semi aride et donc induit la précipitation des carbonates sous l'effet d'irrigation. Ainsi que à la structure du sol et la culture cultivée. D'autre part à la dégradation de la roche mère qui est de nature carbonaté.

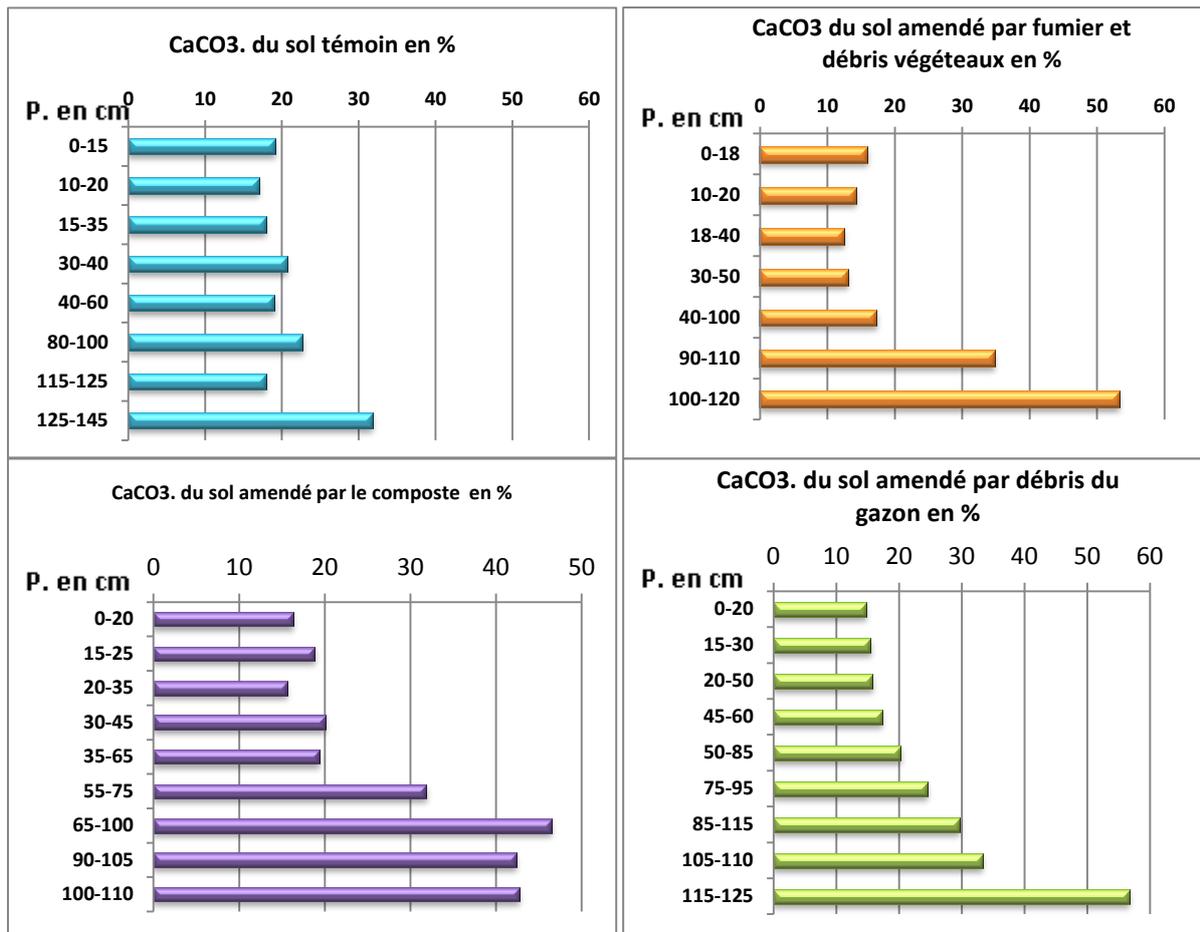


Figure.28 : Evolution du carbonate dans les profils des sols étudiés

1.3.8. Effet sur le carbone actif du sol

D'après les résultats obtenus (fig.29) ; le taux de calcaire actif est compris entre 2.5 et 8% dans les horizons du surface ; ce sont des valeurs appréciables bien qu'il y ait des valeurs élevées de 9 à 13.62% dans les horizons profonds, ces valeurs a un effet sensible et on un risque de chlorose, mais il y a plusieurs valeurs a un effet nul comprise entre 01 et 07%.

Le taux du calcaire actif augmente en fonction de profondeur dans tous les profils étudiés, avec une diminution au niveau des horizons superficielles des sols amendés, par apport aux celle de sol témoin (12%), telle que les sols amendés par le composte ; fumier et débris de végétaux.

Ceci peut être expliqué par une altération des roches carbonatées puis leur déplacement de haut au bas par lessivage. Le taux élevé de calcaire actif d'horizons 0-15 cm de sol témoin peut être lié au climat aride qui favorise l'évapotranspiration, ainsi que l'évaporation de l'eau d'irrigation augment le taux des cations du sol notamment du calcium Ca²⁺.

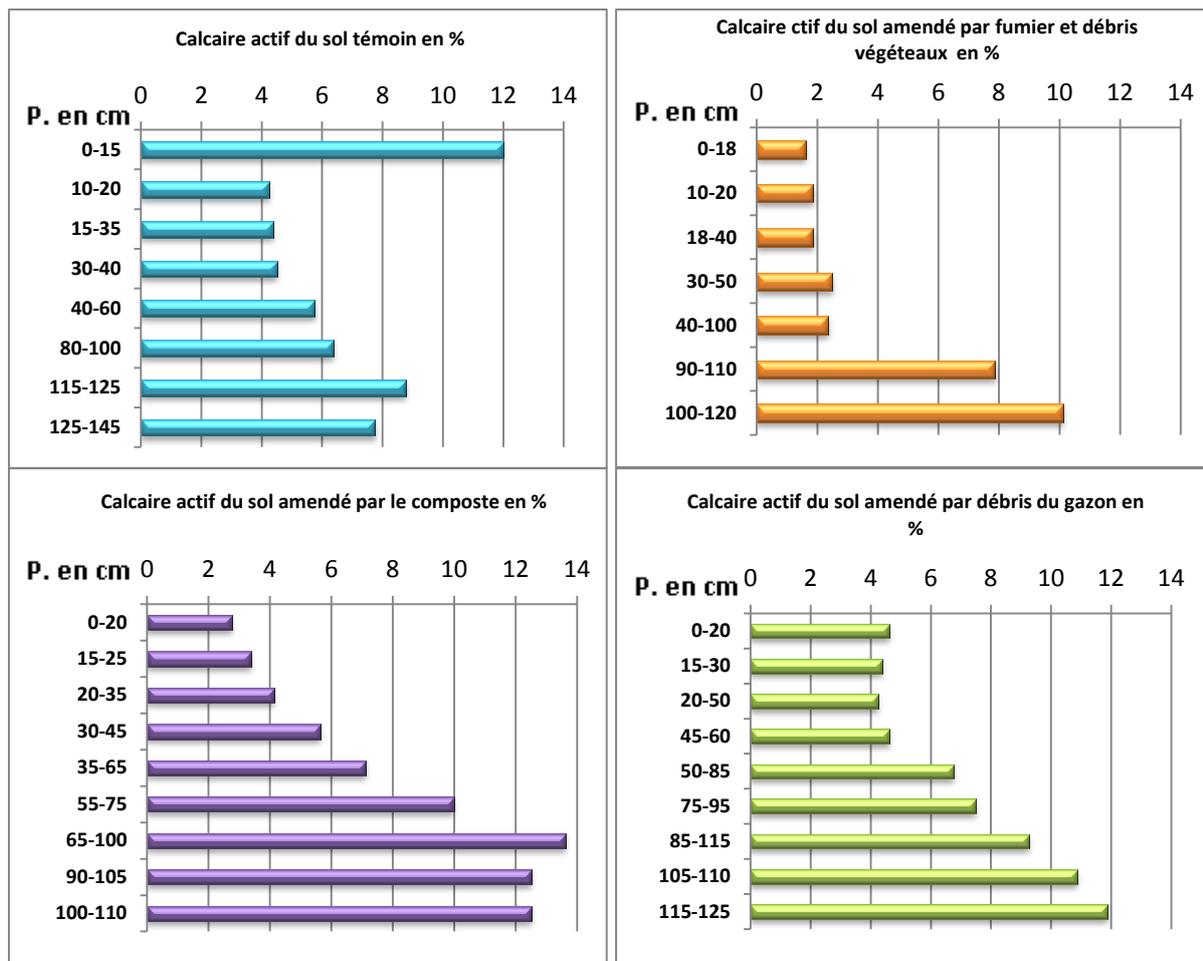


Figure.29 : Evolution de calcaire actif dans les profils des sols étudiés

1.3.9. Effet sur le CEC du sol :

Les graphiques de la figure 30 ; montrent que la capacité d'échange cationique augmente dans les sols amendés par apport au sol témoin. Dans le long de profil, alors qu'on observe presque le même effet pour les différents amendements utilisés, ce qui affiche des taux variés entre 8 à 10 meq/100g du sol, dans la majorité des horizons des sols. Avec une teneur élevée dans l'horizon de 0-18 cm du sol amendé par le fumier et débris végétaux (43.62 meq/100g du sol).

L'augmentation de la CEC est plus dépendante de l'accroissement de la matière organique que de la faible fraction argileuse trouvée dans les sols et du pH indirectement par son comportement réactionnel avec ces deux colloïdes (argiles et matières organiques). La capacité d'échange cationique est liée aux complexes argilo-humiques formés de l'humus et des particules minérales par l'intermédiaire des cations Ca^{2+} , Fe^{2+} et Al^{3+} ; responsables de l'amélioration des propriétés du sol que le compost contribue à former (Charland et al. 2001). Le taux élevé de la CEC dans l'horizon 0-18 cm de sol amendé par le fumier et débris végétaux, peut être expliqué par l'humidité élevée du sol, d'après une irrigation forte, ce qui favorise le développement biologique, alors que la dégradation forte de matière organique.

