



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun de Tiaret

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

THÈSE

Présentée Par

M^{me} BENOUDAH Salima

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

DOCTORAT (LMD)

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences agronomiques

Spécialité : Protection de l'Agroenvironnement Sciences du sol

THÈME

**Évolution et dynamique de la matière organique du sol sous conditions
semi-arides « région de Tiaret »**

Soutenu le : 07 /03 /2021

Membres de jury :

Présidente	Pr. BOUCHENAFI Nadia	Université Ibn Khaldoun de Tiaret
Examinatrice	Dr. BOUDIAF Malika	Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou
Examinatrice	Dr. FARAOUN Fatiha	Université Djillali Liabes de Sidi Bel abbès
Examineur	Dr. HOCINE Laredj	Université Ibn Khaldoun de Tiaret
Examineur	Dr. YEZLI Wassim	Université Ibn Khaldoun de Tiaret
Directrice de thèse	Pr. OULBACHIR Karima	Université Ibn Khaldoun de Tiaret

Année universitaire: 2020-2021

TABLE DES MATIÈRES

DEDICACES.....	1
REMERCIEMENTS.....	2
LISTE DES ABREVIATIONS.....	3
LISTE DES FIGURES.....	6
LISTE DES TABLEAUX.....	8
INTRODUCTION GENERALE.....	9

PREMIÈRE PARTIE : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : Caractérisation de la matière organique du sol

I. La matière organique du sol.....	11
II. Facteurs influençant le contenu en matière organique d'un sol	12
III. Les amendements organiques.....	13
a. Fumier.....	13
b. Fientes	13
c. Purins.....	13
d. Engrais vert	13
e. Compost.....	13
f. Paille ou mulch	13
g. Déchets industriels ou urbains.....	13
h. Ordures ménagères et les écorces concassées	13

CHAPITRE II : Dynamique de la matière organique du sol

I. Aspects d'évolution de la matière organique dans le sol.....	15
I.1. Processus d'humification et de déshumification.....	15
I.1.1. Humification (ou formation d'humus).....	15
I.1.2. La déshumification.....	16
I.2. Processus de minéralisation et de réorganisation.....	16
I.2.1. Minéralisation.....	16
I.2.1.1. Les facteurs intrinsèques.....	16
I.2.1.2. Les facteurs externes.....	17
I.2.2. Réorganisation	18

II. Principaux microorganismes présents dans le sol	18
II.1. Les bactéries	18
II.2. Les actinomycètes.....	18
II.3. Les champignons	19
III. Interaction microorganismes du sol-matière organique	19
III.1. Le cycle de l'azote.....	19
a. La fixation biologique de l'azote atmosphérique	19
b. Ammonification	19
c. Nitrification	20
d. Dénitrification	20
III.2. Le cycle de carbone	20
IV. Interaction microorganismes du sol-plante (la rhizosphère).....	21

CHAPITRE III : Biofonctionnement du sol

I. Impacts de la matière organique du sol.....	22
I.1. La fertilité des sols agricoles.....	22
a. Influence sur les propriétés physiques du sol.....	22
b. Influence sur les propriétés biologiques du sol.....	22
c. Influence sur les propriétés chimiques du sol.....	22
I.2. Le stockage du carbone atmosphérique dans les sols.....	23
I.3. La contribution au maintien de la biodiversité des sols et des plantes.....	24

DEUXIÈME PARTIE : DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

CHAPITRE I : Présentation de la zone d'étude

I.1. Présentation de la zone d'étude.....	25
I.1.1. Situation et caractéristiques du site.....	25
I.1.2. Conditions socio-économiques de la région	26
I.1.2.1. L'Agriculture	26
I.1.2.2. Industrie	27
I.1.3. Pédologie et valeur agricole des sols de la ville de Tiaret.	27
I.1.3.1. Le sol.....	27
A- Les Vertisols	28
B- Les sols Fersialitiques	28
C- Les sols calcimagnésiques.....	29
I.1.4. Cadre géologique	29
I.1.4.1. Description litho stratigraphique.....	29

a. Le Jurassique	29
b. Le Crétacé	30
c. Le Miocène.....	30
d. Le Quaternaire.....	31
I.1.5. La géomorphologie	31
I.1.6. Cadre climatique.....	31
I.1.6.1. Les données brutes.....	31
I.1.6.2. Les données pluviométriques.....	32
I.1.6.3. Les données thermiques.....	33
I.1.6.4. Les données synthétiques.....	34
a. Le diagramme ombrothermique.	34
b. L'indice d'aridité	35

CHAPITRE II : Méthodologie et expérimentation

I. Sites et conditions expérimentales	37
II. Conduite de l'essai.....	37
II.1. Les apports organiques	37
Fumier de volailles (FV)	38
Fumier de chevaux (FC).....	38
Fumier de bovins (FB)	39
II.2. Incorporation des apports organiques.....	39
III. Analyses réalisées	42
III.1. Cas du fumier	42
III.1.1. Echantillonnage de fumier	42
III.1.2. Conservation du fumier.....	42
III.1.3. Analyses menées au laboratoire	42
III.2. Cas du sol	43
III.2.1. Echantillonnage.....	43
III.2.2. Analyses aux laboratoires.....	43
III.2.2.1. Analyses chimiques du sol	43
III.2.2.3. Calcul du stock de carbone organique.....	45
III.2.2.4. Analyses microbiologiques du sol.....	46
IV. Analyse statistique.....	46

TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Caractérisation physico-chimique du sol témoin.	47
---	----

2. Appréciation de la valeur fertilisante des apports organiques.....	48
2.1. Caractérisation physique et physico-chimique des apports organiques (fumiers)	48
2.1.1. Variation du pH en fonction du type de fumier	48
2.1.2. Variation de la conductivité électrique en fonction du type de fumier	48
2.1.3. Variation des teneurs en humidité, matière organique et matière minérale en fonction du type de fumier.....	49
2.2. Variation du rapport C/N en fonction du type de fumier	51
2.3. Teneurs en éléments fertilisants en fonction du type de fumier.....	52
2.3.1. Variation de la teneur en azote total en fonction du type de fumier	52
2.3.2. Variation de la teneur en P ₂ O ₅ en fonction de type de fumier	52
2.3.3. Variation de la teneur en K ₂ O en fonction du type de fumier	52
Conclusion.....	54
3.Évaluation des propriétés physiques des sols amendés.....	55
Caractérisation de la densité apparente et de la porosité.....	55
Caractérisation de la perméabilité	57
Caractérisation de la rétention en eau	58
Caractérisation de la stabilité structurale	60
Conclusion.....	61
4.Étude du pouvoir minéralisateur de l'azote des sols amendés	63
4.1. Caractérisation de l'azote ammoniacal	63
4.2. Caractérisation de l'azote nitrique.....	64
Conclusion.....	66
5. Estimation du stockage de carbone organique des sols amendés.....	67
5.1. Caractérisation des éléments grossiers	67
5.2. Caractérisation du carbone organique	68
5.3. Caractérisation du stock du carbone organique.....	70
Conclusion.....	73
6.Évolution de la biomasse microbienne du sol.....	74
6.1. Évolution des bactéries aérobies en fonction des stades végétatifs du blé.....	74
6.2. Évolution des azotobacters en fonction des stades végétatifs du blé	75

6.3. Évolution des champignons et les actinomycètes en fonction des stades végétatifs du blé	76
6.4. Évolution de la biomasse microbienne totale du sol selon les stades végétatifs de croissance du blé	77
6.5. Caractérisation physicochimique du sol selon les différents stades végétatifs de la croissance du blé	79
Conclusion.....	81
CONCLUSION GENERALE.....	82
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	84
ANNEXES.....	106
ARTICLE.....	124
RÉSUMÉ.....	132

DEDICACES

*Du profond de mon cœur, je dédie ce modeste travail à tous ceux qui me sont **chers**,*

*A mes très chers **parents**,*

*A mon très cher époux **SIMERABET AHMED** qui m'a profondément soutenu et aidé
à réaliser ce travail,*

*A mes très chers et adorables garçons : **AMINE RAYANE** et **ILYES**,*

*A mes **frères**,*

*A mes **nièces**,*

*A ma **famille**,*

*A tous mes **amis** (es).*

REMERCIEMENTS

Merci avant tout au bon dieu, le clément, le miséricordieux, le plus puissant....

En préambule, je souhaite adresser tous mes remerciements aux personnes qui m'ont apporté leur soutien de près ou de loin tout au long de mon travail.

*Je n'aurai jamais suffisamment de mots pour exprimer ma reconnaissance à ma directrice de thèse Professeure **OULBACHIR Karima** pour m'avoir accordé sa confiance en acceptant de m'encadrer. Ses qualités humaines, ses conseils judicieux ont été pour moi une source inestimable de réconfort et d'encouragements pour mener à terme ce travail. Qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.*

Je voudrai remercier les membres du jury

*Professeure **BOUCHENAFI Nadia**, pour le grand honneur qu'elle fait, d'accepter la présidence du jury.*

*Docteur **HOUCINE Laredj**, pour avoir bien voulu faire partie du jury et pour l'importance qu'il accorde à l'examen de mon travail.*

*Docteur **Yezli Wassim**, pour avoir bien voulu faire partie du jury et pour l'intérêt qu'il porte à mon travail en acceptant de le juger.*

*Docteur **BOUDIAF Malika**, pour avoir aimablement accepté l'examen de mon travail.*

*Docteur **FARAOUN Fatima**, pour l'aide précieuse et constante qu'elle m'a apportée dans la réalisation de ce travail et pour l'honneur qu'elle fait pour l'examen de mon travail.*

*Je remercie tout le personnel de l'institut technique des grandes cultures (ITGC) de Sebaine, et particulièrement Mesdames **BOUKENOUDA Bakhta** et **BOUABDELLI Fatima**.*

*L'occasion m'est également accordée afin de remercier tous ceux qui, durant cette période, m'ont apporté : aide, conseils et encouragements, en particulier mesdames : **SOUDANI Leila**, **MOHDEB Djamilia**, **REZZOUG Wafaa**.*

*Je tiens également à exprimer ma profonde reconnaissance à mes amies Mesdames **FALI Chahinez**, **BENLAREDJ Amel**, **MAROUANE Hanane**, **Mohdeb Samra**, **Dekki Asma** et **NACEUR Khadidja** pour leur importante contribution.*

LISTE DES ABREVIATIONS

3M : 3 Mois

6M : 6 Mois

9M : 9 Mois

12M : 12 Mois

CaCO₃ : Carbonate de Calcium

CE : Conductivité Electrique

CEC : Capacité d'Échange Cationique

CH₄ : méthane

C : Carbone

CO₂ : dioxyde de Carbone

CO : Carbone Organique

COS : Carbone Organique du Sol

CPVQ : Conseil des Productions Végétales au Québec

CRA : Chambre Régionale de l'Agriculture

Cu : Cuivre

Dj : Djebel

DSA : Direction des Services Agricoles

E.A.C : Exploitation Agricole Collective

E.A.I : Exploitation Agricole Individuelle

FB : Fumier de Bovins

FC : Fumier de Chevaux

FV : Fumier de Volailles

H : Hydrogène

I_s : Indice d'Instabilité

ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures

ISA : Institut des Sciences Agronomiques

ISO : Organisation Internationale de Normalisation

K: potassium

K_s : coefficient de perméabilité

M1 : Minéralisation primaire

M2 : Minéralisation secondaire

MADR : Ministère de l'Agriculture et le Développement Rural

MO : Matière Organique

MOS : Matière Organique du Sol

N : azote

N₂ : azote atmosphérique

NH₄⁺ : ammonium

NO : oxyde nitrique

NO₂ : oxyde nitreux

NO₂⁻ : nitrite

NO₃⁻ : nitrate

Nar : nitrate réductase

Nir : nitrite réductase

Nor : oxyde nitrique réductase

Nos : oxyde nitreux réductase

P : Phosphore

PB: Poids Brute

S : Soufre

SAA : Spectrophotomètre à Adsorption Atomique

SAT : Surface Agricole Totale

SAU : Surface Agricole Utile

T : Témoin

T1 : semi

T2 : levée

T3 : tallage

T4 : montaison

T_I : date de mise en place de l'essai

WRB : **W**orld **R**eference **B**ase

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Les compartiments de la matière organique du sol en fonction de son temps de renouvellement : compartiments labile, intermédiaire et stable.....	12
Figure 2 : Décomposition de la matière organique fraîche : minéralisation et humification..	18
Figure 3 : Localisation de la région de TIARET.....	25
Figure 4 : Histogramme des précipitations mensuelles moyennes (1990/2019).....	33
Figure 5 : Histogramme des Températures mensuelles moyennes (1990/2019)	34
Figure 6: Diagramme ombrothermique des moyennes des compagnes (1990/2019).....	35
Figure 7 : Fumier de volailles.....	38
Figure 8 : Fumier de chevaux.....	38
Figure 9: Fumier de bovins.....	39
Figure 10 : Schéma résumant le dispositif expérimental	41
Figure 11 : Schéma du plan expérimental.....	41
Figure 12 : Variation du pH selon les fumiers apportés.....	49
Figure 13: Variation de la conductivité électrique selon les fumiers apportés	49
Figure 14: Teneurs en humidités, matière minérale et matière organique des fumiers apportés	51
Figure 15 : Variation du rapport C/N selon les fumiers apportés	53
Figure 16 : Teneurs en éléments NPK des fumiers apportés	53
Figure 17: Evolution de la densité apparente du sol sous l'effet de l'apport organique et des variations saisonnières.....	56
Figure 18: Evolution de la porosité du sol sous l'effet de l'apport organique et des variations saisonnières	56
Figure 19: Evolution de la perméabilité du sol sous l'effet de l'apport organique et des variations saisonnières.....	58
Figure 20: Evolution de la rétention en eau du sol sous l'effet de l'apport organique et des variations saisonnières.....	60
Figure 21: Evolution de la stabilité structurale du sol sous l'effet de l'apport organique et des variations saisonnières.....	61
Figure 22 : Variations de l'azote ammoniacal sous l'effet de l'apport organique et des variations saisonnières.....	64

Figure 23 : Variations de l'azote nitrique sous l'effet de l'apport organique et des variations saisonnières	65
Figure 24 : Variations d'éléments grossiers sous l'effet de l'apport organique et des variations saisonnières.....	68
Figure 25: Variations du carbone organique du sol sous l'effet de l'apport organique et des variations saisonnière	70
Figure 26 : Variations du stock de carbone organique du sol sous l'effet de l'apport organique et des variations saisonnières	72
Figure 27: Evolution des bactéries aérobies en fonction des stades végétatifs du blé.....	75
Figure 28: Evolution des azotobacters en fonction des stades végétatifs du blé.....	75
Figure 29: Evolution des champignons en fonction des stades végétatifs du blé	76
Figure 30: Evolution des actinomycètes en fonction des stades végétatifs du blé.....	76
Figure 31: Evolution de la biomasse microbienne totale en fonction des stades végétatifs du blé.....	79
Figure 32: Evolution de la MO en fonction des stades végétatifs du blé.....	80
Figure 33: Evolution du pH en fonction des stades végétatifs du blé	80
Figure 34: Les échantillons de sols amandés prélevés en hiver (3M).....	(Annexe 2, a)
Figure 35: Les échantillons de sols amandés prélevés en printemps (6M).....	(Annexe 2, a)
Figure 36: Les échantillons de sols amandés prélevés en été (9M)	(Annexe 2, a)
Figure 37: Les échantillons de sols amandés prélevés en automne (12M)	(Annexe 2, a)
Figure 38: Stade végétatif semi.....	(Annexe 2, b)
Figure 39 : Stade végétatif levé.....	(Annexe 2, b)
Figure 40 : Stade végétatif tallage.....	(Annexe 2, b)
Figure 41 : Stade végétatif montaison.....	(Annexe 2, b)
Figure 42: Milieux de culture solides.....	(Annexe 3, b)
Figure 43: Schéma de la préparation des suspensions dilutions	(Annexe 3, c)
Figure 44: Techniques d'ensemencement sur les milieux solides	(Annexe 3, d)
Figure 45: Aspect macroscopique des colonies de différents germes microbiens (Cliché Benouadah, 2019).....	(Annexe 3, e)
Figure 46 : Teneurs en éléments grossiers des fumiers apportés	(Annexe 4)
Figure 47 : Eléments grossiers des fumiers apportés	(Annexe 4)

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Rôles, actions et bénéfices de la matière organique du sol.....	23
Tableau 2 : Répartition Générale des terres	27
Tableau 3 : Indice mensuel d'aridité (1990/2019).....	36
Tableau 4: Caractéristiques physicochimiques du sol témoin	47
Tableau 5 : Précipitations mensuelles moyennes (mm) pour les campagnes (1990/2019).....	(Annexe 1, a)
Tableau 6: Températures mensuelles (°C) pour les campagnes (1990/2019).....	(Annexe 1, b)
Tableau 7: Milieu de culture pour les Actinomycètes	(Annexe 3, a)
Tableau 8: Milieu de culture pour les champignons	(Annexe 3, a)
Tableau 9: Milieu de culture pour les Azotobacter.....	(Annexe 3, a)
Tableau 10: Milieu de culture pour les bactéries aérobies.....	(Annexe 3, a)
Tableau 11 : Analyse de la variance ANOVA (SPSS : version 22) : Cas des propriétés physiques du sol	(Annexe 5, a)
Tableau 12 : Résultats de l'analyse de la variance ANOVA (R software) démontrant l'effet dose de la matière organique apportée (A), l'effet saisons (B), l'effet MO (C), l'effet humidité (D) et l'effet température (E) sur les variations de l'azote ammoniacal (Annexe 5, b)	
Tableau 13 : Résultats de l'analyse de la variance ANOVA (R software) démontrant l'effet dose de la matière organique apportée (A), l'effet saisons (B'), l'effet MO (C), l'effet humidité (D) et l'effet température (E) sur les variations de l'azote nitrique	(Annexe 5, b)
Tableau 14 : Analyse de la variance ANOVA (SPSS : version 22) : cas du stockage du COS	(Annexe 5, c)
Tableau 15: Matrice de corrélation « coefficient de corrélation entre densité apparente, fragments grossiers, carbone organique du sol et le stock du carbone organique du sol »	(Annexe 5, c)
Tableau 16 : Résultats de l'analyse de la variance ANOVA (R software) démontrant l'effet dose de la matière organique apportée sur la densité microbienne et les propriétés chimiques du sol.	(Annexe 5, d)
Tableau 17 : Résultats de l'analyse de la variance ANOVA (R software) démontrant l'effet stade végétatif de croissance de blé sur la densité microbienne et les propriétés chimiques du sol.	(Annexe 5, d)
Tableau 18: Valeurs d'humidités et de températures des sols durant l'expérimentation.....	(Annexe 5, e)

INTODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

I-Contexte de l'étude

A l'instar des sols méditerranéens, les sols d'Algérie sont généralement caractérisés par leur faible taux de matière organique, conséquence du type de climat qui règne dans nos régions et des systèmes culturaux pratiqués qui ne sont pas favorables à la constitution d'une réserve organique du sol (Dridi et Toumi, 1999 ; Bernoux et Chevallier, 2013). Les matières organiques exportés par les récoltes, dans des sols déjà pauvres, ne sont pas remplacés de manière adéquate (Grosbellet, 2008).

Cette pratique, combinée à la pression foncière, a accentué la pauvreté des sols et favorisé la migration des agriculteurs à la recherche de nouvelles terres cultivables vers les aires protégées. Dès lors, la disponibilité des terres cultivables, le problème de leur dégradation et de leur reconstitution sont devenus une préoccupation majeure à l'échelle nationale (Koull et Halilat, 2016). Ces sols, compte tenu de leurs caractéristiques, présentent de mauvaises qualités (Dridi et Toumi, 1999 ; Koull et Halilat, 2016), pour les améliorer, il est important de maintenir les niveaux de la matière organique du sol ($3\% \leq MO \leq 4\%$) (Grosbellet, 2008), qui affectent directement ces propriétés et sa perte est directement responsable de la dégradation de sa qualité et de sa fertilité (Lampurlanes *et al.*, 2001 ; Mohammad *et al.*, 2003 ; Lal, 2004 ; Lal, 2006 ; Koull et Halilat, 2016) ; cela représente une menace pour la survie à long terme de la production agricole et du sol (Oulbachir *et al.*, 2014).

Une solution possible pour amortir la dégradation de cette ressource naturelle consiste à appliquer des amendements organiques à ces sols, afin d'améliorer leurs propriétés (Dridi et Toumi, 1999 ; Wells *et al.*, 2000 ; Odlare *et al.*, 2008 ; Vasconcelos, 2010 ; Samreen *et al.*, 2017). Cependant, il est très clair que les études sur les amendements organiques sont encore insuffisantes, notamment en Algérie et plus précisément dans la région semi-aride où ces types de sols sont menacés par une sévère dégradation (300 000 ha / an de surface agricole utile) (FAO, 2015). C'est pourquoi nous contribuons à travers cette étude à mieux comprendre le comportement des sols agricoles en conditions semi-arides face à l'amendement organique à savoir le fumier compte tenu de l'importance de l'élevage dans ces régions (vaches: 2 millions de sujets, poulets: 240 millions de sujets et équins: 168000 sujets) (MADR, 2017 et DSA, 2020), étant donné que le fumier constitue une source importante de la matière organique, dont une augmentation de la teneur en matière organique du sol est généralement

attendue après son épandage, comme il est indiqué dans de nombreuses études (Dridi et Toumi, 1999 ; Koull et Halilat, 2016 ; Samreen *et al.*, 2017).

En effet, ces amendements organiques œuvrent pour une gestion durable, étant donné qu'elles ont tendance, à diminuer le recours aux intrants chimiques, valoriser les déchets, contribuer à protéger la ressource sol et améliorer son statut organique (Derrien *et al.*, 2016).

II-Objectifs et problématiques

Sachant que la détermination de la matière organique du sol est un outil indispensable à l'étude du fonctionnement des sols et leur équilibre dynamique, et vu que nos sols témoignent un besoin net de la quantifier, c'est dans ce cadre général que se situe l'ensemble de nos travaux de recherche avec la finalité d'une meilleure connaissance relative aux champs d'interactions entre l'évolution de la matière organique et ses impacts sur la qualité physique, chimique et biologique du sol.

Notre travail consiste :

D'une part, en une étude comparative permettant de décrire, comprendre et connaître l'évolution des matières organiques apportées, ainsi que leurs influences sur : (i) les propriétés physiques, notamment en termes de structuration du sol (densité apparente, porosité, stabilité structurale), et de propriétés hydriques (rétention en eau et perméabilité) ; (ii) le pouvoir minéralisateur de l'azote (azote ammoniacal et azote nitrique); (iii) le stockage de carbone organique du sol (éléments grossiers, carbone organique et le stock du carbone organique) selon les variations saisonnières. Sachant que nous avons utilisé deux doses (20% et 40%) de trois fumiers différents: un fumier de bovins, un fumier de chevaux et un fumier de volailles. Nous avons choisi ces fumiers parce qu'ils correspondent à ceux qui sont les plus fréquemment utilisés en reconstitution du sol et selon leur disponibilité.

D'autre part, il nous est apparu essentiel d'étudier les mécanismes biotiques correspondent aux effets de la matière organique apportée sur l'évolution des microorganismes à savoir : bactéries aérobies, champignons, actinomycètes et azotobactères d'un sol cultivé sous apport organique (20 et 40% du fumier de chevaux) et selon les différents stades végétatifs du blé.

PREMIERE PARTIE

SYNTHESE
BIBLIGRAPHIQUE

CHAPITRE I

CARACTERISATION DE LA MATIERE ORGANIQUE DU SOL

I. La matière organique du sol

D'après Sposito (1997) et Derrien *et al.* (2016), le sol est un milieu complexe, car il est très hétérogène, multiphasique, constitué d'une phase solide dominante (sables, limons, argiles, matière organique (MO), particules minérales, organismes,...), d'une phase aqueuse et d'une phase gazeuse. La matière organique du sol (MOS) correspond à l'ensemble des substances organiques, vivantes et mortes, fraîches ou décomposés, simples ou complexes présentes dans le sol, à l'exclusion toutefois des animaux vivants dans le sol et des racines vivantes (Musy *et al.*, 1991; Oulbachir 2010). La MOS est ainsi constituée d'éléments majeurs: le carbone (C), l'hydrogène (H), l'oxygène (O) et l'azote (N) qui sont tous essentiels à la nutrition des plantes, ainsi que des éléments secondaires et des oligoéléments. En effet, elle est renouvelable, car alimentée en permanence par les végétaux et animaux morts, par les exsudats racinaires issus du métabolisme des êtres vivants et par les matières organiques exogènes, telles que le compost ou le fumier (Bernoux et Chevallier, 2013).

La MOS possède de nombreuses propriétés qui contribuent aux services écosystémiques : composante majeure de la fertilité et la productivité des sols, un puits potentiel de CO₂ atmosphérique et une clé dans le cycle mondial du carbone (Paustian *et al.*, 1997).

Les matières organiques du sol sont hétérogènes, certaines sont minéralisées rapidement après leur entrée dans les sols, tandis que d'autres persistent très longtemps (Schmidt *et al.*, 2011), donc, en fonction de leur vitesse de dégradation, on distingue souvent trois compartiments de matière organique dans les sols (*figure1*) :

- Les matières organiques labiles se renouvellent sur des échelles de temps courts allant de la journée à l'année.
- Les matières organiques intermédiaires sont dégradées en quelques années voire décennies.
- Enfin le compartiment de matières organiques stables se caractérise par une dégradation sur des temps allant de plusieurs décennies à plusieurs siècles (Derrien *et al.*, 2016).

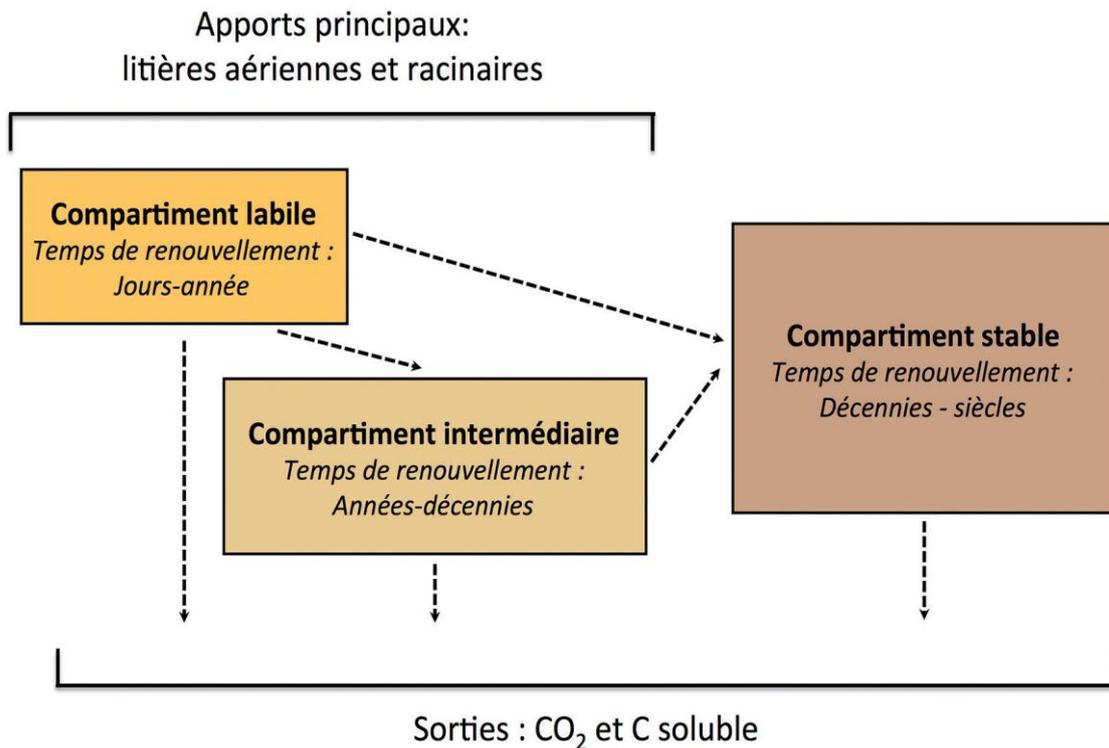


Figure 1 : Les compartiments de la matière organique du sol en fonction de son temps de renouvellement : compartiments labile, intermédiaire et stable (Derrien *et al.*, 2016)

II. Facteurs influençant le contenu en matière organique d'un sol

Selon Bernoux et Chevallier (2013), les facteurs qui influencent le contenu en MOS peuvent être naturels (climat, type de végétation...) et anthropiques (utilisation et gestion du sol...). Celui-ci dépend à la fois de la restitution de la biomasse au sol, des apports exogènes ainsi que des taux de minéralisation et d'humification de la matière organique, ces derniers étant fonction, entre autres, de la nature des sols et de certains paramètres physicochimiques (température, humidité, pH, etc.):

- Les entrées (exogènes ou non) sont multiples, fluctuantes au fil des saisons (sèches et humides) et selon le type d'agro-écosystème.
- Le temps de résidence de la MOS dans le sol qui varie selon sa composition biochimique et son association aux particules minérales du sol, en particulier les argiles.
- Le taux d'humidité et la température du sol, lorsqu'ils sont favorables, influencent les

activités biologiques responsables de la décomposition et la minéralisation de la MOS.

- Les techniques culturales qui influencent ces paramètres ont également un impact sur le contenu en MOS tels que les amendements organiques.

III. Les amendements organiques

Selon Siboukeur (2013), les amendements organiques sont des matières organiques exogènes qui améliorent l'état structural du sol avec des apports limités. Cet apport est destiné à l'obtention d'un produit organique riche en humus. Il s'agit des matières fertilisantes destinées à l'entretien ou à la reconstitution du stock de la matière organique du sol. De plus, les amendements améliorent les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols (Samreen *et al.*, 2017). Les différents types d'amendements organiques sont :

a. Fumiers

Le fumier est une matière organique plus en mois fermentée, composée par un mélange de litière (paille, fourrage,...) et de déjections d'animaux (Adden, 2004), considérée comme fumure organique de référence (Dridi et Toumi, 1999).

b. Fientes

Les fientes sont les déjections des volailles, sans litière (Znaidi, 2002).

c. Purins

D'après Siboukeur (2013), les purins sont des mélanges qui ne comprennent que des exsudats liquides de déjections.

d. Engrais verts

L'engrais vert correspond à une culture de végétation destinée à protéger et améliorer le sol par la fourniture d'éléments fertilisants (Siboukeur, 2013).

e. Compost

Le compost est un produit stable riche en humus, obtenu après le passage de la matière organique de l'état brut à l'état stabilisé par le biais d'un processus de compostage (Leclerc, 2001).

f. Paille ou mulch

Il s'agit des résidus de culture (pailleux ou non), les déchets végétaux (Ligneux ou non) (Adden, 2004).

g. Déchets industriels ou urbains

On note essentiellement :

Les écumes de sucrerie et les boues de station d'épuration (Adden, 2004).

h. Ordures ménagères et les écorces concassées

Ce sont des matières fertilisantes du sol, apportées au sol de préférence à l'état composté (Adden, 2004).

CHAPITRE II

DYNAMIQUE DE LA MATIERE ORGANIQUE DU SOL

I. Aspects d'évolution de la matière organique dans le sol

La dynamique de la matière organique du sol correspond à différents flux : le flux entrant principalement via les litières végétales ou les divers amendements organiques apportés par l'Homme et qui se fait à la surface du sol où la densité racinaire et l'activité biologique sont les plus intenses, et les flux sortants qui sont la minéralisation et les pertes par ruissellement et lixiviation. Ces matières organiques fraîches sont susceptibles d'une évolution sous l'action des microorganismes et de la microfaune et quand les conditions du milieu et leur constitution biochimique sont favorables (Oulbachir, 1997 ; Calvet *et al.*, 2011 ; Bernoux et Chevallier, 2013).

Dans le premier stade d'évolution de ces produits, il est possible de les séparer de la phase organo-minérale des sols par flottaison ou tamisage. On parle alors de matière organique libre. Sous l'action continue de la biomasse microbienne du sol, les débris végétaux subissent des transformations de plus en plus poussées, les produits obtenus appelés substances humiques, se fixent et se lient d'une façon intense au sol, pour former le complexe argilo-humique. On parle alors de matière organique liée (Akroume, 1985).

D'après Oulbachir (1997), il est généralement admis que les étapes d'évolution de la matière organique peuvent être décrites comme suit :

- La décomposition : c'est une simplification des constituants des matières organiques fraîches. Cette étape essentiellement biologique se caractérise par :

- Une phase de prolifération microbienne ;
- Une phase de décroissance microbienne.

I.1. Processus d'humification et de déshumification

I.1.1. Humification (ou formation d'humus)

L'humification est le résultat d'un grand nombre de réactions physiques et biochimiques que subissent la matière organique fraîche et la matière organique déjà transformée et qui conduisent à la formation de l'humus (Schvartz *et al.*, 2005 ; Calvet *et al.*, 2011). On comprend ainsi que l'humification est un terme recouvrant l'ensemble des transformations.

Cette étape aboutit à la formation de molécules organiques complexes le plus souvent insolubles : les acides humiques et les acides fulviques (Duchaufour, 2001 ; Calvet, 2003).

I.1.2. La déshumification

La déshumification est l'inverse, le processus au cours duquel l'humus stable est peu à peu minéralisé et utilisé pour la synthèse de nouveaux protoplastes (Dommergues et Mangenot, 1970).

La dégradation secondaire des substances humiques forment des acides fulviques liés et libres. Ces derniers peuvent également migrer et se condenser en acides humiques ou en humine de précipitation en particulier dans les horizons profonds (Antoine et Beatri, 1983).

I.2. Processus de minéralisation et de réorganisation

I.2.1. Minéralisation

La minéralisation de la matière organique est un processus de dégradation et une source d'éléments nutritifs pour les végétaux. Ses conséquences principales sont la diminution de la teneur en matière organique dans un sol et la formation d'éléments minéraux sous forme gazeuse (CO_2 , N_2O ...) ou sous forme dissoute (nutriments azotés et phosphatés) assimilables par les plantes (Abiven, 2004). Le plus souvent nous distinguons (*figure 2*):

- La minéralisation primaire (M1) ou pouvoir minéralisateur d'un sol face à la matière organique libre ;
- La minéralisation secondaire (M2) ou pouvoir minéralisateur d'un sol face à la matière organique humifiée plus lente en général, elle est beaucoup plus liée aux mécanismes d'humification pouvant être exprimés par un taux variable avec le type d'humus (Duchaufour, 1983 ; CRA, 2011).

Selon Grosbellet (2008), la minéralisation de la matière organique du sol est influencée par plusieurs facteurs :

I.2.1.1. Les facteurs intrinsèques

- La décomposition d'une matière organique dépend de sa nature biochimique

(Christensen, 2001 ; Bruun *et al.*, 2005). Plus une matière organique est stable moins elle est susceptible de stimuler l'activité des microorganismes (Bernal *et al.*, 1998 ; Pascual *et al.*, 1998).

- L'état physique de la matière organique (solide, liquide, pâteux) ainsi que la forme et la taille de leur particules peuvent jouer sur sa minéralisation (Angers et Recous, 1997 ; Fanguero *et al.*, 2007).

I.2.1.2. Les facteurs externes

- La minéralisation d'une matière organique d'un sol est soumise à l'influence du climat, notamment des conditions de température et d'humidité, qui "pilotent" l'activité des microorganismes (Rodrigo *et al.*, 1997 ; Rebat *et al.*, 2019). Dans les sols, l'activité biologique liée à la dégradation de la matière organique ralentit considérablement en hiver, lorsque la température diminue en-dessous des seuils favorables à l'activité biologique (Grosbellet, 2008). De la même façon, l'humidité du sol peut être limitante. Quand elle est trop abondante, les conditions du milieu deviennent anoxiques, et l'activité microbienne aérobie est perturbée (Rodrigo *et al.*, 1997 ; Sahrawat, 2004). Par ailleurs, l'alternance de phases de dessiccation et de réhumectation dans un sol peut stimuler la minéralisation de la matière organique : en favorisant la désagrégation des particules de matière organique, jusque-là protégées, peuvent être exposées à l'activité microbienne (Miller *et al.*, 2005).

- Le travail du sol augmente les "points de contact" entre la matière organique et les particules minérales (Fruit *et al.*, 1999 ; Henriksen et Breland, 2002). Ce contact est essentiel pour permettre la colonisation par les microorganismes et la diffusion de composés solubles (Fruit *et al.*, 1999).

- La disponibilité en azote dans le milieu est un facteur important (Recous *et al.*, 1995 Coppins *et al.*, 2007) car les microorganismes ont souvent besoin d'une source d'azote minéral pour la dégradation du substrat carboné du produit organique de façon optimale (Widmer *et al.*, 2002 ; Busby *et al.*, 2007).

I.2.2. Réorganisation

C'est un processus inverse de celui qui précède à la minéralisation et il accompagne la biosynthèse des microorganismes vivants, une partie des composés minéraux libérés est ainsi réincorporée au sein des composés humiques (Duchaufour, 1983).

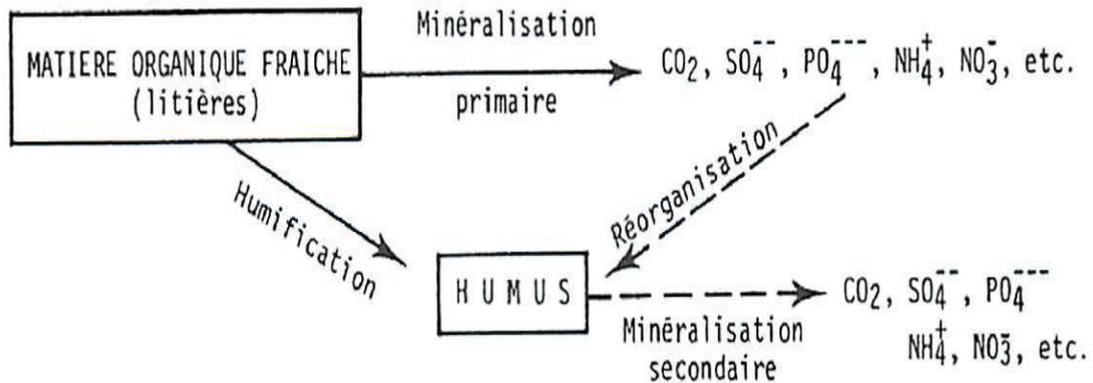


Figure 2 : Décomposition de la matière organique fraîche : minéralisation et humification (Duchaufour, 2001)

II. Principaux microorganismes présents dans le sol

Selon Fierer *et al.* (2007), les populations microbiennes du sol représentent la plus grande diversité que l'on rencontre sur terre. Elles peuvent être classées en :

II.1. Les bactéries

Les bactéries forment le groupe le plus dominant des microorganismes du sol (Morel, 1989 ; Maier *et al.*, 2009). Elles sont classées en bactéries autotrophes (utilisation de carbone sous forme minérale), et bactéries hétérotrophes (utilisation de carbone sous forme organique). Elles prolifèrent dans les milieux les plus riches en azote et peu acides en milieu aéré à pH supérieur à 6. Elles sont surtout abondantes autour des racines de certaines plantes (graminées, légumineuses) au sein de la rhizosphère (Dari, 2013). Elles synthétisent des substances organiques qu'on appelle « humine bactérienne » (Gobat *et al.*, 2010).

II.2. Les actinomycètes

Ce sont des bactéries filamenteuses hétérotrophes et la plupart sont des Gram-positifs (Djical, 2003). Les actinomycètes semblent jouer un grand rôle dans la transformation de certains

composés organiques et minéraux du sol. Elles ont aussi d'autres fonctions : sécrétion d'antibiotiques, très utilisée en pharmacologie (Alexander, 1977 ; Rebati *et al.*, 2019). « Elles sont indice d'un sol à bonne structure et/ou bonne aération (Clément et Lozet, 2011) ».

II.3. Les champignons

Les microbiologistes utilisent le terme champignon pour désigner les organismes eucaryotes, porteurs de spores, dont la nutrition se fait par absorption, qui sont dépourvus de chlorophylle. Comme certaines bactéries, les champignons digèrent des matières organiques insolubles en sécrétant des exo-enzymes et en absorbant ensuite les nutriments solubilisés (Prescott *et al.*, 2010), comme ils ont la capacité de transporter les nutriments et de participer à la stabilité structurale d'un sol (Gobat *et al.*, 2010).

III. Interaction microorganismes du sol-matière organique

La microflore accroît également le potentiel enzymatique des sols en assurant plus ou moins complètement les cycles biogéochimiques des éléments, intéressant la production agricole (Oulbachir, 1997).

III.1. Le cycle de l'azote

Le cycle biologique de l'azote intègre plusieurs types de fonctions, vu dans son ensemble, il présente deux aspects : Un cycle d'assimilation/minéralisation, qui en est l'aspect trophique, et un cycle d'oxydoréduction, qui en est l'aspect énergétique (Gobat *et al.*, 2010).

a. La fixation biologique de l'azote atmosphérique

La fixation de l'azote moléculaire est le processus par lequel les bactéries utilisent l'azote de l'air pour leurs synthèses protéiques, en le réduisant en ammoniac grâce à une enzyme, la nitrogénase (FAO, 1992).

b. Ammonification

L'ammonification est la dégradation de la matière organique azotée (protéines, peptides, acides aminés) en ammonium NH_4^+ par des populations mixtes de microorganismes (Prescott *et al.*, 2010).