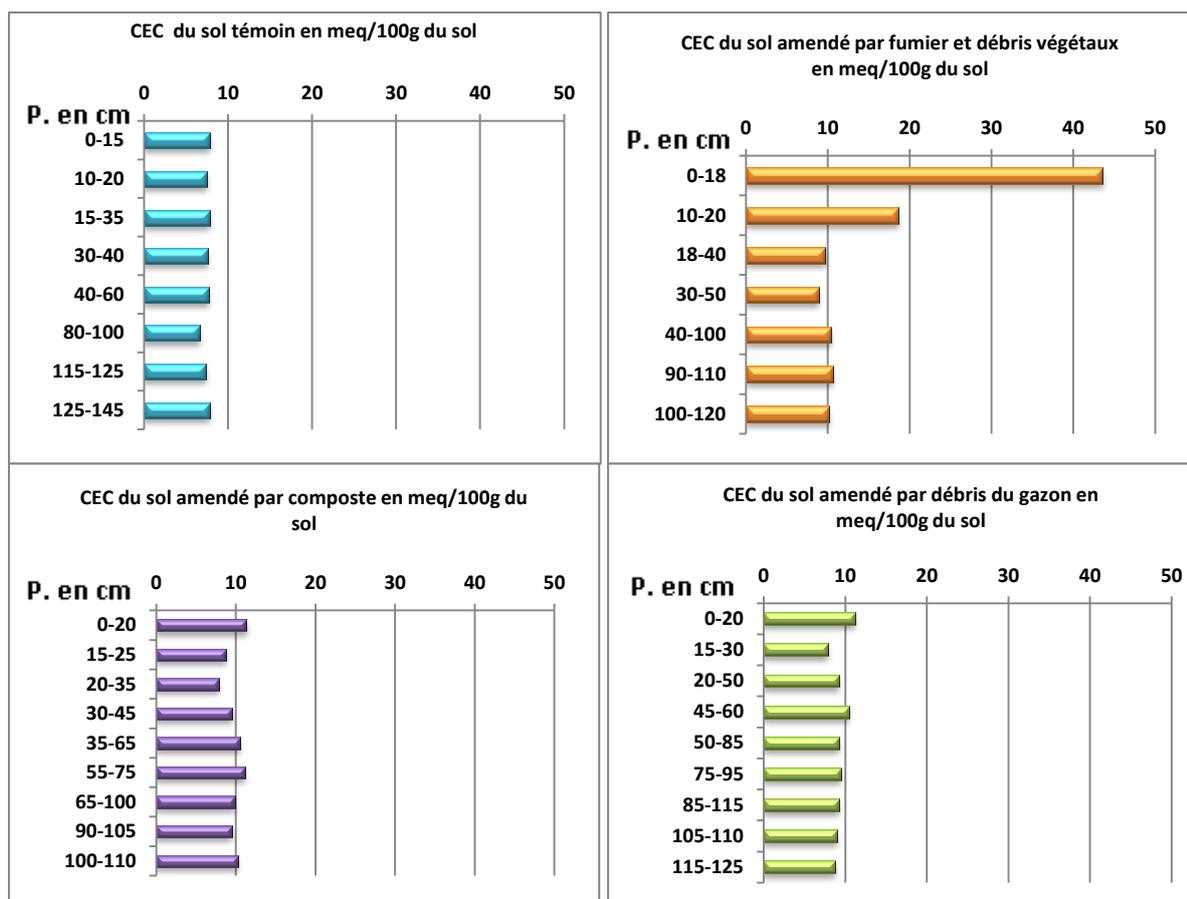


Figure.30 : Evolution de capacité d'échange cationique dans les profils des sols étudiés

1.3.10. Effet sur le sodium du sol (Na⁺)

D'après les résultats de figure 31, le taux de sodium de sol témoin varié entre 0.15 à 0.65 meq/100g du sol, en fonction de profondeur, ces valeur connus une augmentation ou diminution selon la nature de l'amendement appliqué.

Pour le sol amendé par le fumier et débris végétaux, le taux de Na⁺ augmente dans les horizons de surface de 0.22 à 0.9 meq/100g du sol, par contre les horizons profonds qui connus une diminution de 0.65 à 0.35 meq/100g du sol.

Pour le sol amendé par débris du gazon, le taux de Na⁺ augmente dans le long de profil par apport au sol témoin, de 0.22 à 0.4meq/100g du sol au surface et de 0.65 à 1.1 meq/100g du sol.

Pour le sol amendé par le composte, le taux de Na⁺ augmente dans l'horizon de surface de 0.15 à 0.22 meq/100g du sol, par contre les autres horizons qui sont connus une diminution important par apport au sol témoin.

L'augmentation de taux de sodium en fonction de profondeur dans le sol témoin et sol amendé par débris du gazon, peut être expliqué par lessivage des cations des horizons de surface. Par contre le taux de sodium de sol amendé par le fumier et débris végétaux que peut être expliqué par la forte évaporation. Le taux de sodium de sol amendé par le composte est peut être expliqué par l'effet d'utilisation des engrais chimique.

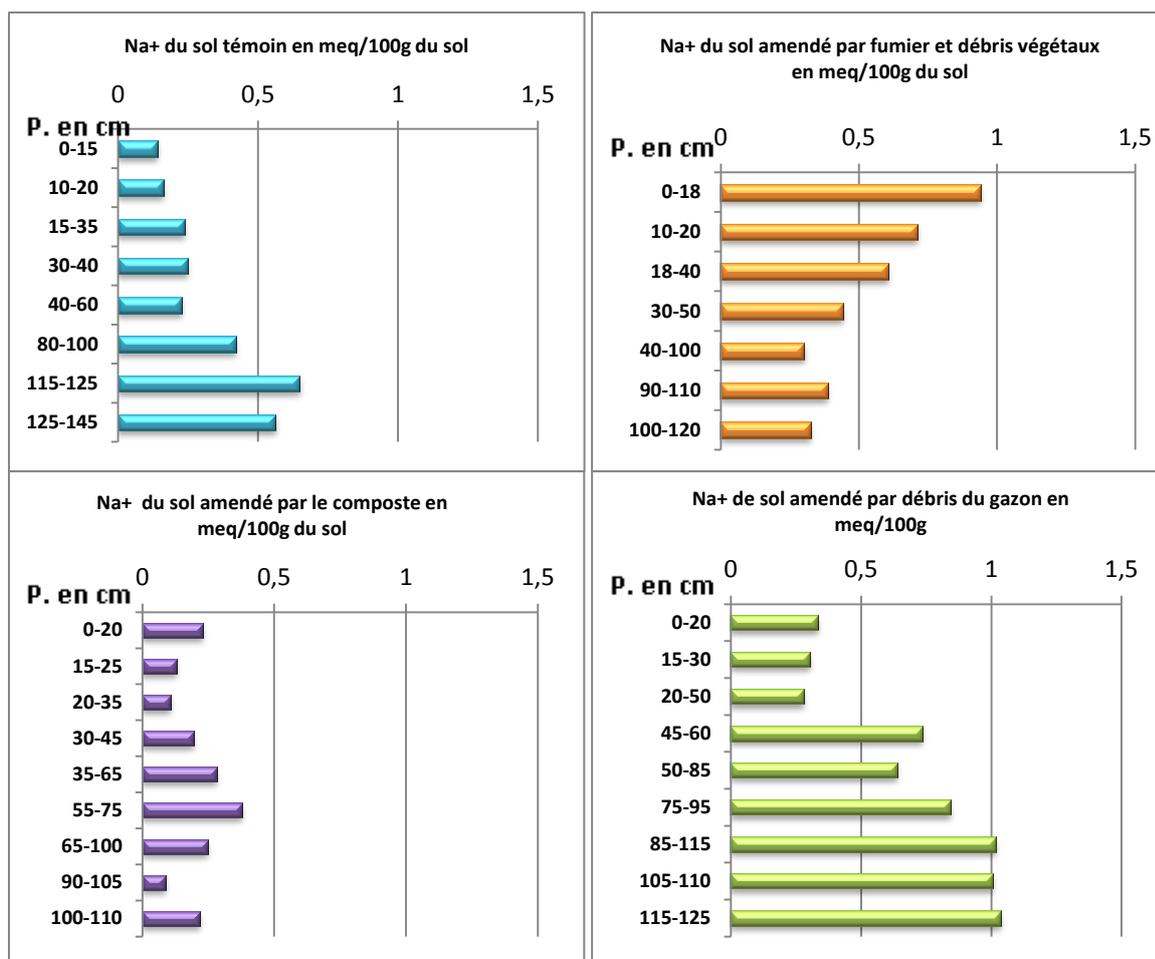


Figure.31 : Evolution de sodium échangeable dans les profils des sols étudiés

1.3.11. Effet sur le potassium de sol (K^+)

Le potassium échangeable est parmi les éléments important à la fertilité des sols, Le potassium est absorbé par la plante sous sa forme ionique K^+ . Il est essentiel pour la translocation des sucres et pour la formation de l'amidon. Il intervient dans la régulation osmotique et ionique, ainsi que dans le processus d'ouverture et de fermeture des stomates. Le potassium est nécessaire pour plusieurs fonctions enzymatiques et pour le métabolisme des protéines et des carbohydrates. Leur variation dépend aux propriétés physico-chimiques du sol et la nature d'amendement apporter. Les résultats de figure 32, montrant une augmentation de taux du potassium échangeables dans tous les sols amendés, par apport au sol témoin.