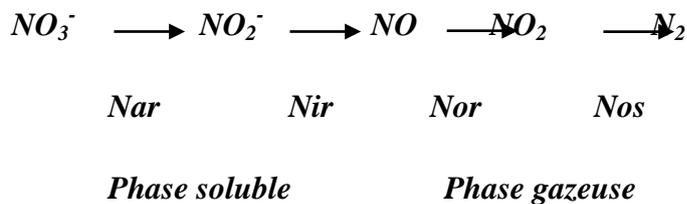
c. Nitrification

La nitrification désigne l'oxydation de l'ammonium (NH_4^+) en nitrate (NO_3^-), elle est réalisée en deux étapes par deux groupes distincts de bactéries autotrophes, aérobies strictes:

- La nitrosation ou nitritation: consiste en la réduction de NH_4^+ en NO_2^- par certaines bactéries du genre *Nitrosomonas*.
- La nitratisation : étape au cours de laquelle certaines bactéries notamment celles du genre *Nitrobacter* oxydent les nitrites NO_2^- en nitrates NO_3^- assimilables par les végétaux (Calvet, 2011).

d. Dénitrification

La dénitrification est la biotransformation qui permet la conversion du nitrate (NO_3^-) et du nitrite (NO_2^-) en oxyde nitrique (NO), oxyde nitreux (NO_2) et azote atmosphérique (N_2). Quatre enzymes sont impliquées dans ce processus :



Ces enzymes sont le nitrate réductase (Nar), le nitrite réductase (Nir), l'oxyde nitrique réductase (Nor) et l'oxyde nitreux réductase (Nos) ; elles sont activées séquentiellement lors de conditions anaérobies. La dénitrification demeure essentiellement dans le sol le fait d'une activité biologique définie, due à l'intervention d'espèces microbiennes dénitrifiantes, sont des bactéries appartenant aux genres (*Bacillus*, *Pseudomonas*, *Achromobacter*...) (Morel, 1996 ; Soltner, 2005).

III.2. Le cycle de carbone

Le cycle du carbone désigne l'ensemble des réservoirs et des flux du carbone organique et minéral. Ce cycle comprend quatre grands réservoirs que sont (l'hydrosphère, la lithosphère, l'atmosphère et la biosphère.), l'essentiel des échanges du carbone a lieu entre la biosphère et l'atmosphère à travers la photosynthèse et la respiration, entre l'atmosphère et l'hydrosphère à

travers l'équilibre de dissolution des carbonates marins, et entre les couches profondes et superficielles des océans (Dari, 2013).

La biodégradation a pour terme ultime la production de CO₂, c'est-à-dire la minéralisation de la matière organique. Le dégagement de CO₂ lors de la minéralisation d'un substrat organique permet d'estimer l'activité métabolique globale de la micro-population (Boughedaoui, 1989).

IV. Interaction sol-plante

D'après Oulbachir (2010), les microorganismes du sol satisfont leurs besoins énergétiques par la dégradation de produits carbonés provenant de la photosynthèse. La végétation exerce donc une influence importante sur le développement et l'activité des populations microbiennes et elle bénéficie à son tour des substances excrétées par les organismes rhizosphériques. Il s'établit donc entre les plantes et les microorganismes un ensemble d'interactions assez complexe (Vilain, 1987). Dans les conditions naturelles, l'alimentation des végétaux ne dépend pas uniquement des possibilités d'absorption par les racines. Il faut encore que ces dernières trouvent à leur disposition une quantité suffisante d'éléments minéraux et d'eau pour assurer les besoins de la plante (Gallot, 1983).

Les transformations réalisées par ces microorganismes dans le sol sont extrêmement nombreuses, particulièrement dans les sols cultivés, les chercheurs pensent que le niveau de la biomasse microbienne et son activité représentent des composantes majeures de la notion de fertilité (Chaussod *et al.*, 1982 in Oulbachir, 2010).

CHAPITRE III

BIOFONCTIONNEMENT DU SOL

I. Impacts de la matière organique du sol

La matière organique intervient à toutes les articulations du système sol-plante-technique-climat (Oulbachir, 1997). Une fois mise, dans le sol, la matière organique est essentielle à :

I.1. La fertilité des sols agricoles

D'après Doucet (2006), la matière organique remplit une multitude de fonctions qui sont toutes aussi indispensables les unes des autres. Sans elle, aucune production n'est possible. Ces fonctions sont assurées grâce à leurs propriétés physiques, biologiques et chimiques (*tableau 1*):

a. Influence sur les propriétés physiques du sol

L'humus prévient le tassement des particules, rend les sols plus légers, plus poreux et donc mieux aérés. Il rend les sols plus meubles et augmente leur perméabilité à l'air et à l'eau. En même temps, il est un régulateur de l'humidité du sol. En effet, il maintient une meilleure réserve d'eau, grâce à son pouvoir d'absorption élevé, et tend, du même coup à réduire l'évaporation. L'humus augmente la cohésion des agrégats du sol et diminue leur mouillabilité ; c'est donc un élément stabilisant de la structure du sol, puisqu'il agit notamment contre son pire ennemi : l'eau (Doucet, 2006).

b. Influence sur les propriétés biologiques du sol

D'après Lefèvre (2015), la matière organique du sol stimule l'activité biologique qui s'y trouve : elle représente la source principale d'énergie et d'éléments nutritifs indispensables aux microorganismes du sol qui, en la décomposant, libère du CO₂ et des éléments nutritifs assimilable par les plantes. La MOS permet de ce fait le maintien de l'activité biologique du sol ainsi que la productivité des écosystèmes (Bernoux et Chevallier, 2013).

c. Influence sur les propriétés chimiques du sol

Selon Doucet (2006), l'humus, comme l'argile, peut fixer les cations indispensables, par son pouvoir d'adsorption, et les libérer pour alimenter les plantes en croissance, grâce au mécanisme de l'échange des ions. Cette propriété, désignée, capacité d'échange cationique (CEC) contribue au stockage et à la mise à disposition ultérieure d'éléments nutritifs pour les plantes. La CEC permet en outre de lutter contre les pertes en éléments nutritifs par lixiviation

(Calvet *et al.*, 2011). Grâce à son pouvoir tampon, l’humus prévient en outre les variations subites et néfastes du degré d’acidité dans le sol (Doucet, 2006).

Tableau 1 : Rôles, actions et bénéfices de la matière organique du sol (Bernoux et Chevallier, 2013).

Rôles	Actions	Bénéfices
Physiques	Structure, porosité	- Pénétration de l’eau et de l’air - Stockage de l’eau - Limitation de l’hydromorphie - Limitation du ruissellement - Limitation de l’érosion - Limitation du tassement - Réchauffement
	Rétention en eau	- Meilleure alimentation hydrique
Biologiques	Stimulation de l’activité biologique (biomasse microbienne)	-Dégradation, minéralisation, réorganisation, humification - Aération
Chimiques	Décomposition, minéralisation	- Fourniture d’éléments minéraux (N, P, K, oligo-éléments...)
	Capacité d’échange cationique	- Stockage et disponibilité des éléments minéraux
	Complexation des éléments traces métalliques	- Limitation des toxicités (Cu)
	Rétention des micropolluants organiques et des pesticides	- Qualité de l’eau

I.2. Le stockage du carbone atmosphérique dans les sols

Il n’est pas évident d’établir le lien entre les sols et la composition de l’atmosphère, en particulier les concentrations des gaz à effet de serre, pourtant les sols sont au cœur du cycle du carbone, qui compte deux importants gaz à effet de serre : le CO₂, ou dioxyde de carbone, qui est, après la vapeur d’eau, le gaz à effet de serre le plus important en concentration dans l’atmosphère, ainsi que le méthane (CH₄) (Derrien *et al.*, 2016).

Les échanges de carbone entre sols, végétation et atmosphère sont intenses : les sols à la fois émettent du CO₂ (via la respiration des racines et des microorganismes) et piègent du carbone organique (via la photosynthèse et la transformation des résidus des plantes en humus). Au final, les sols puisent globalement plus de CO₂ qu'ils n'en rejettent, constituant ainsi un puits de carbone de 1 à 3 Gt par an qui participe à l'atténuation du changement climatique au niveau global (Le Quéré *et al.*, 2015).

I.3. La contribution au maintien de la biodiversité des sols et des plantes

D'après Bernoux et Chevallier (2013), la MOS favorise une grande diversité d'habitats pour la faune (lombrics, acariens, nématodes...) et la microflore (champignons, algues, bactéries...) du sol. La plupart des espèces se retrouve dans les 2-3 premiers centimètres de sol où les concentrations en matières organiques et en racines sont les plus élevées. Des sols plus riches en matière organique permettent également de supporter une végétation plus diversifiée, ce qui en général permet l'établissement d'une biodiversité plus riche sur la parcelle.

DEUXIEME PARTIE

DEMARCHE EXPERIMENTALE

CHAPITRE I

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I.1. Présentation de la zone d'étude

L'étude a été effectuée à la station expérimentale ITGC (Institut Technique des Grandes Cultures) de la région de Sebaine de la commune de Dahmouni (Wilaya de Tiaret), dont les coordonnées sont :

- $X = 1^{\circ}36'27''$
- $y = 35^{\circ}27'32,4''$
- $z = 960\text{m}$

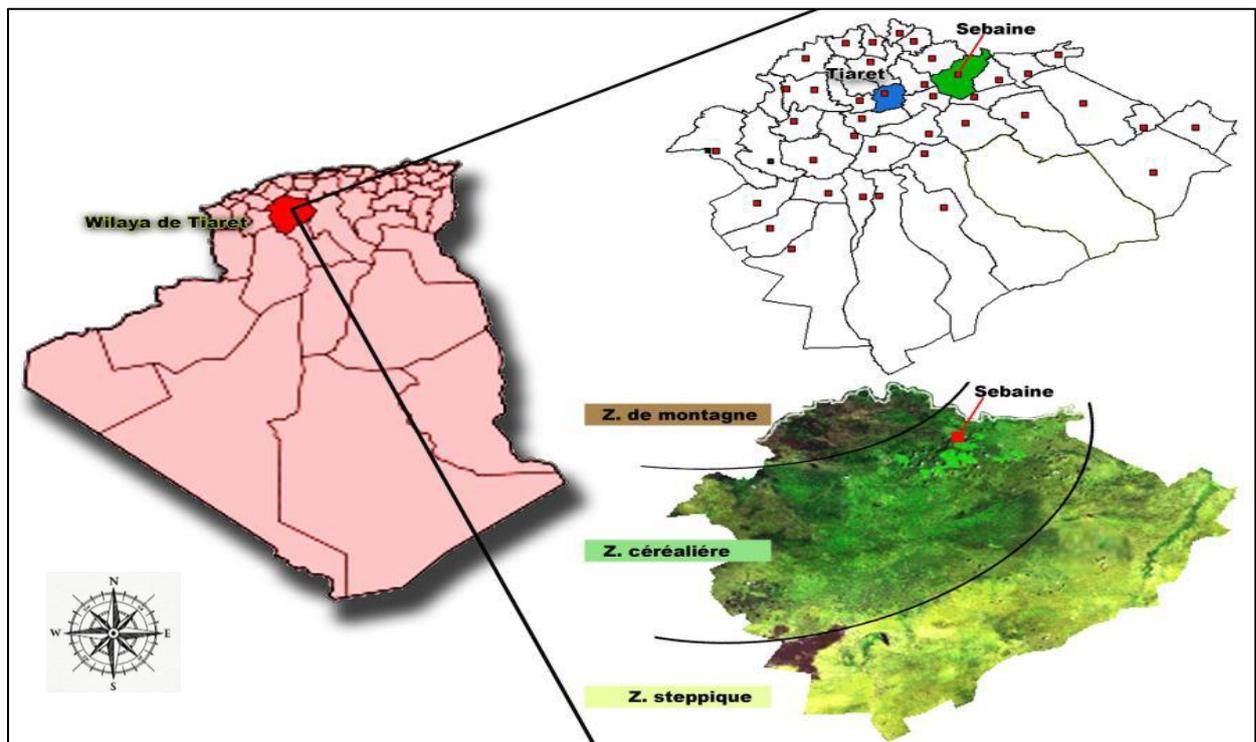


Figure 3 : Localisation de la zone d'étude (Tahani, 2009)

I.1.1. Situation et caractéristiques du site

D'après Nouar (2015) et Ait Abderrahim (2016), la wilaya de Tiaret fait partie des hautes plaines céréalières de l'ouest Algérien. Elle est localisée au Nord-Ouest de l'Algérie, sur les hauts plateaux Ouest entre la chaîne Tellienne au Nord et la chaîne Atlasique au Sud (*figure 3*). Elle est délimitée par les villes de Tissemsilt et Relizane au Nord, la ville de Laghouat au sud, les wilyas de Mascara et Saïda à l'Ouest et par la ville de Djelfa et Médéa à l'Est, et elle s'étend sur une superficie de 20 673 km².

Cette position privilégiée fait que la wilaya de Tiaret est un carrefour entre diverses wilayas et régions du pays. Elle est également une zone de passage entre les régions montagneuses au Nord, les hautes plaines au centre et les espaces semi-arides au Sud.

La région de Tiaret est située dans la partie Nord-Ouest du pays, se trouvant à plus de 300 km au sud-Ouest de la capitale elle apparaît comme étant un centre de liaison entre plusieurs wilayas et constitue un relais entre les régions du Nord –Ouest et celles du Sud.

I.1.2. Conditions socio-économiques de la région

D'après Merabet et Benyamina (2016), la wilaya de Tiaret se caractérise par une forte croissance démographique, cette dernière serait probablement liée à l'exode rural qui a affecté cette région particulièrement au cours de la décennie noire. Ceci a provoqué un déséquilibre flagrant entre les zones rurales et le chef-lieu de la wilaya.

L'augmentation du nombre de population au niveau de la commune de Tiaret est justifié par :

- le statut de l'agglomération chef-lieu qui confirme davantage son attractivité par les possibilités d'offre d'emploi.
- La concentration des divers équipements au niveau de l'agglomération chef-lieu.

Cette augmentation en nombre d'habitants se répercute sur l'augmentation des habitations précaires favorisant ainsi les rejets liquides et solides, exposant davantage les populations aux dangers de la pollution.

I.1.2.1. L'Agriculture

La wilaya de Tiaret couvre des reliefs de type différents : le Djebel Guezoul au Nord est inculte ; seul le haut plateau au Sud est fertile. Plusieurs exploitations se partagent la surface agricole utile (*tableau 2*) et nous citerons la ferme pilote Chaou-Chaoua (la jumenterie) qui occupe une superficie totale agricole de 8,76 km² dont 7,41 km² de surface agricole utile :

Quatre domaines autogérés occupent la presque totalité des terres :

- Le domaine Ziane Haoues ;
- Le domaine Cherifi M'hamed ;
- Le domaine Mabrouk el cheikh ;

- Le domaine Ghaouti Djillali.

Le secteur privé occupe une superficie de 12,58 km².

Tableau 2 : Répartition Générale des terres

S.A.T	S.A.U	Forêt	Pacages et parcours	Terres incultes
92,04 km ²	71,12 km ²	23,41 km ²	6,92 km ²	20,76 km ²

(DSA Tiaret, 2020)

Plus des trois quarts des terres de la wilaya, soit 15 895,31 km² environ, sont agricoles et 6887,25 km² environ, sont utiles. Ces terres agricoles sont occupées essentiellement de grandes cultures céréales et légumineuses, tandis que les cultures maraîchères et cultures fruitières viennent au second rang (DSA Tiaret, 2020).

I.1.2.2. Industrie

Malgré l'absence de toute tradition et de tout passé industriel, Tiaret a pu voir s'établir et se développer un important tissu industriel. En une période de temps très courte (10 ans), la région de Tiaret a pu bénéficier d'un nombre important d'unités industrielles. L'année 1976 a constitué le point de départ de l'ère industriel à Tiaret (Oulbachir, 2010).

Il faut reconnaître, cependant que cette industrialisation à grande échelle s'est effectuée, parfois, dans des conditions qui n'ont permis de prendre correctement les préoccupations en matière de protection de l'environnement.

La zone industrielle de Tiaret se situe sur la route de Zaaroura ; elle a une superficie de 1,25 km² et possédant toutes les utilités.

Tous les déchets solides issus de la zone industrielle rejoignent la décharge publique de Tiaret et sont confondus avec les ordures ménagères.

I.1.3. Pédologie et valeur agricole des sols de la ville de Tiaret

I.1.3.1. Le sol

La délimitation des principales classes des sols dans la région a été possible, en se basant sur les observations du terrain, l'interprétation des photographies aériennes, selon les travaux de Moumene (1993) et les travaux effectués au département de pédologie de L'ISA de Tiaret de

1990 à 1998, d'après les études réalisés par Oulbachir (2010) et selon la classification effectuée par Jones *et al.* 2013 ; il s'avère que la classe la plus dominante dans la zone d'étude, est la classe des Vertisols qui regroupe les vertisols proprement dit et / ou toutes les autres unités de sol à caractère vertique (isohumique à caractère vertique, calcimagnésien à caractère vertique). Cette classe s'étend sur plus de 32% de la surface totale.

Ensuite les sols à sesquioxydes de fer (rouge méditerranéen à accumulation calcaire peu profonde et les sols isohumiques à accumulation calcaire peu profonde) sur 30% de la surface totale. Ces sols s'étendent surtout dans la partie sud (plateau du sersou).

Les sols rouges méditerranéens peu lessivés et les sols bruns calcaires typiques à accumulation calcaire friable, s'étendent sur un peu plus de 13% de la zone étudiée, dans la zone de Sebain, Sidi Hosni, et dans le secteur de Mellakou.

Les sols peu évolués sablonneux d'extension réduite, sont liés surtout à la nature de la roche mère. Ils se localisent au nord de Dahmouni, et aux alentours de Sougueur. Ce sont les sols des anciens vignobles de la région de Tiaret, ils ne représentent que 2 à 3 % de la surface de la région.

Enfin, on a regroupé sous le nom « des sols incultes », tous les terrains qui appartiennent à des affleurements rocheux, des maquis, des massifs forestiers ou des alluvions récents.

Les informations récoltées au niveau des services concernés, nous, permettent de donner un aperçu sur la nature des sols de la région.

A- Les Vertisols

Les Vertisols représentent 10% de la SAT de la commune, et de bon rendement de l'ordre de 45 q/ha, se localisent sur les berges d'oueds comme par exemple l'oued Tolba et l'oued Mina.

B- Les sols Fersialitiques

Les sols fersialitiques occupent la majeure partie de la SAT (environ 80%), leur rendement est de l'ordre de 18 à 20 q/ha et sont localisés à la partie Sud-est et Sud-Ouest de la commune.

La décharge publique de Tiaret se trouve au niveau de ces sols fersialitiques à valeur agricole moyenne.

C- Les sols calcimagnésiques

Les sols calcimagnésiques se localisent sur la partie Nord-Est de la commune.

Au niveau de la petite jumenterie, nous rencontrons les rendzines. Ces sols présentent de mauvaises propriétés physiques (abondance de cailloux rendant le sol difficile à travailler et l'insuffisance des réserves d'eau en période sèche) et les propriétés chimiques sont défavorables : le calcaire actif est très abondant.

I.1.4. Cadre géologique

I.1.4.1. Description litho stratigraphique

a. Le Jurassique

D'après Polveche (1960) *in* Oulbachir (2010), le Jurassique de la région est représenté par :

- **Le Jurassique Inférieur : Le lias**

Dont nous pouvons reconnaître du bas en haut les séries stratigraphiques suivantes :

- ✓ Le lias inférieur: représenté par des dolomies cristallines et calcaires à grains fins plus ou moins dolomitiques.

- ✓ Le lias moyen et supérieur: dont on peut reconnaître:

Domerien : représenté par des calcaires marneux.

Toarcien: représenté par des marnes schisteuses.

Aalénien : représenté par des calcaires sublitographiques à grains fins.

- **Le Jurassique moyen**

Il est représenté par le Bajocien et probablement par le Bathonien, il est constitué par une série de grès quartzeux roux ou blanc très peu fossilifères.

- **Le Jurassique supérieur**

Il est représenté à la base par des marnes schisteuses noirâtres et grises, peryteuses où s'intercalent quelques horizons marno-calcaires gris foncés.

b. Le Crétacé

- **Crétacé inférieur**

La coupe lithologique montre une succession de formation marno-calcaires épaisse de 200m datée du Berriasien-Valanginien, d'un ensemble Valanginien-Albien essentiellement gréseux qui se compose de 3 groupes :

1- Groupe gréseux inférieur (Valanginien-Barrisien) constitué à la base par calcaires et dolomies, au sommet par des grés.

2- Groupe greso-carbonate moyen (Albien), marqué par la présence au sein d'une partie détritique de plusieurs horizons calcaires et marno-calcaires.

3- Groupe gréseux supérieur (Albien), constitué par des grés inférieur (60m) et des argiles gréseux (10m) surmontées par des grés supérieurs (40m).

- **Crétacé supérieur**

Cénomaniens

Le Cénomaniens affleure au niveau de Talmaia est formé de marne d'argilithique calcaires tendres et d'un conglomérat à la base. Il présente une épaisseur de 40m.

Turonien

Représenté par des dolomies gréseuses et des calcaires, le Turonien repose en concordance sur les terrains d'âge cénomaniens et effleure essentiellement dans la partie sud-est.

Sénonien

Largement représenté au sud de notre secteur d'étude, le sénonien a un faciès très varié. Il comprend des calcaires des argiles gypseuses, des grés et des conglomérats de bases.

c. Le Miocène

Transgressif sur le crétacé supérieur forme la structure actuelle de la région qui est très simple et assez régulière. C'est une superposition de bancs de grés tendres miocène, surmontant en concordance une assise argileuse de la même formation.

d. Le Quaternaire

Il peut atteindre une épaisseur de l'ordre de 40m. C'est une formation fluviolacustre très hétérogène constituée de marnes crayeuses plus ou moins sableuses et argileuses couvert parfois de lits de sables et de galet. Elle renferme des encroûtements calcaires, parfois elle simplement constituée de calcaire tendre et fissuré par endroit. La série renferme également des éléments détritiques qui pourraient prévenir du démantèlement des reliefs.

I.1.5. La géomorphologie

La région de Tiaret présente une diversité d'unités naturelles qui caractérisent les deux grands ensembles morphologiques : l'Atlas tellien et les hautes plaines. Du Nord au Sud, nous distinguons :

- Une chaîne de piémonts constituant le versant méridional de l'Ouarsenis (Dj.Bechtout, Dj Si maârout, Dj. Mahmoud, Dj .Guédéle, à orientation Est-Ouest fortement érodée.
- Un domaine tabulaire vaste, s'étendant au pied de l'Ouarsenis où prédomine des formes planes emboîtées entre 800 et 1000m ; appelé communément le plateau du Sersou.
- Les monts de Frenda, un ensemble montagneux d'altitude moyenne 1200m qui prolonge localement les monts de Saïda, au relief modéré et localement boisé.
- Le haut plateau, constituant lui-même une vaste plaine regroupant la cuvette du Chott chergui à l'Ouest et le chaînon du Nador (Dj.Nador, Dj .N'sour, Dj. Es sefah, Dj.Chemer, Ras Sidi atallah).

I.1.6. Cadre climatique

Le climat est l'élément naturel primordial dans le phénomène pédogénétique d'une part, et dans le choix d'un système de production d'autre part (Geoffroy, 2007 ; Benaichata *et al.*, 2019).

Afin de caractériser le climat de la région nous utiliserons les résultats météorologiques élaborés par la station d'Ain Bouchekif (2020).

Le climat de la région est caractérisé par deux périodes principales qui expriment le contraste important qui sévit durant l'année à savoir :

- Un hiver froid relativement humide, des chutes de neige, la température moyenne enregistrée est de 7,5° C.
- Un été chaud et sec avec une température moyenne de 28.5°C.

Les principales caractéristiques climatiques de la région sont liées à l'influence du relief, de l'altitude et de l'exposition. Ce climat est caractérisé essentiellement par une saison moyennement pluvieuse de Septembre à Mai et une saison chaude de Mai à Septembre.

Le sud de la wilaya influencé par les conditions sahariennes à de fortes contraintes pour le développement de l'agriculture qui se caractérise par :

Une faible pluviométrie (<300 mm / an), des températures excessives (32° C à 36° C), une fréquence de sirocco et de fortes gelées.

I.1.6.1. Les données brutes

Les températures et les précipitations agissent d'une façon énergétique sur l'intensité d'altération des roches surtout dans les régions arides et sahariennes où la végétation se fait rare. Les précipitations jouent un également un rôle capital dans les phénomènes de migration des substances, la température peut avoir une influence direct sur le développement des végétaux ; elle peut également agir sur la répartition des êtres vivants. Les températures extrêmes sont les plus importantes pour la végétation, en particulier les températures hivernales moyennes (Geoffroy, 2007).

I.1.6.2. Les données pluviométriques

Les précipitations caractérisent la balance hydroclimatique d'une région, par leur intensité, leur fréquence et leur irrégularité. Les pluies ont une influence importante sur le modèle de la région (Oulbachir, 2010).

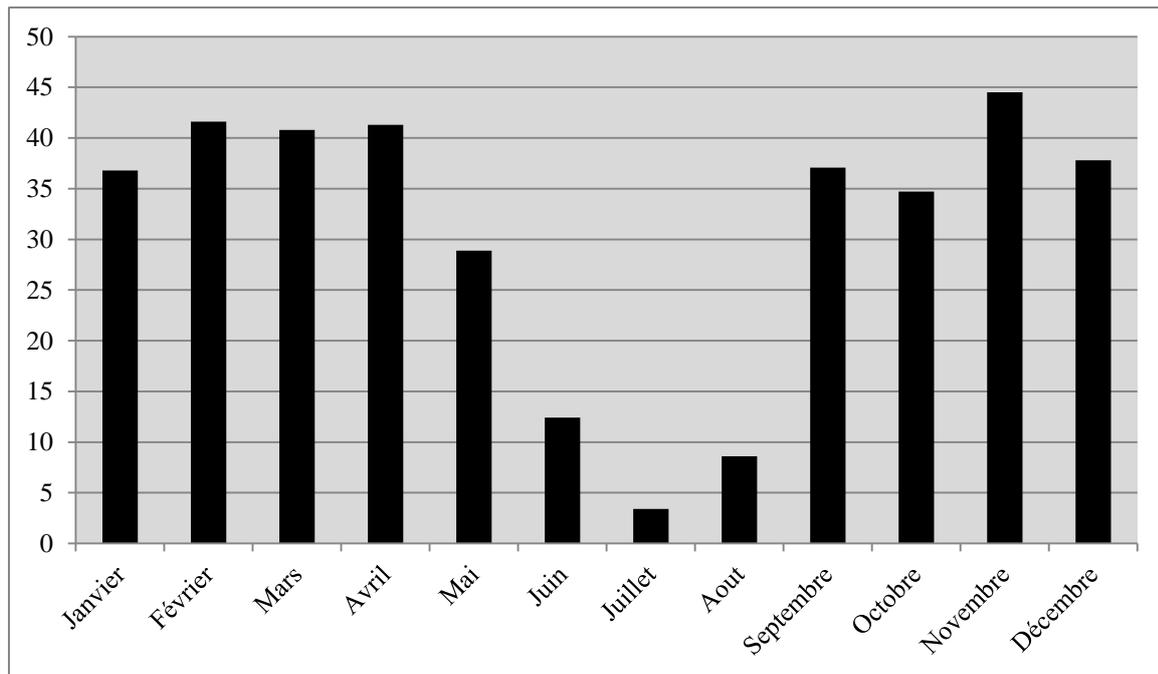


Figure 4 : Histogramme des précipitations mensuelles moyennes (1990/2019)

D'après l'histogramme de précipitation (*figure 4*) ci-dessus et *l'annexe 1*, on peut ressortir les données suivantes :

- La somme de précipitation enregistrée pour l'année (2018) est de 579,19mm ;
- La somme de précipitation enregistrée pour l'année (2019) est de 324,65mm ;
- La hauteur de la pluviosité annuelle durant les 30 ans d'enregistrement se caractérise par l'irrégularité.
- La moyenne annuelle des précipitations sur une période de trente ans (1990/2019) est de 402,57 mm.

I.1.6.3. Les données thermiques

Le régime des températures est fortement influencé par l'altitude, Celle-ci renforce les gelées en hiver mais adoucit les températures en été (Oulbachir, 2010).

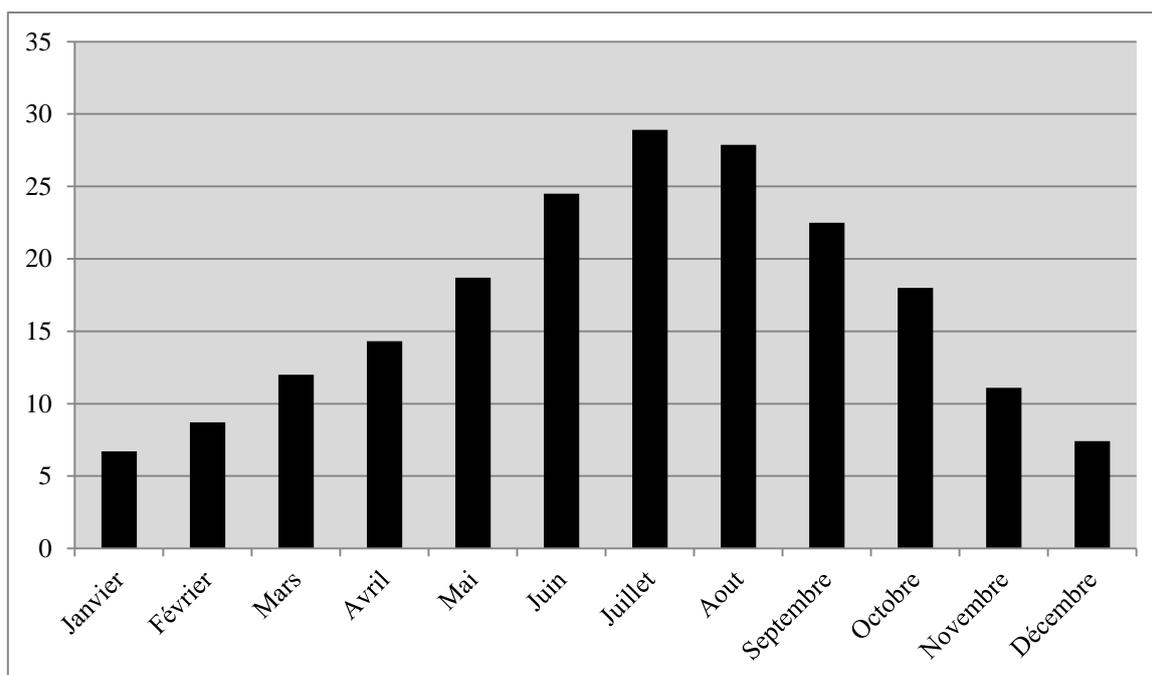


Figure 5 : Histogramme des Températures mensuelles moyennes (1990/2019)

D'après l'histogramme (*figure 5*) et *l'annexe 1*, on remarque que les saisons sont apparentes, un été chaud et un hiver froid. Durant la période (1990-2019), on s'aperçoit que les mois les plus froids sont : décembre (7,4°C), janvier (6,7°C) et février (8,7°C), Les mois les plus chauds sont : juin (24,5°C), juillet (28,9°C) et août (27,9°C).

I.1.6.4. Les données synthétiques

a. Le diagramme ombrothermique

On porte sur le même graphe les précipitations moyennes mensuelles avec une unité graphique de températures double de celle des précipitations.

On considère qu'un mois est sec si la précipitation mensuelle moyenne est inférieure ou égale au double de température moyenne mensuelle. En conséquence et d'après le diagramme ombrothermique (*figure 6*), on déduit que la période sèche s'étale du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre.

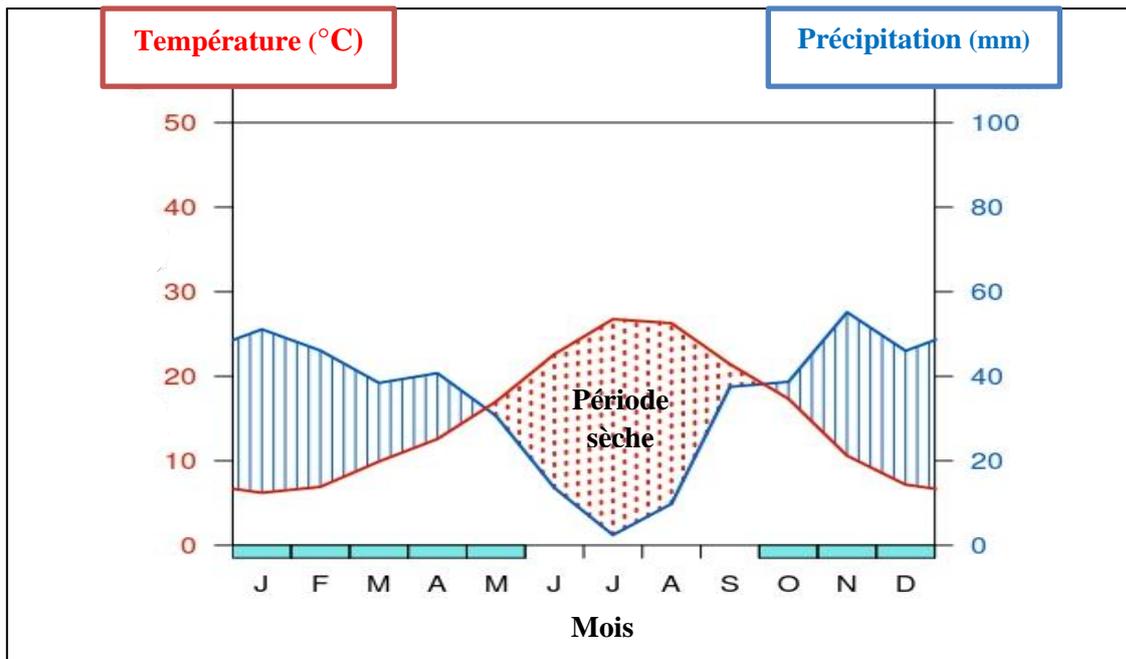


Figure 6: Diagramme ombrothermique des moyennes des campagnes (1990/2019)

b. L'indice d'aridité

L'indice d'aridité donne une idée sur le climat d'une région donnée (*tableau 3*). L'indice mensuel est donnée par la formule : $Ia = P / (T+10)$

Dont :

Ia : Indice d'aridité

P : Précipitation

T : Température

Tableau 3 : Indice mensuel d'aridité (1990/2019)

Mois	P (mm)	T (°C)	Ia
Janvier	36,8	6,7	2,2
Février	41,6	8,7	2,22
Mars	40,8	12	1,85
Avril	41,3	14,3	1,7
Mai	28,9	18,7	1
Juin	12,4	24,5	0,34
Juillet	3,4	28,9	0,09
Aout	8,6	27,9	0,27
Septembre	37,07	22,5	1,16
Octobre	34,7	18	1,24
Novembre	44,5	11,1	2,11
Décembre	37,8	7,4	2,12

On remarque selon les résultats du tableau 5, que l'indice mensuel d'aridité égale 16,3 et la sécheresse est importante durant la période estivale: Juin, juillet et Août, donc le climat de la zone de Tiaret est semi-aride.

Les zones arides et semi arides représentent 36% des terres émergées, une bonne partie relevant du climat « méditerranéen » à période sèche estivale pouvant se prolonger pendant plusieurs mois ; dans ces régions les plantes sont confrontées à plusieurs stress (Mikol ,1987), donc le climat est l'élément naturel primordial dans le phénomène pédogénétique d'une part, et dans le choix d'un système de production d'autre part.

CHAPITRE II

METHODOLOGIE ET EXPERIMENTATION

I. Sites et conditions expérimentales

L'expérimentation présentée (*figure 10 et 11*) est la synthèse des études menées sur l'agriculture biologique dans deux sites expérimentaux appartenant à la même station expérimentale (ITGC) à savoir :

***Le premier site expérimental**

Dans ce volet s'inscrit notre objectif, qui consiste à montrer l'incidence des amendements organiques et les variations saisonnières sur la fertilité physique et chimique du sol ainsi que leurs impacts sur le stockage du carbone organique dans le sol (sol nu).

***Le second site expérimental**

Dans un second volet de notre étude, pour faire le lien du système: sol-plante-amendement organique; on a besoin d'étudier l'appui des incidences de la présence d'une culture et des apports organiques sur l'état biologique du sol. Le travail porte particulièrement sur le suivi de l'évolution du niveau de la biomasse microbienne d'un sol sous une culture de blé qui revêt un intérêt particulier, étant donné qu'il tient compte principalement de la vocation de la région pour ainsi déceler l'effet que produit la présence de la culture (racines vivantes) et les pratiques agricoles à savoir le fumier sur les microorganismes du sol.

Notre étude a porté sur un agrosystème : sol sous une culture de blé dur de Variété : Vitron appelé aussi Hoggar, tolérant au froid et à l'averse dont les zones d'adaptation sont : les plaines intérieures, hauts plateaux littoral et sublittoral (Oulbachir, 2010).

II. Conduite de l'essai

Nous désignons par (T_0) la date de mise en place de l'essai (30/11/2018), des échantillons composites de sol nu ont fait l'objet d'une caractérisation physico-chimique et microbiologique, considérée comme base de référence pour l'étude.

II.1. Les apports organiques

Nous avons appliqué trois types de fumiers afin de les comparer. Nous les appelons "apports organiques", pour les distinguer de "matière organique". En effet, ces apports, bien qu'assez riches en carbone organique, comportent quelquefois une fraction minérale importante.

- **Fumier de volailles (FV)**

C'est un fumier de ferme bien décomposé (12 à 24 mois), constitué d'un mélange de fientes et litière en copeaux de bois (25%). Il a été ramené de la ferme avicole de la région de Sébaine (*Figure 7*).



Figure 7 : Fumier de volailles (Cliché Benouadah, 2019)

- **Fumier de chevaux (FC)**

C'est un fumier frais composé d'un mélange de paille (40%) et de déjections de chevaux de différentes races « Barbes, Arabe-Barbe, Purcent Arabe et Selle Français », provenant de la Grande Jumenterie de la Wilaya de Tiaret (*Figure 8*).



Figure 8 : Fumier de chevaux (Cliché Benouadah, 2019)

- **Fumier de bovins (FB)**

Il s'agit d'un fumier de ferme bien décomposé (12 à 24 mois), constitué d'un mélange de déjections et de paille (30%). Il a été prélevé d'un tas de fumier d'une exploitation privée d'un élevage de bovins de la région de Sébaine (*Figure 9*).



Figure 9 : Fumier de bovins (Cliché Benouadah, 2019)

II.2. Incorporation des apports organiques

Chaque fumier était bien mélangé et incorporé dans le sol (0-20 cm) selon la dose indiquée pour chaque type d'apport organique afin d'obtenir des sols amendés.

- **Pour le premier site expérimental**

L'étude a été réalisée dans un site expérimental mesurant 51m sur 23m, divisé en blocs avec trois répétitions, en comparant six traitements à un sol témoin :

T : témoin ;

FV20 : sol à 20% de fumier de volailles ;

FC20 : sol à 20% de fumier de chevaux ;

FB20: sol à 20% de fumier de bovins ;

FV40 : sol à 40% de fumier de volailles ;

FC40 : sol à 40% de fumier de chevaux ;

FB40: sol à 40% de fumier de bovins.

Les prélèvements ont été effectués en (hiver: 28 février 2019), (printemps: 30 mai 2019), (été: 27 août 2019) et (automne: 25 novembre 2019), soit 3, 6, 9 et 12 mois après la mise en place de l'essai expérimental. Les dates de prélèvements ont été nommées respectivement 3M, 6M, 9M et 12M (*annexe 2a, figures 34,35, 36 et 37*).

Sur ces échantillons, sont effectuées les analyses physiques (densité apparente, porosité, perméabilité, rétention en eau, stabilité structurale) et physicochimiques (teneurs en éléments grossiers, température, humidité, carbone organique et par conséquent la matière organique, pH, azote ammoniacal et azote nitrique).

- **Pour le second site expérimental**

L'étude a été réalisée dans un site expérimental mesurant 23 m sur 23 m, divisée en blocs avec trois répétitions, en comparant deux doses de fumier de chevaux (FC20 et FC40) à un sol sans apport organique (FC0), d'où la nécessité de maintenir une couverture végétale vivante à la surface de ces sols.

La culture de blé a été installée (12/12/2018), la biomasse microbienne à savoir : (bactéries aérobies, champignons, actinomycètes et azotobacters) a été déterminée selon les différents stades végétatifs de blé (semi, levée, tallage et montaison) qui: correspondent respectivement à 21 (09/01/2019), 70 (27/02/2019) et 119 (17/04/2019) jours après la date de semi du blé (*annexe 2b, figures 38, 39, 40 et 41*).

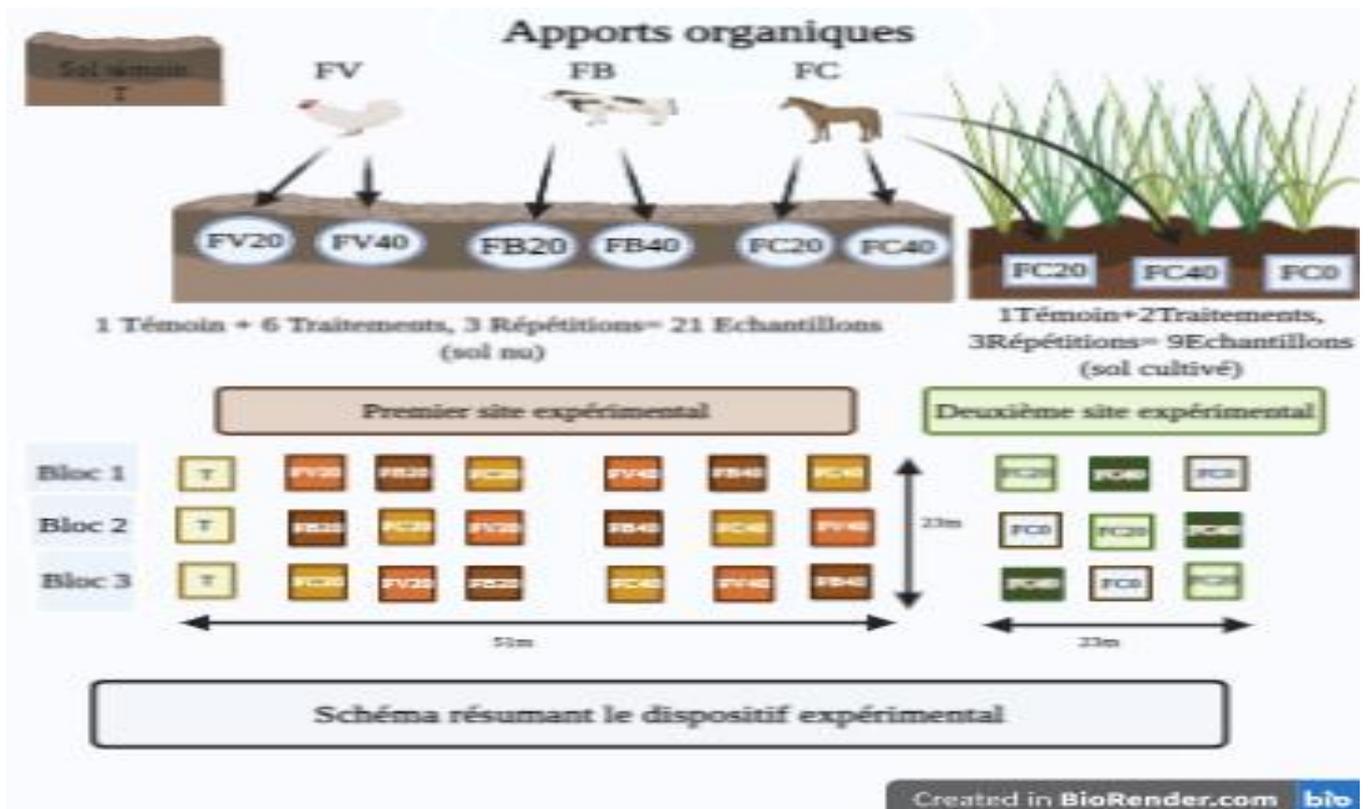


Figure 10 : Schéma résumant le dispositif expérimental

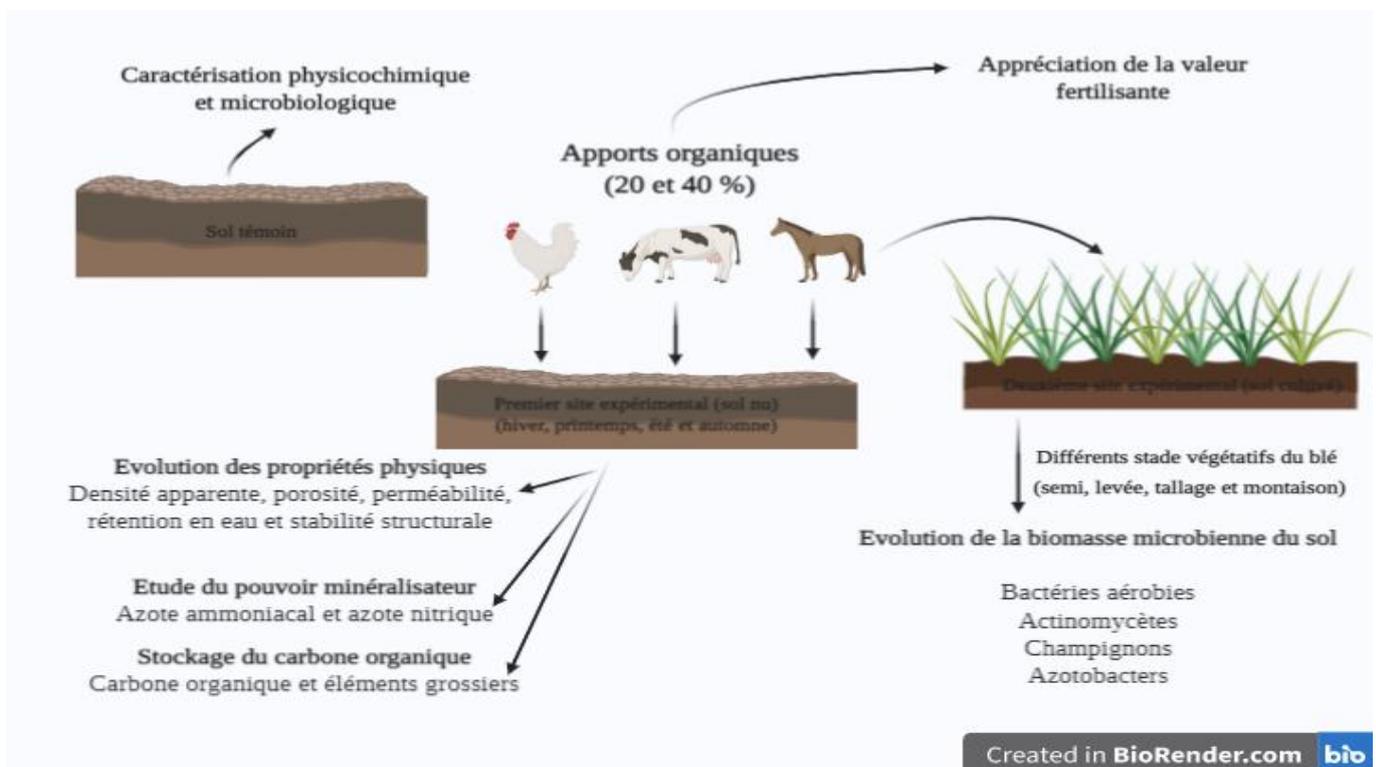


Figure 11 : Schéma du plan expérimental

III. Analyses réalisées

III.1. Cas du fumier

III.1.1. Echantillonnage de fumier

D'après Siboukeur (2013), l'échantillon de fumier à soumettre au laboratoire doit vraiment représenter le fumier qui sera épandu sur la parcelle. Un bon échantillonnage et une bonne analyse du fumier au laboratoire permettent de connaître les concentrations réelles en éléments nutritifs.

Pour notre cas, des échantillons distincts ont été prélevés sur divers endroits et dans toute la profondeur de trois tas de fumiers différents (05 prélèvements pour chaque type de fumier), après avoir écarté les couches superficielles exposées aux aléas climatiques. Par la suite, les sous échantillons ont été bien mélangés et brassés pour former à la fin des échantillons composites représentatifs pour chaque type de fumier (Samreen *et al.*, 2017) .

III.1.2. Conservation du fumier

Les échantillons de fumier ont été conservés au frais dans une glacière et acheminés rapidement vers le laboratoire, et réfrigérés immédiatement en attendant d'être analysés car l'entreposage des échantillons à température ambiante peut déclencher la minéralisation et dénaturer le fumier échantillonné (Siboukeur, 2013).

III.1.3. Analyses menées au laboratoire

Afin de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et les teneurs en éléments fertilisants, particulièrement en N, K, P; des échantillons composites de chaque type de fumier ont été séchés à l'air libre pendant 7 jours et broyés à 0,2 mm puis soumis à une caractérisation au laboratoire d'Agrobiotechnologie et de Nutrition en Zones semi-aride, Tiaret (Algérie) de notre faculté, selon les méthodes d'analyses suivantes :

- L'humidité, déterminée par perte de poids après séchage à 105°C pendant 24h (Mathieu *et al.*, 2003) ;
- Le pH, déterminé selon la méthode électrométrique et la conductivité électrique par le conductimètre (Mathieu *et al.*, 2003) ;
- La matière organique par calcination (Moreno *et al.*, 2001);

- L'azote, déterminé par la méthode de Kjeldhal (Bremner et Mulvaney, 1982);
- Le potassium et le phosphore ont été déterminés par le spectrophotomètre à adsorption atomique (SAA) (Mathieu *et al.*, 2003) (Soltonpour and Schwab, 1977).

III.2. Cas du sol

III.2.1. Echantillonnage

Les échantillons du sol ont été prélevés grâce à une tarière en forme de diagonale dans la couche superficielle du sol (0-20 cm), étant donné que l'activité biologique est maximale dans l'horizon de surface et décroît plus ou moins rapidement avec la profondeur (Bernoux et Chevallier, 2013). Par ailleurs, pour la caractérisation les échantillons du sol sont séchés à l'air libre, broyés et tamisés à 2 mm.

III.2.2. Analyses aux laboratoires

Les analyses physiques, physico-chimiques et microbiologiques du sol ont été effectuées au sein du laboratoire d'Agrobiotechnologie et de Nutrition en Zones semi-aride, université Ibn Khaldoun, Tiaret (Algérie) de notre faculté sauf pour les dosages de l'azote ammoniacal et l'azote nitrique, la réalisation a été faite à l'Institut de Biosciences, Centre d'Ecologie interdisciplinaire, groupe Biologie / Ecologie Université technique, Bergakademie Freiberg, Allemagne.

D'après Oulbachir (2010), les caractéristiques physico-chimiques influencent fortement les propriétés biologiques des sols. Des relations étroites ont été mises en évidence entre elles, et ceci aussi bien pour la microflore que pour la faune. La mise en œuvre des mesures biologiques doit s'accompagner de la détermination des principales caractéristiques des échantillons de sol correspondants : analyse granulométrique (teneur en argile), pH, teneur en calcaire, teneur en matière organique, ... Ceci est indispensable même pour des échantillons de sol a priori semblables : les sols ne sont jamais parfaitement homogènes et la variabilité spatiale naturelle de certaines caractéristiques peut se traduire de façon significative sur des paramètres biologiques.

III.2.2.1. Analyses chimiques du sol

Nous avons déterminé :

- Le pH par la méthode électrométrique en mettant en contact 10 g de sol et 50 ml d'eau distillée après agitation pendant 2h (Mathieu *et al.*, 2003);
- La conductivité électrique (CE) par le conductimètre (Calvet, 2003) ;
- La matière organique selon la méthode Anne (1945), basée sur l'oxydation du carbone organique par le bichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$ dans l'acide sulfurique (Ben Hassine *et al.*, 2006) ;
- Le calcaire total par calcimétrie, à l'aide du calcimètre de Bernard (Bedjadj, 2011);
- Le calcaire actif déterminé par la méthode Drouineau (Pousset, 2002) ;
- L'azote total par la méthode de Kjeldhal (Oiu *et al.*, 2010) ;
- L'azote ammoniacal et l'azote nitrique par le spectrophotomètre (ISO, 8678).

III.2.2.2. Analyses physiques du sol

Nous avons déterminé :

- La granulométrie de la terre fine des sols, selon la méthode internationale, à la pipette de Robinson (Mathieu *et al.*, 2003);
- L'humidité par perte de poids après séchage à 105°C (Dari, 2013);
- La densité réelle (D_r) par le pycnomètre (Mathieu *et al.*, 2003);
- Eléments grossiers (> à 2mm) par tamisage du sol (FAO, 2006) ;
- La température à l'aide d'un thermomètre (Mathieu et Pieltain, 2009);
- La densité apparente (D_a) par la méthode du cylindre à volume connu (252.2 cm³) (Samreen *et al.*, 2017).
- La stabilité structurale par le calcul de l'indice d'instabilisation (I_s) (Mathieu et Pieltain, 2009) selon la formule:

$$I_s = \frac{\% \text{ maximum (argiles + limons fins)}}{\% \text{ moyen des agrégats grossiers} - 0,9 \times \% \text{ sables grossiers}}$$

- La perméabilité est obtenue par la loi de Darcy (Grosbollet, 2008) selon la formule :

$$K_s = L V / A t H$$

Avec :

L : hauteur de sol dans l'anneau plastique (m)

V : volume d'eau circulant à travers l'échantillon (m³) pendant le temps t

A : section de l'échantillon traversée (m²)

t : temps pendant lequel on mesure le débit (sec)

H : charge hydraulique (m)

K_s : coefficient de perméabilité (m s⁻¹)

- La rétention en eau déterminée par séchage (105°C, 24h) et soustraction des masses de sol sec et de sol saturé (Petard, 2003): **RE (%) = P1 - P2/P2 × 100**

Avec :

RE : rétention en eau (%)

P1 : poids humide (g)

P2 : poids sec (g)

III.2.2.3. Calcul du stock de carbone organique

D'après FAO (2018), le stock du carbone organique (COS stock) est calculé selon la formule suivante : **COS stock (Mg C ha⁻¹) = 0.1 × CO × Da × p × (1-EG)**

Avec:

CO: teneur du carbone organique du sol (g.kg⁻¹)

Da: densité apparente (g.cm⁻³)

p : profondeur du sol (cm)

EG: teneur en éléments grossiers (g.g⁻¹).

Le stock du carbone organique est calculé dans la couche superficielle du sol (0-20 cm) où la densité microbienne et la concentration en matière organique sont les plus élevées (Bernoux et Chevallier, 2013).

III.2.2.4. Analyses microbiologiques du sol

Afin d'évaluer la densité des microorganismes (actinomycètes, champignons azotobacters et bactéries aérobies), nous avons procédé à la méthode indirecte (Pochon et Tardieux, 1962) dont le principe s'appuyait sur des cultures solides après ensemencements avec des suspensions dilutions de sol (*annexe 3*) ; les échantillons du sol étaient broyés et tamisés à 2 mm puis conservés à 4 °C. Différentes suspensions dilutions et milieu de cultures étaient préparés pour favoriser le développement des germes, les incubations étaient menées dans les mêmes conditions de température et de pression (Oulbachir, 2010).

IV. Analyse statistique

L'analyse statistique de la variance (ANOVA) a été effectuée pour comparer les moyennes et déterminer les différences significatives.

Le logiciel SPSS (version 22) a été utilisé pour réaliser l'ensemble des tests statistiques, avec un niveau de signification de 95%, et des analyses de données (paramètres physiques « *tableau 11* » et les paramètres du stock de carbone organique du sol « *tableau 14* »). Des analyses de corrélation (test de Pearson) entre les différents paramètres du stock de carbone organique du sol ont été également effectuées « *tableau 15* » (IBM Corp, 2013).

Le logiciel R Software a été utilisé pour étudier l'effet de matière organique apportée sur l'évolution de la densité microbienne, les propriétés physicochimiques « *tableau 16 et 17* » ainsi que sur le pouvoir minéralisateur de l'azote du sol « *tableaux 12 et 13* » (R Core Team, 2017).

TROISIEME PARTIE

RESULTATS ET DISCUSSION

1. Caractérisation physico-chimique du sol témoin

Les résultats dégagés de cette caractérisation, (*tableau 4*) révèlent que notre sol a une texture argilo-limoneuse, à pH modérément neutre. Il est moyennement calcaire et non salé. Sa teneur en matière organique est relativement faible et sa teneur en azote est relativement appréciable. Les éléments grossiers tels que les graviers et les résidus de récolte représentent moins de 1% de la masse de l'échantillon témoin, considérés comme négligeable.

Tableau 4 : Caractéristiques physicochimiques du sol témoin

Caractéristiques		Valeurs
Profondeur		0-20 cm
Granulométrie	Argiles	45 %
	Limons fins	15,5 %
	Limon grossiers	19,50 %
	Sables fins	11,65 %
	Sables grossiers	6,35 %
Classe texturale		Argilo-limoneuse
pH (1 :5)		7,25
CE (1 :5)		0,10 dS.m ⁻¹
Matière Organique		1,5 %
Azote total		0,08%
Calcaire total (CaCO₃)		24%
Calcaire actif		10%
Éléments grossiers		0,95 (%)

2. Appréciation de la valeur fertilisante des apports organiques

La valeur fertilisante des fumiers étudiés a été évaluée par trois principales caractéristiques :

- Les caractéristiques physiques et physico-chimiques des fumiers ;
- La détermination du rapport C/N afin d'estimer le rythme de la minéralisation de la

matière organique des différents types de fumier ;

- La composition des fumiers en éléments fertilisants, par la détermination de la fraction directement utilisable par les plantes (azote, phosphore et potassium).

2.1. Caractérisation physique et physico-chimique des apports organiques (fumiers)

Les caractéristiques physiques et physico-chimiques des différents types de fumiers étudiés à savoir : le pH, la conductivité électrique (CE), l'humidité (%H), la matière minérale (%MM) et la matière organique (%MO), sont mentionnées dans les *figures 12, 13 et 14*.

2.1.1. Variation du pH en fonction du type de fumier

Le FV et le FB ont des pH légèrement basiques de 7,78 à 7,82 respectivement tandis que le FC a un pH basique de 8,15 (*Figure 12*). D'après Siboukeur (2013), la valeur de pH des déchets organiques n'est pas stable. Elle dépend de la composition des intrants, de la teneur en azote et de l'intensité de la nitrification pendant le stockage.

2.1.2. Variation de la conductivité électrique en fonction du type de fumier

Le classement des trois types de fumiers en fonction de leur conductivité électrique (*Figure 13*), mesurée sur des extraits (1/5) a obéi à l'ordre croissant suivant: FV (CE: 4,87 dS.m⁻¹) < FB (CE: 8,93 dS.m⁻¹) < FC (CE: 10,38 dS.m⁻¹).

Selon Chang et *al.* (1991), le fumier peut avoir des hauts niveaux de CE dus aux grandes quantités de sels minéraux ajoutés aux rations alimentaires des animaux. Ainsi, l'application excessive de fumier à fortes concentrations en sels, à long terme peut conduire à une accumulation des sels solubles dans le sol. La faible conductivité électrique enregistrée par le fumier de volailles est probablement due à sa nature biochimique.

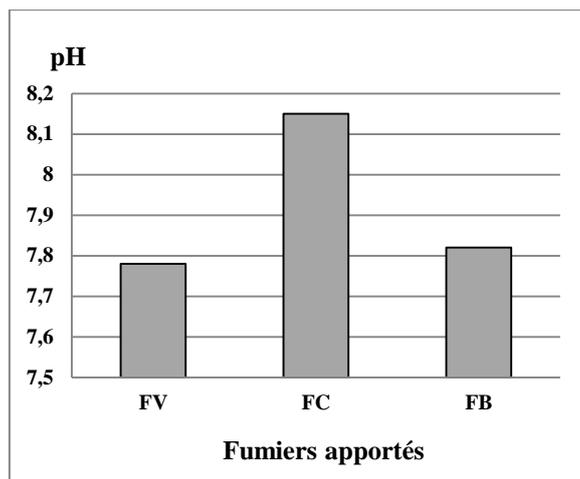


Figure 12 : Variation du pH selon les fumiers apportés

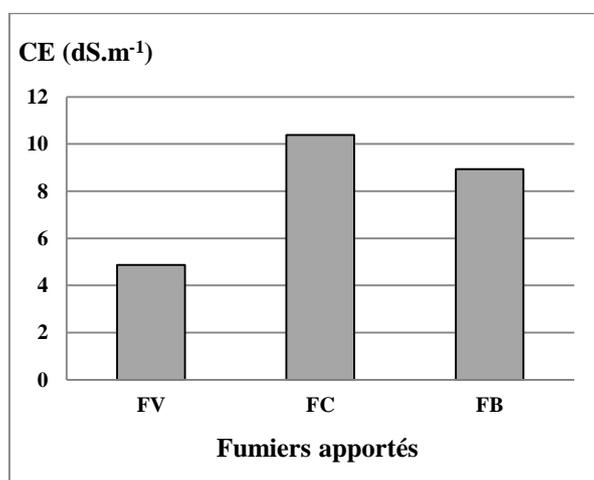


Figure 13: Variation de la conductivité électrique selon les fumiers apportés

2.1.3. Variation des teneurs en humidité, matière organique et matière minérale en fonction du type de fumier

La comparaison des teneurs en %H, %MO et %MM en fonction du type de fumier est illustrée dans *la figure 13*. La relation entre ces trois paramètres s'exprime par la formule suivante : $100\% = \%H + \%MM + \%M0$

Les résultats mentionnés dans *la figure 14*, montrent que le FV et le FB sont des produits organiques solides et que le FC est un fumier pâteux. Les taux d'humidité enregistrés sont de 9,1%, 11,5% et 23,2% respectivement pour le FV, FB et le FC. La faible différence pour le taux d'humidité enregistré entre les deux fumiers (FV et FB) peut être expliquée par le fait, que ces produits ont été séchés avant analyses ou ont été déshydratés au moment du stockage et que le FC est un fumier frais.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Toutefois, cette différence peut avoir son importance au champ. Il peut y avoir des différences importantes entre produits organiques frais et les produits séchés. Par ailleurs, le stockage des fumiers peut également jouer un rôle dans la détermination de l'humidité, étant donné que le taux d'humidité diminue avec la durée de stockage (Siboukeur, 2013).

Selon Znaïdi (2002), il faut tenir compte de la teneur en matière sèche (soit $MS = MO + MM$) et de l'aspect visuel du fumier pour choisir un matériel d'épandage adapté. D'une façon générale, plus les teneurs en matières sèches sont élevées, plus le produit est concentré et donc riche en éléments fertilisants (Chabalier et *al.*, 2006). Ces observations sont en concordance avec les résultats de notre étude, dans la mesure, où, nous avons enregistré une certaine proportionnalité entre la richesse en minéraux (MM) et le taux de (MS). En fait, les teneurs de matière minérale varient entre un minimum de 20,46 % pour le FC et un maximum de 43,84 % pour le FV. Alors que le FB enregistre une valeur intermédiaire de 34%. Les teneurs en matière organique des différents échantillons de fumiers analysés varient entre une valeur minimale de 47,06 % enregistrée par le FV et une valeur maximale de 56,34 enregistrée par le FC. Ces notables variations dans la teneur en MO peuvent être expliquées d'une part de la nature des intrants, et d'autre part par le degré de minéralisation du fumier au moment de l'analyse. Dans ce cas, le fumier de volailles grâce, à sa forte minéralisation a affiché la teneur en matière organique la plus basse (47,06%). Toutefois, la présence d'une quantité de terre dans le fumier peut également contribuer à la diminution du taux de matière organique. En revanche, la teneur la plus élevée en matière organique enregistrée dans le cas de fumier de chevaux, est certainement due à sa richesse en composés ligneux par rapport aux autres types de fumiers.

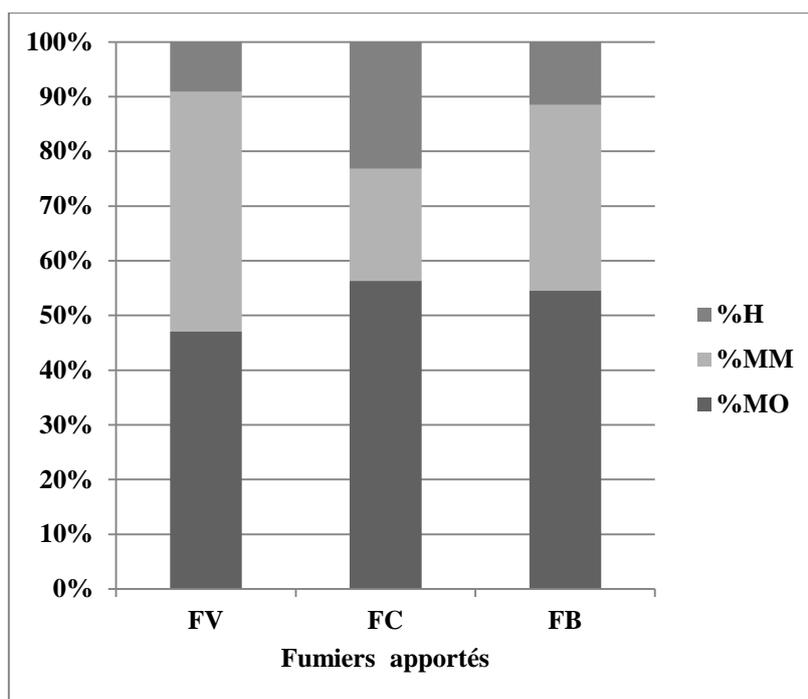


Figure 14: Teneurs en humidités, matière minérale et matière organique des fumiers apportés

2.2. Variation du rapport C/N en fonction du type de fumier

Le rapport C/N est fréquemment utilisé pour évaluer le processus de minéralisation de la matière organique (Bernal *et al.*, 1998). Il peut être d'autre part, indirectement utilisé pour apprécier la stabilité d'un produit organique. A ce sujet, il est couramment admis que, plus le rapport C/N d'un produit est élevé plus ce dernier se dégrade lentement dans le sol et fournit de l'humus stable (Siboukeur, 2013).

Le rapport C/N des différents fumiers est présenté dans *la figure 15*. Selon laquelle, le rapport C/N des différents fumiers suit l'ordre croissant suivant : FV (11,20) < FB (25,96) < FC (31,3).

La variation du rapport C/N entre les différents fumiers s'explique par la variabilité des intrants, par l'intensité des opérations effectuées dans chaque système d'élevage, par leur degré de minéralisation et surtout par la teneur en azote. Le fumier de volailles se distingue nettement des autres types de fumier par un rapport C/N beaucoup plus bas. Ce qui, est en relation avec sa teneur élevée en azote. Grâce à sa richesse en azote; ce type de fumier, une fois apporté au sol, sera rapidement minéralisé en fournissant beaucoup d'azote minéral. Cependant, les deux autres fumiers à C/N plus élevé vont à l'inverse provoquer l'immobilisation de l'azote par les microorganismes telluriques. Ces derniers, ont besoin

d'azote pour élaborer leurs propres molécules protéiques. L'azote ainsi, réorganisé est temporairement non disponible pour la plante (Siboukeur, 2013). Ce qui provoque un risque de faim d'azote au niveau du sol. En fait, l'azote immobilisé n'est disponible immédiatement pour la plante. Il est progressivement libéré en petites quantités par minéralisation biologique (Chabalier, *et al.*, 2006). Ces résultats rejoignent ceux de Znaidi (2002), qui indique qu'une matière organique ayant un C/N bas se décompose presque 50 % plus vite que celles déficientes en azote et à rapport C/N élevé.

2.3. Teneurs en éléments fertilisants en fonction du type de fumier

La connaissance de la valeur fertilisante d'un produit organique repose sur la détermination de sa composition (teneurs en azote total, en P_2O_5 , K_2O).

L'analyse comparative en éléments fertilisants des trois fumiers, ainsi que l'appréciation de leur valeurs fertilisante sont illustrés par la *figure 16*.

2.3.1. Variation de la teneur en azote total en fonction du type de fumier

La comparaison entre les différents fumiers pour la teneur en azote a révélé que la teneur la plus élevée a été enregistrée par le FV avec une teneur de 2,1 %. Le FB a été classé en deuxième position avec une teneur de 1,05 %. Alors que, la plus faible teneur en cet élément a été enregistrée par le FC avec une teneur de 0,9%. Ces résultats confirment ceux d'Adenawoola *et al.* (2005), qui montrent que le FV est très concentré en éléments fertilisants, azote, potasse et phosphore. Selon Figarol (2001), 70 % de l'azote ingéré par les volailles se retrouvent dans leurs déjections.

2.3.2. Variation de la teneur en P_2O_5 en fonction de type de fumier

D'après les résultats mentionnés dans la *figure 16*, une certaine supériorité en P_2O_5 a été notée au profit du FC de l'ordre de 2,25%. Les autres fumiers enregistrent des teneurs moins élevées de 1,5 et 1,03% respectivement pour le FV et le FB. Selon Izigler et Heduit (1991), la fraction du phosphore minérale dans un fumier de ferme varie selon l'espèce animale. Elle présente 80 % du phosphore total pour le FB et 60 % pour le FV.

2.3.3. Variation de la teneur en K_2O en fonction du type de fumier

La *figure 16* montre que la valeur la plus importante en K_2O a été enregistrée par le FV avec une teneur de 2,2 %. Les autres fumiers enregistrent des teneurs de 0,77 et 0,58 %

RÉSULTATS ET DISCUSSION

respectivement pour le FB et FC. Des résultats similaires ont été obtenus par Adeyemo (2008), qui a indiqué la richesse relative de fumier de volailles en potassium par rapport aux autres fumiers.

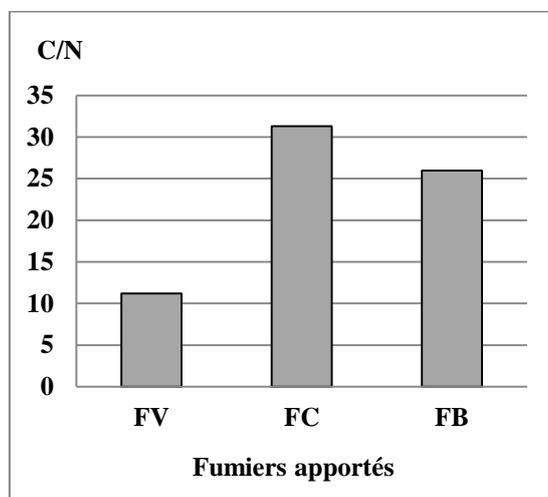


Figure 15 : Variation du rapport C/N selon les fumiers apportés

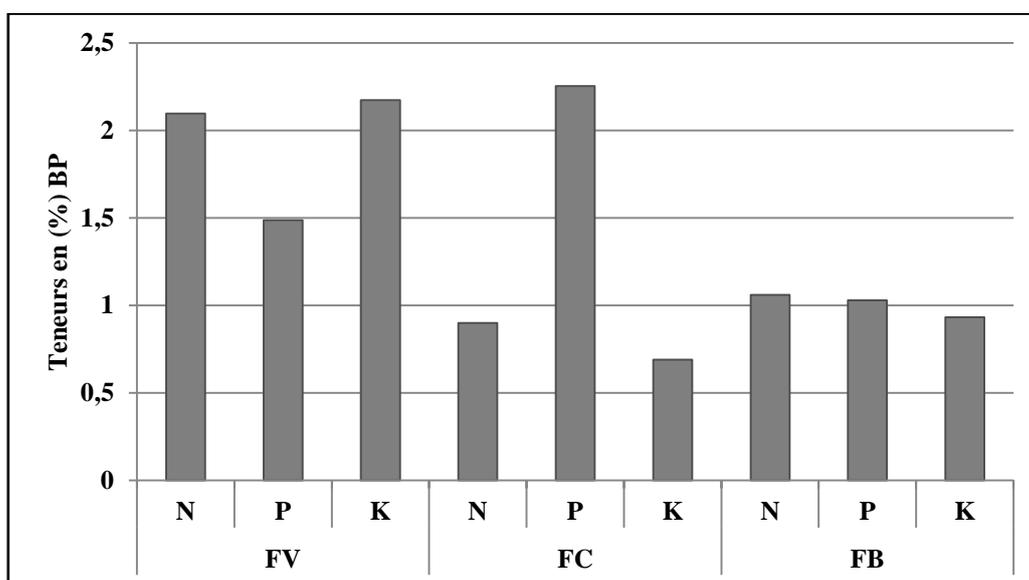


Figure 16 : Teneurs en éléments NPK des fumiers apportés

Conclusion

Au terme de cette étude qui vise à apprécier les teneurs en éléments fertilisants majeurs aux plantes à savoir : la teneur en azote, phosphore et en potassium de trois types de fumiers de bovins, de chevaux et de volailles, nous avons déduit que : le fumier de volailles présente les teneurs les plus élevées en azote et en potassium. Par ailleurs, sa teneur en P_2O_5 , est moyenne, ce qui rehausse d'avantage sa valeur fertilisante pour ces trois éléments N_2 , P_2O_5 et K_2O .

Son rapport C/N est relativement plus faible, indique qu'il sera sujet à un rythme rapide de minéralisation par rapport aux autres fumiers. Il offre par conséquent le maximum d'éléments fertilisants au végétal durant sa phase de croissance. Alors que, les rapports C/N les plus élevés ont été enregistrés par le fumier de bovins et de chevaux. Selon le rapport C/N on peut dire que le fumier de volailles peut être utilisé pour les cultures à cycle végétatif court, les deux autres pour les cultures à cycle long. De qui précède, nous préconisons l'utilisation du fumier de volailles pour les cultures maraichères comme la pomme de terre, la tomate ...etc., et celui des deux autres espèces pour l'arboriculture. Depuis des siècles, le fumier de volailles est reconnu comme le plus notable des engrais naturels, en raison de sa forte teneur en azote (Delgado *et al.*, 2012). Ce fertilisant contient de l'azote sous deux formes principalement l'azote ammoniacal qui se comporte comme un engrais minéral classique et l'azote organique qui a besoin d'être dégradé par les microorganismes du sol pour se minéraliser (Siboukeur, 2013).

3. Évaluation des propriétés physiques des sols amendés

La matière organique du sol (MOS) est un indicateur rentable et informatif de la fertilité physique du sol (Samreen *et al.*, 2017). Dans cette perspective, notre travail a consisté en une étude comparative permettant de décrire, comprendre et connaître les impacts des apports organiques sur les paramètres physiques du sol à savoir : la densité apparente, la porosité, la perméabilité, la rétention en eau et la stabilité structurale.

3.1. Caractérisation de la densité apparente et de la porosité

La densité apparente du sol traduit globalement l'état de compaction du sol et indirectement, la porosité totale (Alongo et Kombele, 2009). Elle est l'un des paramètres les plus importants dans les études portant sur la structure du sol (Chauvel, 1977).

Les résultats analytiques illustrés par la *figure 17* montrent que la densité apparente du témoin est de $(1,25 \pm 0,01 \text{ g.cm}^{-3})$ durant l'expérimentation. Elle est supérieure à la densité apparente mesurée dans les sols amendés : de l'ordre de $(1,05 \pm 0,05 \text{ g.cm}^{-3})$ pour les sols amendés avec 20% de fumier, de $(0,98 \pm 0,05 \text{ g.cm}^{-3})$, $(1,02 \pm 0,07 \text{ g.cm}^{-3})$ et $(1,03 \pm 0,04 \text{ g.cm}^{-3})$ pour les traitements FV40, FC40 et FB40 respectivement. D'après la *figure 18*, la porosité augmente avec l'apport de la matière organique et pendant toute la période expérimentale (de $45,83 \pm 5,52 \%$ à $53,18 \pm 2,29 \%$) en comparaison avec le témoin ($39 \pm 0,01\%$). L'amendement organique a diminué la densité apparente et évolué la porosité significativement avec l'augmentation de la dose apportée. L'amélioration est plus remarquable pour le traitement FV40, ceci s'explique par l'augmentation de la teneur en matière organique (qui rend le sol plus facile à travailler car plus légers) et par la texture du fumier et encore à l'activité biologique que leur incorporation provoque (Grosbellet, 2008). L'analyse statistique de la variance ANOVA (*annexe 5a, tableau 11*) confirme que le traitement FV40 a un effet très hautement significatif ($P < 0,001$) sur la densité apparente et la porosité. D'après Doucet (2006), la matière organique exogène améliore la structure des sols car l'humus qui en résulte prévient le tassement en une masse solide et favorise la granulation des particules, rendant les sols plus légers, plus poreux et mieux aérés. D'après Siboukeur (2013), la matière organique agit comme régulateur de l'humidité du sol et elle augmente sa porosité et favorise sa conductivité hydraulique. On pourrait supposer que l'amélioration de la porosité, est lié à la dégradation de fragments grossiers de matière organique, dans le sens où : une particule de matière organique est consommée par des microorganismes, et le volume occupé par cette particule est remplacé par du "vide" (Grosbellet, 2008).

Ces résultats renvoient aux différences de densité apparente et de porosité entre les traitements et le sol témoin durant l'expérimentation. Selon Mermound (2010), une valeur élevée de densité apparente signifie que les vides sont réduits et que les particules sont fortement compactées donc l'amélioration de la densité apparente et de la porosité des sols amendés signifient que le fumier a un effet de structuration (Dridi et Toumi, 1999 ; Samreen *et al.*, 2017).

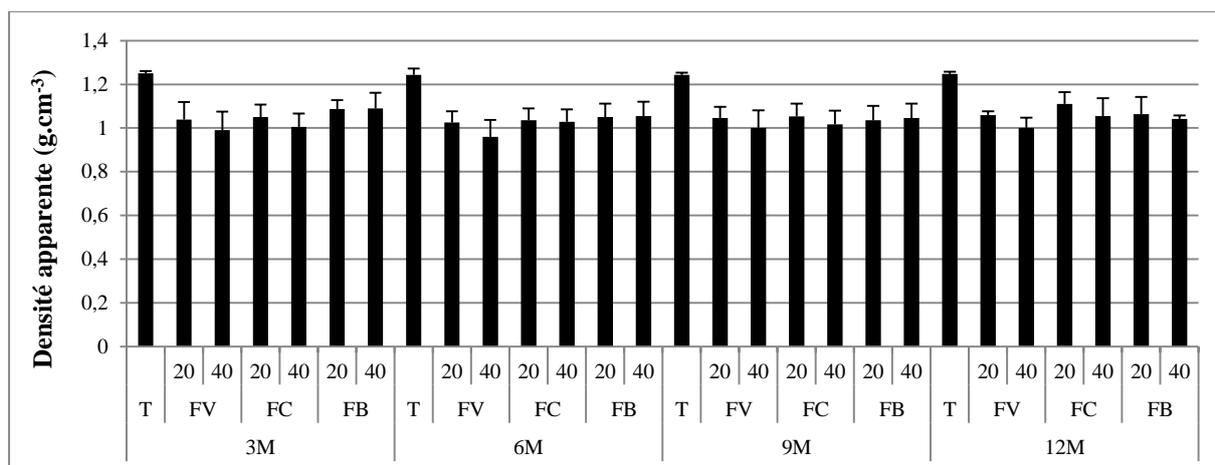


Figure 17: Evolution de la densité apparente du sol sous l'effet de l'apport organique et des variations saisonnières

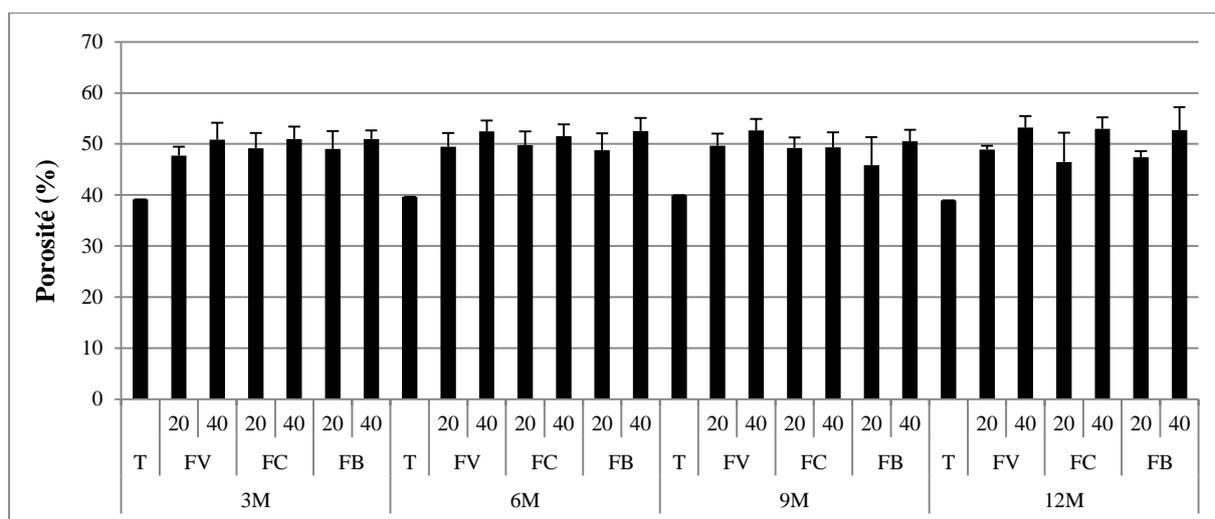


Figure 18: Evolution de la porosité du sol sous l'effet de l'apport organique et des variations saisonnières

3.2. Caractérisation de la perméabilité

La perméabilité a été mesurée avec des échantillons non déstructurés et a fait l'objet d'une analyse de variance ANOVA qui a montré que les mesures de la perméabilité réalisées sur le témoin ne sont pas différentes au cours du temps (pour $\alpha = 0,05$) et elles sont inférieures ($0,09 \pm 0,01 \text{ m.sec}^{-1}$) à celles des sols amendés car les sols à textures fines étant les moins perméables (Mathieu et Pielain, 2003). Pour les traitements FV20, FC20 et FB20 comme pour FV40 et FB40, les valeurs de la perméabilité (*figure 19*) augmentent du 3^{ème} au 9^{ème} mois puis diminuent rapidement en automne par minéralisation de la matière organique du fumier d'où on ne mesure pas de différence significative entre les traitements FV et FB.

Pour le traitement FC40, la perméabilité a évolué fortement et d'une façon très hautement significative ($P < 0,001$) au 6^{ème} mois ($0,45 \pm 0,15 \text{ m.sec}^{-1}$). Ce résultat est surprenant dans la mesure où ce type de fumier est riche en fragments grossiers (il contient plus de 40% d'éléments supérieurs à 2mm, voir *annexe 4*), qui devraient permettre d'augmenter de façon significative la perméabilité (Grosbellet, 2008). Selon le CPVQ (2000), la paille de céréales est une excellente source de matière organique contenue dans les fragments grossiers de fumier de chevaux. Au 9^{ème} mois, la perméabilité diminue, ce qui témoigne la dégradation des fragments grossiers, soit par fragmentation physique, soit par minéralisation; coïncidant significativement ($P < 0,001$) avec la période estivale au moment où les facteurs pédoclimatiques tels que l'humidité et la température du sol (*annexe 5e, tableau 18*) étaient favorables au déclenchement de cette minéralisation. Le fumier frais est facilement utilisable par les micro-organismes décomposeurs du sol et peut également stimuler la dégradation de la matière organique préexistante dans le sol. Cet effet, communément nommé «priming effect» (Derrien *et al.*, 2016). Au 12^{ème} mois, les mesures de perméabilité diminuent rapidement dues à une intense minéralisation de la matière organique (Wei *et al.*, 2014). Une surminéralisation de la matière organique du sol peut être observée par un apport de matière organique fraîche (Derrien *et al.*, 2016), ce qui est conforme à nos résultats.