Au niveau de sol témoin, le taux de K^+ variés entre 0.45 à 0.56 meq/100g du sol dans les horizons de surface et de 0.15 à 0.18 meq/100g du sol dans les horizons profonds.

Au niveau de sol amendé par le fumier et débris végétaux, le taux de K^+ variés entre 1 à 1.5 meq/100g du sol, dans les horizons de surface et de 0.55 à 1.2 meq/100g du sol, dans les horizons profonds.

Au niveau de sol amendé par le composte, le taux de K^+ variés entre 0.38 à 0.45 meq/100g du sol, dans les horizons de surface et de 0.55 à 0.62 meq/100g du sol, dans les horizons profonds.

Au niveau de sol amendé par débris du gazon, le taux de K^+ variés entre 0.4 à 0.54 meq/100g du sol, dans les horizons de surface et de 0.18 à 0.3 meq/100g du sol, dans les horizons profonds.

Ceci peut être expliqué par le taux de potassium des amendements apporté et par les conditions de chaque sol notamment la culture cultivé et le taux d'irrigation, alors que l'effet de fumier et débris végétaux sur le potassium du sol est très important par apport aux d'autres amendements (composte et débris du gazon).

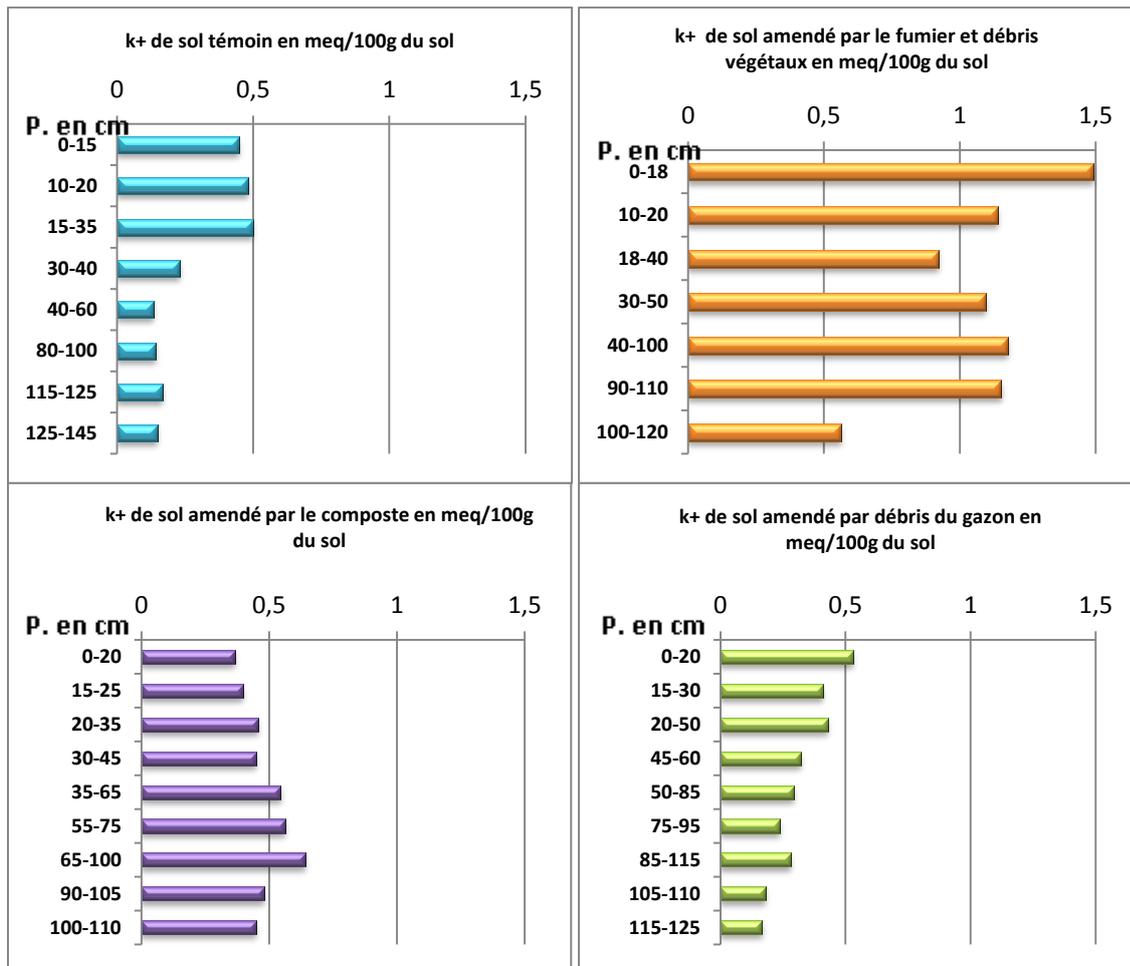


Figure.32 : Evolution de potassium échangeable dans les profils des sols étudiés

1.3.12. Effet sur le calcium de sol (Ca^{2+})

Le calcium joue un rôle important dans l'ajustement du pH du sol. En effet, au fur et à mesure que les ions hydrogène quittent les sites d'échange pour remplacer les ions hydrogène (H^+) neutralisés par les carbonates dans la solution du sol, ils sont remplacés sur ces sites par les ions calcium (Ca^{2+}). De plus, le calcium est un élément qui contribue à la nutrition minérale des plantes. Les résultats de figure 33, montrant que le taux de Ca^{2+} des sols étudiés est presque de même valeurs, entre 4 à 6 meq/100g du sol dans les horizons de surface et de 6 à 8 meq/100g du sol dans les horizons profonds des sols amendés par le compost et débris du gazon.

Alors que l'apport des amendements organiques n'a aucun effet sur le taux de calcium échangeable du sol, ce qui explique que le taux de Ca^{2+} des sols étudiés est lié à la partie minérale du sol telle que à l'altération des carbonate

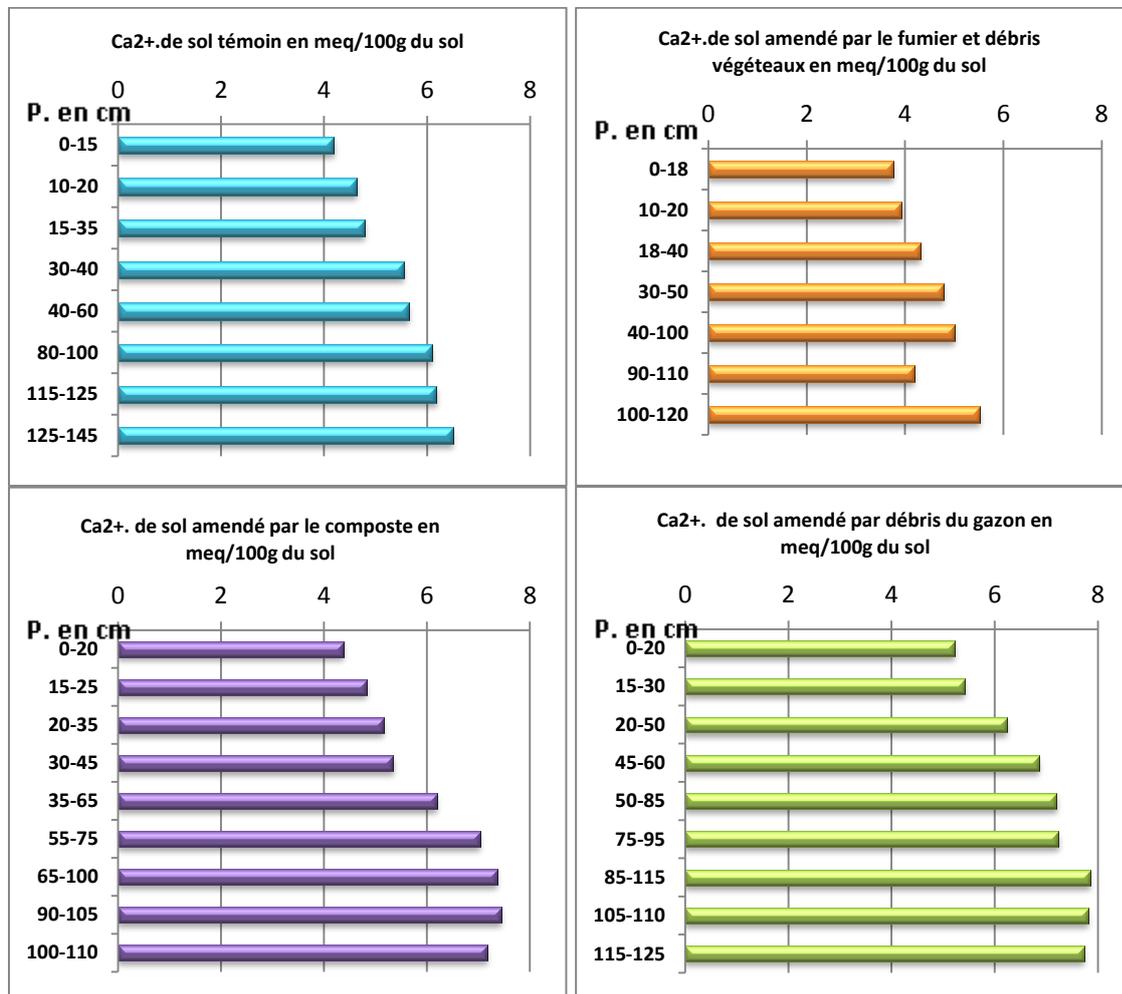


Figure.33 : Evolution de calcium échangeable dans les profils des sols étudiés

1.3.13. Effet sur le phosphore assimilable du sol :

Le phosphore est un des éléments majeurs indispensables à la croissance et au développement des végétaux. Il joue en particulier un rôle essentiel dans la mise en place du système racinaire, la photosynthèse et la reproduction du végétal. Leur variation dépend aux propriétés physico-chimiques du sol. Les résultats de phosphore assimilable ont présentés dans la figure 34. La teneur en phosphore disponible pour le sol de témoin est bien pourvu dans les horizons de la surface (38 ppm) et faible dans les horizons profonds (18 ppm).