La matière organique peut influencer les mesures de perméabilité par la taille des particules, ainsi que par la dose apportée (Zeytin et Baran, 2003). L'amélioration de la perméabilité pourrait s'expliquer notamment par la quantité d'humus qui en résulte après la décomposition de la matière organique, rendant les sols plus meubles et augmentant ainsi leur perméabilité à l'air et à l'eau (Doucet, 2006). Elle dépend également du volume poral, plus ce dernier augmente et plus la perméabilité est susceptible d'augmenter (Bottinelli,

2010). La richesse des fumiers en particules grossières aurait pu entraîner un effet "mécanique" (Khaleel *et al.*, 1981 ; García-Orenes *et al.*, 2005), en créant une macroporosité importante. Ça n'a pas été le cas dès le 6^{ème} mois pour le traitement FC40 et au 9^{ème} mois pour tous les autres traitements, ce qui confirme la minéralisation de la matière organique apportée. En ce qui concerne l'importance de la dose de matière organique, globalement, la perméabilité augmente avec la teneur en matière organique, ce qui est cohérent avec nos résultats et conformes aux études (Obi et Ebo, 1994 ; McCoy, 1998 ; Aggelides et Londra, 2000 ; Zeytin et Baran, 2003 ; Grosbellet, 2008). Khaleel *et al.* (1981); Hati *et al.* (2006) ont montré que l'application du fumier de ferme a également amélioré la perméabilité et la densité apparente du sol.

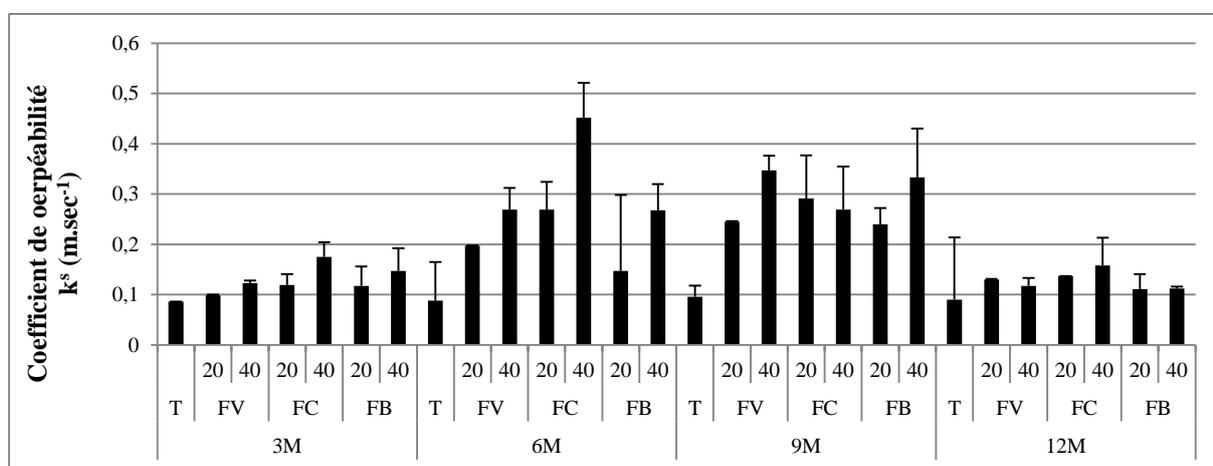


Figure 19: Evolution de la perméabilité du sol sous l'effet de l'apport organique et des variations saisonnières

3.3. Caractérisation de la rétention en eau

La rétention en eau comme la perméabilité ont été mesurées dans des échantillons non déstructurés. Les résultats analytiques illustrés dans la *figure 20* montrent que les mesures de la rétention en eau des sols amendés sont supérieures à celle mesurée durant l'expérimentation pour le témoin ($38,5 \pm 0,008\%$). Il est intéressant de constater que quel que soit le traitement considéré, on enregistre une augmentation de la capacité de rétention en eau. Globalement les teneurs en eau des sols amendés contenant 40% de fumier sont plus élevées que celles des sols amendés à 20% ce qui est cohérent avec les résultats trouvés par Grosbellet (2008). La rétention en eau augmente avec l'apport de la matière organique, elle passe ainsi à ($51,32 \pm 0,72\%$, $49,11 \pm 3,16$, $48,55 \pm 2,20$, $53,21 \pm 1,49$ et $50,73 \pm 0,72\%$) respectivement pour les traitements FV20, FC20, FB20, FV40 et FB40. Pour le traitement FC40, la rétention en eau a

RÉSULTATS ET DISCUSSION

évoluée progressivement jusqu'au 6^{ème} mois ($51,53 \pm 4,92$ %) puis elle a diminué d'une façon très hautement significative ($P < 0,001$) à partir du neuvième mois, du fait d'une minéralisation rapide de la matière organique (fragments grossiers) (Wei *et al.*, 2014). Toutain (1979) ; Koull et Halilat (2016) ont indiqué que la matière organique était détruite rapidement par minéralisation en périodes chaudes, ce qui confirme nos résultats.

Le fumier en cours d'humification comme toutes les autres sources de matière organique a amélioré significativement et durablement les propriétés de rétention en eau des sols amendés, cette amélioration est maintenue au cours du temps, malgré la dégradation des produits organiques (Koull et Halilat, 2016). Hillel (1974) a indiqué que la matière organique retient d'autant mieux l'eau qu'elle est humifiée car l'humus qui en résulte favorise une meilleure réserve en eau, grâce à son pouvoir d'absorption (caractère hydrophile) élevé, et tend, du même coup à réduire l'évaporation et à augmenter la résistance à la sécheresse (Demolon, 1968; Chareau, 1975; Mallouhi, 1980; Doucet, 2006; Citeau *et al.*, 2008). Selon Vanghan et Malcolm (1985), le taux d'acide fulvique de la matière organique augmente en fonction de son humification et par conséquent la quantité d'eau absorbée par la matière organique augmente.

Les matières organiques sont de 2 à 5 fois plus adsorbantes que les meilleures argiles (Gobat *et al.*, 1998). Ceci est dû au fait que les composés humiques possèdent une charge négative supérieure à celle des colloïdes minéraux (Soltner, 2003). En général, la matière organique retient physiquement plus d'eau que les composés minéraux du sol (sable, limon et argile), ainsi elle augmente la rétention du sol en eau (Koull et Halilat, 2016). Nos résultats sont cohérents avec de nombreuses recherches qui montrent que la matière organique apportée améliore d'une façon déterminante les propriétés de rétention en eau (Nyamangara *et al.*, 2001 ; Rawls *et al.*, 2003 ; Celik *et al.*, 2004 ; Grosbellet, 2008). Monica *et al.* (2011) ont montré que les amendements organiques ont augmenté significativement la rétention en eau. Tandis que, Dridi et Toumi (1999) ont trouvé des résultats contradictoires par rapport à nos mesures et notamment que le fumier n'améliore pas de façon efficace la réserve en eau.

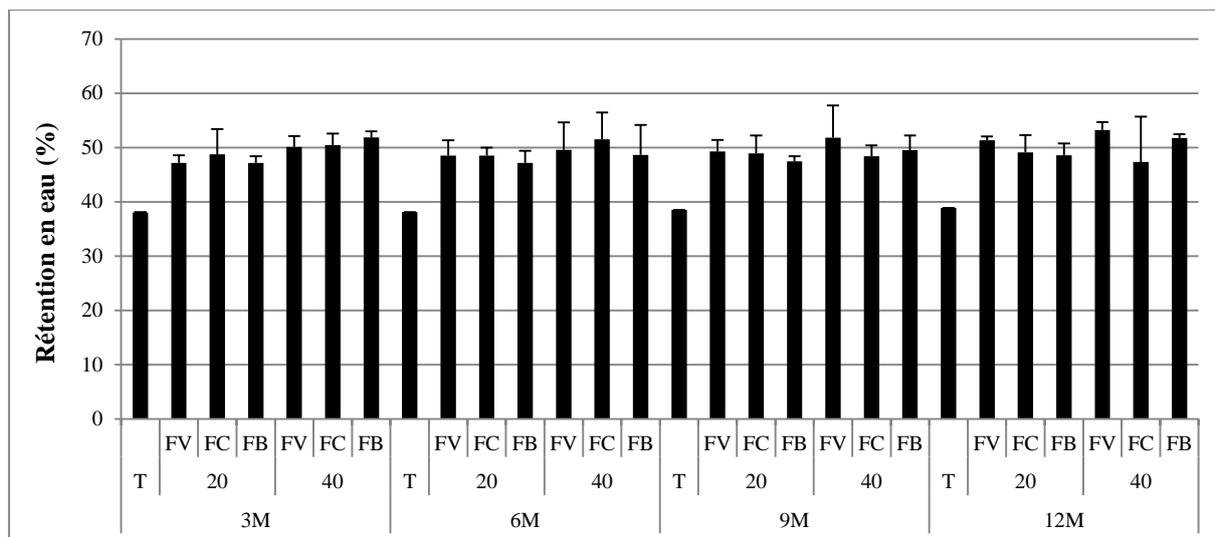


Figure 20: Evolution de la rétention en eau du sol sous l'effet de l'apport organique et des variations saisonnières

3.4. Caractérisation de la stabilité structurale

La stabilité structurale du sol signifie la résistance opposée par les agrégats contre toute action des facteurs externes tendant à les dégrader ou à les détruire, à celle de l'eau en particulier (Mathieu et Pieltain, 2003).

Les résultats envisagés dans la **figure 21** révèlent que l'indice d'instabilité (I_s) du témoin est de $(1,34 \pm 0,01)$ durant l'expérimentation. D'après les classes de stabilité structurale, le sol initial a une stabilité médiocre (Mathieu et Pieltain, 2003). En ce qui concerne les sols amendés, la matière organique a diminué significativement l'indice d'instabilité ($P < 0,001$). La plus faible valeur est de $(1,04 \pm 0,014)$ obtenue sous le traitement FV40 après 3 mois. Ces résultats mettent en évidence le rôle de la matière organique dans la stabilisation de la structure (Grosbellet, 2008). Les matières organique assurent la cohésion des autres constituants du sol entre eux et contribuent à la structuration du sol et à sa stabilité. Ainsi, la matière organique apportée au sol joue un rôle central dans sa structuration et participe à sa stabilité vis-à-vis des agressions extérieures (pluie, tassement...) en limitant notamment l'érosion hydrique (Citeau et *al.*, 2008). Dans ce cadre, les résidus organiques à rapport C/N élevé favorisent d'avantage la genèse de la structure (Roger et Garcia, 1993).

Des résultats similaires ont été rapportés dans une étude de sol où ont été comparés les amendements organiques : les fumiers frais et déshydraté confèrent au sol la meilleure stabilité structurale par rapport aux composts (Sophie et Christian, 2010). Les matières

organiques fraîches, à la surface du sol, atténuent le choc des gouttes des pluies et permettent à l'eau pure de s'infiltrer lentement dans le sol ; l'écoulement en surface et l'érosion sont ainsi réduits (Balesdent, 1996).

Annabi (2005) s'interroge sur l'existence potentielle d'un seuil au-delà duquel l'apport de matière organique n'a plus, ou moins, d'effet sur la stabilité des agrégats. Il montre que ce seuil se situe autour de 3%, en travaillant en conditions contrôlées. Les doses de carbone que nous avons incorporées sont supérieures à celle proposée par Annabi (2005), mais il est intéressant de constater que la structure des sols amendés se stabilisait dès le 3ème mois.

La stabilité structurale joue un rôle important dans la fertilité physique du sol car elle influence l'aération, la circulation de l'eau et la perméabilité (Mathieu et Pieltain, 2003).

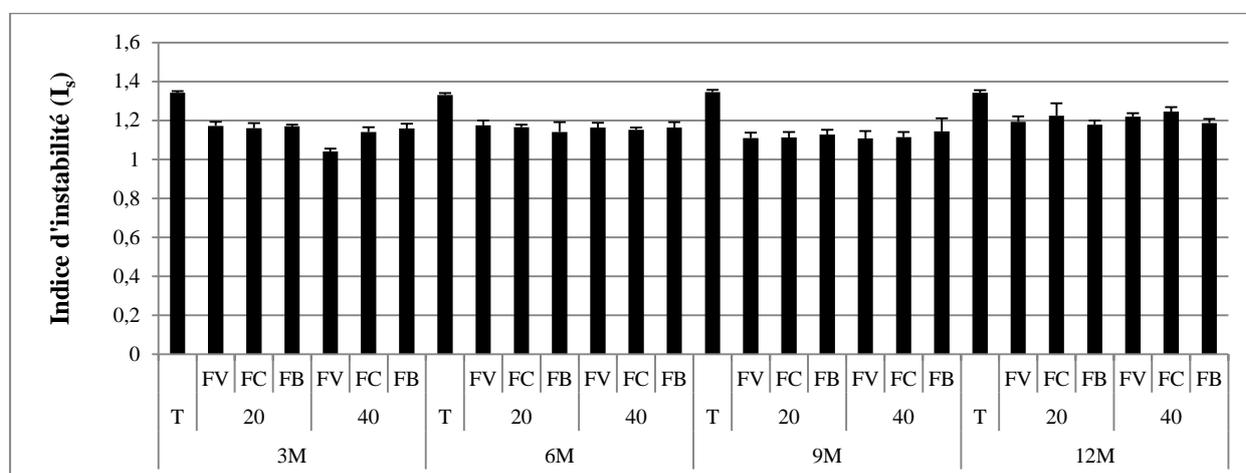


Figure 21: Evolution de la stabilité structurale du sol sous l'effet de l'apport organique et des variations saisonnières

Conclusion

L'application d'amendement organique nous permet de dire que la matière organique a amélioré les propriétés physiques du sol avec une importance et une durabilité plus intense pour le fumier de volailles avec la dose 40%.

- Il s'avère que l'apport organique fait diminuer la densité apparente et augmenter la porosité de façon très hautement significative ($P < 0,001$). La plus faible valeur de la densité apparente, de l'ordre de ($0,98 \pm 0,05 \text{ g.cm}^{-3}$) et la plus grande valeur de la porosité, de l'ordre de ($52,49 \pm 2,11 \%$) ont été enregistrées avec le traitement FV40.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

- L'étude de la perméabilité a montré que l'apport de matière organique exogène est très positif pour tous les traitements. Par ailleurs, les résultats obtenus ont montré un effet très hautement significatif ($P < 0,001$) des variations saisonnières sur la perméabilité du sol avec trois phases distinctes: une première période, variant de trois à six mois (coïncidant avec la saison hivernale et printanière), caractérisée par une évolution progressive de la perméabilité de tous les traitements dont la plus grande valeur a été marquée pour le traitement FC40 au 6^{ème} mois ($0,45 \pm 0,15 \text{ m}\cdot\text{sec}^{-1}$); une deuxième phase: caractérisée par la diminution de la perméabilité des sols amendés par la dose 40% de fumier de chevaux frais par minéralisation précoce coïncidant avec la saison estivale; une troisième période: caractérisée par une diminution rapide des mesures de perméabilité par une intense minéralisation pour tous les traitements en automne lorsque les conditions pédoclimatiques sont favorables.
- Il est net à signaler que le fumier a amélioré significativement et durablement les propriétés de rétention en eau des sols amendés, cette amélioration est maintenue au cours du temps, malgré la dégradation des produits organiques dont le grand pourcentage est obtenu par la dose 40% de fumier de volailles ($53,21 \pm 1,49\%$) après 12 mois, suivi par le fumier de bovins ($50,73 \pm 0,72\%$).
- Quant à la stabilité structurale, la matière organique a diminué significativement l'indice d'instabilité. La plus faible valeur notée est de ($1,04 \pm 0,014$), obtenue par le traitement FV40 après 3 mois.

Les propriétés physiques du sol peuvent être influencées par la dose, les propriétés de la matière organique apportée (fumier frais ou décomposé, teneurs en fragments grossiers et en éléments fertilisants) et les conditions pédoclimatiques.

4. Étude du pouvoir minéralisateur de l'azote des sols amendés

L'azote utile pour les plantes et les organismes vivants du sol est particulièrement difficile à estimer. Sa forme la plus facilement assimilable est l'azote nitrique (NO_3^-), mais cet anion ne se trouve pas en quantité suffisante dans le sol pour assurer l'approvisionnement de la plante; de plus, il est soumis à un risque permanent de perte par lixiviation (Jedidi *et al.*, 1995). La plus grande partie de l'azote du sol se trouve sous forme organique et ne devient disponible qu'à l'issue de nombreuses et lentes transformations biochimiques (Kara-Mitcho *et al.*, 2004).

L'azote minéral peut se trouver dans le sol à l'état ammoniacal ou nitrique, c'est-à-dire sous deux formes directement assimilable par les végétaux, d'où l'importance de les connaître afin d'évaluer la fertilité du sol (Merabet et Benyamina, 2016).

L'analyse du potentiel de minéralisation de l'azote du sol est relativement longue et coûteuse, mais renseigne sur la fertilité et la durabilité des pratiques agricoles (Neyroud *et al.*, 2000). C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude qui vise à évaluer l'effet des amendements organiques et les variations saisonnières sur le pouvoir minéralisateur de l'azote (azote ammoniacal et azote nitrique).

4.1. Caractérisation de l'azote ammoniacal

L'azote ammoniacal a été mesuré avec des échantillons de terres fines et a fait l'objet d'une analyse de variance ANOVA qui a montré que les mesures de l'azote ammoniacal réalisées sur le témoin ne sont pas différentes au cours du temps (pour $\alpha = 0,05$) et elles sont inférieures ($0,45 \cdot 10^{-2} \text{ g.kg}^{-1}$) à celles des sols amendés. Pour tous les traitements, les valeurs de l'azote ammoniacal (**figure 22**) augmentent du 3^{ème} au 9^{ème} mois puis diminuent rapidement en automne. L'effet est très hautement significatif ($P < 0,001$) a été observé pour le traitement FV40 durant la période estivale ($P < 0,001$) du 6^{ème} ($2,22 \cdot 10^{-2} \text{ g.kg}^{-1}$) au 9^{ème} mois ($2,23 \cdot 10^{-2} \text{ g.kg}^{-1}$). Cette augmentation pourrait s'expliquer d'une part, par la richesse du fumier de volailles en azote et par son faible rapport C/N (**figures 15 et 16**) et d'autre part par les conditions favorables du milieu telle que la température, l'humidité (**annexe 5e, tableau 18**) et la matière organique du sol, sachant que les ammonifiants responsables de la dégradation de la matière organique azotée (protéines, peptides, acides aminés) en ammonium NH_4^+ (Oulbachir, 1997 ; Prescott *et al.*, 2010), sont thermophile et prospèrent favorablement dans les milieux chauds et secs, ce qui justifie alors leur affinité vis-à-vis de notre sol.

Le fumier de volailles constitue donc une source non négligeable en azote organique facilement minéralisable. Ceci a un impact positif quant à son utilisation dans les sols soumis à une intensification agricole et à des conditions de température favorisant la biodégradation de la matière organique, d'où une perte potentielle du capital organique du sol (Elherradi *et al.*, 2003).

Les quantités d'azote ammoniacal étaient d'autant plus importantes que les doses de fumiers augmentaient. Ceci s'explique par le fait que les résidus organiques à faible rapport C/N sont facilement minéralisables par la microflore du sol et libèrent des quantités appréciables d'azote minéral (Whalen *et al.*, 2000).

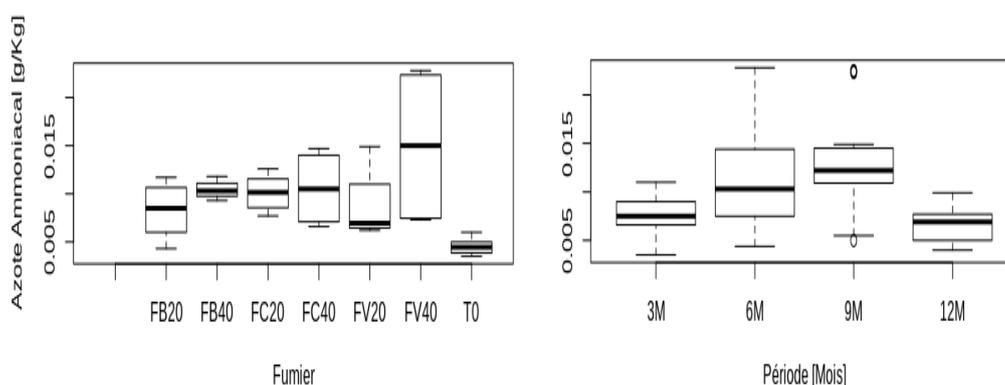


Figure 22 : Variations de l'azote ammoniacal sous l'effet de l'apport organique et des variations saisonnières

4.2. Caractérisation de l'azote nitrique

L'azote nitrique comme l'azote ammoniacal a été mesuré dans des échantillons de terres fines. Les résultats analytiques illustrés dans la **figure 23** montrent que les mesures de l'azote nitrique des sols amendés sont supérieures à celle mesurée pour le témoin ($1,9 \cdot 10^{-2} \text{ g.kg}^{-1}$) durant l'expérimentation. Les teneurs en azote nitrique augmentent avec l'apport de la matière organique, l'effet le plus hautement significatif ($P < 0,001$) a été observé pour le traitement FC40, de l'ordre (de $84 \cdot 10^{-2} \text{ g.kg}^{-1}$) durant la période estivale et ($51 \cdot 10^{-2} \text{ g.kg}^{-1}$) en automne.

Le rythme de nitrification démarre rapidement au début et devient relativement constant après le 9^{ème} mois. La nitrification atteint un maximum au 9^{ème} mois puis diminue pour subir une vitesse constante à partir du 9^{ème} mois. La valeur atteinte par ces pics augmente avec les doses

RÉSULTATS ET DISCUSSION

de fumier apporté, en particulier par le fumier frais à la période estivale. D'après Elherradi *et al.* (2003), la minéralisation devient plus importante, surtout en présence d'une fraction facilement minéralisable, en présence d'apports exogènes, surtout de matériaux facilement biodégradables. Les nitrifiants responsables du processus de la nitrification sont les plus sensibles aux variations des différents facteurs, à savoir : l'humidité et la température (Vilain, 1987 ; Boukenouda, 1995 ; Oulbachir, 2010), ce qui est cohérent avec nos résultats.

La minéralisation est plus importante dans les échantillons amendés et croît avec les doses de fumier. Ce qui montre que ce phénomène n'est pas dû seulement à la minéralisation de la biomasse mais aussi à la minéralisation de la matière organique labile du fumier.

La minéralisation de l'azote dépend fortement des conditions thermiques et hydrologiques du milieu, ainsi que de la présence de substrats de qualité, capables de fournir aux microorganismes les nutriments et l'énergie nécessaires (Kara-Mitcho *et al.*, 2004 ; Vullioud *et al.*, 2004). L'analyse de la variance ANOVA a aussi montré des effets plus hautement significatifs ($P < 0,001$) de température, d'humidité et la dose la matière organique apportée sur les variations des teneurs en azote ammoniacal et azote nitrique (*annexe 5b, tableaux 12 et 13*)

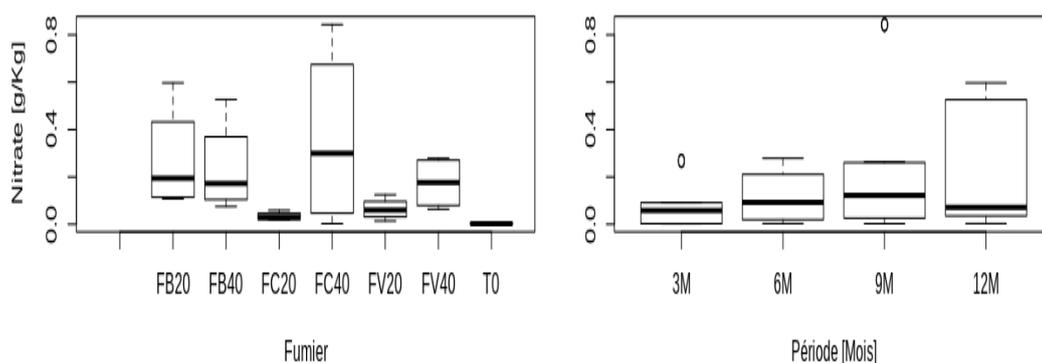


Figure 23 : Variations de l'azote nitrique sous l'effet de l'apport organique et des variations saisonnières

Conclusion

La matière organique apportée a amélioré le rythme de la minéralisation de l'azote. Il est plus important avec le traitement FV40 pour l'azote ammoniacal et le traitement FC40 pour l'azote nitrique. Il augmente de façon croissante avec l'apport de doses de fumier. Le niveau le plus faible est enregistré pour l'échantillon témoin qui est dépourvu de tout traitement. La mesure du potentiel de minéralisation de l'azote du sol permet d'apprécier l'effet des pratiques agricoles sur son activité biologique.

Encore une fois, les résultats confirment le rôle des apports organiques dans la fourniture d'azote à la plante et le maintien du niveau humique.

Les résultats obtenus ont montré que le processus de la minéralisation dépend des conditions pédoclimatiques d'une part, et de la nature des amendements organiques, de leur degré de stabilité et de leur richesse en azote d'autre part.

5. Estimation du stockage de carbone organique des sols amendés

L'application de différents matériaux organiques comme les fumiers représente une stratégie de gestion efficace pour améliorer les propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol (Samreen *et al.*, 2017). Ainsi, maintenir ou augmenter la quantité des MOS peut avoir un effet significatif sur les concentrations de CO₂ atmosphérique, en limitant une partie des émissions de gaz à effet de serre, et donc contribuer à l'atténuation des changements climatiques (Bernoux et Chevallier, 2013).

Ce volet vise à évaluer le stockage de carbone organique du sol sous l'effet des amendements organiques et les variations saisonnières.

5.1. Caractérisation des éléments grossiers

D'après la *figure 24*, les éléments grossiers telles que les graviers, les pierres, les rochers, les résidus de culture, les vers de terre, les insectes et les racines vivantes ont été représentés par une valeur de (<1%) de la masse totale de l'échantillon témoin, et selon (FAO, 2006), ils sont considérés comme négligeable. La teneur en éléments grossiers des sols amendés dépend de la teneur en éléments grossiers de chaque type de fumier (*annexe 4*). Les teneurs en éléments grossiers des sols amendés avec du fumier de chevaux notamment pour la dose de 40% ont été enregistrées de manière significative ($P < 0,05$) un taux élevé durant l'expérimentation, avec une valeur maximale de ($16 \pm 1,42\%$), observée en hiver et au printemps, puis une diminution a été enregistrée en été et en automne ($7,22 \pm 1,50\%$) et ($5,69 \pm 1,42\%$), respectivement. Selon Grosbellet (2008), ce résultat est surprenant dans la mesure où ce type de fumier est riche en fragments grossiers (il contient plus de 40% d'éléments supérieurs à 2mm) et que les quantités de matière organique présentes dans les fractions grossières diminuent rapidement, ce qui témoigne de leur dégradation, soit par fragmentation physique, soit par minéralisation; coïncidant significativement ($P < 0,01$) au moment où les facteurs pédoclimatiques tels que l'humidité et la température (*annexe 5e, tableau 18*) étaient favorables pour déclencher la minéralisation de ce type de fumier.

Le résultat de l'analyse de corrélation (*annexe 5c, tableau 15*) révèle que les éléments grossiers présentent une corrélation positive avec le carbone organique du sol ($p < 0,01$) et le stock du carbone organique ($p < 0,01$) et une corrélation négative avec la densité apparente ($p < 0,01$). Selon le CPVQ (2000), la paille de céréales est une excellente source de matière organique contenue dans les fragments grossiers de fumier de chevaux, et que l'apport

organique améliore la structure du sol (Deksissa *et al.*, 2008) et le stockage du carbone organique dans le sol (Derrien *et al.*, 2016).

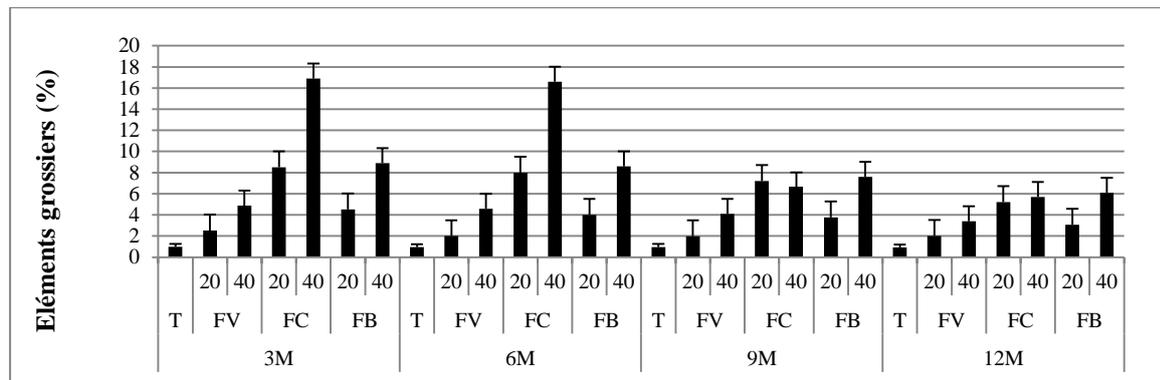


Figure 24 : Variations d'éléments grossiers sous l'effet de l'apport organique

et des variations saisonnières

5.2. Caractérisation du carbone organique

La matière organique du sol, en particulier le carbone organique du sol, favorise une grande variété d'habitats pour les micro-organismes dans le sol (Bernoux et Chevallier, 2013); qui, par ses activités, produit de l'humus sans lequel un sol devient mort, impropre à la croissance des plantes (Doucet, 2006), ou se dégrade puis le transforme en une forme minérale assimilable par les plantes (Dridi et Toumi, 1999). Cependant, le carbone organique du sol est un indicateur rentable et informatif de la qualité du sol et de la durabilité de l'agriculture car il favorise les propriétés physiques, biologiques et chimiques du sol (Ananyeva, 2019). Les amendements organiques améliorent la qualité du sol en améliorant ses propriétés (Van-Camp *et al.*, 2004); il conduit à une augmentation de la biomasse microbienne et modifie également la dynamique du carbone et de l'azote du sol (Smith *et al.*, 1994). De nombreuses études (Kristensen *et al.*, 2003; Gregorich *et al.*, 2006) ont montré que le travail du sol stimule l'activité microbienne, augmente l'aération du sol et favorise le contact entre les particules de matière organique et les micro-organismes et on peut considérer que le "brassage" initial du fumier avec le sol lors de la confection des mélanges joue ce rôle (Grosbellet, 2008).

Les résultats illustrés dans la *figure 25*, indiquent que tous les traitements ont eu un effet significatif ($P < 0,05$) sur la teneur en carbone organique du sol (COS) par rapport au témoin, qui était stable, aux alentours de $(7,45 \pm 0,01 \text{ g.kg}^{-1} \text{ de sol})$ durant l'expérimentation.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Au cours de la première saison une légère augmentation de la teneur en carbone organique du sol a été observée pour tous les traitements. Ensuite, une augmentation significative a été enregistrée au printemps. Selon Bouchenafa *et al.* (2014) et Oulbachir *et al.* (2014), les basses températures limitent l'activité microbienne par un effet de stérilisation partielle en hiver. L'activité biologique n'est présente qu'au début du printemps lorsque les microorganismes reprennent leur activité.

Les résultats obtenus ont indiqué que l'application d'amendements organiques a augmenté le carbone organique, avec une valeur maximale observée pour le traitement FV40 ($50,99 \pm 2,22 \text{ g.kg}^{-1}$) suivi du FB40 ($49,35 \pm 0,25 \text{ g.kg}^{-1}$) et FC40 ($36,67 \pm 0,26 \text{ g.kg}^{-1}$). Une augmentation significative a probablement été également observée par Samreen *et al.* (2017), qui a constaté que l'application d'amendements organiques tels que le fumier de ferme augmente le COS du sol. Les raisons possibles de l'augmentation du carbone organique du sol par l'application d'amendements organiques pourraient être dues au carbone et aux éléments fertilisants (*figure 15*) contenus dans les fumiers eux-mêmes. Ceci a été clairement indiqué dans notre étude par une augmentation significative du carbone organique du sol, observée avec le traitement à base de fumier de volailles qui contient les teneurs les plus élevées en N et K et une quantité appréciable en CO et P (*figures 14 et 16*). Par conséquent, le fumier de volaille peut être considéré comme un excellent engrais organique. Benbi *et al.* (1998); Rautaray *et al.* (2003); Iqbal *et al.* (2012), ont constaté que le fumier de ferme associé aux engrais chimiques NPK entraînait une concentration plus élevée de carbone organique dans le sol. De même, Yadav *et al.* (1998); Zhao *et al.* (2009) ont constaté que les sols amendés avec des engrais organiques améliorent la teneur en matière organique. Les résultats de cette étude ont abouti à une teneur plus élevée en carbone organique du sol pour les sols amendés avec du fumier de ferme riche en éléments fertilisants.

La teneur en COS pour le traitement à base de fumier de chevaux diminue pendant la période estivale et encore plus pendant la période d'automne, lorsque les conditions pédoclimatiques (température et humidité) étaient favorables à la décomposition et à la minéralisation de la MOS. En raison des conditions favorables, la matière organique fraîche est rapidement décomposée et cela peut être l'une des raisons de la minéralisation. D'après Collins *et al.* (2000) et Rebaty *et al.* (2019), l'humidité et la température du sol sont deux facteurs essentiels, dont la combinaison influe sur l'intensité saisonnière de l'activité microbienne, ce qui marque une possibilité de dégradation par minéralisation. Mohammad *et al.* (2012) ont également observé une augmentation du CO du sol en raison de l'ajout de résidus de culture, puis cette

augmentation du CO du sol est généralement diminuée après 2-3 semaines car les conditions pédoclimatiques étaient favorables à une décomposition et une minéralisation rapides. Cependant, le processus de minéralisation a été observé dans notre étude pour la première fois avec les traitements à base de FC pendant la période estivale, puis le CO du sol a été enregistré une diminution pour les autres traitements pendant la période d'automne. Selon Grosbellet (2008), il existe des différences de comportement entre les amendements organiques. Ceux-ci peuvent être liés à la texture de chaque fumier, ou à l'activité biologique que leur incorporation provoque.

Tous les amendements permettent de stimuler une activité microbienne des sols. Le fumier frais (FC) a l'effet le plus favorable par rapport aux fumiers bien décomposés (FV et FB). Le fumier frais est facilement utilisable par les microorganismes décomposeurs du sol et peut également stimuler la dégradation de la matière organique préexistante dans le sol (Derrien *et al.*, 2016). Par conséquent, le traitement FC40 a généré la stimulation d'une bonne prolifération microbienne; coïncidant à la période estivale.

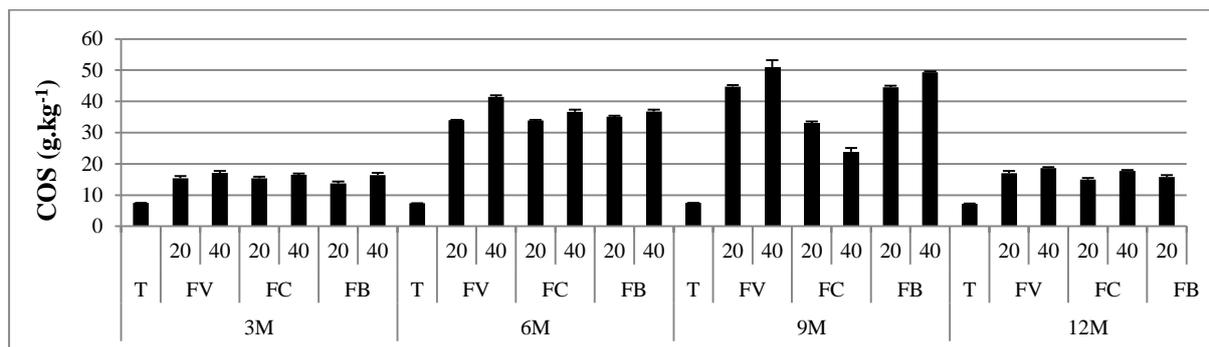


Figure 25 : Variations du carbone organique du sol sous l'effet de l'apport organique et des variations saisonnières

5.3. Caractérisation du stock du carbone organique

Les pratiques d'amendement organique telles que le fumier ont un avantage pour le stockage du carbone et la teneur en matière organique du sol, elles ont également des avantages économiques et agronomiques (amélioration de la fertilité et de la structure physique du sol) (Peltre *et al.*, 2012). Cardinael *et al.* (2015) et Derrien *et al.* (2016), ont constaté que l'augmentation importante des stocks de carbone organique du sol était principalement due à la matière organique. De plus, nous avons vu que l'évolution du stock de COS prend le même rythme que celui du CO₂. Le résultat de l'analyse de corrélation (*annexe 5c, tableau 15*)

révèle que le stock de COS a : une corrélation négative avec (i) la densité apparente (pb 0,01) et une corrélation positive avec (ii) le carbone organique du sol (pb 0,01) et (iii) les éléments grossiers (pb 0,01).

D'après la **figure 26**, tous les traitements ont enregistré une augmentation du stock de COS par rapport au témoin ($18,72 \pm 0,74 \text{ Mg C ha}^{-1}$), l'effet hautement significatif ($P < 0,01$) a été observé pour le traitement FV40 avec une valeur de ($32,83 \pm 3,53 \text{ Mg C ha}^{-1}$) suivi des traitements FV20 ($29,51 \pm 12,78 \text{ Mg C ha}^{-1}$) et FB40 ($29,35 \pm 9,91 \text{ Mg C ha}^{-1}$). Cependant, FB20 et FC20 avaient un effet similaire sur les stocks de COS, tandis que la plus faible valeur ($24,81 \pm 4,99 \text{ Mg C ha}^{-1}$) a été enregistrée pour le traitement FC40. Les raisons possibles de l'augmentation des stocks de COS pour le fumier de volaille peuvent être dues à leurs faibles rapport C/ N et à leurs richesses en éléments fertilisants (Zhao *et al.*, 2009; Iqbal *et al.*, 2012; Samreen *et al.*, 2017).

Par conséquent, les stocks de COS ont montré une saisonnalité distincte (**annexe 5c, tableau 14**): une amélioration progressive en hiver et au printemps pour tous les traitements, teneurs significatives très élevées en été uniquement pour les FV20 ($75,63 \pm 13,031 \text{ Mg C ha}^{-1}$) suivi par le traitement FB20 ($67,723 \pm 7,251 \text{ Mg C ha}^{-1}$) et une diminution pour tous les traitements en automne. L'analyse ANOVA a également enregistré un effet très hautement significatif ($P < 0,001$) des variations saisonnières sur les stocks de COS.

Ces résultats sont supérieurs aux stocks enregistrés par plusieurs chercheurs dans les régions semi-arides : Boulmane *et al.* (2013), Dans la forêt de Quercus ilex de l'Atlas central du Moyen-Maroc, ont été estimé que le stock de carbone organique du sol dans les 30 premiers cm, soit environ (63 Mg C ha^{-1}) pour Tafachna et (47 Mg C ha^{-1}) pour Reggada ; Hernanz *et al.* (2002), dans le contexte climatique méditerranéen du centre de l'Espagne, ont étudié l'effet à long terme des systèmes de culture sur les variations du stock de COS. Ils ont enregistré un stock de COT moyen de (40 Mg C ha^{-1}) pour les 40 premiers cm.

Les pratiques agricoles conditionnent principalement les apports de matière organique au sol dans le temps et l'espace en fonction des conditions pédoclimatiques, mais aussi la sensibilité de ces matières organiques à la minéralisation en fonction des variations saisonnières, ce qui a des effets sur les stocks de carbone organique du sol (Pellerin *et al.*, 2013; Chenu *et al.*, 2014; Paustian *et al.*, 2016).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

La matière organique du sol n'est pas homogène, certaines sont minéralisées rapidement après leur entrée dans le sol, tandis que d'autres persistent très longtemps (Schmidt *et al.*, 2011) et une sur-minéralisation de la MO du sol peut être observée par un apport de MO fraîche (Derrien *et al.*, 2016). Ceci a été clairement indiqué dans notre étude par une diminution significative des stocks de carbone organique du sol par minéralisation précoce, observé pour le traitement FC40 en été puis une diminution pour les deux autres types de fumier par minéralisation tardive en automne, et qui selon Wei *et al.* (2014), cette diminution rapide des stocks de COS pourrait s'expliquer par des taux de minéralisation de matière organique plus intenses. De plus, les stocks de COS sont déterminés par la décomposition de micro-organismes qui jouent un rôle très important dans la fourniture de services écosystémiques (van der Heijden, 2008). En outre, la minéralisation du COS est liée à des conditions favorables d'humidité et de température du sol (Collins *et al.*, 2000); coïncidant pour notre cas à la période estivale uniquement pour le traitement FC40 et pour tous les traitements en période d'automne.