Pour le sol amendé par le fumier et débris végétaux, le taux de phosphore assimilable élevé dans le log de profil, avec des valeurs entre 50 à 135 ppm dans les horizons de la surface et de 60 à 80 ppm dans les horizons profonds.

Pour le sol amendé par le composte, le taux de phosphore assimilable est faible dans la majorité des horizons, avec des valeurs entre 18 et 30 ppm, par contre les deux horizons profonds qui sont bien pourvu.

Pour le sol amendé par débris du gazon, le taux de phosphore assimilable est faible dans le long de profil, avec des valeurs entre 15 et 30 ppm.

Tableau 8 : Répartition des classes de phosphore assimilable (P₂O₅) selon les normes Delaunois (2008)

Classe du sol	P ₂ O ₅ (ppm)
Très faible	<15
faible	15-30
Bien pourvu	30-45
Elevé	45-100
Très élevé	>100

La teneur élevé de phosphore assimilable dans le sol amendé par le fumier et débris végétaux peut être expliqué par la teneur élevé de P₂O₅ dans l'amendement appliqué (fumier), ainsi par la forte irrigation et température demandé par la culture de bananier.

La diminution de taux de P₂O₅ dans les sols amendés par le composte et débris de gazon, par apport au sol témoin, peut être expliqué par l'influence des cultures cultivés (tomate, gazon), ces dernières demande une teneur important des éléments nutritif notamment N, P, K.

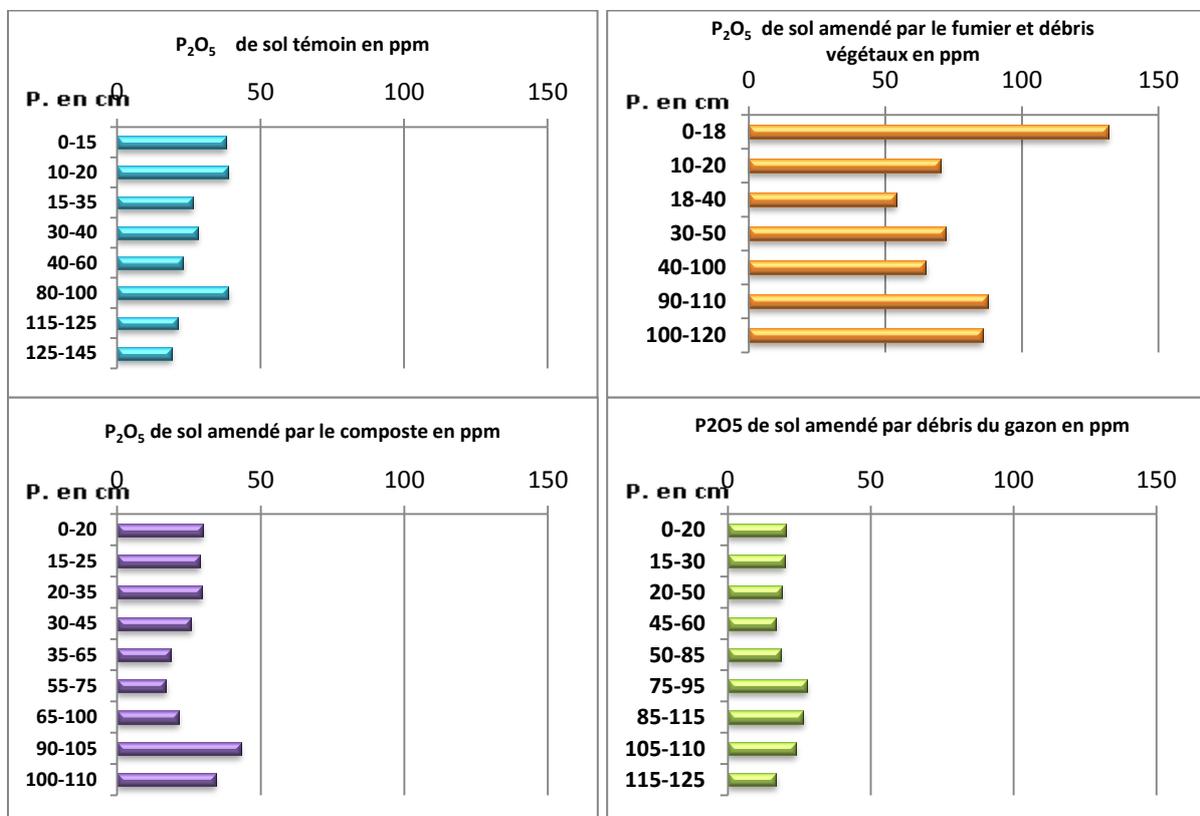


Figure.34 : Evolution de phosphore assimilable (P₂O₅) dans les profils des sols étudiés

1.4. Conclusion

La caractérisation physique a révélé que les sols du site étudié ont une texture essentiellement sableuse (sable fin) dans l'horizon superficiel. La capacité de rétention est très faible et fonction de la teneur en argile. Ces sols proviennent des apports alluviaux de type sablo-limoneux. Le pH du sol témoin est de type alcalin (..). Le sol amendé par le f mier et les débris de végétaux présente une diminution du pH (..) qui favorise le En ce qui concerne les teneurs en carbone organique total, en azote total, en phosphore disponible, en cations basiques échangeables, le sol témoin présente les teneurs les plus faibles alors que tous les sols amendés en contiennent des teneurs plus élevées et surtout le sol amendé par le fumier et débris de végétaux.

Le calcaire actif, quant à lui il présente des taux élevés dans le sol témoin mais pas des les autres sols amendés. Ces facteurs montrent une faible fertilité du sol témoin, notamment pour les cultures maraichères qui demande des teneurs élevés en élément nutritif (N, P, k,...).

La faible fertilité chimique et biologique combinée au faible potentiel de rétention d'eau restreint considérablement la production agricole des sols. Ainsi la forte aération qui favorise l'incubation de carbone organique. Ces sols nécessitent des techniques appropriées de gestion permettant de relever leur fertilité chimique jusqu'au niveau optimal, et d'accroître la production agricole.

De façon générale, le sol amendé par le fumier et débris végétaux, semble avoir un niveau de fertilité plus élevé que les autres, bien que ces sols présentent les mêmes caractéristiques morphologiques.

Les solutions de recharge pour augmenter la fertilité des sols sableux après les épandages des amendements organiques seraient les épandages des argiles pour équilibrer le taux des fractions du sol et la capacité de rétention d'eau. Des apports périodiques d'amendements organiques sont nécessaires pour maintenir un niveau optimal de MO des sols cultivés qui influencent plusieurs propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols qui sont à la base de leur qualité globale.

II. Effet des amendements organiques sur la pédogénèse des sols étudiés

2.1. Introduction

L'évolution des sols est liée principalement à l'eau et à la température, les deux allant de pair. Dans la plaine du Souss, la pluviométrie se répartit pratiquement sur les trois mois d'hiver, avec quelques rares averses en été. Par ailleurs la température est relativement élevée durant cinq mois et ce, sans aucune pluie. Les éléments climatiques fondamentaux : une faible pluviométrie, et une forte température. Dans ce contexte, l'objectif de ce chapitre était d'évaluer les effets des amendements organiques sur la pédogénèse des sols étudiés.

2.2. Matériels et méthodes

Les différentes méthodes d'échantillonnage des sols et d'analyses physico-chimiques sont décrites dans le troisième chapitre de ce document.

2.3. Résultats et discussions

Le domaine expérimental de Melk Zher est situé principalement dans la partie centrale de la plaine des Chtouka ; Dans cette plaine un relief dunaire généralisé, avec des dénivellations de quelques mètres et des pentes locales de 2 à 4 %, se surimpose à la pente générale de l'ordre de 0,5 % qui descend depuis le piémont de l'Anti-Atlas jusqu'au bourrelet côtier. Les sols de cette région sont classifiés parmi les sols « isohumiques subtropicaux » de type siérozems (Staimesse ; Billaux et al.1978)

Ces siérozems se différencient des sols bruns isohumiques par une plus forte teneur en calcaire dans l'horizon supérieur et par l'absence de profils calcaires très différenciés (sol témoin) ; en outre, la présence d'un horizon B textural est moins fréquente.

Les caractères d'évolution de ces sols sont assez faibles en ce qui concerne le calcaire, la texture, la structure. De ce point de vue ils peuvent être considérés comme des intermédiaires entre les sols bruns isohumiques modaux et certains sols peu évolués d'apport ; on pourrait d'ailleurs envisager de les répartir dans ces deux catégories de sols.

On peut tenter de mettre cela en rapport avec une faible ancienneté des matériaux originels qui, dans le cas des sols limoneux, encadrent assez étroitement le cours des oueds, et pour les sols sableux gardent un relief dunaire très net.

Après l'étude des différentes analyses effectuées sur les sols (tableaux.), on peut dire qu'on est au niveau d'un sol peu évolué, l'effet de l'apport des amendements organiques au ces sols est relativement faible telle que au niveau de la texture, structure et la teneur de calcaire, par contre au niveau de l'humus, les sols sont connus une augmentation important selon la nature d'amendement organique appliqué, cette augmentation de l'humus change la taille des horizons humifères des sol. Alors que la formation des sols.

Concernant Le profil de sol témoin est de type ACk, épais (plus de 1,5 m), à texture sableuse sans gradient textural ; les sables fins dominant largement sur les sables grossiers ; le profil calcaire est peu différencié.

Pour le sol amendé par débris du gazon, le profil de type ACk est de même caractéristiques du sol témoin, avec une augmentation au niveau de l'humus qui divise l'horizon A en trois type : très humifère(A₁), moyennement humifère(A₂) et humifère(A₃).

Pour le sol amendé par le fumier et débris de végétaux, le profil de type AC est de même caractéristique de sol témoin, avec une faible altération de la roche mère et l'absence de l'horizon CK.

Pour le sol amendé par le composte, le profil de type ABC est moins épais que sol témoin, a texture sableuse aux horizons de surface et limono-sableuse aux horizons profonds ; les sables fins dominant largement sur les sable grossiers ; l'altération important de la roche mère

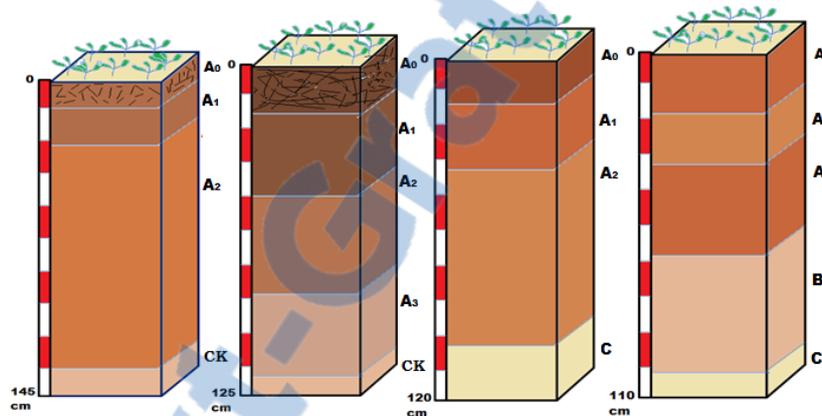


Figure.35 : présentation schématique des sols étudiés

2.4. Conclusion

L'étude de terrain, les données du domaine et les analyses des échantillons, nous a permis de conclure que l'apport des amendements organiques au sol sableuse a un effet relativement faible sur l'évolution de sol, par contre l'utilisation des engrais chimique dans le sol amendé par le composte qui connus une évolution important telle que dans les horizons profonds.

Alors que les sols étudiés sont de la même pédogenèse de sol témoin qu'est de type siérozems. Les caractères d'évolution de ces sols sont assez faibles grâce a leur texture sableuse et la dominance des sables fins sur les sable grossiers.

Conclusion générale

La zone d'étude est celle du domaine expérimental Melk Zhar du centre régional de la recherche agronomie d'Agadir (CRINRA) à la Province de Had Belfaa. Elle est répartie entre la plaine du Souss, la plaine du Massa Chtouka et les zones montagneuses du Haut et de l'Anti-Atlas. Ces région offre une gamme assez variée de sols favorables pour la productivité agricole. L'expérimentation a porté sur le suivi de la structural et la fertilité des échantillons prélevés sur des parcelles cultivées (bananier, tomate..) et non cultivées (témoin), ces parcelles est amendées par différentes amendement organiques (fumier, composte, débris végétaux) pendant cinq ans d'apport de 20T/ha/an.

Les analyses des propriétés physico-chimiques et l'état structural du sol témoin indiquent que les sols de la Province Chtouka sont essentiellement sableux, présentent un ph alcalin (7.5 à 8.5), avec une salinité faible. De plus, ils sont pauvres en matière organique (très faibles teneurs en carbone < 0.5 % et azote < 0,05 %) et en nutriments minéraux et possèdent une faible capacité de stockage en eau et en éléments nutritifs. La faible fertilité chimique et le faible potentiel de rétention d'eau se sont avérés comme les principales limitations du potentiel agronomique de ces sols.

Les résultats des trois sols amendés de cet essai indiquent que seules les propriétés physico-chimiques de l'horizon de surface (0-30cm) ont été significativement modifiées par les apports. Ils montrent aussi qu'il n'est pas souhaitable de vouloir augmenter a tout prix le taux de matière organique d'un sol sableux et qu'il est illusoire de penser que l'on peut obtenir cette augmentation en un nombre restreint d'années. Ainsi que cette augmentation variée selon la nature des amendements organiques appliquer,

L'apport continu de fumier et débris végétaux ont induit une augmentation de la majorité des éléments nutritifs notamment le carbone organique, l'azote, phosphore et la capacité des change cationiques. De plus, une forte corrélation positive a été observée entre la partie minérale et la partie organiques du sol, indiquant l'intérêt que présente l'accroissement de l'état structural des sols sablonneux.

Les apports de composts ont augmenté la biodisponibilité des éléments majeurs N et P ainsi que la somme des cations basiques échangeables sur le sol. Outre, le contenu en phosphore de compost favorise l'augmentation du phosphore total et sa biodisponibilité, on ne peut pas exclure l'effet également positif des micro-organismes. Mais dans notre au cas l'utilisation des engrais chimiques dans le sol amendé par le composte diminue leur effet sur la majorité des éléments nutritifs. Les apports de débris du gazon aussi augment les propriétés physico-

chimiques du sol. Les teneurs de carbone organique (1.16%), l'azote (0.1%), phosphore (20 ppm) et capacité d'échange cationiques (11.19 meq/100g).

L'évaluation de l'apport de matières organiques au sol sableux influencé par nombreux facteurs telle que la porosité, l'indice de perméabilité et l'aération de sol, ce qui fait face à l'augmentation de l'état structurale et la pédogenèse du sol. Alors que l'amélioration de la fertilité, l'état structural et la pédogenèse des sols sableux nécessite une diminution de la perméabilité et l'aération du sol pour diminuer la dégradation intensif de matière organique apporté, ainsi que le lessivage des éléments nutritifs. Ceci peut être modifié par l'apport des complexes d'argile et d'amendements organiques.

L'étude a montré l'importance des amendements organiques disponibles, en l'occurrence le compost des déchets, le fumier et débris végétaux dans l'amélioration de la fertilisation des sols sableux de la région de Sous. La mise en place d'un pilote de compostage à petite échelle et la caractérisation du produit a révélé que le compostage est un mode simple de traitement des déchets ménagers qui permet une valorisation agricole de ces matières organiques et une limitation des impacts environnementaux défavorables.

Références bibliographiques

- Chenu C., Abiven S., Annabi M., Barray S., Bertrand M., Bureau F., Cosentino D., Darboux F., Duval O., Fourrié L., Francou C., Hout S., Jolivet C., Laval K., Le Bissonnais Y., Lemée L., Menasseri S., Pétraud J.-P., et Verbègue B., 2011, Mise au point d'outils de prévision de l'évolution de la stabilité de la structure de sols sous l'effet de la gestion organique des sols. *Etude et Gestion des Sols*, 18 : 161-174.
- ABHSM (2005) : Rapport interne de l'Agence du Bassin Hydraulique du Souss Massa : Stratégie de préservation des ressources en eau souterraine dans le bassin du Souss Massa 2005.
- ABHSM et Resing (2005): Optimisation de la gestion de ressources en eau dans le bassin du Souss Massa. Colloque sur la gestion des ressources en eau, mai 2005.
- Abiven, S., Recous, S., Reyes, V., Oliver, R., 2004, soumis à *Biol. Fert. Soils*, Quality of root-stem- and leaf-residues and its impact on C and N mineralisation in soil
- Adas 2000. Les fertilisations organiques, *Sciences et technique* : 124 p.
- aggregates during decomposition of ¹³C¹⁵N- labelled wheat straw in situ. *Eur. J. Soil*
- Angers, D. A., Recous, S., 1997, Decomposition of wheat straw and rye residues as affected
- Angers, D.A., Recous, S., Aita, C., 1997, Fate of carbon and nitrogen in water-stable
- Annabi, M. (2005). Stabilisation de la structure d'un sol limoneux par des apports de composts d'origine urbaine : relation avec les caractéristiques de leur matière organique. Thèse de doctorat, Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris, France, 237p.
- Baize D., Guide des analyses en pédologie: choix, expression, présentation, interprétation 2e éd, INRA-paris 255 (2000).
- Biochem.*, 32, 2099-2103
- by particles size. *Plant Soil*, 189, 197-203
- Charland, M., Cantin, S., St Pierre, M.-A., Côté, L. (2001). Recherche sur les avantages à utiliser le compost. Dossier CRIQ 640-PE27158 (R1), Rapport final. Recyc-Quebec, 35 p.
- Chaussod, R., Zuvia, M., Breuil, M.C., Hetier, J.M. (1992). Biomasse microbienne et « statut organique » des sols tropicaux : exemple d'un sol vénézuélien de Llonos sous différents systèmes de culture. *Cah. Orstom., sér. Pédol.*, vol. XXVII, n° 1: 59-67.
- COMBE M. et EL HEBIL A. (1972) : Plaine du Souss, des Chtouka et de Tiznit : Vallée du Souss. Ressources en Eau du Maroc, Tome 3.Ed. Service géologique du Maroc.
- CSEC (2001) : Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat- plan directeur pour le développement des ressources en eau des bassins du Souss-Massa. Agadir 21-22 juin 2001, 9ème Session.