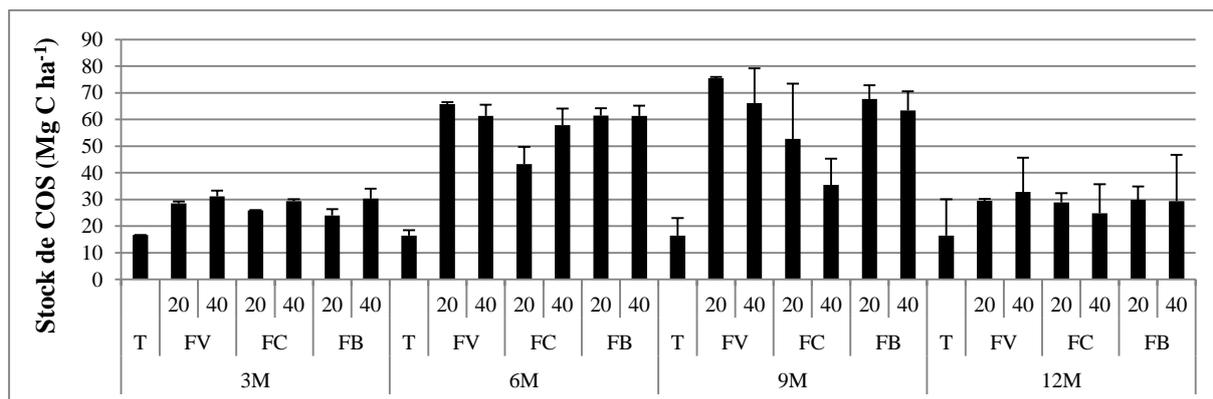


Figure 26 : Variations du stock de carbone organique du sol sous l'effet de l'apport organique et des variations saisonnières

Conclusion

L'apport organique a amélioré le stock du carbone organique dans le sol durant l'expérimentation. L'effet le plus hautement significatif ($P < 0,01$) a été observé avec le traitement FV40. De plus, les résultats obtenus ont montré un effet très hautement significatif ($P < 0,001$) des variations saisonnières sur le stock du carbone organique du sol avec trois phases distinctes: une première phase, variant de trois à six mois, caractérisée par une évolution progressive des stocks de COS de tous les traitements; une deuxième phase: caractérisée par des améliorations significatives enregistrées avec le traitement FV20 suivi par le traitement FB20; coïncidant avec la saison estivale et des diminutions remarquables par minéralisation précoce, ont été observées avec les traitements FC20 et FC40; une troisième phase: a montré une diminution rapide des stocks de COS par minéralisation intense pour tous les traitements en automne ; lorsque les conditions pédoclimatiques étaient favorables.

A ce propos, on peut noter que les propriétés du sol peuvent être influencées par la dose, l'âge, les teneurs en fragments grossiers et en éléments fertilisants de la matière organique apportée et les conditions pédoclimatiques.

6. Évolution de la biomasse microbienne du sol

La biomasse microbienne recouvre l'ensemble des micro-organismes du sol (bactéries, champignons, actinomycètes, azotobacters...) qui sont responsables des processus vitaux et qui déterminent eux-mêmes l'équilibre et l'évolution du sol (Oulbachir, 1997), en intervenant dans les transformations: biologiques, chimiques et physiques du milieu (Oulbachir, 2010). Le potentiel d'activité biologique du sol dépend de la matière organique avec laquelle elle est en étroite corrélation (Dari, 2013).

La matière organique du sol favorise une grande variété d'habitats pour les micro-organismes dans le sol (Bernoux et Chevallier, 2013); qui, par ses activités, produit de l'humus sans lequel un sol devient mort, impropre à la croissance des plantes (Doucet, 2006), ou se dégrade puis le transforme en une forme minérale assimilable par les plantes (Dridi et Toumi, 1999). Pour cette raison, les biologistes pensent que la matière organique du sol contribue de manière importante à la fertilité et à la productivité des sols (Ananyeva *et al.*, 2019) et que la santé biologique des sols est l'un des meilleurs indicateurs diagnostiques de la qualité des sols (Ullah *et al.*, 2014).

Cette partie est axée en premier, sur l'estimation des différents groupes de micro-organismes et de la biomasse microbienne totale selon les différents stades végétatifs du blé, qui permet d'évaluer les fluctuations de la population microbienne sous l'influence de conditions diverses, à savoir : la présence ou absence de culture et l'intervention humaine, notamment en apport organique.

L'examen des résultats obtenus indique que le sol témoin au temps T0 comportait une population microbienne définie composée de : $221,66.10^6$ bactéries aérobies, $111,33.10^6$ azotobacters, 257.10^6 champignons et $112,66.10^6$ actinomycètes par gramme de sol.

6.1. Evolution des bactéries aérobies en fonction des stades végétatifs du blé

A la lumière des résultats obtenus on s'aperçoit que les divers germes microbiens évoluent différemment, l'examen des résultats (*figure 27*) indique que le nombre des bactéries aérobies est important au temps T1, particulièrement avec FC20 et FC40, qui résultent probablement du développement des bactéries organotrophes qui utilisent les substances organiques « fumier » comme source énergétique et nutritionnelle or ce groupe voit une baisse au temps T2, qui coïncide à une période où les températures sont basses et qui selon Bouchenafa *et al.* (2014) ; Oulbachir *et al.* (2014) exercent un effet direct sur la microflore du sol.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Au temps T3; le nombre de bactéries aérobies s'élève (en particulier avec FC20 et FC40). Cet accroissement pourrait s'expliquer d'une part, par l'activité physiologique intense du blé et d'autre part, par l'effet d'apport organique, à ce stade où l'exsudation racinaire stimule ce groupe qui par la suite voit une baisse en T4 où le blé entame sa phase de maturation.

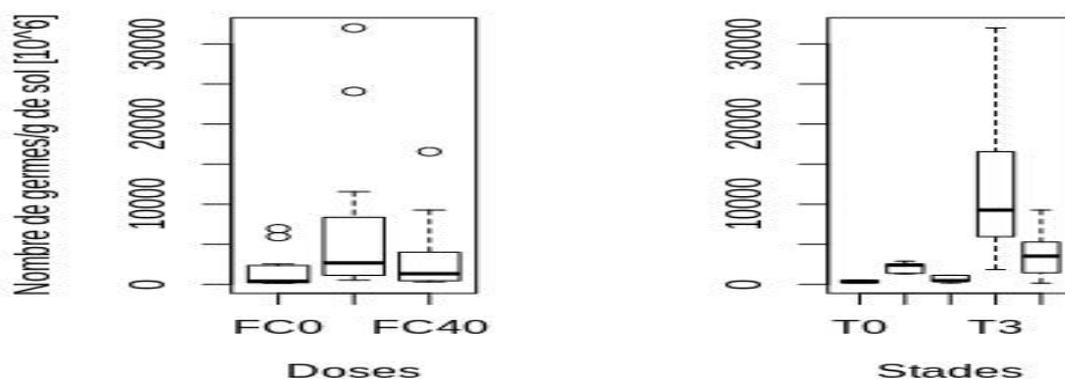


Figure 27: Evolution des bactéries aérobies en fonction des stades végétatifs du blé

6.2. Evolution des azotobacters en fonction des stades végétatifs du blé

Par ailleurs, il nous semble que l'évolution des azotobacters prend la même allure que celle des bactéries aérobies. Ils sont importants en temps T1 particulièrement avec FC20 et FC40, puis diminuent au temps T2 sous l'effet des basses températures, augmentent de nouveau au temps T3 puis baissent en T4 (*figure 28*).

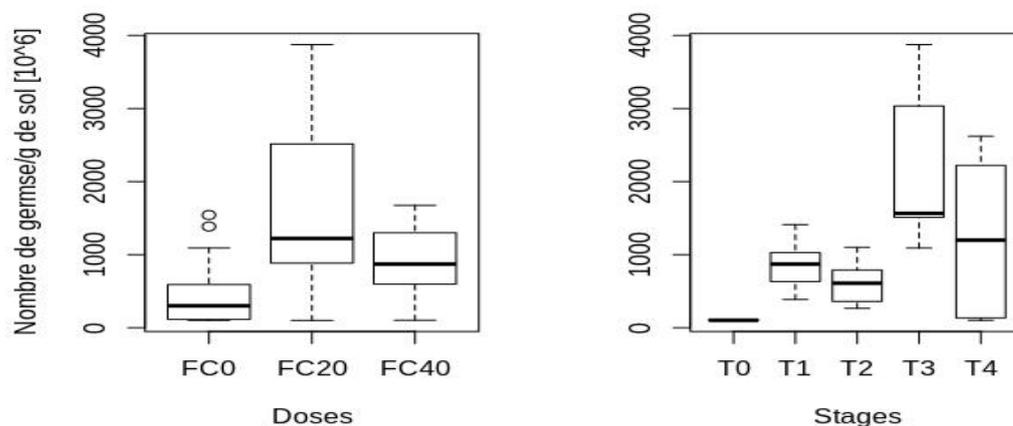


Figure 28: Evolution des azotobacters en fonction des stades végétatifs du blé

6.3. Evolution des champignons et les actinomycètes en fonction des stades végétatifs du blé

Les résultats que révèlent les *figures 29 et 30* montrent que les champignons et les actinomycètes suivent la même allure d'évolution où leur densité est relativement moyenne aux temps T1 et T2, puis augmentent considérablement au temps T3, notamment avec le traitement FC40 pour les champignons, et le traitement FC20 pour les actinomycètes, puis baissent en T4.

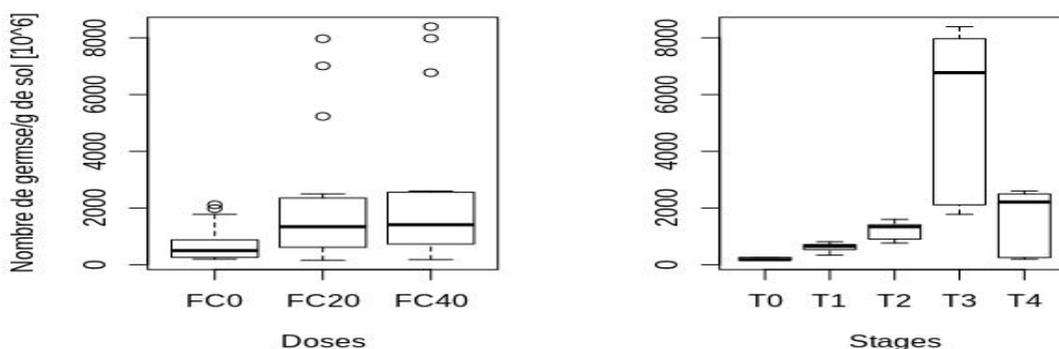


Figure 29: Evolution des champignons en fonction des stades végétatifs du blé

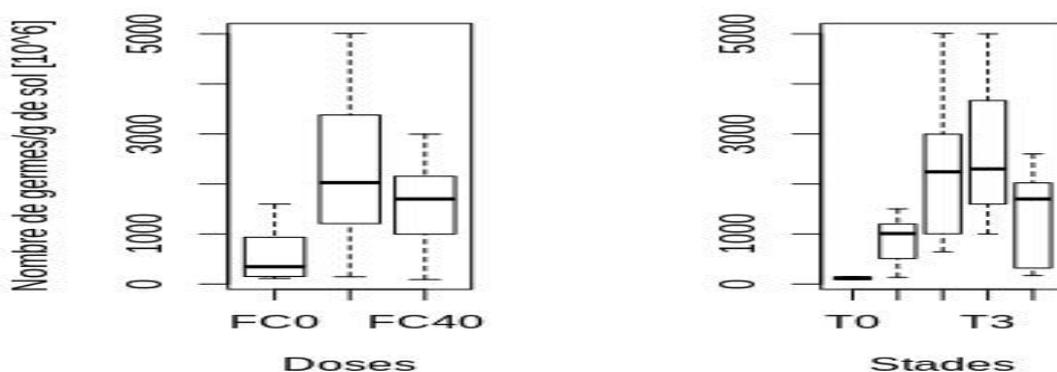


Figure 30: Evolution des actinomycètes en fonction des stades végétatifs de croissance du blé

Il convient de montrer l'extrême répartition hétérogène de la population microbienne dans la rhizosphère. Selon Bottner et Billes (1987), elle est due à une variation temporelle où la racine rencontre dans sa croissance, une diversité de microorganismes. Le succès de la colonisation est fonction des mécanismes d'adhésion de la bactérie sur la paroi racinaire ; de l'affinité du substrat et probablement du substrat de reconnaissance d'origine végétale ou

microbienne ; à l'hétérogénéité due à la variation du substrat dans le temps et dans l'espace, il faut ajouter l'hétérogénéité dans l'environnement racinaire (Goleman, 1985).

6.4. Evolution de la biomasse microbienne totale du sol selon les stades végétatifs du blé

Les résultats illustrés dans la *figure 31*, montrent l'évolution de la biomasse microbienne totale à savoir : actinomycètes, bactéries aérobies, azotobactères et champignons, d'un sol cultivé sous un apport organique, selon les différents stades végétatifs du blé, qui présente elle-même un paramètre stimulant pour la prolifération microbienne.

Initialement, notre sol témoin avait une densité microbienne de $(702,65 \cdot 10^6 \text{ germes.g}^{-1} \text{ de sol})$. Après l'épandage du fumier et l'installation de la culture du blé, une biomasse microbienne estimée respectivement de : $(3723,95 \cdot 10^6 \text{ germes.g}^{-1} \text{ avec FC0})$, $(5850,21 \cdot 10^6 \text{ germes.g}^{-1} \text{ avec FC20})$ et $(3981,93 \cdot 10^6 \text{ germes.g}^{-1} \text{ avec FC40})$ est enregistrée au temps T1, puis une baisse de celle-ci en T2 correspondant relativement à $(2260,07 \cdot 10^6 \text{ germes.g}^{-1} \text{ avec FC0})$; et une légère élévation en particulier pour les sols amendés $(7065,95 \cdot 10^6 \text{ germes.g}^{-1} \text{ avec FC20})$ et $(5016,92 \cdot 10^6 \text{ germes.g}^{-1} \text{ avec FC40})$.

Au temps T3 : il est net à signaler que l'augmentation de la densité microbienne est maximale en particulier avec FC20 $(37147,02 \cdot 10^6 \text{ germes.g}^{-1} \text{ de sol})$ coïncidant au stade tallage, au moment où les amendements organiques et les racines vivantes fournissent à leur environnement des substances énergétiques en quantités non négligeables. Il est apparu dans un travail mené (Oulbachir 1997), que ces substances énergétiques sont facilement assimilables, stimulant la microflore rhizosphérique. L'évolution nette de la biomasse est liée donc à l'exsudation racinaire et à la rhizodéposition, ce résultat confirme ceux trouvés par Billes (1986) et Oulbachir (1997).

L'analyse de la variance ANOVA (*annexe 5d, tableaux 16 et 17*) confirme également qu'il y a un effet significatif de la dose du fumier ($P < 0,05$) et un effet très hautement significatif du stade végétatif du blé ($P < 0,001$) sur la biomasse microbienne du sol car il a été observé que la population microbienne était significativement améliorée par la dose 20% de fumier de chevaux (FC20) au stade tallage.

Ensuite, on s'aperçoit qu'au temps T4 la densité microbienne baisse en atteignant : $(1204,8 \cdot 10^6 \text{ germes.g}^{-1} \text{ avec FC0})$, $(13475,01 \cdot 10^6 \text{ germes.g}^{-1} \text{ avec FC20})$ et $(8947,653 \cdot 10^6 \text{ germes.g}^{-1} \text{ avec FC40})$. Ce fait est dû à une baisse de l'activité racinaire ; qui au fur et à mesure de sa sénescence se transformeront en litière racinaire.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Nos résultats ont révélé que les communautés microbiennes étaient représentées par la forte concentration autour des racines d'un sol cultivé que dans un sol dépourvu de culture et encore mieux pour les sols amendés. La présence de la culture de blé dans le sol à un effet stimulateur pour la biomasse microbienne du fait que l'exsudation où la production racinaire fournit des composés facilement utilisables qui sont à l'origine de la stimulation de la densité microbienne, qui selon Lynch (1982) sont constitués par un matériel labile facilement biodégradable cette stimulation est particulièrement exprimée au stade tallage. Cependant, il a été constaté que la présence de racines vivantes dans la culture du blé, conduisant à l'exsudation et à la rhizodéposition des racines, est à l'origine de la stimulation microbienne et de son activité, qui se manifeste par une augmentation de la biodégradation et de la minéralisation (Oulbachir, 2010).

Les résultats obtenus indiquent qu'il existe un certain parallélisme entre le rythme climatique et le rythme végétatif de la culture. Il est évident qu'au stade tallage, les germes microbiens atteignent leur maximum relatif dans les différents sols; à une époque où les racines vivantes fournissent à leur environnement des substances énergétiques. Il est apparu dans les travaux réalisés (Oulbachir, 2010), ces substances énergétiques sont facilement assimilables, stimulant la microflore rhizosphérique. Ces observations sont également cohérentes avec celles de Vilain (1987), qui a également obtenu une densité particulièrement élevée au tallage mais très faible après maturité lorsque l'exsudation racinaire est réduite.

De plus, les pratiques culturales, comme le fumier, améliorent la croissance des plantes, entraînant une augmentation de la rhizodéposition, une source de carbone qui est facilement métabolisée par les micro-organismes dans la rhizosphère. Par conséquent, ces pratiques culturales qui ont un effet indirect sur la population microbienne, doivent s'appliquer à des doses appropriées car la décomposition de grandes quantités de matières organiques accumulées à la surface du sol peut entraîner une anaérobiose temporaire : sont des arguments en faveur d'une toxicité d'origine biochimique plutôt que parasitaire, surtout si une forte humidité favorise les proliférations microbiennes alors que la diffusion de l'oxygène est plus lente. Dans ces conditions, des acides organiques phytotoxiques peuvent être formés (Koull et Halilat, 2016 ; Davet, 1996).

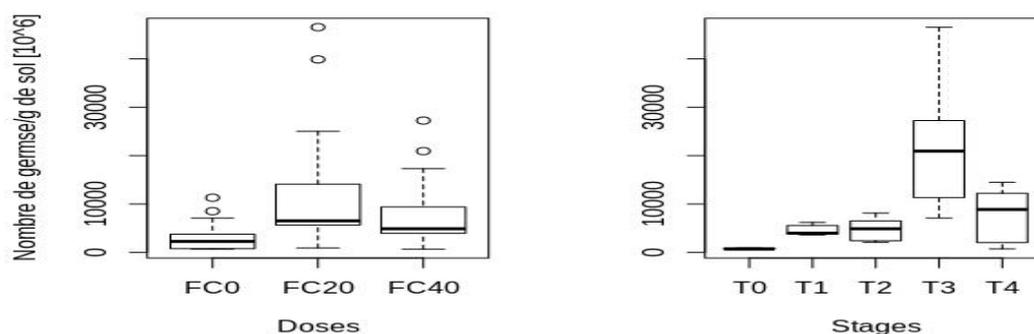


Figure 31: Evolution de la biomasse microbienne totale en fonction des stades végétatifs du blé

6.5. Caractérisation physicochimique du sol selon les différents stades végétatifs du blé

L'amendement organique a également amélioré les propriétés physicochimiques du sol telles que: la matière organique et le pH.

Les résultats obtenus (*figure 32*) indiquent que l'amendement organique a eu un effet significatif sur la teneur totale en matière organique du sol (MOS) par rapport au sol témoin, avec des valeurs de 1,59%, 2,03% et 2,80% pour FC0, FC20 et FC40, respectivement, ont été enregistrés après épandage de fumier dans la couche superficielle (0-20 cm).

Au stade semi et levée, une légère diminution de la teneur totale en MOS a été observée en raison du développement de micro-organismes hétérotrophes qui utilisent la matière organique comme source énergétique, puis une augmentation de celle-ci a été enregistrée au stade tallage, lorsque les racines vivantes fournissent à leur environnement des substances énergétiques en quantités importantes.

Au stade montaison, les données de la MOS ont été évoluées de manière hautement significative ($P < 0,01$) dont les valeurs maximales les plus élevées ont été enregistrées avec FC40 (4,27%) et FC20 (2,98%) suivies de FC0 (2,28%) en raison de la transformation de racines mortes en litière racinaire (Oulbachir, 2010). L'analyse de la variance ANOVA (*annexe 5d, tableaux 16 et 17*) a également montré un effet très hautement significatif de la dose d'apport organique ($P < 0,001$) et du stade de croissance du blé ($P < 0,001$) sur l'évolution de la matière organique du sol.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

De plus, l'amendement organique à des doses croissantes fait diminuer de façon hautement significatif le pH du sol (*figure 33*), cette diminution pourrait s'expliquer par la décomposition de la matière organique qui maintient une certaine acidité dans le sol, ceci est dû notamment à la libération des acides organiques et à l'action acidifiante du CO₂ libéré par l'activité microbienne. Cette acidité est en partie responsable de la dissolution d'éléments peu assimilables (phosphate, fer, etc.) dans les sols calcaires (Oustani, 2006). Par contre, il n'y a pas de différence significative ($P > 0,05$) entre le pH du sol et le stade végétatif de la croissance du blé d'après l'analyse de la variance ANOVA.

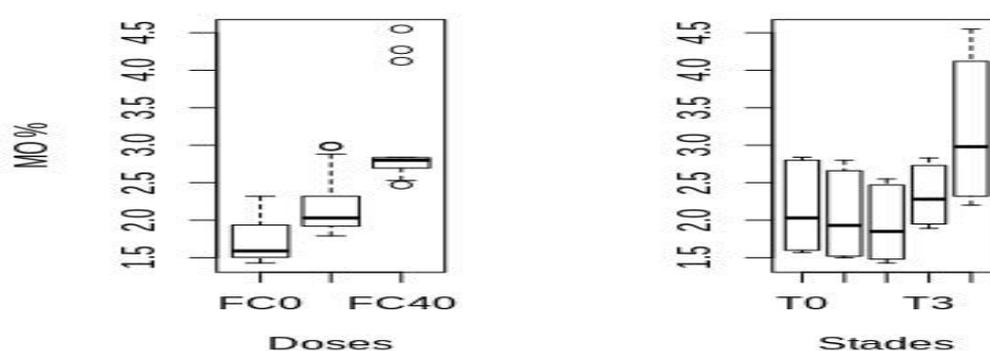


Figure 32: Evolution de la MO en fonction des stades végétatifs du blé

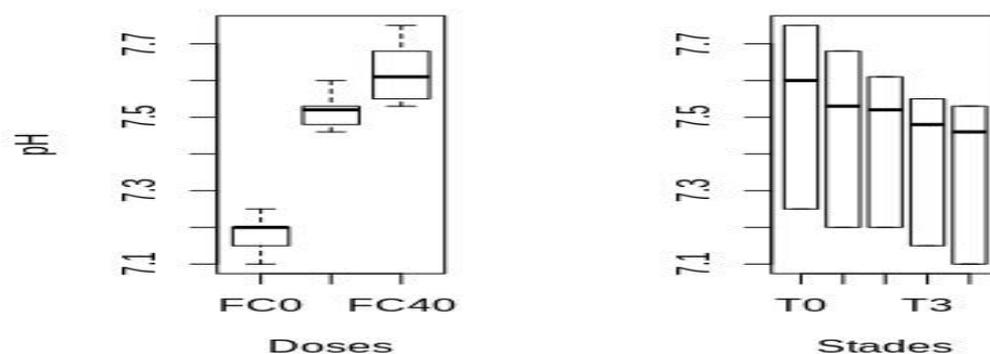


Figure 33: Evolution du pH en fonction des stades végétatifs du blé

Les résultats obtenus indiquent que l'application d'amendements organiques améliore considérablement la matière organique et le pH du sol. Par conséquent, Samreen *et al.* (2017) indique également que l'apport organique tel que le fumier de ferme a un effet significatif sur la teneur en carbone organique (COS) du sol. Cependant, la variation de ces paramètres

modifie considérablement la densité de la population microbienne du sol (Koull et Halilat, 2016), ce qui, selon Bernoux et Chevallier (2013), la MOS est essentielle à l'activité biologique: c'est la principale source d'énergie et de nutriments pour les organismes du sol. De plus, le taux de MOS est un indice important pour mesurer le niveau de fonctionnement et la qualité du sol, et une approche importante pour comprendre la fertilité du sol (Jingzhe *et al.*, 2017).

De plus, Wang *et al.* (2014), Lauber *et al.* (2008) ont constaté que la composition microbienne du sol et l'activité des microorganismes étaient fortement influencées par le pH du sol et que chaque espèce microbienne est active entre les limites de pH qui lui sont propres, avec une valeur optimale (Dari, 2013): les champignons sont généralement prédominants dans les sols acides; capable de prospérer sur une large gamme de pH, en moyenne entre 3,5 et 8,5 tandis que les bactéries prédominent dans les sols neutres ou légèrement alcalins, de sorte que les actinomycètes préfèrent un pH de 6 à 7,5, ce qui signifie l'écologie microbienne des germes (Bouchenafa *et al.*, 2014). Cependant, Frey *et al.* (1999) ont trouvé des résultats contradictoires par rapport à nos mesures, en particulier que la matière organique du sol et le pH du sol n'influencent pas la biomasse fongique.

Conclusion

Des interactions positives ont été mises en relief entre les plantes et les micro-organismes rhizosphériques avec leur hétérogénéité dont les résultats obtenus au cours de cette recherche ont révélé une densité microbienne plus intense et même d'avantage autour des racines que dans un sol dépourvu de culture, ce sont les substrats apportés par l'exsudation racinaire et la rhizodéposition qui sont à l'origine de la stimulation de la densité microbienne. Aussi faut-il retenir que l'effet rhizosphérique optimal correspondant à la période de croissance végétative coïncidant dans notre cas au stade tallage. Or au stade maturité l'effet rhizosphérique décroît traduisant une décroissance microbienne due à l'effet de litière des racines mortes. Comme on pouvait le prévoir le comportement de la microflore est lié non seulement aux stades phénologiques de croissances du blé mais également aux conditions pédoclimatiques.

Nous avons également observé, l'effet de l'amendement organique sur l'aspect biologique du sol ou la succession de culture dans certains cas, approvisionne le sol en matière organique (source nutritionnelle et énergétique pour les microorganismes). Dans d'autres c'est la dose 20% de fumier de chevaux qui semble la plus efficace.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Pour l'agriculture avenir en Algérie notamment en régions arides et semi-arides, la gestion des sols peut raisonnablement être considérée comme la base d'une stratégie gagnante qu'autorisent les modes de gestion des cultures dans la mesure où il a été démontré à grande échelle qu'ils assurent par ailleurs la viabilité et la durabilité de l'exploitation agricole en protégeant le sol de la dégradation physique, chimique et biologique.

Les résultats de cette investigation ont permis de préciser les interactions entre l'évolution de la matière organique apportée et ses impacts sur les propriétés et le fonctionnement du sol.

Dans un premier volet : notre étude a permis de montrer l'incidence des amendements organiques selon les variations saisonnières sur la fertilité physique et chimique du sol ainsi que leurs impacts sur le stockage du carbone organique dans le sol (sol nu). Nous avons utilisé deux doses (20% et 40%) de trois fumiers différents: un fumier de bovins, un fumier de chevaux et un fumier de volailles. Ces matières organiques ont été soumises aux conditions climatiques naturelles pendant les quatre saisons.

Les résultats dégagés de cette étude nous permet de dire que la matière organique apportée a les propriétés physiques le pouvoir minéralisateur et le stockage de carbone organique du sol, avec une importance et une durabilité plus intense pour le fumier de volailles avec la dose 40%.

Dans un deuxième volet, notre étude porte particulièrement sur le suivi de l'évolution du niveau de la population microbienne d'un sol à savoir : actinomycètes, bactéries aérobies, azotobacters et champignons, sous une culture de blé et selon ses différents stades végétatifs après apport de fumier de chevaux à 20 et 40% de dose.

Par le biais de notre étude, les résultats obtenus ont révélé une densité microbienne plus intense et même d'avantage au niveau de la rhizosphère comparativement à un sol dépourvu de culture, aussi faut-il retenir que l'effet rhizosphérique optimal correspondant à la période de croissance végétative coïncidant pour notre cas au stade tallage. Nous avons également montré que la dose 20% de fumier qui semble la plus efficace, a engendré une bonne prolifération microbienne ; coïncidant au stade tallage de la culture de blé qui traduit une bonne activité physiologique. Comme on pouvait le prévoir, le comportement de la microflore

est lié non seulement aux stades phénologiques de croissance du blé mais également aux conditions pédoclimatiques.

Au terme de cette étude, il s'est avéré que sous l'effet des amendements réalisés, les caractéristiques du sol s'annoncent améliorées. En outre, la mesure de la population microbienne, approche biologique, renseigne sur le fonctionnement du sol et constitue un intéressant outil complémentaire d'aide à la décision en matière d'entretien de la fertilité.

Selon notre investigation, la comparaison des traitements réalisés nous conduit à mettre en relief les matières organiques qui ont amélioré les propriétés du sol notamment le fumier de volailles. Or, cette amélioration est temporaire et, pour avoir un effet durable, il faut procéder à un apport organique régulier en tenant compte des caractéristiques du sol, le type de culture et des doses appropriées afin de ne pas perturber la faune du sol. Nous montrons que les fumiers volailles sont des matières organiques bien adaptés aux objectifs agronomiques. D'où il est recommandé de l'apporter bien décomposé à 40% de dose (fractionné durant l'année, soit 20% en automne + 20% en printemps) afin d'éviter la sur-minéralisation de la matière organique du sol, d'améliorer son état physico-chimique et de préserver son équilibre biologique.

On s'aperçoit que les amendements organiques contribuent positivement à la protection et à la mise en valeur de nos ressources édaphiques, car ils apportent une première solution à une problématique actuelle qui est la perte de fertilité des sols et la diminution de leur capital organique en région semi-aride.

Dans le cadre de notre investigation, les effets bénéfiques du fumier sur certaines composantes du sol et de l'environnement ne sont pas constatés dès la première année de sa pratique mais probablement à long terme de l'évolution de la productivité et la qualité du sol. Pour cela préconisons d'autres expérimentations comme perspectives d'étude à long terme afin d'étayer davantage les résultats confirmant l'utilité de la pratique des amendements organiques dans le but d'une agriculture biologique en vue d'un développement durable.

A l'heure actuelle, non seulement le respect de la législation et des normes environnementales, mais encore et surtout le renchérissement très sensibles du coût des engrais minéraux imposent de considérer les déchets de ferme d'élevage comme des engrais de ferme, de véritables engrais, qui ont constitué pendant des millénaires la principale source de matières fertilisantes.

Limites et perspectives

Afin de mieux comprendre les mécanismes de décomposition de la matière organique en conditions réelles, il semble essentiel de mesurer directement l'activité biologique dans ces sols pour chaque type de fumier, d'étudier le type de populations microbiennes intervenant dans les processus et d'estimer le rendement des cultures. De plus, on peut se demander si une dose 30% par exemple donnerait des résultats meilleurs ou si, au contraire, elle provoquerait une inhibition de l'activité biologique (immobilisation d'azote par exemple), conduisant ainsi à une absence de structuration ou à une dégradation de la structure existante.

REFERENCES

BIBLIGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ait Abderrahim, S. (2016). Effet de la qualité des résidus de récoltes sur le stock organique et la densité microbienne des sols Cas de la région de Sebaine. Mémoire de Mémoire. Algérie : Université Ibn Khaldoun, Tiaret. 28-39p.
- Abiven, S. (2004). Relation entre caractéristiques des matières organiques apportées, dynamique de leur décomposition et évolution de la stabilité structurale du sol. Thèse de Doctorat. France : Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes, Option : Biologie et Agronomie INRA. 262p.
- Adenawoola, A.R. et Adejoro S.A. (2005). Residual effects of poultry manure and NPK fertilizer residues on soil nutrient and performance of jute (*Corchorus olitorius L.*). *Nigerian J. Soil Sci.*, **15**, 133-135. (<https://www.ajol.info/index.php/njss/article/view/37460>)
- Adden, A.K. (2004). Evaluation quantitative ce composts de biomasses diverses et leur phytotoxycite. Maîtrise .Université de Lomé. 44p.
- Adeyemo, C. (2008). Effect of poultry manure on soil physical and chemical properties, growth and grain yield of sorghum insouthwest Nigeria. *Am. Eur. J. Sust. Agric.*, **2(1)**, 72-77. (<http://www.aensiweb.net/AENSIWEB/aejsa/aejsa/2008/72-77>)
- Aggelides, S.M. et Londra, P.A. (2000). Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. *Bioresource Technology.*, **71**, 253-259. DOI : 10.1016/S0960-8524(99)00074-7
- Akroum, C. (1985). Localisation et caractérisation de la matière organique des sols. Définitions d'un modèle d'évolution. Thèse de Doctorat. Paris: I.N.A. 170p.
- Alexander, C. (1977). A pattern language: towns, duildings, construction. Oxford university press.
- Alongo, S. et Kombele, F. (2009). Evolution de la densité apparente et du rapport C/N du sol sous les variétés exostiques et locle de manioc dans les conditions naturelles de Kisangani (Rd Congo). *Annales de l'Institut Facultaires des sciences agronomiques de Yangambi.*, **1**, 197-214. (<https://www.researchgate.net/publication/278824992>)
- Ananyeva, N., Ivashchenko, K., Vasenev, V., Sushko, S., Seleznyova, S. et Kudayarov, V. (2019). Microbial C-availability and organic matter decomposition in urban soils of megapolis depend on functional zoning. *Soil and Environment.*, **38(1)**, 31-41. DOI:10.25252/SE/19/61524

- Angers, D.A. et Recous, S. (1997). Decomposition of wheat straw and rye residues as affected by particle size. *Plant and Soil.*, **189**, 197-203. DOI : 10.1023/A:1004207219678
- 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. France : INA-PG. 268p.
- Antoine, M. et Beatri, M. (1983). Etude expérimentale de la décomposition de l'humification en milieu percolatif. *Ed. AFES*, Paris. 50 p.
- Armas-Herrera, C.M., Dignac, M.F., Rumpel, C., Arbelo, C.D. et Chabbi, A. (2016). Management effects on composition and dynamics of cutin and suberin in topsoil under agricultural use. *European Journal of Soil Science.*, **67**, 360-373. DOI: 10.1111/ejss.12328
- Balesdent, J. (1996). Un point sur l'évolution des réserves organiques des sols en France, INRA, Paris. 245-260p.
- Bedjadj, S. (2011). Contribution à l'étude des caractéristiques microbiologiques des sols dans la région d'Ouargla (Cas de l'exploitation de l'université d'Ouargla). Algérie : Mémoire d'Ingénieur. Université Kasdi Merbah Ouargla. 06- 59p.
- Benbi, D.K., Biswas, C.R., Bawa, S.S., et Kumar, K. (1998). Influence of farmyard manure, inorganic fertilizer and weed control practices on some soil physical properties in a long-term experiment. *Soil Use Manage.*, **14**: 52-54. DOI: 10.1111/j.1475-2743.1998.tb00610.x
- Benaichata, L., Houari, M., Maatoug, M., Azzaoui, M., et Khadidja, N. (2019). Identification of rainfall onset for meteorological use regarding to region in the Algerian highlands. *Journal of Geology, Geography and Geoecology.*, **28(1)**, 106-113. DOI: 10.15421/111912
- Ben Hassine, H., Ben Salem, M., Bonin, G., Braudeau, E. et Zidi, C. (2003). Réserve utile des sols du Nord-Ouest tunisien, évolution sous culture. *Étude et Gestion des Sols.*, **10(1)**, 19 - 33. (Avalable : https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers15-05/010030831.pdf)
- Merabet, F. et Benyamina, N. (2016). Les variations au champ de la biomasse microbienne dans un sol cultivé « conséquences sur la réserve organique » (la région de Tiaret). Mémoire de Master. Algérie: Université Ibn Khaldoun, Tiaret. 37p.

- Bernal, M.P., Sánchez-Monedero, M.A., Paredes, C. et Roig, A. (1998). Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment.*, **69**, 175-189. DOI : 10.1016/S0167-8809(98)00106-6
- Bernoux, M. et Chevallier, T. (2013). Le carbone dans les zones sèches. Des fonctions multiples indispensables. Les dossiers thématiques du CSFD. *Agropolis International.*, **10**, 1-44. file:///C:/Users/User/Downloads/Fiche_10_CSFD_Francais%20(2).pdf
- Bonkowski, M. (2004). Protozoa and plant growth : the microbial loop in soil revisited. *New Phytologist.*, **162**, 617-631. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2004.01066.x
- Bohlen, J.P., Pelletier, M.D., Groffman, M.P., Fahey, J.T. et Fisk, C.M. (2004). Influence of earthworm invasion on redistribution and retention of soil carbon and nitrogen in northern temperate forests. *Ecosystems.*, **7**, 13-27. DOI: 10.1007/s10021-003-0127-y
- Bossuyt, H., Six, J. et Hendrix, P.F. (2004). Rapid incorporation of carbon from fresh residues into newly formed stable microaggregates within earthworm casts. *European Journal of Soil Science.*, **55**, 393-399. DOI: 10.1111/j.1351-0754.2004.00603.x
- Bossuyt, H., Six, J. et Hendrix, P.F. (2005). Protection of soil carbon by microaggregates within earthworm casts. *Soil Biology & Biochemistry.*, **37**, 251-258. DOI: 10.1016/j.soilbio.2004.07.035
- Bottinelli, N. (2010). Evolution de la structure et de la perméabilité d'un sol en contexte de non labour associé à l'apport d'effluent d'élevage : rôle de l'activité lombricienne. Thèse de Doctorat : Rennes: INRA. 22p.
- Bouchenafa, N., Oulbachir, K. et Kouadria, M. (2014). Effects of tillage on the physical and biological behavior of soil under lens culture (*Lens exculenta*) in the region of Tiaret, Algeria. *European Scientific Journal.*, **10**: 9. DOI:10.19044/esj.2014.v10n3p%25p
- Bottner, P. et Billes, G. (1987). La rhizosphère : site d'interactions biologiques *Rev.Ecol.Biol.Sol*, **24**, 369-388.
- Boukenouda, B. (1995). Etude de l'activité microbiologique du sol sous l'effet d'un apport organique et celui de la rhizosphère. Mémoire d'Ingénieur. Algérie : I.S.A, Tiaret. 69p.
- Boulmane, M., Makhloufi, M., Bouillet, J.P., Saint-André, L., Satrani, B., Halim, M. et Elantray-Tazi, S. (2013). Estimation du stock de carbone organique dans la chênaie

verte du Moyen Atlas marocain. *Acta Bot. Gallica.*, **157** (3), 451-467. DOI : 10.1080/12538078.2010.10516222

- Boughedaoui, I. (1989). Minéralisation du carbone organique du sol. *Biologie du sol*, INA, Alger, 20p.
- Brauman, A. (2000). Effect of gut transit and mound deposit on soil organic matter transformations in the soil feeding termite: a review. *European Journal of Soil Biology.*, **36**, 117-125. DOI: 10.1016/S1164-5563(00)01058-X
- Bremner J.M. et Mulvaney C.S. (1982). Nitrogen-total. In: Page A.L., Miller R.H. & Keeney D.R., eds. *Methods of soil analysis. Part II.* 2nd ed. Madison, WI, USA: *American Society of Agronomy Inc.*, 595-624.
- Brown, G.G. (1995). How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity. *Plant and Soil.*, **170**, 209-231. DOI :10.1007/BF02183068.
- Bruun, S., Stenberg, B., Breland, T.A., Gudmundsson, J., Henriksen, T.M., Jensen, L.S., Korsæth, A., Luxhøi, J., Palmason, A. et Salo, T. (2005). Empirical predictions of plant material C and N mineralization patterns from near infrared spectroscopy, stepwise chemical digestion and C/N ratios. *Soil Biology & Biochemistry.*, **37**, 2283-2296. DOI: 10.1016/j.soilbio.2005.04.006
- Busby, R.R., Allen, T.H. et Gebhart, D.L. (2007). Carbon and nitrogen mineralization of non-composted and composted municipal solid waste in sandy soils. *Soil Biology & Biochemistry.*, **39**, 1277-1283. DOI: 10.1016/j.soilbio.2006.12.003
- Calvet, R. (2003). *Le sol, Propriétés et fonctions : Constitution et structure, phénomènes aux interfaces. Tome1. Vol1. Ed France Agricole. Paris. 457p.*
- Calvet, R. (2011). *Le sol, Propriétés et fonctions : Phénomènes physiques et chimiques, applications agronomiques et environnementales. Tome2. Vol2. Ed France Agricole. Paris. 513p.*
- Cardinael, R., Chevallier, T., Barthès, B.J., Saby, N.P.A., Parent T., Dupraz, C. et Chenu, C. (2015). Impact of alley cropping agroforestry on stocks, forms and spatial distribution of soil organic carbon - a case study in a Mediterranean context. *Geoderma.*, 259–260, 288–299. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.06.015
- Celik, I., Ortas, I. et Kilic, S. (2004). Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. *Soil & Tillage Research.*, **78**, 59-67. DOI: 10.1016/S0167-1987(04)00049-2

- Chaballier, F.P., De Kherchove, V. et Marcary, H. S. (2006). Guide de la fertilisation organique à la réunion. 301p.
- Chang, C., Somemerfeld, T.G. et Entz, T. (1991). Soil chemistry after eleven annual applications of cattle feedlot manure. *Journal of Environmental Quality.*, **20**, 475-480
DOI : 10.2134/jeq1991.00472425002000020022x
- Chareau, C. (1975). Matière organique et propriétés biochimiques du sol dans la zone tropicale sèche d'Afrique occidentale, Bul, pédologique de la FAO, n° 27, Rome. 305-323 p.
- Chauvel, A. (1977). Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées : Office de la recherche scientifique et technique outremer.
- Chaussod, R. et Nicolardot, B. (1982). Mesure de la biomasse microbienne dans les sols cultivés. *Rev.Ecol.Biol .sol.*, **19 (4)**, 501-512. (Avaible at: <https://core.ac.uk/download/pdf/39860982>)
- Chenu, C. et Plante, A.F. (2006). Clay-sized organo-mineral complexes in a cultivation chronosequence : revisiting the concept of the 'primary organo-mineral complex'. *European Journal of Soil Science.*, **57**, 596-607. DOI: 10.1111/j.1365-2389.2006.00834.x
- Chenu, C., Klumpp, K., Bispo, A., Angers, D., Colnenne, C. et Metay, A. (2014). Stocker du carbone dans les sols agricoles : évaluation de leviers d'action pour la France. *Innovations Agronomiques.*, **37**, 23-37. (<https://www6.inrae.fr/ciag/content/download/5353/41503/file/Vol37-3-Chenu>)
- Chevallier, T., Voltz, M., Blanchart, E., Chotte, J.L., Eschenbrenner, V., Mahieu, M. et Albrecht, A. (2000). Spatial and temporal changes of soil C after establishment of a pasture on a long-term cultivated vertisol (Martinique). *Geoderma.*, **94**, 43-58. DOI : 10.1016/S0016-7061(99)00064-6
- Chevallier, T., Blanchart, E., Girardin, C., Mariotti, A., Albrecht, A. et Feller, C. (2001). The role of biological activity (roots, earthworms) in medium-term C dynamics in vertisol under a *Digitaria decumbens* (Gramineae) pasture. *Applied Soil Ecology.*, **16**, 11-21. DOI: 10.1016/S0929-1393(00)00102-5
- Christensen, B.T. (2001). Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *European Journal of Soil Science.*, **52**, 345-353. DOI: 10.1046/j.1365-2389.2001.00417.x