- Dabin, B. (1963). Appréciation des besoins en phosphore dans les sols de Côte d'Ivoire. Cah. ORSTROM, *Série Pédologique*, 3 :27-42.
- Delaunoy A., Ferrie Y., Bouche M., Colin .C et Rionde C., Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols (2008).
- DIAEA /DRHA /SEEN, Direction de l'irrigation et de l'aménagement de l'espace Agricole, Service des Expérimentations, des Essais et de la Normalisation -Rabat (2008)
- Diaz, E., Roldan, A., Lax, A., Albaladeja, J. (1994). Formation of stable aggregates in degraded soil by amendment with urban refuse and peat. *Geoderma*, 63: 277-288.
- Dinon E., Gerstmans, L'Influence du pH sur l'assimilation des éléments nutritifs du sol par les plantes et sur la variété des plantes, Université de Liège, (2008).
- Drouet Th. Pédologie BING-F-302,137 (2010).
- Duchauffour, P. (2001). Introduction à la science du sol. Sol, Végétation et Environnement, 6e édition, Dunod, Paris, p 315.
- FAO (2005). Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne. Rome, Italie, 63 p.
- Farinet, J.L., Niang (2004). Le recyclage des déchets et effluents dans l'agriculture urbaine. *In* : Smith odanrewaja B. (ed.), Moustier Paule (ed.), Mougeot Luc J.A. (ed). *Développement durable de l'Agriculture urbaine en Afrique francophone. Enjeux, concepts et methodes*, CIRAD, Montpellier, p. 143-172.
- Guckert, A., Chone, T. & Jacquin, F. 1975. Microflore et stabilité structurale des sols. *Revue d'écologie et de biologie du sol*, 12 : 211-223.
- Leclerc, B. (2001 a). Guide des matières organiques. ITAB, 2e éd., Tome 2, Paris, 91p.
- Leclerc, B. (2001 b). Guide des matières organiques. ITAB, 2e éd., Tome 1, Paris, 238p.
- Monnier, G. 1965. Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. *Annales Agronomiques*, 16 : 327-400.
- ORMVA, 2010, Monographie de souss Massa, exercice 2010.
- Quenum, M., Giroux, M., Royer, R. (2004). Etude sur le bilan humique des sols dans des systèmes culturaux sous prairies et sous cultures commerciales selon les modes de fertilisation. *Agrosol*. **15 (2)** : 57-71. *Sci.*, 33, 141-163 *Sci.*, 48, 295-300
- Six, J., Elliot, E.T., Paustian, K., 2000, Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation : a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol.*
- STAIMESSE- (J.P.), 1973, Contribution à l'étude des sols du Maroc. La région du Souss. Feuille Agadir-Aït Baha. 450 p. dactyl. ; 123 fig. ; 415 annexes (profils et analyses) ; une carte pédologique au 1/100.000. nDirection de la Recherche Agronomique. Rabat, ORSTOM Paris. Inédit
- Tejada, M., Garcia-Martinez, A.M., Parrado, J. (2009a). Effects of vermicompost composted with beet vinasse on soil properties, soil losses and soil restoration. *Catena* **77**, 238-247.

Tejada, M., Gonzalez, J.L., Garcia-Martinez, A.M., Parrado, J. (2008b). Application of green manure and green manure composted with beet vinasse on soil restoration: effect on soil properties. *Bioresource Technology* **99**, 4949-4957.

Tisdall, J.M., Oades, J.M., 1982, Organic matter and water-stable aggregates in soils, *J. Soil*

WATTEUW (R.), 1964, Carte de reconnaissance au 1/200.000 des sols de la plaine du Souss. Institut National de la Recherche Agronomique. Rabat. Inédit.

<http://www.egov.ma/Documents/Maroc%20Numeric%202013.pdf>

www.cgem.ma/doc1/ed-cgem/siege/ur/souss/1.pdf

Annexes

Annexe 1 : donné climatique de domaine expérimental Melk Zher

	année	Sept 14	Oct 14	Nov 14	Dec 14	Janv 15	Fev 15	Mars 15	Avril 15	Mai 15	Juin 15	Juillet 15	Aout 15
Pluviométrie	2014/2015	4,1	0	258,6	13,1	6,3	0	23,1	0	0	0	0	4,5
	2013/2014	4	1,4	0,9	1,8	40,5	3	5,4	17,6	2,7	0	0	0
	2012/2013	62,5	51,9	14,1	0	3,1	25	65,1	21,2	0	0	0	0
	2011/2012	0	7,1	22	0	1,5	0	0,2	5,6	0	0	0	0
	2010/2011	0	16,1	41,7	25,9	54,5	3,1	69	65,1	65,4	0	1	0
E.T.P	2014/2015	6,09	7,91	4,17	3,22	3,5	2,82	4,81	4,11	5,92	5,97	8,23	6,37
	2013/2014	5,58	4,75	4,47	3,91	2,74	3,28	5,18	4,61	5,55	5,25	4,03	6,42
	2012/2013	6	4,75	3,91	3,65	3,91	4	2,5	4,7	5,97	4,85	5,05	9,41
	2011/2012	6,16	7,02	4,54	3,17	4,8	5,4	7,3	7,04	9,2	9,12	9,2	10,46
	2010/2011	8,18	5,4	3,84	4,9	4,68	3,77	4,78	5,51	7,22	8,25	6,14	6,39
température	2014/2015	33,75	29,1	23,2	24	17,75	16,8	20,7	25,95	31,2	33,3	31,95	31,9
	2013/2014	30,8	28,4	22,2	16,85	15	14,7	21,25	31,55	27,9	32,15	33,45	34,9
	2012/2013	31,25	29,95	24,7	15,4	15	17,7	24	25,65	25,55	27,3	31,5	35,5
	2011/2012	30	27,95	21,85	17,9	16,6	16,65	20,25	24,55	27,7	28,8	30,5	31,8
	2010/2011	31,1	29,65	24,8	17,25	15	15,45	19,85	23,05	28,7	29,6	34,3	32,6

Annexe 2: Expression des Calculs pour la granulométrie du sol

Pour chaque prélèvement, on retranche la tare de la capsule pour savoir la masse des particules. On note :

M1= masse des particules pour le prélèvement 1 (Argile +limon fin +limon grossier).

M2= masse des particules pour le prélèvement 2 (Argile +limon fin).

M3 = masse des particules pour le prélèvement 3(Argile).

Mb1=masse des particules dans le blanc pour le prélèvement 1.

Mb2= masse des particules dans le blanc pour le prélèvement 2.

Mb3= masse des particules dans le blanc pour le prélèvement 3.

□ □ **Pourcentage d'argile %:**

Argile %= (M3-Mb)* = (M3-Mb)*250

□ **Pourcentage de limon fin %:**

Limon fin %=(M2-Mb)*250-Argile %

□ **Pourcentage de limon grossier %:**

Limon fin %=(M1-Mb)*250-limon fin%- Argile %

Annexe 3 : Expression des calculs pour la matière organique

$$\% \text{ M.O.} = (V_t - V_e) \times F_c \times 0.0015 \times 100 \times 1.724$$

$$\text{Et } F_c = \frac{20}{V_t} : \text{facteur correctif de FeSO}_4$$

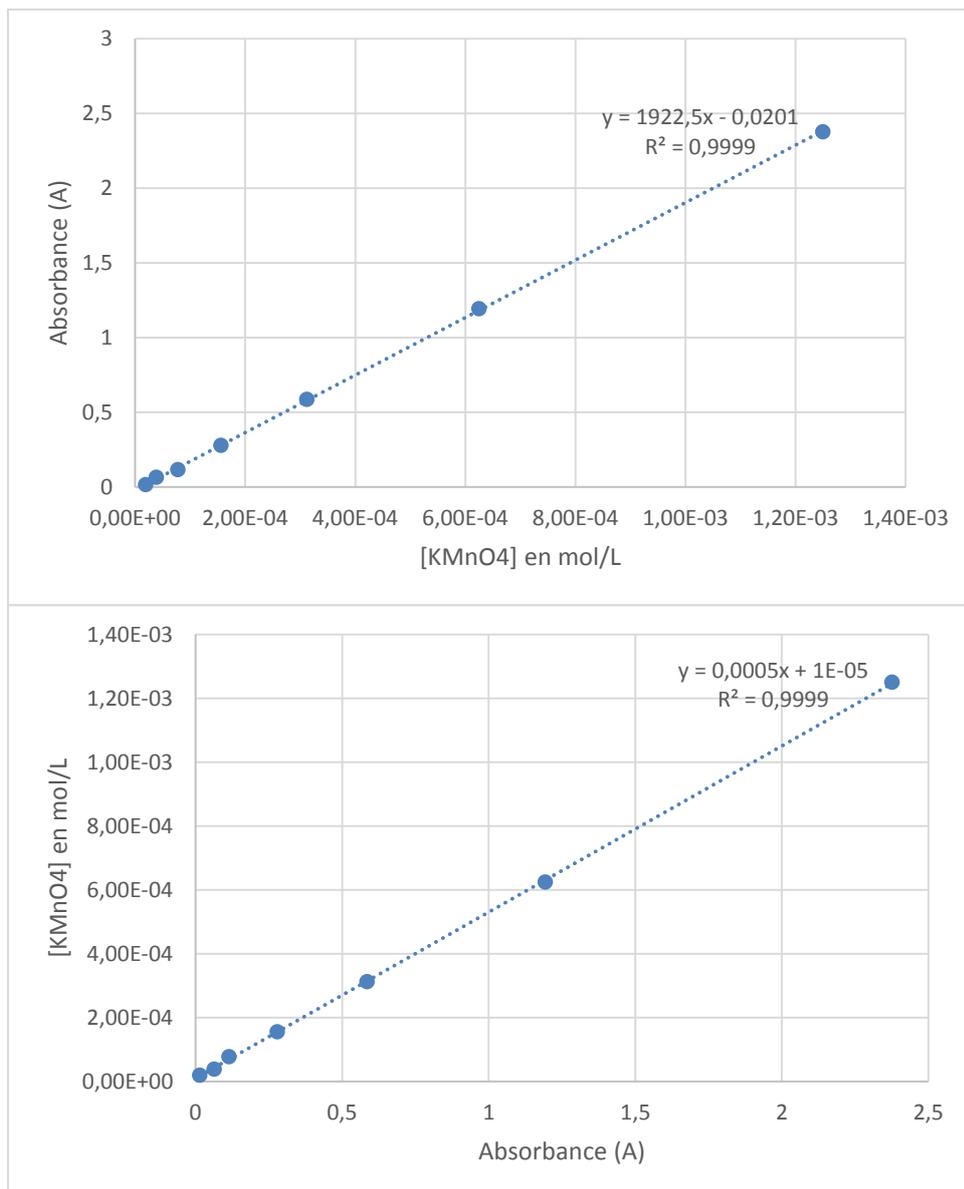
Ve : Volume de FeSO₄ d'échantillon

Vt : Volume de F₂SO₄ témoin

Annexe 4: Expression des calculs pour le Carbone actif :

Gamme d'étalonnage

[KMnO4]	Absorbance	Dilution
1,95E-05	0,015	D11
3,91E-05	0,064	D10
7,81E-05	0,115	D9
1,56E-04	0,279	D8
3,13E-04	0,585	D7
6,25E-04	1,193	D6
1,25E-03	2,377	D5



La détermination de la teneur de l'échantillon se base sur la projection de l'absorbance de l'échantillon sur la courbe d'étalonnage.