- Citeau, L., Bispo, A., Bardy, A. et King, D. (2008). Gestion durable des sols. *Ed Quae*. 336p.
- Collins, H. P., Elliott, E.T., Paustian, K., Bundy, L.G., Dick, W.A., Huggins, D.R. et Paul, E.A. (2000). Soil carbon pools and fluxes in long-term Corn Belt agroecosystems. *Soil Biology and Biochemistry.*, **32**, 157–168. DOI : 10.1016/S0038-0717(99)00136-4
- Clément, M. et Lozet, J. (2011). Dictionnaire encyclopédique des sciences du sol. *Ed TEC & DOC*. 733p.
- Conant, R.T., Paustian, K. et Elliott, E.T. (2001). Grassland management and conversion into grassland : effects on soil carbon. *Ecological Applications.*, **11**, 343-355. DOI : 10.1890/1051-0761(2001)011
- Coppens, F., Garnier, P., Findeling, A., Merckx, R. et Recous, S. (2007). Decomposition of mulched versus incorporated crop residues: Modelling with PASTIS clarifies interactions between residue quality and location. *Soil Biology & Biochemistry.*, **39**, 2339-2350. (http://publications.cirad.fr/une_notice.php?dk=539581)
- CPVQ (Conseil des productions végétales au Québec). (2000). Guide des pratiques de conservation en grandes cultures. Guide technique. Québec. 400p.
- CRA (Chambre régionale de l’agriculture). (2011). Guide des produits organiques utilisables en Languedoc-Rousillon. Tome1. 122p.
- Decaëns, T., Galvis, J.H. et Amezcuita, E. (2001). Propriétés des structures produites par les ingénieurs écologiques à la surface du sol d’une savane colombienne. *Comptes Rendus de l’Académie des Sciences de Paris. Série III - Sciences de la Vie*. 324-477p.
- Dari, R. (2013). Dénombrement de la biomasse microbienne dans les sols arides, l'exemple des sols salins sous deux types de cultures. Mémoire d'Ingéniorat. Algérie : Université Kasdi Merbah d’Ouargla. 43p.
- Davet, P. (1996). Vie microbienne du sol et production végétale. *Ed INRA*. Paris. 106-202p.
- Deksissa, T., Short, I. et Allen, J. (2008). Effect of soil amendment with compost on growth and water use efficiency of Amaranth. *In: Proceedings of the UCOWR/NIWR Annual Conference, International Water Research Challenges for the 21st Century and Water Resources Education, July 22-24, 2008, Durham, NC, USA.*

- Delgado, M., Rodríguez, C., Martín, J.V, Miralles, R. et Alonso, F. (2012). 'Environmental Assay on the Effect of Poultry Manure Application on Soil Organisms in Agro Ecosystems'. *The Science of the Total Environment*.
- Demolon, A. (1968). Principe d'agronomie, croissances des végétaux cultivés. *Ed Dunod*. Paris. 196, 576p.
- Derrien, D., Dignac, M.F., Basile-Doelsch, I., Barot, S., Cécillon, L., Chenu, C., Chevallier, T., Freschet, G.T., Garnier, P., Guenet, B., Hedde, M., Klumpp, K., Lashermes, G., Maron, P.A., Nunan, N., Roumet, C. et Barré, P. (2016). Stocker du C dans les sols : Quels mécanismes, quelles pratiques agricoles, quels indicateurs ? *Étude et Gestion des Sols.*, **23**, 193 – 223. (<http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010070578>)
- Don, A., Steinberg, B., Schöning, I., Pritsch, K., Joschko, M., Gleixner, G. et Schulze, E.D. (2008). Organic carbon sequestration in earthworm burrows. *Soil Biology & Biochemistry.*, **40**, 1803-1812. DOI:10.1016/j.soilbio.2008.03.003
- Doucet, R. (2006). Le climat et les sols agricoles. *Ed Bergeret A.C.* Canada. 172-173 p.
- Dridi, B. et Toumi, C. (1999). Influence des amendements organiques et d'apports de boues sur les propriétés d'un sol cultivé (Influence of organic amendments and sludge inputs on the properties of a cultivated soil). *Etude et Gestion des sols.*, **6(1)**, 7-14. (http://www.afes.fr/wp-content/uploads/2017/10/EGS_6_1_DRID)
- Dommergues, Y.R. et Mangenot, D. (1970). Écologie microbienne du sol. *Ed Masson & Cie*. 796p.
- Duchaufour, P. (1983). Pédogénèse et classification. *Ed Masson*. Paris. 88-224p.
- Duchaufour, P. (2001). Introduction à la science du sol : Sol, végétation, environnement. Paris. Dunod. 31p.
- Eglin, T., Ciais, P., Piao, S.L., Barre, P., Bellassen, V., Cadule, P., Chenu, C., Gasser, T., Koven, C., Reichstein, M. et Smith, P. (2010). Historical and future perspectives of global soil carbon response to climate and land-use changes. *Tellus-B.*, **62**, 700-718. (Available at: <https://abdn.pure.elsevier.com/en/publications/historical-and-future-perspectives-of-global-soil-carbon-response>)
- Elherradi, E., Soudi, B. et Elkacemi, K. (2003). Evaluation de la minéralisation de l'azote de deux sols amendés avec un compost d'ordures ménagères. *Étude et Gestion des Sols.*, **10 (3)**, 139-154. (Available at : http://www.afes.fr/wp-content/uploads/2017/10/EGS_10_3_elherradi)

- Etema, C. et Wardle, D.A. (2002). Spatial soil ecology. *Trends in Ecology & Evolution.*, **17**, 177-183. DOI: 10.1007/s12524-016-0624
- Fangueiro, D., Chadwick, D., Dixon, L. et Bol, R. (2007). Quantification of priming and CO₂ emission sources following the application of different slurry size fractions to a grassland soil. *Soil Biology & Biochemistry.*, **39**, 2608-2620. DOI: 10.1016/j.soilbio.2007.05.012
- FAO (Food and agriculture organization). (1992). Fichier technique de la fixation symbiotique de l'azote : légumineuses-rhizobium. Rome, Italy.
- FAO. (2006). Guidelines for soil description. *Fourth Ed.* Rome, Italy. p.98.
- FAO. (2015). State of food and agriculture. Social protection and agriculture: Breaking the cycle of rural poverty. FAO, Rome, Italy.
- FAO. (2018). Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems – Guidelines for assessment (Draft for public review). Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership. Rome, Italy. 64p.
- Fierer, N., Bradford, M.A. et Jackson, R.B. (2007). Toward an ecological classification of soil bacteria. *Ecology.*, **88(6)**, 1354-1364. DOI : 10.1890/05-1839
- Figarol, I.M. (2001). Bien valoriser les fumiers de volailles. *La France Agricole* N° 2916.
- Frey, S., Elliott, E. et Paustin, K. (1999). Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two climatic gradients. *Soil Biology and Biochemistry.*, **31**, 573-585. DOI:10.1016/S0038-0717(98)00161-8
- Fruit, L., Recous, S. et Richard, G. (1999). Plant residue decomposition : effect of soil porosity and particle size. In Berthelin, J., Huang, P.M., Bollag, J.-M. and Andreux, F. (eds), Effect of mineral-organic microorganism interactions on soil and freshwater environments. 396p.
- Gallot, G. (1983) .Les interactions sol-racine. Incidence sur la nutrition minérale. *Ed INRA*. Paris.325p.
- Garcia-Orenes, F., Guerrero, C., Mataix-Solera, J., Navarro-Pedreño, J., Gomez, I. et Mataix- Beneyto, J. (2005). Factors controlling the aggregate stability and bulk density in two different degraded soils amended with biosolids. *Soil & Tillage Research.*, **82**, 65-76. DOI: 10.1016/j.still.2004.06.004

- Geoffroy, S. (2007). Fonctionnement et évolution pédogénétiques de Technosols issus d'un procédé de construction de sol. INRA France.103p.
- Gobat, J.M., Aragno, M. et Matthey, W. (2010). Le sol vivant. 3^{ème} Ed. Presse polytechnique et Universitaire romands Lausanne. Italie. 817p.
- Goleman, D.C. (1985). Through a ped dorker on ecological assessment of root-soil-microbiol-formnat interactions. *Black Well scientific publication Ed.* London. 21p.
- Gregorich, E.G., Rochette, P., Hopkins, D.W., McKim, U.F. et St-Georges, P. (2006). Tillage induced environmental conditions in soil and substrate limitation determines biogenic gas production. *Soil Biology & Biochemistry.*, **38**, 2614-2628. DOI: 10.1016/j.soilbio.2006.03.017
- Grosbellet, C. (2008). Evolution and effects on soil structure of organic matter brought in large quantities. *INRA, Sagah Angers.* Paris.
- Hati, K.M. (2006). Effect of inorganic fertilizer and farmyard manure on soil physical properties, root distribution, and water use efficiency of soybean in vertisols of central India. *Bioresour. Technol.*, **97(16)**, 2182-2188. DOI: 10.1016/j.biortech.2005.09.033
- Hedde, M., Lavelle, P., Joffre, R., Jimenez, J.J. et Decaens, T. (2005). Specific functional signature in soil macro-invertebrate biostructures. *Functional Ecology.*, **19**, 785-793. (<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01608549/document>)
- Hernanz, J.L., Lopez, R., Navarrete, L. et Anchez-Gir, D. (2002). Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil & Tillage Research* 66: 129-41. (<https://core.ac.uk/download/pdf/36112929>)
- IBM Corp. Released 2013. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Iqbal, M., Khan, A.G., UL.Hassan, A., Raza, M.W. et Amjad, M. (2012). Soil organic carbon, nitrate contents, physical properties and maize growth as influenced by dairy manure and nitrogen rates. *Int. J. Agric. Biol.*, **14**, 20-28. (Avaible : <http://www.fspublishers.org/>)
- Izigler, D. et Hédut, M. (1991). Engrais de ferme : valeur fertilisante, gestion environnement, Rapport. 35p.
- Jedidi, N., Van Cleemput, O. et M'Hiri, A. (1995). Quantification des processus de minéralisation et d'organisation de l'azote dans un sol en présence d'amendements organiques. *Canadian Journal of Soil Science*, 75(1). DOI:10.4141/cjss95-011

- Jingzhe, W., Tashpolat, T., Jianli, D., Dong, Z., Wei, L. et Fei, W. (2017). Quantitative Estimation of Organic Matter Content in Arid Soil Using Vis-NIR Spectroscopy Preprocessed by Fractional Derivative. *Journal of Spectroscopy.*, 1:9. DOI: 10.1155/2017/1375158
- Jiménez, J.J., Decaëns, T. et Lavelle, P. (2008). C and N concentrations in biogenic structures of a soil-feeding termite and a fungus-growing ant in the Colombian savannas. *Applied Soil Ecology.*, **40**, 120-128. DOI: 10.1016/j.apsoil.2008.03.009
- Jones, D.L., Nguyen, C. et Finlay, R.D. (2009). Carbon flow in the rhizosphere : carbon trading at the soil-root interface. *Plant and Soil.*, **321**, 5-33. DOI : 10.1007/s11104-009-9925-0
- Jones, A., Breuning-Madsen, H., Brossard, M., Dampha, A., Deckers, J., Dewitte, O., Gallali, T., Hallett, S., Jones, R., Kilasara, M., Le Roux, P., Micheli, E., Montanarella, L., Spaargaren, O., Thiombiano, L., Van Ranst, E., Yemefack, M. et Zougmore R., (eds.). (2013). Soil Atlas of Africa. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg. 141 p.
- Jouquet, P., Ngo, T.P., Nguyen, H.H., Henry-des-Tureaux, T., Chevallier, T. et Duc, T.T. (2011). Laboratory investigation of organic matter mineralization and nutrient leaching from earthworm casts produced by *Amyntas khami*. *Applied Soil Ecology.*, **47**, 24-30. DOI : 10.1007/s13593-017-0421-2
- Juarez, S., Nunan, N., Duday, A. C., Pouteau, V., Schmidt, S., Hapca, S. et Chenu, C. (2013). Effects of different soil structures on the decomposition of native and added organic carbon. *European Journal of Soil Biology.*, **58**, 81-90. (<https://rke.abertay.ac.uk/en/publications/effects-of-different-soil-structures-on-the-decomposition-of-nati>)
- Kara-Mitchou, A.K., Parisod, J.F and Neyroud, J.A. (2004). Le potentiel de minéralisation de l'azote du sol. *Revue suisse Agric.*, 36 (6): 259-264. (Available at : file:///C:/Users/User/Downloads/3308-6857-fr-pub%20(1))
- Khaleel, R., Reddy, K.R. et Overcash, M.R. (1981). Changes in soil physical properties due to organic waste applications. *Journal of Environmental Quality.*, **10**, 133-141. DOI :10.2134/jeq1981.00472425001000020002x
- Killham K., Amato M. et Ladd J. N. (1993). Effect of substrate location in soil and soil pore-water regime on carbon turnover. *Soil Biology & Biochemistry.*, **25**, 57-62. DOI : 10.1016/0038-0717(93)90241-3

- Koull, N. et Halilat, M.T. (2016). Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région d'Ouargla (Algerie). *Etude et Gestion des Sols.*, **23**, 915-923. (http://www.afes.fr/wpcontent/uploads/2017/09/EGS_23_1_2301_koull_9_20_HDrefait2)
- Kristensen, H.L., Deboz, K. et McCarthy, G.W. (2003). Short-term effects of tillage on mineralization of nitrogen and carbon in soil. *Soil Biology & Biochemistry.*, **35**, 979-986. DOI: 10.1016/S0038-0717(03)00159-7
- Hati, K.M., Mandal, K.G., Misra, A.K., Ghosh, P.K et Bandyopadhyay, kk. 2006. Effect of inorganic fertilizer and farmyard manure on soil physical properties, root distribution, and water use efficiency of soybean in vertisols of central India. *Bioresour. Technol.*, 97(16), 2182-2188. Doi: 10.1016/j.biortech.2005.09.033
- Henriksen, T.M. et Breland, T.A. (2002). Carbon mineralization, fungal and bacterial growth, and enzymes activities as affected by contact between crop residues and soil. *Biology and Fertility of Soils.*, **35**, 41-48. DOI : 10.1007/s00374-001-0438-0
- Hillel, D. (1974). L'eau et le sol : principes et processus physiques, Poly Académie, Press. Newyourk. 375p.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma.*, **123**, 1-22. DOI: 10.1126/science.1097396
- Lal, R. (2006). Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. *Land Degrad. Dev.*, **17**, 197-209. DOI: 10.1002/ldr.696
- Lampurlanes, J., Angas, P. et Cantero-Martinez, C. (2001). Root growth, soil water content and yield of barley under different tillage systems on two soils in semiarid conditions. *Field Crops Res.*, **69**, 27-40. DOI: 10.1016/S0378-4290(00)00130-1
- Lauber, C.L., Strickland, M.S., Bradford, M.A. et Fierer, N. (2008). The influence of soil properties on the structure of bacterial and fungal communities across land-use types. *Soil Biology and Biochemistry.*, **40**, 2407, 2415. DOI: 10.1016/j.soilbio.2008.05.021
- Le Bayon, R.C. et Binet, F. (2006). Earthworms change the distribution and availability of phosphorous in organic substrates. *Soil Biology & Biochemistry.*, **38**, 235-246. DOI: 10.1016/j.soilbio.2005.05.013
- Leclerc, B. (2001). Guide des matières organiques. Editions Techniques de l'ITAB (Institut Technique de l'Agriculture Biologique). 96p.

- Lefèvre, R. (2015). Matière organique stable du sol, dynamique et mécanismes de (dé) stabilisation. Thèse de Doctorat. France : Université Pierre et Marie Curie. 07-140p.
- Lemenih, M. et Itanna, F. (2004). Soil carbon stocks and turnovers in various vegetation types and arable lands along an elevation gradient in southern Ethiopia. *Geoderma*, 123: 177-88. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.02.004
- Le Quéré, C., Moriarty, R., Andrew, R.M., Peters, G.P., Ciais, P., Friedlingstein, P., Jones, S.d., Sitch, S., Tans, P., Arneeth, A., Boden, T.A., Bopp, L., Bozec, Y., Canadell, G.P., Chini, L.P., Chevallier, T., Cosc, C.E., Harris, I., Hoppema, M., Houghton, R.A., House, J.I., Jain, A.K., Johannessen, T., Kato, E., Keeling, R.F., Kitidis, V., Goldewijk, K.K., Kove, C., Landa, C.S., Landschutzer, P., Lenton, A., Lima, I.D., Marland, G., Mathis, J.T., Metzl, N., Nojiri, Y., Olsen, A., Ono, T., Peng, S., Peters, W., Pfeil, B., Poulter, P., Raupach, M.R., Regnier, P., Rodenbeck, C., Saito, S., Salisbury, J.E., Schuster, U., Schwinger, J., Seferian, R., Segsneider, J., Steinhoff, T., Stocker, J.E., Sutton, A.J., Takahashi, T., Tilbrook, B., van der Werf, G.R., Viovy, G.R., Wang, Y.P., Wanninkhof, R., Wiltshire, A. et Zeng, N. (2015). Global carbon budget 2014. *Earth System Science Data.*, 7, 47-85. DOI: 10.5194/essd-7-47-2015
- Lynch, J. (1982). Interaction between bacteria and plants in the root environment. *Ed Bactéria and plants* .Academic press. London. 63-68 p.
- Maier, R.M., Pepper, I.L. et Gerba, C.P. (2009). Environmental microbiology. Amsterdam : Elsevier/Academic Press. (https://booksite.elsevier.com/samplechapters/9780123705198/Sample_Chapters/01~Front_Matter)
- Mallouhi, N. (1980). Contribution à l'étude de l'influence de la salinité sur l'évolution de la matière organique. Thèse de Doctorat. INPL, Nancy. 127p.
- Mathieu, C., Pieltain, F. et Jeanroy, E. (2003). Analyse chimique du sol : *Méthodes choisies, Ed Tec & Doc*. Paris.18-40 p.
- Mathieu, C., Pieltain, F. et Jeanroy, E. (2003). Analyse physique du sol : *Méthodes choisies, Ed Tec & Doc. Paris*.10-24 p.
- Mathieu, C. et Pieltain, F. (2009). Analyses chimiques des sols. *Ed TEC & DOC*. Paris. 1,43p.
- Mariani, L., Jimenez, J.J., Asakawa, N., Thomas, R.J. et Decaens, T. (2007a). What happens to earthworm casts in the soil? A field study of C and N dynamics in

neotropical savannahs. *Soil Biology & Biochemistry.*, **39**, 757-767. DOI: 10.1016/j.soilbio.2006.09.023

- Mariani, L., Jimenez, J.J., Torres, E.A., Amezquita, E. et Decaens, T. (2007b). Rainfall impact effects on ageing casts of a tropical anecic earthworm. *European Journal of Soil Science.*, **58**, 1525-1534. DOI: 10.1111/j.1365-2389.2007.00960.x
- McCoy, E.L. (1998). Sand and organic amendment influences on soil physical properties related to turf establishment. *Agronomy Journal.*, **90**, 411-419. (<https://core.ac.uk/download/pdf/38897185>)
- Mermound, A. (2010). Cours de physique du sol. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Ouagadougou & Lausanne.
- Mikol, P. (1987). Mycorrhizae under tropical stresses. *Angev. Botanik.*, 61: 15-23.
- Miltner, A., Bombach, P., Schmidt-Brucken, B. et Kastner, M. (2012). SOM genesis : microbial biomass as a significant source. *Biogeochemistry.*, **111**, 41-55. (<https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201400065944>)
- Miller, A.E., Schimel, J.P., Meixner, T., Sickman, J.O. et Melack, J.M. (2005). Episodic rewetting enhances carbon and nitrogen release from chaparral soils. *Soil Biology & Biochemistry.*, **37** : 2195-2204. DOI: 10.1016/j.soilbio.2005.03.021
- Mohammad, W., Shah, Z., Shah, S.M. et Iqbal, M.M. (2003). Wheat yield, fertilizer N utilization and water use efficiency as influenced by tillage and P levels under rainfed conditions. *Pak. J. Soil Sci.*, **22**(1), 11-18. (<http://www.se.org.pk/>)
- Mohammad, W., Shah, S.M., Shehzadi, S. et Shah, S.A. (2012). Effect of tillage, rotation and crop residues on wheat crop productivity, fertilizer nitrogen and water use efficiency and soil organic carbon status in dry area (rainfed) of north-west Pakistan. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, **12**(4), 715-727. DOI: 10.4067/S0718-95162012005000027
- Moreno, M. T., Audesse, P., Giroux, M., Frenette, N. and Cescas, M. (2001). Comparaison entre la détermination de la matière organique des sols par la méthode de Walkley-Black et la méthode de perte au feu, *Agrosol.*, **12** (1) : 49-58.
- Moumene, T. (1993). Contribution à la connaissance des sols céréaliers de la région de Tiaret. Caractérisation de la matière organique et étude minéralogique. Thèse de Magister. Alger: INA. 210 p.

- Monica, O.H., Philip, A. et Stansly, P. (2011). Soil chemical, Physical, and Biological Properties of a Sandy Soil Subjected to long-Term Organic Amlendments. *Journal of Sustainable Agriculture.*, **53(3)**, 243-259. DOI : 10.1080/10440046.2011.554289
- Moghiseh, E., Heidari, A. et Ghannadi, M. (2013). Impacts of deforestation and reforestation on soil organic carbon storage and CO₂ emission. *Soil Environ.*, **32(1)**, 01-13. (<http://www.se.org.pk/>)
- Mora, P., Miambi, E., Jimenez, J.J., Decaens, T. et Rouland, C. (2005). Functional complement of biogenic structures produced by earthworms, termites and ants in the neotropical savannas. *Soil Biology & Biochemistry.*, **37**, 1043-1048. DOI: 10.1016/j.soilbio.2004.10.019
- Morel, R. (1996). Les sols cultivés. 2^{ème} Ed Lavoisier TEC&DOC. Paris. 389p.
- Musy, A. et Soutter, M. (1991). Physique du sol. Ed Presses polytechniques et universitaires romandes. 331p.
- Nouar, B. (2015). Contribution à l'étude de la diversité floristique et biogéographique des matorrals selon un gradient altitudinal des monts de TIARET (ALGERIE). Thèse de Magister. Tlemcen : Université Abou Bakr Belkaid. 13-116p.
- Neyroud, J.A. et Chauvin, B. (2000). Mesure de l'azote minimum pour la gestion de la fumure azotée et l'appréciation du risque de perte par lixiviation au niveau parcellaire. *Revue suisse Agric*, **32 (4)**, 153-158.
- Nyamangara, J., Gotosa, J. et Mpfu, S.E. (2001). Cattle manure effects on structural stability and water retention of a granitic sandy soil in Zimbabwe. *Soil & Tillage Research.*, **62**, 157-162. DOI: 10.1016/S0167-1987(01)00215-X
- Obi, M.E. et Ebo, P.O. (1994). The effects of organic and inorganic amendments on soil physical properties and maize production in a severely degraded sandy soil in southern Nigeria. *Bioresource Technology.*, **51**, 117-123. DOI: 10.1016/0960-8524(94)00103-8
- Odlare, M., Pell, M. et Svensson, K. (2008). Changes in soil chemical and microbiological properties during 4 years of application of various organic residues. *Waste Manage.*, **28**, 1246-1253. DOI: 10.1016/j.wasman.2007.06.005
- Oiu, L., Zhang, X., Cheng, J. et Yin, X. (2010). Effects of black locust (*Robinia pseudoacacia*) on soil properties in the loessial gully region of the loess Plateau, China. *Plant and Soil.*, **332**, 207-217. DOI: 10.1007/s11104-010-0286-5

- Oulbachir, K. (1997). Contribution à l'étude microbiologique des sols rouges sous différents systèmes de culture en conditions semi-arides en Algérie. Thèse de magister. Algérie : Université de Tiaret. 20-40p.
- Oulbachir, K. (2010). Écologie microbienne des sols sous différents compartiments granulométriques et différents stades bioclimatiques. Thèse de Doctorat. Algérie: Université d'Oran. 50-72p.
- Oulbachir, K., Zoubeidi, M., Kouadria, M. et Bouchenafa, N. (2014). Pratiques de conservation des agro systèmes en vue du développement durable. *Mater Environment Science journal.*, 5: 2. (<http://www.jmaterenvirosci.com/>)
- Oustani, M. (2006). Contribution à l'étude de l'influence des amendements organiques (fumier de volaille et fumier de bovins) sur l'amélioration des propriétés microbiologiques des sols sableux non salés et salés dans les régions sahariennes (Cas d'Ouargla). Thèse de Magister. Algérie : Université Kasdi Merbah d'Ouargla.
- Pascual, J.A., Hernandez, T., García, C. et Ayuso, M. (1998). Enzymatic activities in an arid soil amended with urban organic wastes: Laboratory experiment. *Bioresource Technology.*, **64**, 131-138. DOI: 10.1016/S0960-8524(97)00171-5
- Paustian, K., Andren, O., Janzen, H., Lal, R., Smith, P., Tian, G., Tiessen, H., Van Noordwijk, M. et Woomer, P.L. (1997). Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. *Soil use. Manage.*, **13**, 230-244. DOI: 10.1111/j.1475-2743.1997.tb00594.x
- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G.P. et Smith, P. (2016). Climate-smart soils. *Nature.*, **532**, 49-57. DOI: 10.1038/nature17174
- Pellerin, S., Bamière, L., Angers, D., Béline, F., Benoît, M., Butault, J.P., Chenu, C., Colnenne-David, C., De Cara, S., Delame, N., Doreau, M., Dupraz, P., Faverdin, P., Garcia-Launay, F., Hassouna, M., Hénault, C., Jeuffroy, M.H., Klumpp, K., Metay, A., Moran, D., Recous, S., Samson, E., Savini, I. et Pardon, L. (2013). Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques. Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 92 p.
- Peltre, C., Christensen, B.T., Dragon, S., Icard, C., Kätterer, T. et Houot, S. (2012). RothC simulation of carbon accumulation in soil after repeated application of widely different organic amendments. *Soil Biology & Biochemistry.*, **52**, 49-60. DOI: 10.1016/j.soilbio.2012.03.023
- Petard, J. (2003). Les Méthodes d'analyse, Tome 1, Analyses De Sols.

- Petit, J. et Jobin, P. (2005). La fertilisation organique des cultures. 48p.
- Pinheiro, M., Garnier, P., Beguet, J., Martin-Laurent, F. et Vieubl -Gonod, L. (2015). The millimetre-scale distribution of 2,4-D and its degraders drives the fate of 2,4-D at the soil core scale. *Soil Biology & Biochemistry.*, **88**, 90-100. DOI: 10.1016/j.soilbio.2015.05.008
- Plante, A.F. et McGill, W.B. (2002). Soil aggregate dynamics and the retention of organic matter in laboratory-incubated soil with differing simulated tillage frequencies. *Soil & Tillage Research.*, **66**, 79-92. (<https://hal.inrae.fr/hal-02681799>)
- Pochon, J. et Tardieux, M. (1962). Technique d'analyse en microbiologie du sol, Coll. Tech. de base, Paris, *Ed de la tourelle*. 111p.
- Polveche, J. (1960). Les formations à ammonites du Malm dans le bassin Tellien au nord de Tiaret; leur importance pour les corrélations avec les séries de l'avant-pays de l'ouest Algériens. (3^{eme} symposium international de stratigraphie du jurassique.)
- Pousset, J. 2002. Engrais verts et fertilité des sols. Paris, 2^{eme} *Ed Agrid cisions*. 305p.
- Prescott, L.M., Sherwood, L.M., Woolverton, C.J., Harley, J.P., Klein, D.A. et Willey, A. (2010). Microbiologie. 3^{eme} *Ed De Boeck*. Paris. 1200p.
- R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (<https://www.R-project.org/>.)
- Ruamps L. S., Nunan N. et Chenu C. (2011). Microbial biogeography at the soil pore scale. *Soil Biology & Biochemistry.*, **43**, 280-286. DOI: 10.1016/j.soilbio.2010.10.010
- Rautaray, S.K., Ghosh, B.C. et Mitra, B.N. (2003). Effect of fly ash, organic wastes and chemical fertilizers on yield, nutrient uptake, heavy metal content and residual fertility in rice-mustard cropping sequence under acid lateritic soils. *Bioresour. Technol.*, **90**, 275-283. DOI: 10.1016/s0960-8524(03)00132-9
- Rawls, W.J., Pachepsky, Y.A., Ritchie, J.C., Sobecki, T.M. et Bloodworth, H. (2003). Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma.*, **116**, 61-76. DOI: 10.1016/S0016-7061(03)00094-6
- Rebaty, N., Bouchenafa, N., Oulbachir, K. et Svideniuk, M. (2019). Remote sensing and ground based assesment of distribution of land cover parameters in the catchment area of Wadi el K'sob M'sila (Algeria). *Journal of Geology, Geography and Geology.*, **27(3)**, 485-494. DOI: 10.15421/111872

- Recous, S., Robin, D., Darwis, D. et Mary, B. (1995). Soil inorganic N availability : effect on maize residue decomposition. *Soil Biology & Biochemistry.*, **7**, 1529-1538. DOI: 10.1016/0038-0717(95)00096-W
- Renouf, V., Lonvaud, A. et Strehaiano P. (2010). Microbiologie du vin : Bases fondamentales et applications. *Ed TEC & DOC*, Lavoisier, Paris. 366P.
- Rodrigo, A., Recous, S., Néel, C. et Mary, B. (1997). Modelling temperature and moisture effects on C-N transformations in soils: comparison of nine models. *Ecological Modelling.*, **102**, 325-339. (https://www.researchgate.net/profile/Sylvie_Recous/publication/223540109_Modelling_temperature_and_moisture_effects_on_C_N_transformations_in_soils_comparison_of_nine_models/links/59f854d1aca272607e2db919/Modelling-temperature-and-moisture-effects-on-C-N-transformations-in-soils-comparison-of-nine-models)
- Roger, P. et Garcia, J.L. (2001). Microbiologie du sol. Institut Fédératif de Recherche en Biotechnologie Agro-Industrielle de Marseille. 193p.
- Sahrawat, K.L. (2004). Organic matter accumulation in submerged soils. *Advances in Agronomy.*, **81**, 169-201. DOI: 10.1016/S0065.2113(03)81004-0
- Samreen, S., Zahir, S. et Wisal, M. 2017. Impact of organic amendments on soil carbon sequestration, water use efficiency and yield of irrigated wheat. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ « BASE ».*, **21 (1)**, 36-49. DOI: 10.25518/1780-4507.13435
- Schmidt M.W.I., Torn M.S., Abiven S., Dittmar T., Guggenberg G., Janssens I.A., Kleber M., Kögel-Knabner I., Lehmann J., Manning M., Nannipieri P., Rasse D.P., Weiner S. et Trumbore S.E. (2011). Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature.*, **478**, 49-56.
- Shan, J., Brune, A. et Ji, R. (2010). Selective digestion of the proteinaceous component of humic substances by the geophagous earthworms *Metaphire guillelmi* and *Amyntas corrugatus*. *Soil Biology & Biochemistry.*, **42**, 1455-1462. (<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20103274869>)
- Siboukeur, A. (2013). Assessment of the fertilizing value of different types of manure. Mémoire de Master. Algérie: Université Kasdi Merbah, Ouargla. 15-45 p.
- Six, J., Elliott, E.T. et Paustian, K. (2000). Soil macroaggregates turnover and microaggregates formation : a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology & Biochemistry.*, **32**, 2099-2103. DOI: 10.1016/S0038-0717(00)00179-6

- Six, J., Connant, R.T., Paul, E.A. et Paustian, K. (2002). Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil.*, **241**, 155–176. DOI: 10.1023/A:1016125726789
- Six, J., Bossuyt H., Degryze, S. et Denef, K. (2004). A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research.*, **79**, 7-31. DOI: 10.1016/j.still.2004.03.008
- Smith, C.J., Chalk, P.M., Crawford, D.M. et Wood, J.T. (1994). Estimating gross nitrogen mineralization and immobilization rates in anaerobic and aerobic soil suspensions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **58**, 1652-1660. DOI: 10.2136/sssaj1994.03615995005800060011x
- Sposito, G. (1997). *The Chemical Composition of Soils. The Chemistry of Soils.* Oxford University Press. New-York. 3-27 p.
- Soltner, D. (2005). *Les bases de la production végétale. Le sol et son amélioration. Tome I, 24^{ème} Ed;* collection Sciences et techniques agricoles.
- Soltanpour P.N. et Schwab A.P. (1977). A new soil test for simultaneous extraction of micro and macro nutrients in alkaline soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **9**: 195-207. doi.org/10.1080/00103627709366714
- Sophie, D. et Christian, I. (2010). Effet d'apport de différents amendements organiques sur les propriétés du sol- Bilan de 15 années d'essai en culture légumière à la SERAIL. *Echo-MO.*, **81**, 1-5. (http://itab.asso.fr/downloads/echo-mo/article_echo_mo_81)
- Tahani, A. (2009). Regard sur des expériences en Algérie et en Egypte. Perspectives des politiques agricoles en Afrique du Nord. Article scientifique. *Options Méditerranéennes*, **B 64**, 144-172. (available at : file:///C:/Users/User/Downloads/programme_perspectives-des-politiques-agricoles-en-afrique-du-nord)
- Toutain, G. (1979). *Element d'agronomie saharienne de la recherche au développement*, I.N.R.A, Paris. 276p.
- Ullah, R., Lone, M.I., Mian, S.M., Ali S., Ullah K.S., Sheikh A.A. et Ali I. (2014). Impact of seasonal variations and cropping systems on soil microbial biomass and enzymatic activities in slope gradient moisture stressed soils of Punjab-Pakistan. *Soil and Environment.*, **31(1)**, 21–29. (<http://www.se.org.pk/>)

- Van-Camp, L. (2004). Reports of the technical working groups established under the thematic strategy for soil protection. EUR21319 EN/3. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- van der Heijden, M.G., Bardgett, R.D. et van Straalen, N.M. (2008). The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters.*, **11**, 296-310. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2007.01139.x
- Vasconcelos, R.F.B. (2010). Limites de consistência e propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrocoeso sob aplicação de diferentes resíduos da cana-de-açúcar. *Bras. Ciênc. Solo.*, **34(3)**, 639-648. DOI: 10.1590/S0100-06832010000300005
- Vanghan, D. et Malcolm, R.E. (1985). Soil organic matter and biological activity, Development in plant and soil sciences, *Martnus Nijhoff.*, **16**, 469. (<https://www.springer.com/gp/book/9789024731541>)
- Vidal, A., Quenea, K., Alexis, M. et Derenne, S. (2016). Molecular fate of root and shoot litter on incorporation and decomposition in earthworm casts. *Organic Geochemistry.*, **101**, 1-10. DOI: 10.1016/j.orggeochem.2016.08.003
- Vilain, M. (1987). Plant production, the components of production. *Ed Baillère*. Paris. 396p.
- Vieublé Gonod, L., Chenu, C. et Soulas, G. (2003). Spatial variability of 2,4-dichlorophenoxy acetic acid (2,4-D) mineralisation potential at a millimetre scale in soil. *Soil Biology & Biochemistry.*, **35**, 373-382. DOI: 10.1016/S0038-0717(02)00287-0
- Vullioud, P., Mercier, E. et Ryser, J.P. (2004). Bilan de 40 ans d'un essai portant sur différentes fumures organiques (Changins 1963-2003). *Revue suisse Agric*, **36 (2)**, 43-51. (available at : https://abiocdoc.docressources.fr/index.php?lvl=author_see&id=5568)
- Wang, H., Yang, S.H., Yang, J.P., Lv, Y.M., Zhao, X. et Pang J.I. (2014). Temporal changes in soil bacterial and archaeal communities with different fertilizers in tea orchards. *Journal of Zhejiang University Science.*, **B 15**, 953-695. DOI:10.1631/jzus.B1400114
- Wells, A., Chan, K. et Cornish, P. (2000). Comparison of conventional and alternative vegetable farming systems on the properties of a yellow earth in New South Wales. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **80**, 47-60. DOI: 10.1016/s0167-8809(00)00133-x

- Wei, X., Shao, M., Gale, W. et Li, I. (2014). Global pattern of soil carbon losses due to the conversion of forests to agricultural land. *Nature, Scientific Reports.*, **4**, 4062. (<https://www.nature.com/articles/srep04062>)
- West, L.T., Hendrix, P.F. et Bruce, R.R. (1991). Micromorphic observation of soil alteration by earthworms. *Agriculture, Ecosystems and Environment.*, **34**, 363-370. DOI: 10.1016/0167-8809(91)90121-D
- Whalen, J. K., Chang, C. et Olson, B. M. (2001). Nitrogen and phosphorus mineralization potentials in soils receiving repeated annual cattle manure applications. *Biol. Fert. Soils*, **34**, 334-341.(Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s003740100416>)
- Widmer, T.L., Mitkowski, N.A. et Abawi, G.S. (2002). Soil organic matter and management of plant parasitic nematodes. *Journal of Nematology.*, **34**, 289-295. (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2620584/>)
- Winding, A., Ronn, R. et Hendriksen, N.B. (1997). Bacteria and protozoa in soil microhabitats as affected by earthworms. *Biology and Fertility of Soils.*, **24**, 133-140. (<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs003740050221>)
- Yadav, R.L., Yadav, D.S., Singh, R.M. et Kumar, A. (1998). Long-term effects of inorganic fertilizer inputs on crop productivity in a rice–wheat cropping system. *Nutr. Cycling Agroecosyst.*, **51**, 193-200. (<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1009744719420>)
- Zeytin, S. et Baran, A. (2003). Influences of composted hazelnut husk on some physical properties of soils. *Bioresource Technology.*, **88**, 241-244. DOI: 10.1016/S0960-8524(03)00005-1
- Zimmerman, A.R., Chorover, J., Goyne, K.W. et Brantley, S.L. (2004). Protection of mesopore-adsorbed organic matter from enzymatic degradation. *Environmental Science and Technology.*, **38**, 4542-4548. (<https://pennstate.pure.elsevier.com/en/publications/protection-of-mesopore-adsorbed-organic-matter-from-enzymatic-deg>)
- Zhao, Y., Wang, P., Li, J., Chen, Y. Ying, X. et Liu, S. (2009). The effects of two organic manures on soil properties and crop yields on a temperate calcareous soil under a wheat-maize cropping system. *Eur. J. Agron.*, **31**, 36-42. DOI: 10.1016/j.eja.2009.03.001

- Znaidi, I.A. (2002). Etude et évaluation du compostage de différents types de matières organiques et des effets des jus de composts biologiques sur les maladies des plantes. Thèse de Master. Tunisie. 58p.

ANNEXES

ANNEXE 1

a. Le tableau 5 donne les moyennes mensuelles de la pluviométrie pour la région de Tiaret (période 1990-2019).