Annexe 5: Expression des calculs pour l'azote total

$$\% N_{\text{total}} = \frac{(V_e - V_t) \cdot 0,01 \cdot 0,001 \cdot 100 \cdot 14}{p}$$

V_e : Volume de H_2SO_4 0,1 N d'échantillon

V_t : Volume de H_2SO_4 0,1 N témoin

Annexe 6 : Expression des calculs pour Carbonate du sol

$$\% \text{ Carbonates} = \frac{m_2 \cdot (v_1 - v_3)}{m_1 \cdot (v_2 - v_3)}$$

Tels que :

- m_1 = masse de la prise d'essai (g).

- m2=masse moyenne des étalons(g)
- V1= volume de gaz carbonique dégagé par l'échantillon à analyser (ml)
- V2= volume moyen de gaz carbonique dégagé par les deux étalons (ml)
- V3 = Volume de gaz carbonique dégagé par le blanc (ml).

Annexe7 : Expression des calculs pour le Calcaire actif

Calcaire actif (%)=62.5*C* (VO-Vd)

Tels que :

Vo : Volume de la solution de KMnO4 versé lors du dosage du blanc (ml).

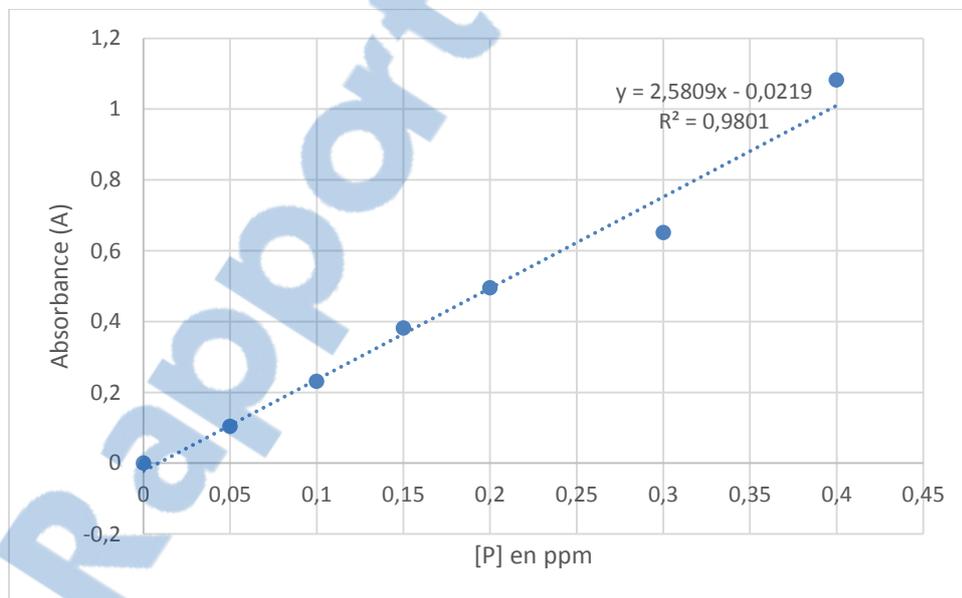
Vd : Volume de la solution de KMnO4 versé lors du dosage de l'échantillon (ml).

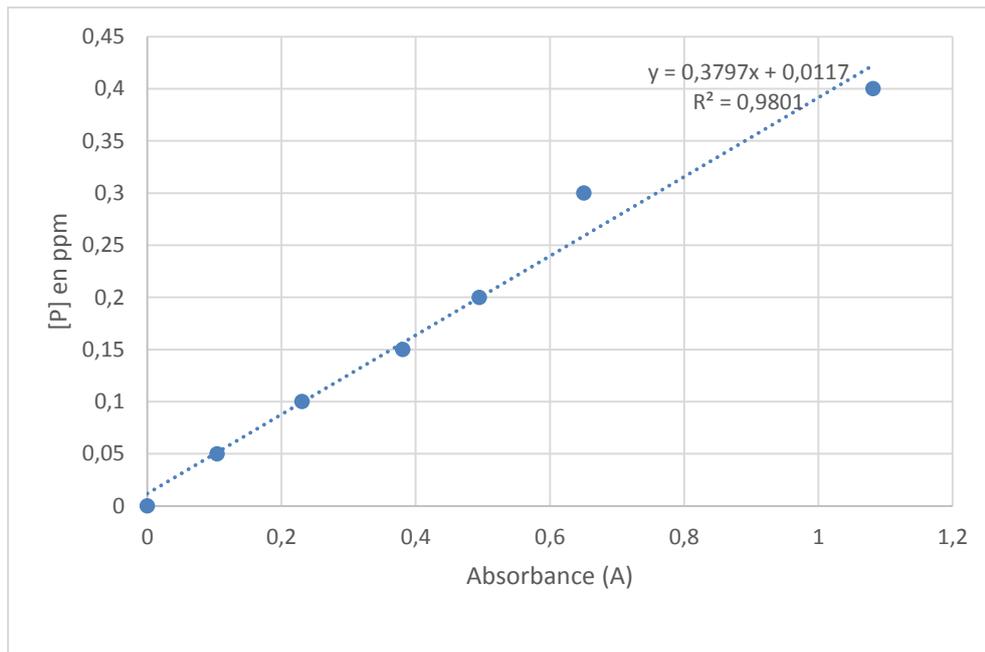
C : Concentration de permanganate de potassium KMnO4 (mol/l).

Annexe 8: Expression des calculs pour le phosphore assimilable

Gamme d'étalonnage

P (ppm)	Abs
0	0
0,05	0,104
0,1	0,231
0,15	0,381
0,2	0,495
0,3	0,651
0,4	1,082





La détermination de la teneur de l'échantillon se base sur la projection de l'absorbance de l'échantillon sur la courbe d'étalonnage.

Annexe 9 : Expression des calculs pour les éléments échangeables (Na⁺, K⁺, Ca²⁺) et la capacité d'échange cationique

$$\text{Élément échangeable} = \frac{\text{D.O.} \cdot \text{Fd} \cdot 50 \cdot 100}{1000 \cdot p \cdot (\text{PE})} \text{ meq/100g}$$

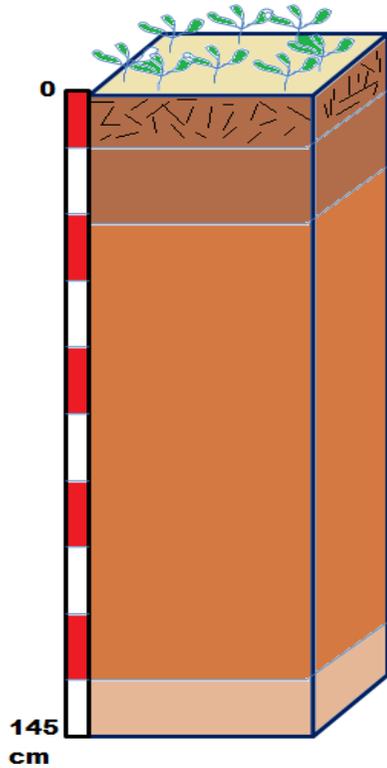
D.O : densité optique

Fd : facteur de dilution

P : la prise d'essais

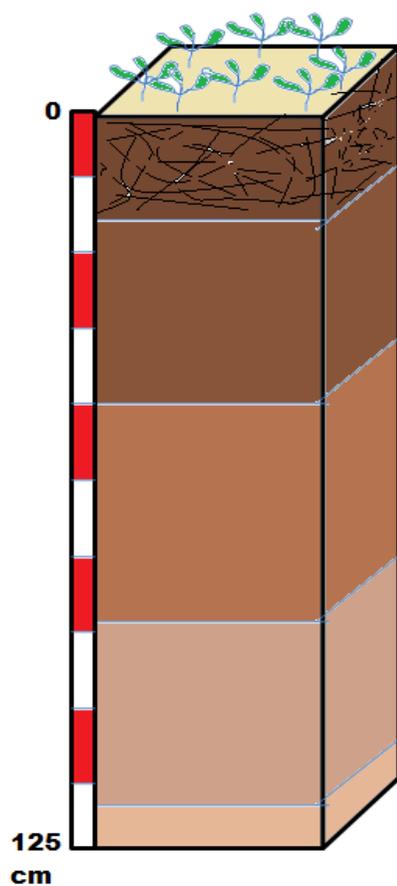
PE : mase molaire/ nbr de charge

Annexe.10 : Les analyses physico-chimiques de sol témoin



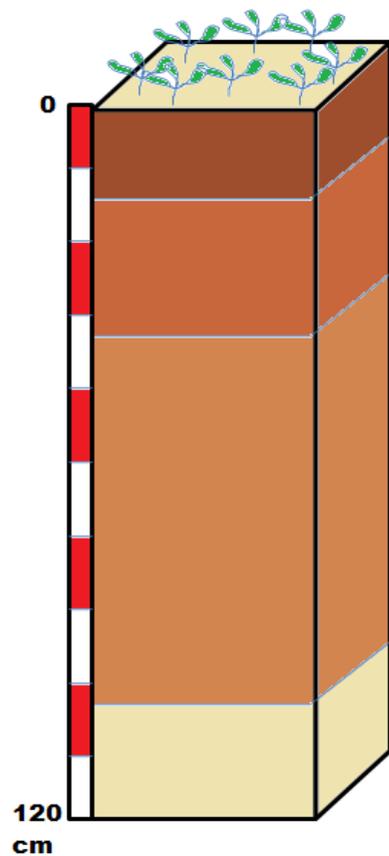
Hz cm	Granulométrie du sol en %					Ph (H ₂ O)	EC en μ S/cm	Carbone du sol en %			N _t en g/100g du sol	Carbonate du sol en %		CEC en meq/100g du sol	Elément échangeables en meq/100g du sol			P ₂ O ₅ en ppm
	Ag	Lf	Lg	Sf	Sg			MO	C. org	C. actif		CaCO ₃ total	CaCO ₃ actif		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	
0-15	2,7	2,19	2,7	62,88	29,53	7,86	95,9	0,77	0,44	201,6	0,056	19,16	12	7,79	0,14	0,44	0,013	37,87
10-20	2,7	4,69	1,19	55,63	35,85	7,96	95	0,46	0,26	91,8	0,056	16,95	4,25	7,48	0,16	0,48	0,014	38,57
15-35	3,19	3,7	0,7	55,58	36,45	7,93	92,2	0,46	0,26	99	0,042	17,91	4,375	7,76	0,23	0,49	0,015	26,22
30-40	4,7	4,19	1,2	53,85	36	8,1	83,7	0	0	90	0,042	20,63	4,5	7,54	0,24	0,23	0,007	27,96
40-60	5,69	4,12	0,7	55,03	34,53	8,12	70,4	0	0	72	0,028	19,01	5,75	7,66	0,22	0,13	0,004	22,92
80-100	5	4,5	1,5	56,81	31,82	8,32	69,6	0	0	23,4	0,014	22,7	6,375	6,57	0,42	0,14	0,004	38,74
115-125	10,5	5,9	3	49,08	31,32	8,6	81,9	0	0	86,4	0,014	17,91	8,75	7,36	0,64	0,16	0,005	21,18
125-145	11,99	8,5	3,5	47,5	28,62	8,67	98,2	0	0	36	0	31,84	7,75	7,82	0,56	0,14	0,004	18,92

Annexe.11. : Les analyses physico-chimique de sol amendé par dédis du gazon



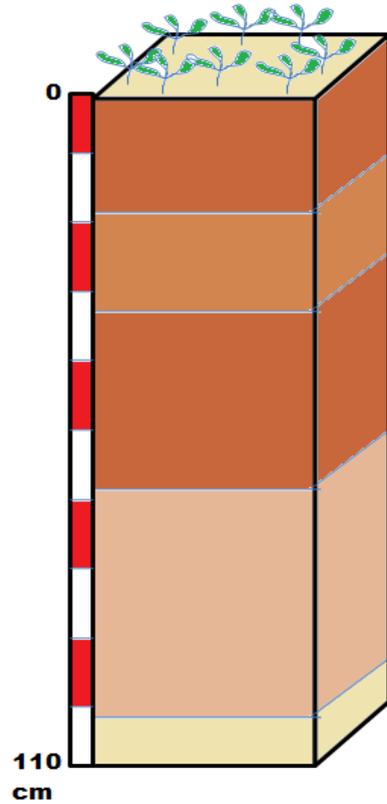
Hz cm	Granulométrie du sol en %					Ph (H ₂ O)	EC en μ S/cm	Carbone du sol en %			N _t en g/100g du sol	Carbonate du sol en %		CEC en meq/100g du sol	Elément échangeables en meq/100g du sol			P ₂ O ₅ en ppm
	Ag	Lf	Lg	Sf	Sg			MO	C.org	C. actif		CaCO ₃ total	CaCO ₃ actif		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	
0-20	2,1	1,2	0,3	67	29,4	8,06	134	2,01	1,16	273,6	0,105	14,84	4,62	11,19	0,33	0,53	5,21	20,14
15-30	2,3	2	0,5	66,03	29,09	8,3	103,9	0,92	0,53	104,4	0,105	15,47	4,37	7,92	0,30	0,40	5,42	19,8
20-50	4	2,5	1,5	62,98	28,99	8,34	89,8	0,92	0,53	46,8	0,035	15,77	4,25	9,21	0,28	0,42	6,23	18,74
45-60	6	3	3,5	58,39	28,82	8,47	96,1	0,46	0,26	36	0,035	17,29	4,62	10,47	0,73	0,32	6,85	16,83
50-85	7,1	5	2,9	56,34	28,6	8,48	84,8	0,61	0,35	37,8	0,035	20,29	6,75	9,27	0,63	0,29	7,19	18,57
75-95	9	7,5	2,5	54,01	27,04	8,51	104,7	0,46	0,26	19,8	0,014	24,57	7,5	9,50	0,84	0,23	7,23	27,52
85-115	13	6,5	2	53,83	24,58	8,88	109,9	0,61	0,35	32,4	0,014	29,70	9,25	9,19	1,01	0,28	7,85	26,40
105-110	11	10	3,5	49,31	25,86	8,76	129,1	0,3	0,17	79,2	0,014	33,31	10,87	8,94	1,00	0,17	7,81	23,79
115-125	13,98	8,19	4,48	46,88	26,48	8,82	136,7	0,46	0,26	12,6	0,014	56,75	11,87	8,76	1,03	0,16	7,73	16,83

Annexe. 12 : Les analyses physico-chimique de sol amendé par le fumier et dédis végétaux



Hz cm	Granulométrie du sol en %					Ph (H ₂ O)	EC en μ S/cm	Carbone du sol en %			N _t en g/100g du sol	Carbonate du sol en %		CEC en meq/100g du sol	Elément échangeables en meq/100g du sol			P ₂ O ₅ en ppm
	Ag	Lf	Lg	Sf	Sg			MO	C. org	C. actif		CaCO ₃ total	CaCO ₃ actif		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	
0-18	2,2	2,56	2,5	67,57	25,19	7,77	273	4,32	2,51	493,2	0,22	15,97	1,62	43,62	0,93	1,49	3,76	131,43
10-20	2,8	2,9	2	69,78	22,56	8	175,9	1,85	1,07	327,6	0,09	14,25	1,87	18,64	0,71	1,13	3,92	70,22
18-40	2,4	2,5	1,8	71,22	22,14	7,9	125,4	0,46	0,26	127,8	0,04	12,53	1,87	9,69	0,6	0,92	4,31	54,05
30-50	2,5	5	1,86	70,11	20,51	8,04	149,4	0,15	0,08	23,4	0,03	13,02	2,5	8,88	0,44	1,09	4,78	72,13
40-100	5,5	5,02	1,9	53,38	34,21	8,26	117,3	0,15	0,08	43,2	0,03	17,32	2,37	10,42	0,3	1,17	5	64,83
90-110	7,6	7,9	2,73	52,91	28,81	8,2	164,4	0,15	0,08	64,8	0,03	34,79	7,87	10,57	0,38	1,15	4,18	87,44
100-120	13,5	9,1	4	49,25	24,24	8,16	106,8	0,15	0,08	9	0,01	53,36	10,12	10,17	0,32	0,56	5,5	85,7

Annexe 13 : Les analyses physico-chimique de sol amendé par le composte



Hz cm	Granulométrie du sol en %					Ph (H2O)	EC en $\mu\text{S/cm}$	Carbone du sol en %			Nt en g/100g du sol	Carbonate du sol en %		CEC en meq/100g du sol	Elément échangeables en meq/100g du sol			P2O5 en ppm
	Ag	Lf	Lg	Sf	Sg			MO	C.org	C. actif		CaCO ₃ total	CaCO ₃ actif		Na+	K+	Ca ²⁺	
0-20	2,7	1,5	3,84	62,91	28,98	8,1	95,4	1,7	0,98	230,4	0,105	16,28	2,75	11,32	0,22	0,36	4,37	29,87
15-25	3	1,5	4,5	61,96	29,07	8,12	83,1	0,92	0,53	106,2	0,042	18,79	3,375	8,71	0,12	0,39	4,82	28,57
20-35	5,5	2,5	5	62,6	24,36	8,16	81	0,61	0,35	230,4	0,007	15,62	4,125	7,84	0,10	0,45	5,15	29,35
30-45	5	4,56	4	57,45	28,76	8,24	91,5	0,77	0,44	225	0,014	20,04	5,625	9,47	0,19	0,44	5,34	25,70
35-65	10,5	3,5	6	56,67	23,43	8,24	109,9	0,61	0,35	95,4	0,028	19,31	7,125	10,50	0,28	0,54	6,19	18,74
55-75	11	4	5,5	55,47	22,28	8,26	120	0,77	0,44	57,6	0,035	31,84	10	11,09	0,37	0,56	7,02	17,01
65-100	12,5	6	5	55,14	20,24	8,37	119,2	0,77	0,44	50,4	0,035	46,43	13,625	9,83	0,24	0,64	7,36	21,53
90-105	12,91	7	5,7	53,1	21,3	8,12	113,9	0,77	0,44	36	0,035	42,30	12,5	9,44	0,08	0,48	7,43	43,09
100-110	13,05	7,48	6	52,03	22,07	8,1	126,8	0,61	0,35	70,2	0,021	42,75	12,5	10,24	0,21	0,44	7,17	34,22