Tableau 5 : Précipitations mensuelles moyennes (mm) pour les campagnes (1990/2019)

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
An												
1990	26,8	5,08	21,9	9,66	20,84	33	9,14	0	20,57	11,94	28,53	13,97
1991	13,5	31,56	130	10,66	24,4	7,1	3,56	11,7	15,09	52,07	9,15	12,7
1992	21,8	18,65	23,6	47,76	54,73	7,4	15,5	3,05	12,95	8,64	22,71	32,26
1993	0	12,61	24,3	35,76	58,17	0	0	3,81	32,53	10,16	20,84	39,16
1994	22,2	7,12	5,08	24,62	7,11	0	2,54	0,51	110,3	61,68	15,24	11,18
1995	41,8	11,94	65,9	13,72	3,56	22	0	0	22,72	12,7	20,33	32,27
1996	62	84,54	34,9	48,91	25,92	25	25,1	9,66	11,17	2,55	6,1	34,36
1997	57,3	2,03	0	112,3	28,45	0,8	1,02	44,2	79,24	32,02	106,8	37,49
1998	25,3	29,2	17,2	50,4	65,9	1,5	0	3,9	12,4	8,8	7,7	29,8
1999	58,5	22,1	67	0	11,5	0,5	0,3	13,8	31,9	55,7	25,3	79,2
2000	0,5	0	3,9	22,4	22	0	0,61	2,1	17,5	22,4	61,6	53,2
2001	96,3	33,2	5,1	34	12,4	0,1	0,1	5,6	46,5	19,6	24,9	34,8
2002	5,6	14,8	17,9	39,3	49,5	8,1	0,7	29,5	0,5	16,2	60,4	28,3
2003	56,7	59,7	6,3	50	12,6	22	2,1	26,4	24	85,2	68	69,9
2004	11,7	38,9	17,3	39,1	66,6	19	5,8	10,5	34	35,8	17,5	64,6
2005	16,4	29,4	41,2	7,1	1,6	18	5,4	0	25,6	49,4	54,4	23,3
2006	39,6	74,4	16,7	41,1	76,9	3,5	4,07	7,62	213,1	11,94	6,61	39,12
2007	19,1	43,18	28,2	101,2	16	0,5	5,33	8,12	23,63	122,2	37,33	5,84
2008	18,5	20,82	24,4	16,7	60,4	15	1,02	1,78	31,74	66,81	56,38	68,08
2009	99,1	29,2	78,8	80,2	22,2	6,1	1,02	5,08	81,35	22,79	26,16	95,86
2010	48,9	132,2	67,1	13,71	41,87	5,8	0	35,1	7,11	38,6	46,84	28,19
2011	41	48,43	28,5	41,57	37,21	31,5	1,78	2,03	0	37,35	76,53	6,61
2012	12,2	36,07	39,5	98,21	15,27	1	0,51	5,08	12,19	49,33	111,9	19,56
2013	74,2	61,49	95,1	96,18	20,39	0	7,87	7,36	15,24	0	208,3	60,57
2014	60,9	57,36	98,4	4,31	7,87	59	0	2,79	111	33,02	36,25	83,32
2015	25,5	81,23	11,2	0	15,74	14,5	0	9,65	18,1	79,68	21,7	0
2016	18,1	49,56	89,7	31,41	45,14	18	1,53	0	7,37	4,33	40,01	26,28
2017	17	153	12,2	3,04	10,17	18,6	2,54	0	6,1	3,3	19,08	8,63
2018	25,6	38,34	134,	136,6	16	41,9	0	5,08	50,05	84,46	33,8	40,14
2019	87,63	21,83	17,3	30,03	17,52	0,8	4,06	4,32	38,35	1,53	63,5	37,83

(Station météorologique d'Ain Boucekif, 2020)

b. Les moyennes mensuelles de la température sont rassemblées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6: Températures mensuelles (°C) pour les campagnes (1990/2019)

Mois An	Janvi er	Féври er	Mar s	Avr il	Mai	Juin	Juillet	Aou t	Septem bre	Octob re	Novem bre	Décem bre
1990	7,1	11,5	12,8	13	18,9	26,4	27,5	27,1	26,1	18,3	11,7	5,9
1991	6,1	6,9	11,5	12,3	15,4	24	28,5	27,4	23,9	15,1	10,1	6,2
1992	5,5	7,5	9,7	13,1	18,1	20,1	26,8	27,1	24,1	16,7	12	8,2
1993	6,1	6,7	11,3	13,8	19,1	25,8	28,9	28,3	21,6	17,8	11,6	7,6
1994	7,8	9,5	13,1	12,9	21,9	25,4	30,2	30,6	22,4	17,4	12,4	8,3
1995	7,1	10,5	10,9	13,1	21,1	24	28,4	27,7	21,1	17,9	13,1	10,4
1996	10,2	7,6	11,9	14,3	18,3	22,7	27,6	27,7	19,8	15,4	13	9,4
1997	9,1	13,1	12	15,3	20,2	26,2	28,3	27,4	23,3	18,2	12,7	9
1998	7,9	9,9	12	15,1	17,6	26,1	30	25	25	15,9	12,1	7,2
1999	7,7	7,6	11,8	15,8	23	26,6	28,6	31,2	24,2	20,7	10,9	7,3
2000	5	30	10,3	12,7	15,7	21,9	26,6	29,2	23,1	16	12,3	9,3
2001	5	9,5	12,7	15,7	21,9	25,6	28,5	29,1	23,1	16	12,3	9,3
2002	8,2	9,1	16	15,4	18,9	26,8	29,3	29,4	24,4	21,4	13	8,5
2003	7	7,6	12,9	15,3	20,5	27,9	31,7	29,2	23,4	19,4	12,4	7,2
2004	8,2	10,3	12,6	13,7	15,7	24,9	29,1	29,8	23,9	20,3	1	7,9
2005	4,5	5,3	12,6	15,9	23,5	26,1	30,2	28	23,5	18,8	10,7	7,1
2006	5,5	6,8	11,9	17,9	21,8	26,3	29,6	27,6	22,1	20,6	13,7	8,1
2007	9,7	11,6	11,8	15,5	21,2	28,2	32,3	25	18,4	30,9	11,1	8,1
2008	9,1	11,3	13,1	17,8	20,9	26,9	32,3	31,6	25,2	17,8	10,9	7
2009	5,5	5,9	8,9	9,2	17,8	23,6	28,5	25,8	11,4	15,9	10,6	8,2
2010	4,6	7,1	9,3	12,4	16,5	21,9	28,8	26,7	22	16,5	9,5	6,7
2011	6,6	5,2	8,1	13,8	17,2	22,6	27,8	27,6	24,2	15,3	11	5,9
2012	5,3	4,1	8	9,9	17,7	25,2	27,5	29,5	23,4	18	12	7,1
2013	6,2	5,9	9,2	12,7	10,6	19,8	26,9	24,9	22,2	17,7	8,8	6,2
2014	6	7,2	10,2	13,4	18	22	28,4	27	23,1	16	12,3	5,5
2015	5,7	4,9	8,2	14,5	18,6	22,7	29,3	29	20,9	17,5	10	8,4
2016	7,9	8,8	7,2	13,6	17	21,9	28,9	25,5	21,8	18	11,7	7
2017	3,8	8	9,1	14	19,8	24,7	27,8	26,9	22,8	15	9	4,5
2018	6,5	4,4	9,3	13	16,3	23,3	27,5	26,9	21,8	17,9	11,38	4,7
2019	6,6	5,2	9,22	12	17,7	25	29	28,2	23,3	16,5	11	3,8

(Station météorologique d'Ain Boucekif, 2020)

ANNEXE 2

a. Les sols amendés prélevés en 3M, 6M, 9M et 12M

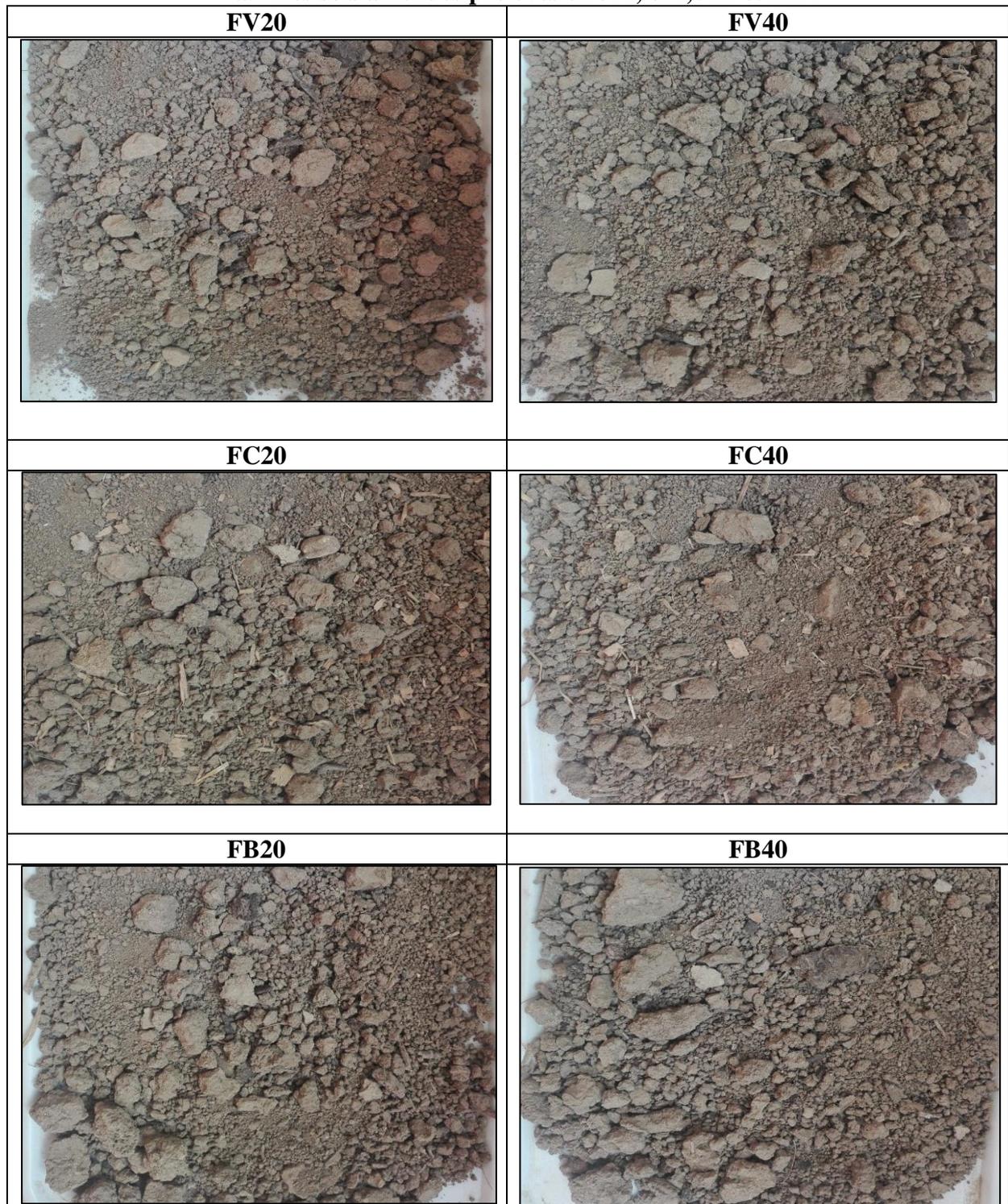


Figure 34: Les échantillons de sols amendés prélevés en hiver (3M)

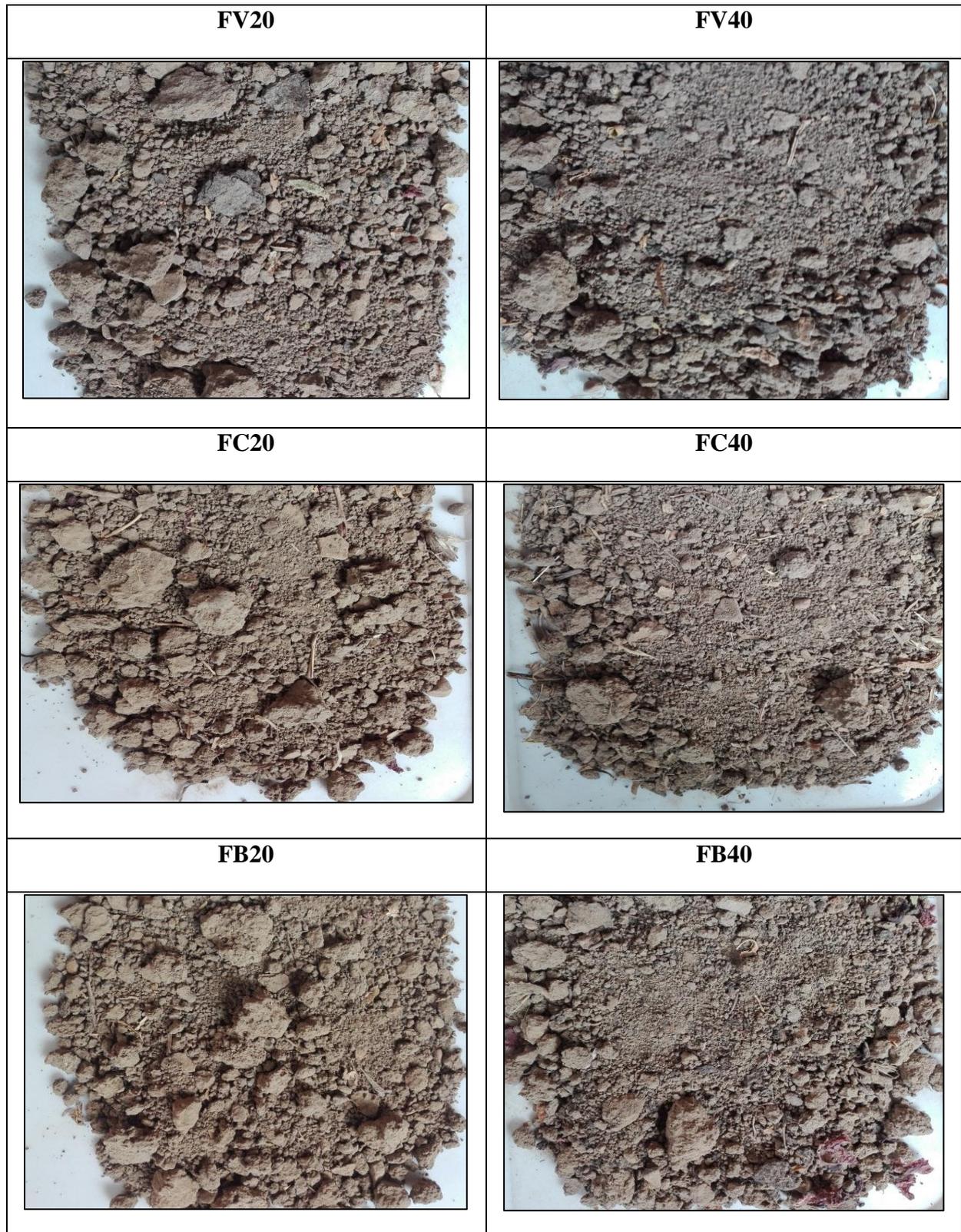


Figure 35: Les échantillons de sols amandés prélevés en printemps (6M)

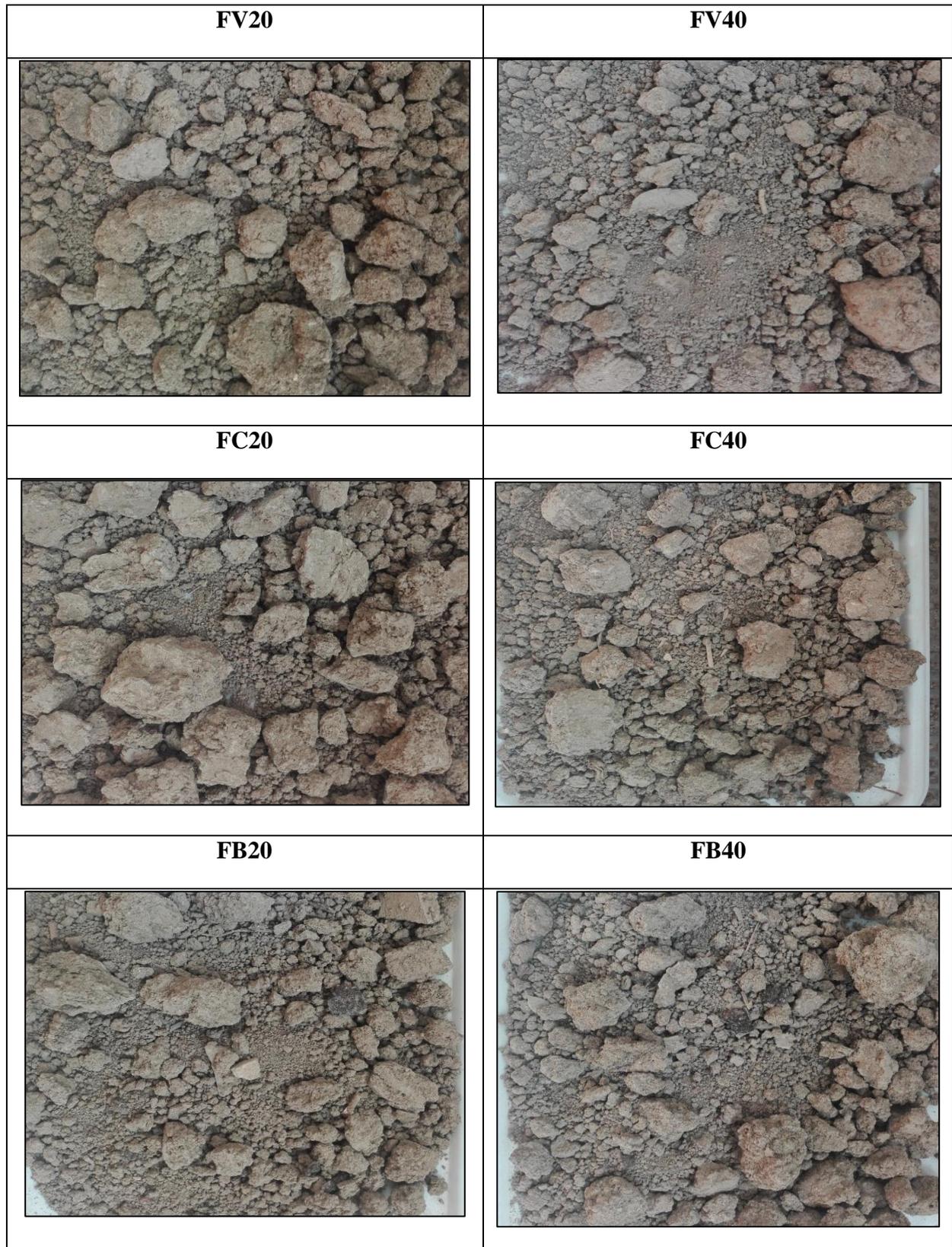


Figure 36: Les échantillons de sols amandés prélevés en été (9M)

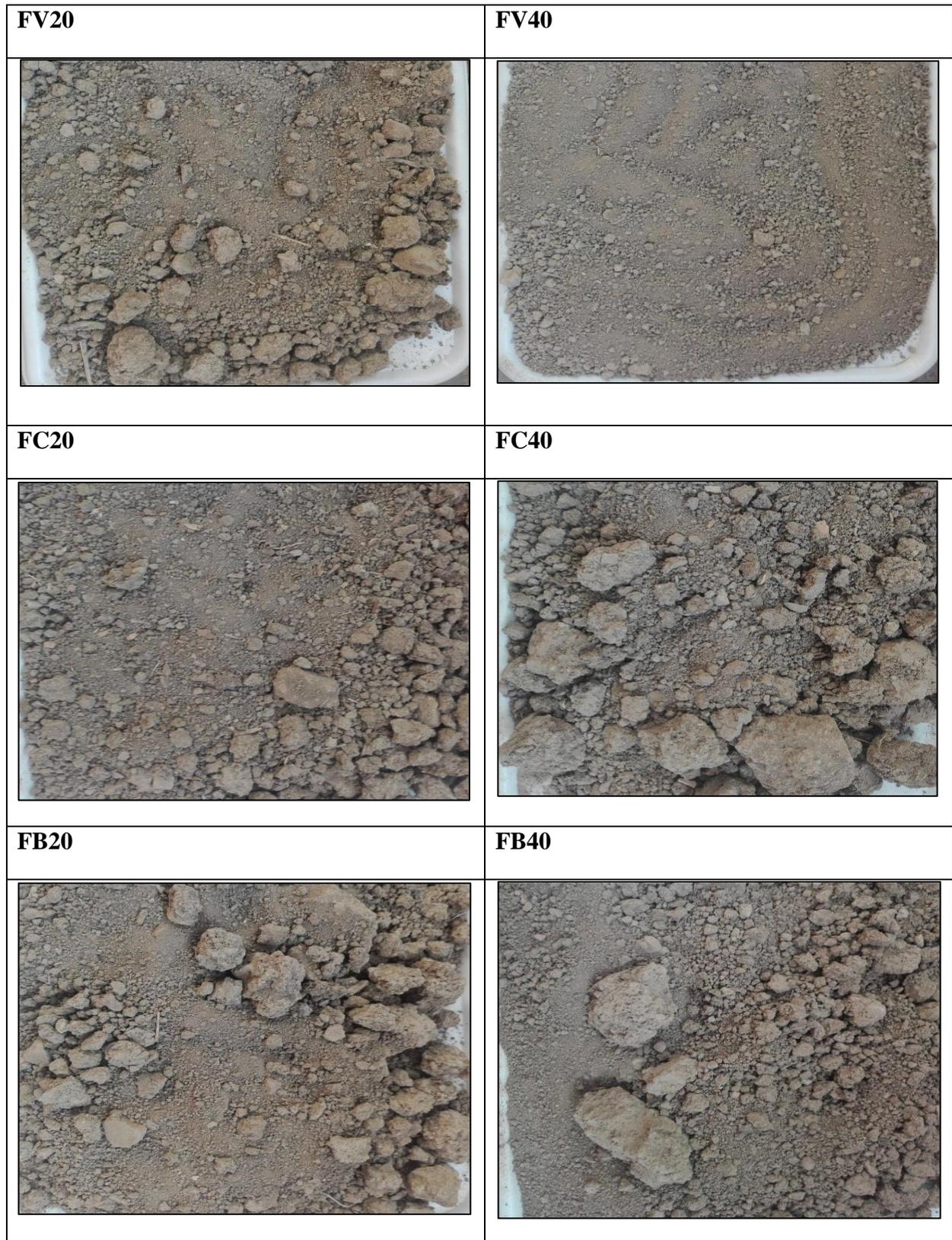


Figure 37: Les échantillons de sols amandés prélevés en automne (12M)

b. Les différents stades végétatifs de croissance du blé

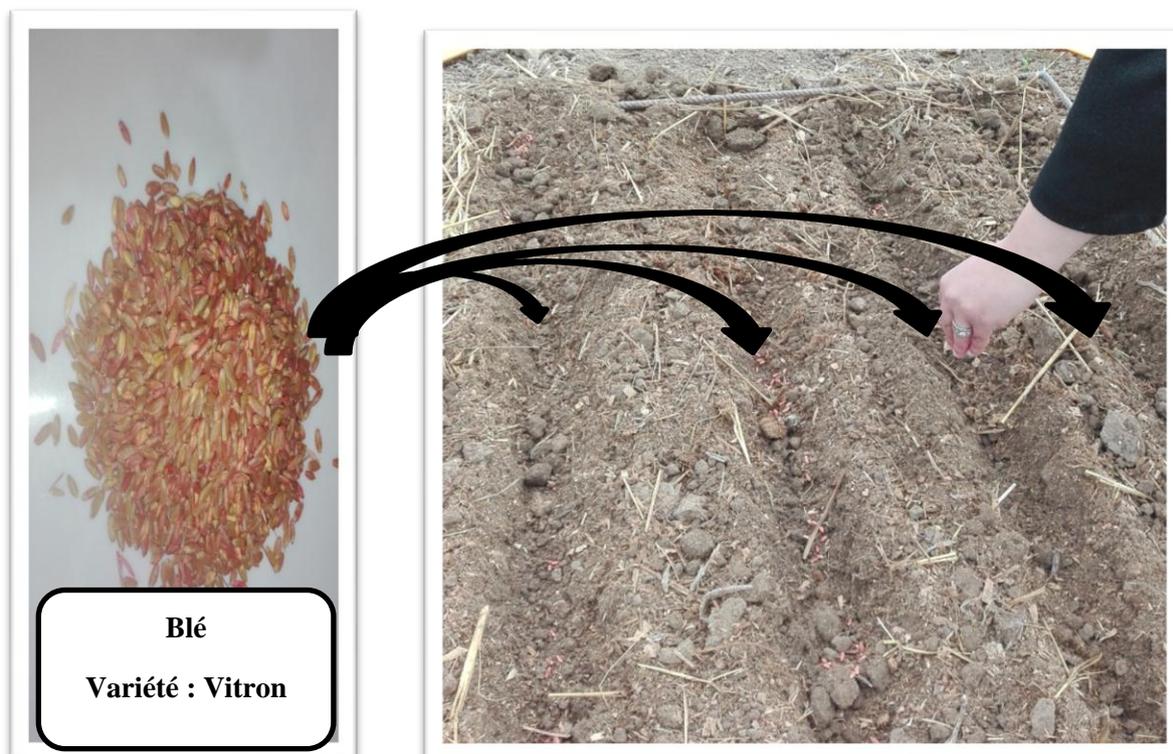


Figure 38 : Stade végétatif semi



Figure 39 : Stade végétatif levée



Figure 40: Stade végétatif tallage



Figure 41: Stade végétatif montaison

ANNEXE 3

a. Composition des milieux de cultures solides des différents germes microbiens

1. Actinomycètes

Tableau 7: Milieu de culture pour les Actinomycètes

Produits	Quantités
Saccharose	10 g
Glutamate de Na	10 g
K ₂ H ₂ PO ₄ ou Na ₂ HPO ₄	01 g
Gélose ou l'Agar	15 g
Eau distillée	1000 ml

2. Champignons (milieu CZA pek)

Tableau 8: Milieu de culture pour les champignons

Produits	Quantités
NaNO ₃	03 g
K ₂ HPO ₄	01 g
MgSO ₄	0,5 g
Kcl	0,5 g
Saccharose	30 g
Gélose ou l'Agar	15 g
Eau distillée	1000 ml

3. Azotobacters (milieu Ashby)

Tableau 9: Milieu de culture pour les Azotobacter

Produits	Quantités
Glucose	10g
K ₂ HPO ₄	0,2g
MgSO ₄	0,2g
K ₂ SO ₄	0,1g
CaCO ₃	05g
Gélose ou l'Agar	15g
Eau distillée	1000ml

4. Bactéries aérobies

Tableau 10: Milieu de culture pour les bactéries aérobies

Produits	Quantités
Glucose ou saccharose	10g
K ₂ HPO ₄ ou Na ₂ HPO ₄	0,5g
MgSO ₄	0,2g
Glutamate de Na	1,5g
CaCO ₃	0,2g
Gélose ou l'Agar	15g
Eau distillée	1000ml

C₁₂H₂₂O₁₁: Saccharose, C₆H₁₂O₆: Glucose, C₅H₈NNaO₄: Glutamate de sodium, K₂HPO₄: Dipotassium phosphate, MgSO₄: Sulfate de magnésium, CaCO₃: Carbonate de calcium, K₂SO₄: Sulfate de potassium, NaNO₃: Nitrate de sodium, Kcl: Chloride de potassium.

b. Préparation des milieux de culture

La plupart des milieux de culture se présentent sous forme déshydratée, ce qui assure une composition constante, un stockage facile et une préparation simplifiée, tandis que d'autres doivent être préparés à partir de produits chimiques à des quantités bien étudiées (**Renouf et al., 2010**).

- **Mode opératoire**

Lors de la reconstitution des milieux, la poudre est mélangée au volume d'eau préconisé, homogénéisée, puis dissoute totalement par chauffage grâce à un agitateur chauffant, le milieu est ensuite distribué dans des flacons (**figure 42**) en vue d'être stérilisé par autoclavage (20 minutes à 110°C).



Figure 42 : Milieux de culture solides

c. Préparation des suspensions dilutions

- **Mode opératoire**

D'après Oulbachir (2010), la préparation des suspensions-dilutions consiste à disposer sur un portoir une série de 09 tubes stériles numérotés de 01 à 09 et contenant chacun 9 ml d'eau distillée, peser 01 gramme de sol préalablement tamisé et homogénéisé, le verser dans la tube 01 agiter vigoureusement, c'est la suspension dilution 10^{-1} , le transférer dans le tube 2 contenant déjà de l'eau distillée (9ml), il s'agit de la suspension dilution 10^{-2} agiter vigoureusement et recommencer l'opération pour le restant des tubes en transférant 1ml de solution d'un tube à l'autre, afin de préparer les suspensions dilutions 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8} , 10^{-9} les suspensions dilutions doivent être utilisées aussitôt après leur préparation (**figure 43**).

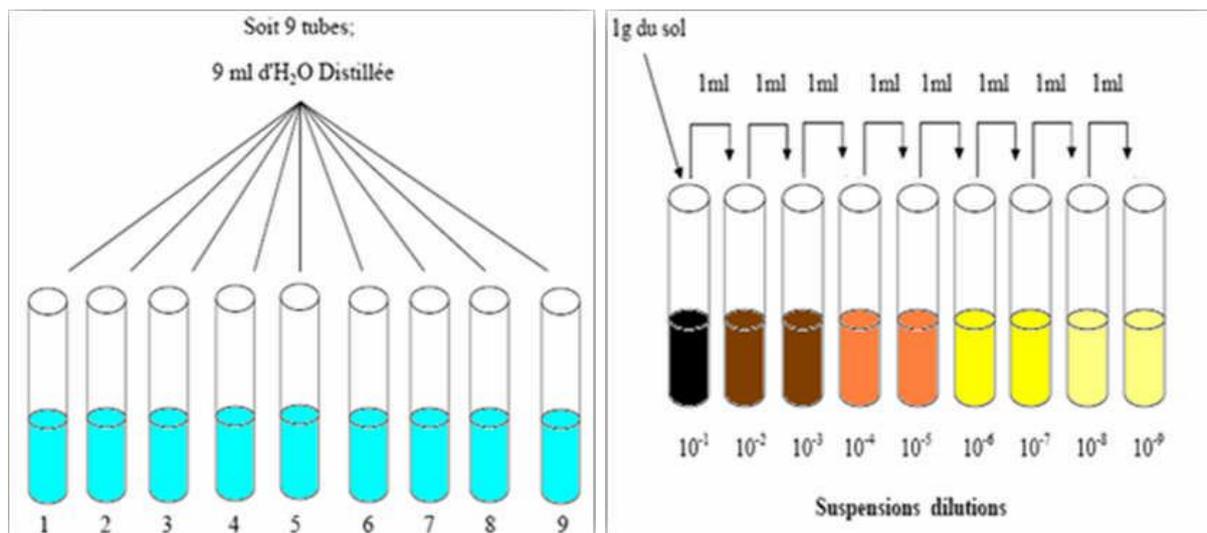


Figure 43: Schéma de la préparation des suspensions dilutions

d. Ensemencement et incubation

Ensemencement : deux gouttes de suspension dilution 10^{-5} soit 0,1ml, bien agitées sont déposées sur chaque boîte et étalées avec soin sur toute la surface de la boîte. L'ensemencement et l'étalement doivent se faire aseptiquement près de la flamme d'un bec benzen (*figure 44*).

On inocule 3 boîtes par dilution, 10^{-5} ou 10^{-7} (selon le type de sol). Après ensemencement, on homogénéise en effectuant des rotations en 8 puis on laisse les boîtes absorber l'inoculum de la solution nutritive préparée auparavant, En position retournée, on laisse incuber à 28°C . Pendant sept jours.

e. Lecture des résultats

Après 7 jours, examiner successivement chaque boîte en lumière transmise et en lumière rasante à l'œil nu ou à l'aide d'une loupe.

Compter le nombre de colonies développées par boîte (*figure 45*) et déterminer pour chaque dilution la moyenne des 3 boîtes.

Calcul du nombre de germes par gramme de sol : N

N=: La moyenne des colonies développées dans les trois boîtes X inverse de la dilution X coefficient de sécheresse X 10/ 1 g de sol.

Coefficient de sécheresse = $1 / (1 - \text{Taux d'humidité})$.

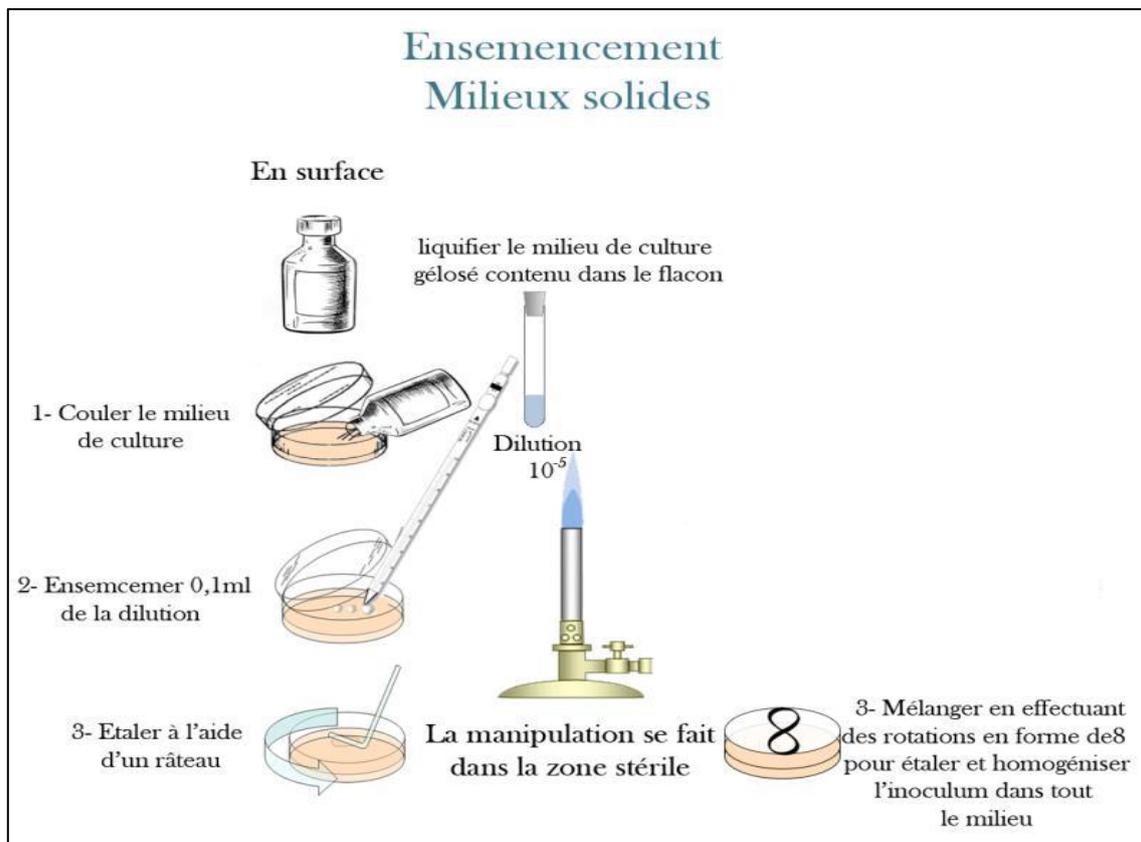


Figure 44: Techniques d'ensemencement sur les milieux solides



Légende

A : Bactéries aérobies B : Azotobacter C : Champignons D : Actinomycètes

Figure 45: Aspect macroscopique des colonies de différents germes microbiens (Cliché Benouadah, 2019)

ANNEXE 4

Eléments grossiers des fumiers apportés

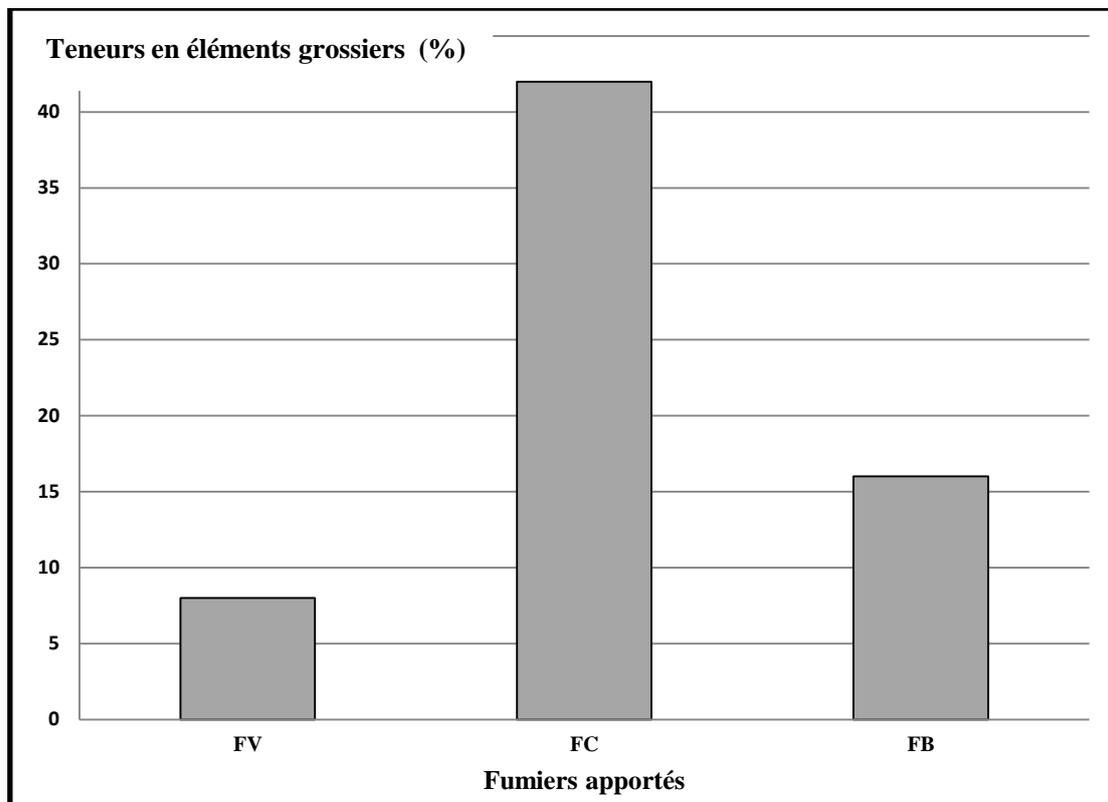


Figure 46 : Teneurs en éléments grossiers des fumiers apportés

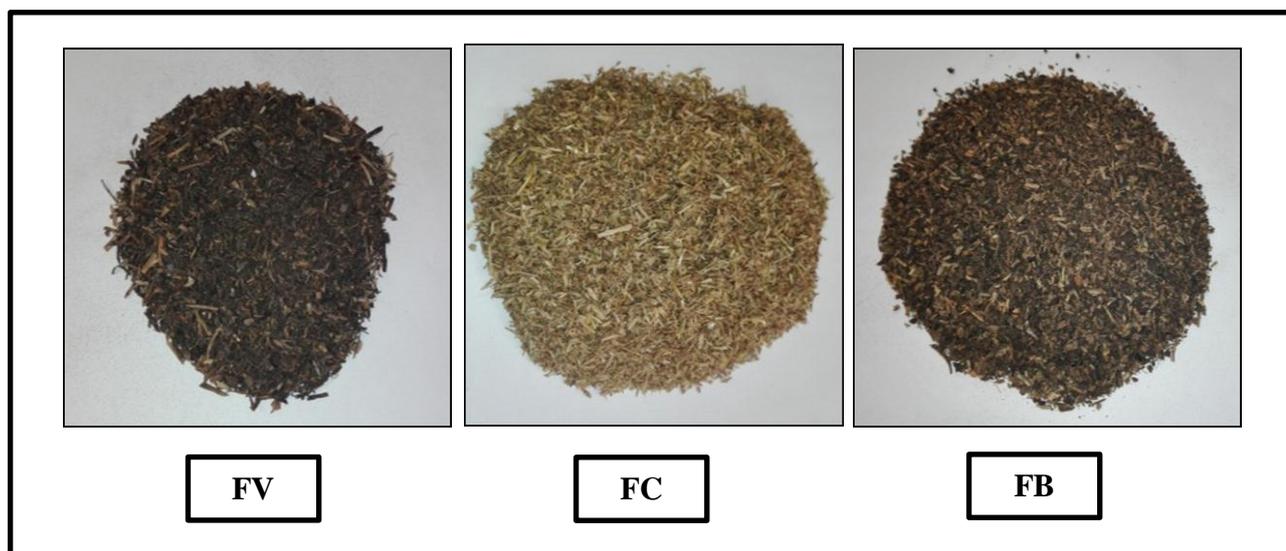


Figure 47 : Eléments grossiers des fumiers apportés

ANNEXE 5

a. Propriétés physiques du sol

Tableau 11 : Analyse de la variance ANOVA (SPSS : version 22) : Cas des propriétés physiques du sol

Paramètres	Variables	Ddl	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	P
Densité apparente	Traitement	6	0.545038	0.0908397	26.52	0.0000
	Saison	3	0.0369157	0.0123052	3.59	0.0575
Porosité	Traitement	6	618.396	103.066	13.38	0.0000
	Saison	3	36.0777	12.0259	1.56	0.2060
Perméabilité	Traitement	6	0.2217907	0.0363178	7.74	0.0000
	Saison	3	0.357674	0.119225	25.41	0.0000
Rétention en eau	Traitement	6	1306.5	217.749	21.51	0.0000
	Saison	3	47.3353	15.7784	1.56	0.2067
Stabilité structurale	Traitement	6	0.387837	0.0646394	48.59	0.0000
	Saison	3	0.6670959	0.0223653	16.81	0.0000

b. Etude du pouvoir minéralisateur de l'azote

Tableau 12 : Résultats de l'analyse de la variance ANOVA (R software) démontrant l'effet **dose** de la matière organique apportée (A), l'effet **saisons** (B), l'effet **MO** (C), l'effet **humidité** (D) et l'effet **température** (E) sur les variations de l'azote ammoniacal

Variables	Ddl	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	P
A	6	0.0007042	1.174e-04	21.069	5.91e-14 ***
B	3	0.0005772	1.924e-04	34.542	8.18e-14 ***
C	1	0.0000272	2.719e-05	4.881	0.03043 *
D	1	0.0000368	3.680e-05	6.606	0.01229 *
E	1	0.0000396	3.958e-05	7.106	0.00953 **

Codes signifiant: 0 '****' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tableau 13 : Résultats de l'analyse de la variance ANOVA (R software) démontrant l'effet **dose** de la matière organique apportée (A), l'effet **saisons** (B'), l'effet **MO** (C), l'effet **humidité** (D) et l'effet **température** (E) sur les variations de l'azote nitrique.

Variables	Ddl	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	P
A	6	1.3088	0.21814	9.540	1.19e-07 ***
B	3	0.4695	0.15651	6.844	0.000413 ***
C	1	0.1640	0.16398	7.171	0.009224 **
E	1	0.0361	0.03615	1.581	0.002128 **
F	1	0.0487	0.04865	2.128	0.001491 **

c. Stockage du COS

Tableau 14 : Analyse de la variance ANOVA (SPSS : version 22) : Cas du stockage du COS

Paramètres	variables	Ddl	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	P
Densité apparente	Traitement	4	0.004	0.002	0.466	0,63
	Saison	3	0.011	0.004	0.947	0,424
Fragments grossiers	Traitement	4	438.465	219.232	3.413	0,04
	Saison	3	1064.22	354.74	5.523	0,002
Carbone organique du sol	Traitement	4	3.637	1.819	4.843	0,011
	Saison	3	59.643	19.881	52.942	0
Stock du carbone organique du sol	Traitement	4	940.07	470.035	6.995	0,002
	Saison	3	11669.131	3889.71	57.888	0

Tableau 15: Matrice de corrélation « coefficient de corrélation entre densité apparente, fragments grossiers, carbone organique du sol et le stock du carbone organique du sol »

Paramètres	Da	FG	SOC	Stock du COS
Da	1	-0.237*	-0.470**	-0.430**
FG	-0.237*	1	0.456**	0.296**
SOC	-0.470**	0.456**	1	0.934**
Stock du COS	-0.430**	0.296**	0.934**	1

La signification entre les paramètres est indiquée par *p b 0.05, ** p b 0.01

d. Evolution de la biomasse microbienne du sol

Tableau 16 : Résultats de l'analyse de la variance ANOVA (R software) démontrant l'effet dose de la matière organique apportée sur la densité microbienne et les propriétés physicochimiques du sol.

Variables	Ddl	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	P
Biomasse microbienne du sol	2	6,795e+08	339762090	3,854	0,0291*
% MO	2	12,83	6,413	26,24	4,04e-08 ***
pH	2	1,6131	0,8065	19	2e-16 ***

Codes signifiant: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tableau 17 : Résultats de l'analyse de la variance ANOVA (R software) démontrant l'effet stade végétatif de croissance de blé sur la densité microbienne et les propriétés physicochimiques du sol.

Variables	Ddl	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	P
Biomasse microbienne du sol	2	2.605e+09	651280023	14,66	1,86e-07***
% MO	4	8,829	2,2072	6,19	0,000565 ***
pH	4	0,1591	0,03977	0,977	0,431

e. Humidités et températures des sols

Tableau 18: Valeurs d'humidités et de températures des sols durant l'expérimentation

traitements	Saisons	Humidité(%)	Temperature (°C)
T	Hiver	20.25± 2.02	13.00 ± 1.00
FV20		21.86 ± 2.29	14.90 ± 0.90
FC20		20.75 ± 1.67	16.00 ± 0.80
FB20		24.34 ± 2.17	14.10 ± 0.90
FV40		24.96 ± 1.91	15.50 ± 1.10
FC40		21.77 ± 1.50	15.00 ± 0.70
FB40		21.89 ± 1.77	14.90 ± 0.80
T	Printemps	8.64 ± 1.37	37.00 ± 0.90
FV20		8.92 ± 1.45	38.80± 1.10
FC20		8.48 ± 3.00	38.70± 0.70
FB20		8.90 ± 1.87	38.60± 0.80
FV40		9.58 ± 2.12	38.30± 1.30
FC40		9.11± 2.01	35.90± 0.90
FB40		11.11± 1.39	40.90± 1.10
T	Eté	6.50± 1.77	42.00± 1.20
FV20		6.92± 1.39	44.10± 0.90
FC20		6.51± 1.24	44.80± 0.70
FB20		6.92± 1.54	44.10± 1.00
FV40		7.57± 2.59	43.40± 1.20
FC40		9.06± 1.89	39.30± 1.00
FB40		6.13± 1.66	47.50± 1.10
T	Automne	26.07± 2.22	25.10± 0.80
FV20		26.84± 1.79	31.30± 1.30
FC20		26.16± 1.91	31.80± 1.20
FB20		26.65± 1.74	31.30± 1.00
FV40		29.81± 1.89	29.80± 0.60
FC40		26.88± 0.97	30.40± 1.10
FB40		27.14± 1.06	33.10± 0.70

Evolution of the microbial population of a cultivated soil with organic matter input under semi-arid conditions (Tiaret, Algeria)

S. Benouadah^{1,2}, K. Oulbachir^{1,2}, L. Benaichata^{1,2}, M.D. Miara^{1,2}, J. Snorek³

¹Laboratory of Agro-Biotechnology and Nutrition in Semi-Arid Zones, Ibn Khaldoun University, BP 78 Zaâroua 14000, Tiaret, Algeria

²Faculty of Natural and the Life Sciences, Ibn Khaldoun University, BP 78 Zaâroua 14000, Tiaret, Algeria

³Department of Environment Studies, Dartmouth College, Hanover, NH, USA

Author E-mail: similyes2014@gmail.com; oulbachir.k2019@gmail.com; lbb55@yahoo.com, miara14130@yahoo.fr; juliesnorek@gmail.com

Received: 17.06.2020. Accepted: 17.07.2020

To establish the link between soil, plant and climate, it is necessary to study the soil biological state. The work is particularly concerned with monitoring the levels of microorganisms such as: actinomycetes, aerobic bacteria, azotobacters and fungi of a cultivated soil under exogenous organic matter input in the semi-arid region (Tiaret, Algeria). Amended soil samples were prepared from horse manure at different doses (0%, 20%, and 40%) and then put into a wheat crop. These samples were subjected to microbial characterization according to the different vegetative stages of wheat growth. The results obtained during this research revealed that the 20% horse manure doses that seem to be the most effective ($P < 0.01$) and generated the stimulation of a good microbial proliferation and even more around the roots of the amended soils than in soil without a crop; coinciding with the tillering stage of the wheat crop ($P < 0.001$). As could be predicted, the behavior of the microflora is related not only to the phenological stages of wheat growth but also to soil climatic conditions. Positive interactions have been demonstrated between plants, organic amendment and rhizosphere organisms with their heterogeneity.

Keywords: Algeria; Horse manure; Microbial population; Rhizosphere; Wheat; Vegetative stage

Introduction

Soil organic matter promotes a wide variety of habitats for microorganisms in soil (Bernoux & Chevallier, 2013); which, through its activities, produce humus without which a soil becomes dead, unsuitable for plants growth (Doucet, 2006), or degrades and then transforms it into a mineral form that can be assimilated by plants (Dridi and Toumi, 1999). For this reason, biologists believe that soil organic matter contributes importantly to soil fertility and productivity (Ananyeva et al., 2019) and that soil biological health is one of the best diagnostic indicators of soil quality (Ullah et al., 2014). So, scientists agree that the fact that growth of bacteria promoting can help the plant to function normally by removing the pathogen (Akhtar et al., 2018).

Naturally, soils in arid and semi-arid areas are poor in organic matter due to the low productivity of agro-ecosystems they support (Bernoux & Chevallier, 2013). Nutrients exported from crops in already poor soils are not adequately replaced (Mulaji, 2011). It is therefore urgent to develop short-term fertilization techniques that are more easily accessible to farmers. These techniques include organic fertilization through the use of manure, compost, green manure, nitrogen-fixing legumes (Nyembo et al. 2012, Gala et al. 2011); this context corresponds to our research problematic because the importance of organic matter inputs considerably modifies the proportions of soil/organic matter compared to what is usual in agriculture and can modify the evolution of organic matter. It is therefore essential to characterize this evolution (Grosbellet, 2008).

There are few data published on the evolution of soil microbial population related to land management practices such as exogenous organic matter addition. However, there are many studies on variations in the soil microbial density under the influence of: soil tillage (Bouchenafa et al., 2014), soil physico-chemical properties and altitude (Rebati et al., 2019) and soil irrigation (Lisetskii & Vladimirov, 2019). Moreover, in previous work on a similar region (Oulbachir, 1997) studied the evaluation of soil microflora in parallel with its dynamics, expressed by mineralizing power, in particular carbon mineralization. However, it is very clear that studies on this type of soil are still insufficient, particularly in North Africa and even more in Algeria where these types of soil occupy large areas. This is why we propose this work with the aim to bring more knowledge on the evolution of this type of soils in Algeria in an agricultural context.

We will try to assess the impact of organic amendments such as horse manure in order to measure the value of animal excrement on the evolution of biological indicators (quality) of our poor soils. This will allow better management of these inputs, the exogenous organic matter "(MOE, not produced on the plot), to improve and manage these soils in a bioeconomic way.

Materials and Methods

Study area

The study was carried at the experimental station of Sébaine (Technical Institute of Great Cultures), Dahmouni, wilaya of Tiaret which is part of the high cereal plains of western Algeria, whose coordinates are $x = 1^{\circ} 36' 27''$, $y = 35^{\circ} 27' 32,4''$ and $z = 960$ m. The climate is semi-arid Mediterranean with a mean annual temperature is around 15, 4°C and mean annual rainfall of 410 mm (Figure 1).

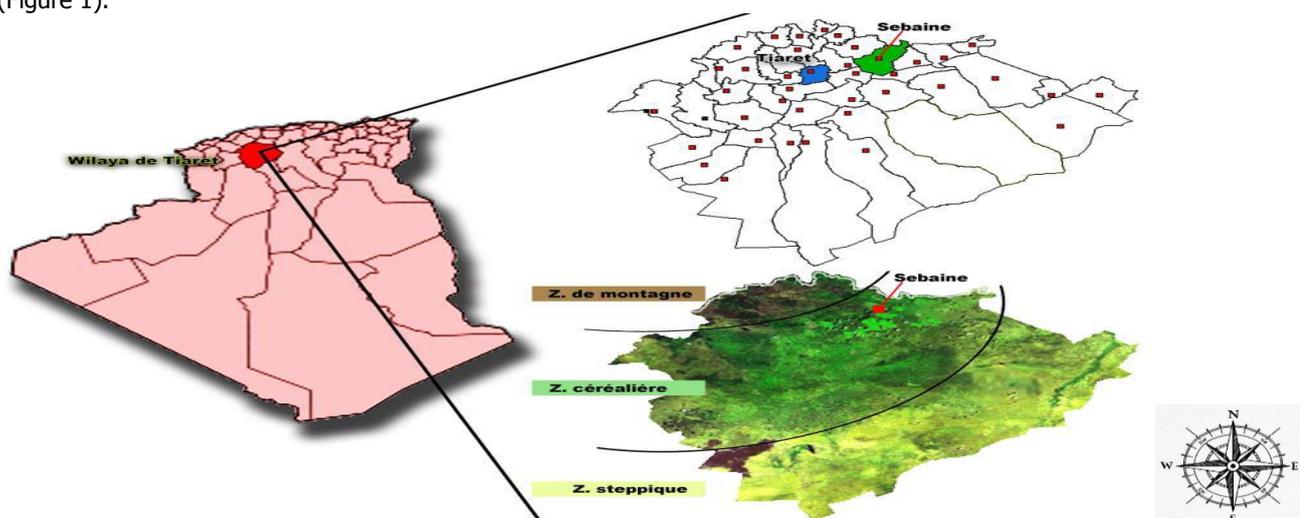


Figure 1. The map of the experimental station of Sébaine, Tiaret (Tahani, 2009).

Horse manure collection

Horse manure was collected from Horse Breeding Center, Tiaret (Algeria), it is fresh manure made up of a mixture of straw and excrement from horses of different breeds "Beards, Arab-Beard, Arabian Purcent and French Selle". After air drying, representative sample manure was taken and transferred to the laboratory (Table 1) of Agro-Biotechnology and Nutrition in Semi-Arid Zone's at the University of Tiaret, Algérie and analyzed for pH and electrical conductivity (Mathieu et al., 2003), total organic matter (Kebir, 2012), N (Oiu et al., 2010), P and K (Siboukeur, 2013).

Table 1. Physico-chemical characterization of horse manure.

Parameters	pH (water)	EC (dS.m ⁻¹)	MO (%)	N (%)	P (%)	K (%)
FC	8,15	10,38	40,34	1,2	0,36	0,93

FC: horse manure; pH: Potential Hydrogen; EC: Electrical Conductivity; MO: Organic Matter; N: Total Nitrogen; P: Phosphorus; K: Potassium.

Experimental site installation

Before experimentation (T0: November 12th, 2018), composite initial soil samples were taken from the experimental site (0-20 cm), were air dried, crushed and sieved to 2 mm and analyzed for its characterization and considered as a reference base for this study (Table 2).

Table 2. Characteristics of the control soil.

Parameters	pH (water)	EC (dS m ⁻¹)	MO (%)	N (%)
C	7,25	0,10	1,59	0,16

C: control soil; pH: Potential Hydrogen; EC: Electrical Conductivity; MO: Organic Matter; Total N: Total Nitrogen.

Fresh horse manure was well mixed and inverted into the top soil before sowing. Therefore, the experiment was laid out in the block-type split plot (23 m × 23 m) with three replications compares two treatments to a soil without manure (FC0); FC20: soil at 20% Horse Manure and FC40: soil at 40% Horse Manure hence the need to maintain a living vegetation cover on the surface of these soils.

Soil analyses

After wheat cultivation, the microorganisms namely: (aerobic bacteria, fungi, actinomycetes and azotobacters) and chemical properties were determined according to the different vegetative stages of wheat (sowing (T1), emergence (T2), tillering (T3) and upstream (T4)) corresponding to 21, 70 and 119 days, respectively, after the sowing wheat date (December 12th, 2018).

For soil chemical properties, the analytical methods used are: pH determined by the electrometric method (Mathieu et al., 2003) and organic matter through organic carbon determined by the ANNE method (1945). Moreover, for the estimation of the soil microbial population, we used the indirect method: MPN «Most Probable Number» method was used to assess the abundance of microorganisms and is very useful for "characterizing" soil samples (Saravanakumer et al., 2016). The principle of the method is based on: (i) solid cultures in which each group of microorganisms requires a specific medium favorable to their development (Table 3); (ii) seeding with suspensions-soil dilutions 10⁻⁵ or 10⁻⁷ (depending on soil type); (iii) reading the results after 7 days of

incubation at 28°C by counting the number of colonies developed (Figure 2) per petri dish with the naked eye or with a magnifying glass (Oulbachir, 2014).

Table 3. Composition of culture media of different microorganisms.

Culture medium	Aerobic bacteria	azotobacters	Fungi	Actinomycetes
Composition and quantity by 1L distilled water + 20g agar	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ (10g) C ₅ H ₈ NNaO ₄ (1,5g) K ₂ HPO ₄ (0,5g) MgSO ₄ (0,2g) CaCO ₃ (0,2g)	Glucose (10g) K ₂ HPO ₄ (0,2g) MgSO ₄ (0,2g) K ₂ SO ₄ (0,1g) CaCO ₃ (5g)	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ (30g) K ₂ HPO ₄ (1g) MgSO ₄ (0,5g) NaNO ₃ (3g) KCl (0,5g)	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ (10g) C ₅ H ₈ NNaO ₄ (10g) K ₂ HPO ₄ (1g)

C₁₂H₂₂O₁₁: Sucrose, C₆H₁₂O₆: Glucose, C₅H₈NNaO₄: Sodium glutamate, K₂HPO₄: Dipotassium phosphate, MgSO₄: Magnésium sulfate, CaCO₃: Calcium carbonate, K₂SO₄: Potassium sulfate, NaNO₃: Sodium nitrate, KCl: Potassium chloride.



Legend:

A: Aerobic bacteria

B: Azotobacters

C: Fungi

D: Actinomycetes

Figure 2. Macroscopic appearance colonies of different microorganisms (Benouadah, 2019).

Data Analysis

The data set was analyzed by one-way analysis of variance (ANOVA); it was used to study the effect of organic matter input on soil microbial density and chemical properties. This analysis is conducted by R Software.

Results

Microbial population of the studied soils according to the different vegetative stages of wheat growth.

This part is primarily intended for estimating the different groups of microorganisms and total microbial biomass according to the different vegetative stages of wheat growth, which makes it possible to assess the population fluctuations under the influence of various conditions, namely: the presence or lack of culture; human intervention, particularly in organic input, or, through their contribution to the carbon cycle and mineralization processes, as well as in the humification of organic matter.

The results obtained indicate that the control soil at time T0 included a defined microbial population composed of: 221, 66.10⁶ aerobic bacteria, 111, 33.10⁶ azotobacters, 257.10⁶ fungi and 112, 66.10⁶ actinomycetes per gram of soil.

Results also showed that the different microbial germs evolve differently, the examination of the results (Figure 3) indicates that the number of aerobic bacteria is significant at time T1, in particular in FC0 and FC20, which probably result from the development of organotrophic bacteria using organic substances. As a source of energy and nutritional group, there is a decrease in T2 time, which can be explained by exhaustion of this source and coincides with a period of low temperatures and, according to Oulbachir (2010) have a direct effect on the soil microflora.

At time T3; the number of aerobic bacteria rises (especially FC20 and FC40). This increase could be explained on the one hand by the intense physiological activity of the wheat, and on the other hand by the effect of organic stage where root exudation stimulates this group which continues to see a decrease in T4 where the wheat begins its maturation phase.

Moreover, we can see that the evolution of azotobacters takes the same rate as that of aerobic bacteria. They are important in T1 time, especially in soils 2 and 3 (FC20 and FC40), decrease at T2 time due to low temperatures, increase again at time T3 and then decrease in T4 (Figure 4).

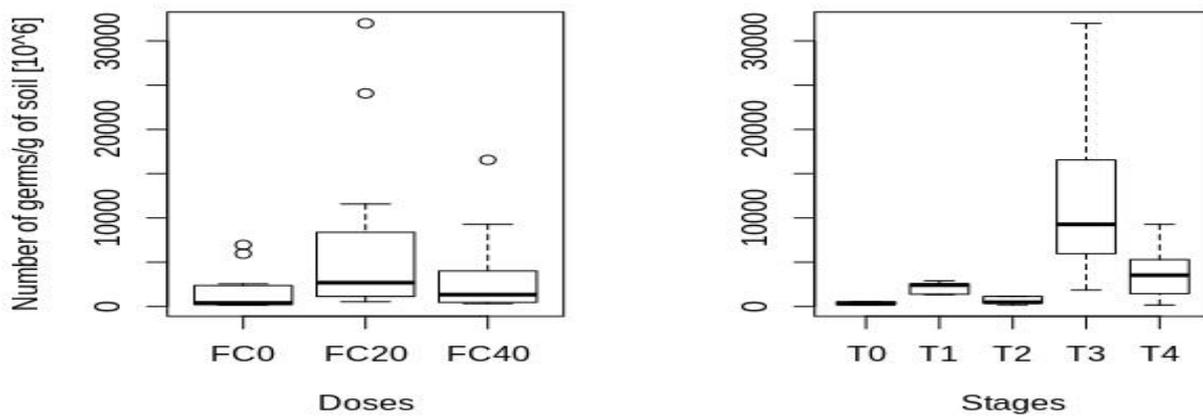


Figure 3. Evolution of aerobic bacteria.

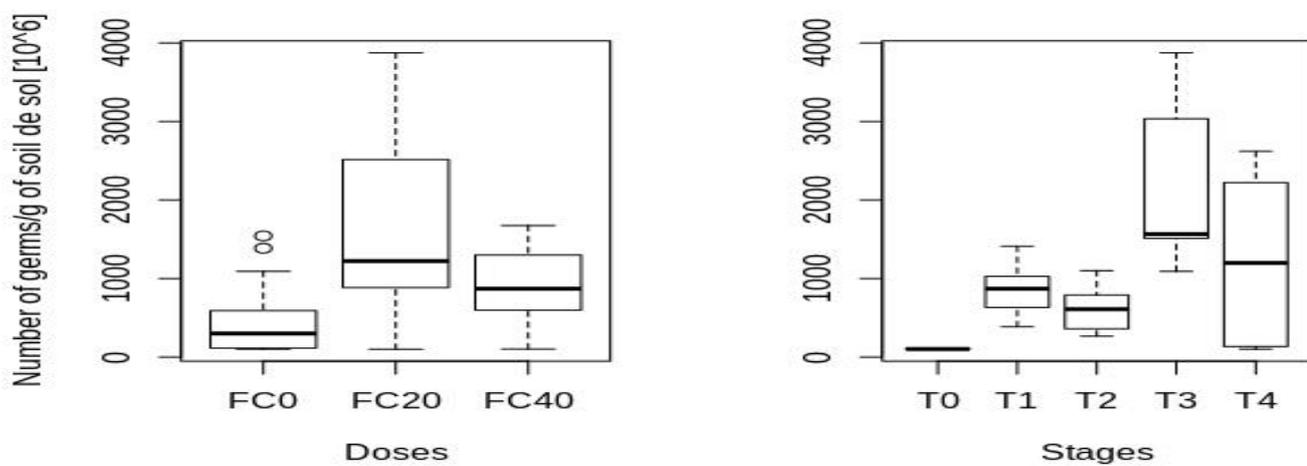


Figure 4. Evolution of azotobacters.

The results (Figures 5 & 6) showed that fungi and actinomycetes follow the same evolution during evolution where their density is relatively average at T1 and T2 times, then increase considerably at time T3, particularly in FC40 for fungi, and in FC20 for actinomycetes, then decrease in T4.

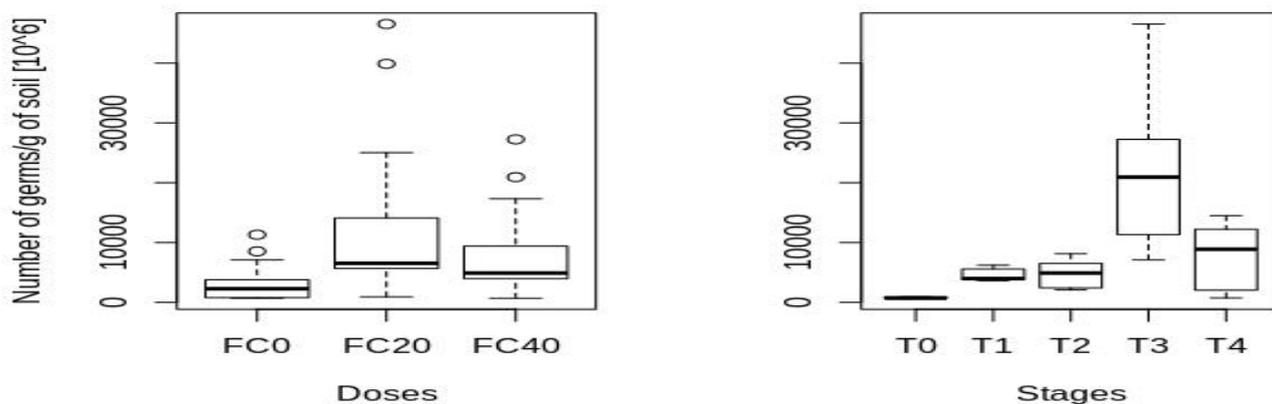


Figure 5. Evolution of fungi.

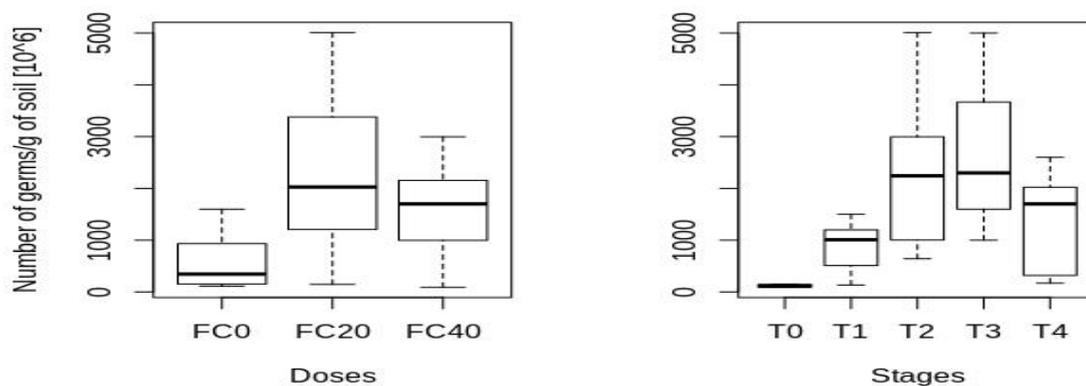


Figure 6. Evolution of actinomycetes.

To summarize the main observations and remarks, we present the evolution of the global microbial population of the soil, namely: actinomycetes, aerobic bacteria, azotobacters and fungi according to the different vegetative stages of wheat growth, which itself presents a stimulating parameter for microbial growth in Figure 7.

Initially, our control soil had a microbial density of (702,65. 10⁶ germs/gram of soil). After organic supply and installation of wheat cultivation, a significant relative microbial biomass of (3723,947.10⁶ germs/gram in FC0) is recorded at time T1, (5850,207.10⁶ germs/gram in FC20) and (3981,933.10⁶ germs/gram in FC40) then a decrease of these in T2 corresponding to (2260,07.10⁶germs/gram FC0); and a slight rise in particular for amended soils (7065, 95.10⁶ germs/gram in FC20) and (5016,92.10⁶germs/gram in FC40).

At time T3: it is clear that the increase in microbial density is maximal (37147,02. 10⁶germs/gram in FC20) coinciding with the tillering stage. Then, the microbial density decreased to: (1204,8. 10⁶ germs.g⁻¹ FC0), 13475,01.10⁶ germs.g⁻¹ FC20) and 8947, 653.10⁶ germs.g⁻¹ in FC40) where it was found that at time T4, this causes a decrease in root activity; which over time will become root litter. ANOVA analysis (Tables 4 and 5) also demonstrated a significant effect of soil organic matter/dose (P<0,05) and a very highly significant effect of wheat growth stage (P<0,001) on microbial communities. It was observed that microbial population were significantly affected by 20% horse manure dose (FC20) marked after the fourth sampling coinciding at the tillering stage.

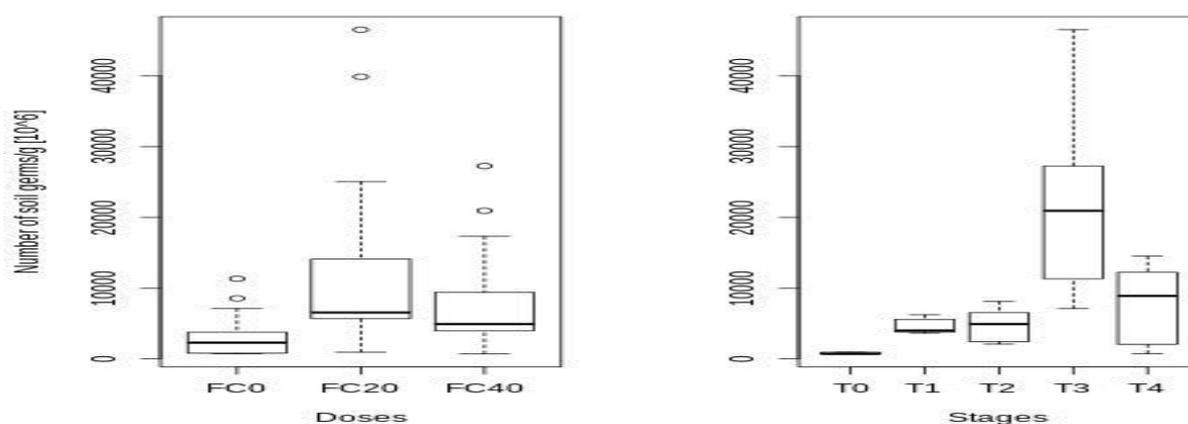


Figure 7. Evolution of the global soil microbial population.

Chemical characteristics of soil/horse manure mixtures according to the different vegetative stages of wheat growth.

Organic amendment also improved the soil chemical properties such as: soil organic matter and soil pH.

Soil total organic matter contents affected by organic amendment addition are summarized in Figure 8. The results obtained indicate that the organic amendment had a significant effect on total soil organic carbon (SOC) content in comparison to the control soil, with values 1,59%, 2,03% and 2,80% for FC0, FC20 and FC40, respectively, were recorded after spreading manure in the top soil. In the first and second vegetative stages of wheat growth, slightly decrease on total soil organic carbon (SOC) contents were observed due to the development of heterotrophic microorganisms that use organic matter as a source of energy and nutrition and then an increase was recorded at time T3 when living roots provide their environment with energy substances in significant amounts.

The data for the fourth growth stage total SOM was further improved highly significant (P<0.01) with higher that maximum values were recorded in FC40 (4,27%) and FC20 (2,98%) followed by FC0 (2,28%) due to the transformation of dead roots into root litter (Oulbachir, 2010). ANOVA analysis (Tables 4 and 5) also proved a very highly significant effect of doses organic matter input (P<0,001) and the stage of wheat growth ((P<0,001) on soil' organic matter.

Moreover, the organic amendment significantly reduced the pH amended soils (Figure 9), this decrease could be explained by the decomposition of the organic matter that maintains a certain acidity in the soil, this is due in particular to the release of the organic acids and to the acidifying action of CO₂ released by the microbial activity. This acidity is partly responsible for the dissolution of poorly assimilable elements (Phosphate, Iron, etc.) in calcareous soils (Oustani, 2006). According to ANOVA variance analysis, there is a very highly significant difference ((P<0.001) between the organic amendment dose and the soil pH. Moreover, there is not significant difference (P>0.05) between soil pH and the stage of wheat growth.

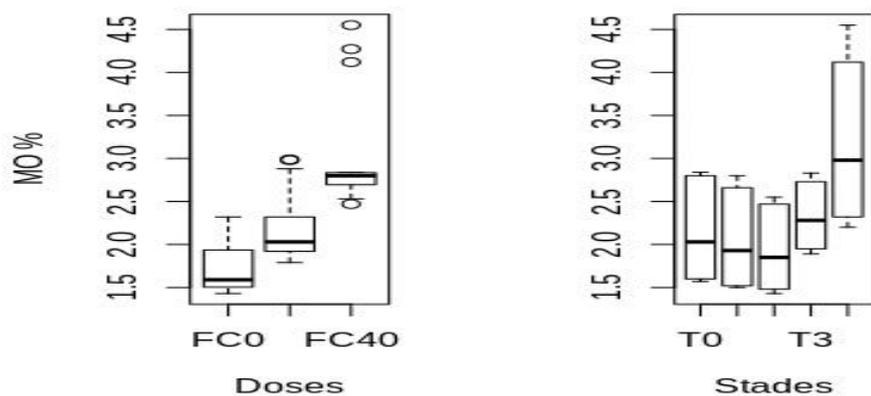


Figure 8. Evolution of soil organic matter.

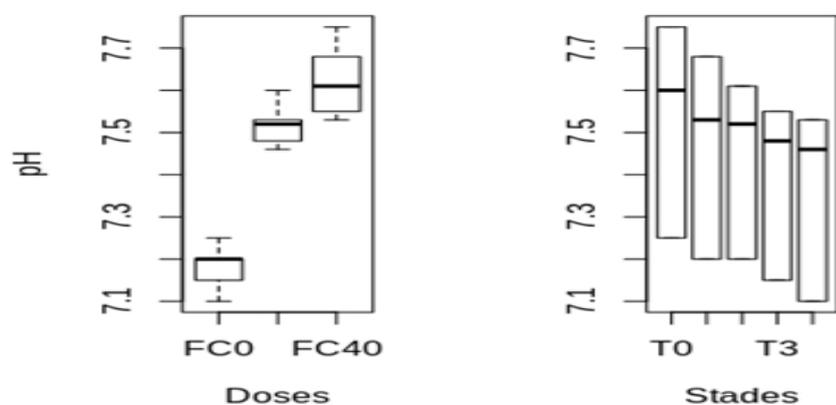


Figure 9. Evolution of soil pH.

Table 4. Output of the ANOVA analysis demonstrating the organic matter/dose on soil microbial density and soil chemical properties.

Soil property	Df	Sum Sq.	Mean Sq.	F	P
Soil microbial density	2	6,795e+08	339762090	3,854	0,0291*
% MO	2	12,83	6,413	26,24	4,04e-08 ***
pH	2	1,6131	0,8065	19	2e-16 ***

Significant codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Table 5. Output of the ANOVA analysis demonstrating the stages of wheat growth on soil microbial density and soil chemical properties.

Soil property	Df	Sum Sq.	Mean Sq.	F	P
Soil microbial density	2	2.605e+09	651280023	14.66	1,86e-07***
%MO	4	8,829	2,2072	6,19	0,000565 ***
		0,1591	0,03977	0,977	0,431

Discussion

Our experimentation study aimed to determine the evolution of microbial population with organic matter input of a cultivated soil according to the different vegetative stages of wheat growth under semi-arid conditions in the region of Tiaret, Algeria. Our findings revealed that microbial communities were represented by the high concentration around the roots and even more in amended soil than in soil without culture. According to Lynch (1982), the presence of wheat in soil has a stimulatory effect on microbial biomass due to exudation, where root production provides readily available compounds, constituted by a readily biodegradable labile material that are responsible for stimulating microbial density, this stimulation is particularly expressed in the tillering stage. However, it has been found that the presence of living roots in wheat cultivation, leading to exudation and root rhizodeposition, is at the origin of the microbial stimulation and its activity, which is manifested by an increase in biodegradation and mineralization (Oulbachir, 2010). In general, we notice that the microbial groups studied evolve differently depending on the conditions to which

they are linked to so it's necessary to show the extreme heterogeneity of the distribution of the microbial population in the rhizosphere. According to Oulbachir (2014), it is due to a temporal variation where the root meets a diversity of microorganisms in its growth. The success of colonization depends on the mechanisms of adhesion of the bacterium to the root wall, affinity of the substrate and probably recognition substrate of plant or microbial origin. To the heterogeneity due to the variation of the substrate in time and space, it is necessary to add the heterogeneity of the root environment (Golemen, 1985). The results obtained indicate that there is a certain parallelism between the climatic rhythm and the vegetative rhythm of the crop. It is obvious that at the tillering stage, microbial germs reach its relative maximum in the different soils; at a time when the living roots provide their environment with energy substances. It has appeared in work done (Oulbachir, 2010). These energy substances are easily assimilated, stimulating rhizospheric microflora. These observations are also consistent with those of Vilain (1987), who also obtained a particularly high density at tillering but very low after maturity when the root exudation is reduced.

Cultural practices, such as manure, improve plant growth, resulting in an increase in rhizodeposition, a carbon source that is easily metabolized by microorganisms in the rhizospheric. Therefore, cultural practices which have an indirect effect on microbial population, but the application of these organic amendment either at appropriate doses because the decomposition of large quantities of organic matter accumulated on the soil surface can lead to temporary anaerobiosis: these are arguments in favor of a biochemical toxicity rather than parasitic, especially if high humidity promotes microbial growth while oxygen diffusion is slower. Under these conditions, phytotoxic organic acids can be formed (Koull and Halilat, 2016, Davet, 1996).

The results obtained indicated that application of organic amendments improved significantly the soil organic matter and the soil pH. Therefore, Samreen (2017) also indicate that organic amendment such as farm yard manure had a significant effect on total soil organic carbon (SOC) content. However, the variation of these parameters considerably changes the density of the microbial population of the soil (Koull and Halilat, 2016) which, according to Bernoux & Chevallier (2013); soil organic matter (MOS) is essential for the biological activity: it is the main source of energy and nutrients for soil organisms. Moreover, the MOS favors a wide variety of habitats for the microflora (fungi, algae, microorganisms, etc.) in the soil. Most species are found in the first 2-3 cm of soil where the concentrations of organic matter and roots are highest. For this reason, soil organic matter content (SOM) is an important index to measure the level of soil function and soil quality, and detection of SOM content is an important approach to understand the local soil fertility (Jingzhe et al., 2017).

Moreover, Wang et al. (2014), Lauber et al. (2008) found that soil microbial composition and activity of the microorganisms were strongly influenced by the soil pH and each microbial species is active between pH limits, with an optimal value (Dari, 2013): fungi are generally predominant in acidic soils; capable of thriving over a wide pH range, averaging between 3,5 and 8,5 while bacteria predominate in neutral or slightly alkaline soils, such that actinomycetes prefer pH 6 to 7,5, which means microbial ecology of germs (Bouchenafa et al., 2014). However, Frey et al. (1999) found contradictory results compared to our measurements, in particular that the soil organic matter and the soil pH don't influence the fungal biomass.

Conclusion

Positive interactions between plants and micro-organisms have been demonstrated by heterogeneous rhizospheric organisms where the results obtained during this research have revealed a more intense microbial density and even more around the roots than in soil without culture, it is the substrates provided by root exudation and rhizodeposition that are responsible for stimulating microbial density. It should therefore be kept mind that the optimal rhizospheric effect corresponding to the vegetative growth period coincides in our case with the tillering stage. However, at the maturity stage, the rhizospheric effect decreases, reflecting a microbial degradation due to the litter effect of the dead roots. As could be predicted, the behavior of the microflora is related not only to the phenological stages of wheat growth, but also to the soil climatic conditions. We also observed, the effect of the organic amendment on the biological aspect of the soil or crop succession in some cases, fed the soil with organic matter (nutritional and energy source for microorganisms). In others, it is the 20% dose of horse manure that seems to be the most effective.

Acknowledgements

My sincere thanks and my deep appreciation for all those who contributed to the realization of this manuscript, particularly Mrs Tiphaine chevallier, Mrs Boukenouda Bakhta, Mrs. Bouabdelli Fatiha, Mrs. Rezzoug Wafaa, Mrs. Marouane Hanane, Mrs. Naceur Khadidja and Mrs. Larabi Nadia.

References

- Akhtar, N., Naveed, M., Khalid, M., Ahmad, N., Rizwan, M., Siddique S. (2018). Effect of bacterial consortia on growth and yield of maize grown in Fusarium infested soil. *Soil and Environment* 37(1), 35–44.
- Ananyeva, N., Ivashchenko, K., Vasenev, V., Sushko, S., Seleznyova, A., Kudayarov V. (2019). Microbial C-availability and organic matter decomposition in urban soils of megapolis depend on functional zoning. *Soil and Environment* 38(1), 31-41.
- Anne, P (1945). Sur le dosage rapide du carbone organique des sols. *ann. Agron* 2(1), 161-172.
- Benhassine, H., Bensalem, M., Bonin, G., Braudeau, E., Zidi, C. (2003). Useful reserve of Tunisian North-West soil. *Evolution under cultivation Study and Management of Soils* 10, 19-33.
- Bernoux, M. and Chevallier, T. (2013). Carbon in dry areas. Multiple functions indispensable. *Thematic files of the CSFD/Agropolis International* 10, 1-44.
- Bouchenafa, N., Oulbachir, K., Kouadria, M. (2014). Effects of tillage on the physical and biological behavior of soil under lens culture (*Lens exculenta*) in the region of Tiaret, Algeria. *European Scientific Journal* 10, 10-18.
- Dari, R. (2013). Dénombrement de la biomasse microbienne dans les sols arides, l'exemple des sols salins sous deux types de cultures. *Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en sciences agronomiques, option développement des sols sahariens. Université, Kasdi Merbah d'Ouargla, Algérie* 43.
- Davet, P. (1996). *Microbial life of the soil and crop production*. INRA (Ed). Paris, 106-202.
- Doucet, R. (2006). *Climate and agricultural soils*. Berget A.C (Ed). Canada, 172-173.
- Dridi, B. and Toumi, C. (1999). Influence des amendements organiques et d'apports de boues sur les propriétés d'un sol cultivé (Influence of organic amendments and sludge inputs on the properties of a cultivated soil). *Etude et Gestion des sols* 6(1), 7-14.
- Frey, S., Elliott, E., Paustin, K. (1999). Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two climatic gradients. *Soil Biology and Biochemistry* 31, 573-585.

- Gala, T.J., Camara, M., Yao-Kouame, A., Keli, Z.J. (2011). Profitability of mineral fertilizers in upland rainfed rice: Case of the Gagnoa zone in west central Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 46, 3153-3162.
- Goleman, D.C. (1985). Through a ped dorker on ecological assessment of root-soil-microbiol-formnat interactions. Black Well scientific publication (Ed). London, 21.
- Grosbellet, C. (2008). Thèse de doctorat, Évolution et effets sur la structure du sol de la matière organique apportée en grande quantité. INRA, Sagah Angers, Paris 70-110.
- Jingzhe, W., Tashpolat, T., Jianli, D., Dong, Z., Wei, L., Fei, W. (2017). Quantitative Estimation of Organic Matter Content in Arid Soil Using Vis-NIR Spectroscopy Preprocessed by Fractional Derivative. *Journal of Spectroscopy* 1:9.
- Kebir, T. (2012). Thèse de doctorat, Etude de la contamination, de l'accumulation et de la mobilité de certains métaux lourds dans les légumes, les fruits et les sols agricoles situés à proximité d'une charge industrielle de l'usine d'alzinc de la ville de Ghazaouet. Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen, Algérie 73.
- Koull, N. and Halilat, M.T. (2016). Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région d'Ouargla (Algeria). *Etude et Gestion des sols* 23, 9-23.
- Lauber, C.L., Strickland, M.S., Bradford, M.A., Fierer, N. (2008). The influence of soil properties on the structure of bacterial and fungal communities across land-use types. *Soil Biology and Biochemistry* 40, 2407, 2415.
- Lisetskii, F.N. and Vladimirov, D.B. (2019). Microbiota's response to natural-anthropogenic changes in moisture in a trans-zonal aspect: A case study for the south part of East European Plain. *Soil and Environment* 38(1), 21–30.
- Mathieu, C., Pieltain, F., Jeanroy, E. (2003). Analyse chimique du sol : Méthodes choisies, Tec & Doc Ed.
- Mulaji, K.C. (2011). Thèse de doctorat, Utilisation de compost bio-ménager pour l'amélioration de la fertilité des sols acides de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo). Université de Liège-Gembloux, Congo.
- Nyembo, K.L., Useni, S.Y., Chukiyabo, K.M., Tshomba, K.J., Ntumba, N.F., Muyambo, M.E., Kapalanga, K.P, Mpundu, M.M., Bugeme, M.D., Baboy, L.L., (2013). Economic profitability of nitrogen fertilizer fractionation in maize (*Zea mays* L.): Case of the city of Lubumbashi, south-eastern DR Congo. *Journal of Applied Biosciences* 65, 4945-4956.
- Oiu, L., Zhang, X., Cheng, J., Yin, X. (2010). Effects of black locust (*Robinia pseudoacacia*) on soil properties in the loessial gully region of the loess Plateau, China. *Plant and Soil* 332, 207-217.
- Oulbachir, K. (1997). Thèse de magister, Contribution à l'étude microbiologique des sols rouges sous différents systèmes de culture en conditions semi-arides en Algérie. Université de Tiaret 20-40.
- Oulbachir, K. (2010). Thèse de doctorat, Écologie microbienne des sols sous différents compartiments granulométriques et différents stades bioclimatiques. Université d'Oran, Algérie 50-72.
- Oulbachir, K., Zoubeidi, M., Kouadria, M., Bouchenafa, N. (2014). Conservation practices agro systems for sustainable development 5: 7-11.
- Oustani, M. (2006). Contribution à l'étude de l'influence des amendements organiques (fumier de volaille et fumier de bovins) sur l'amélioration des propriétés microbiologiques des sols sableux non salés et salés dans les régions sahariennes (Cas d'Ouargla). Université Kasdi Merbah d'Ouargla, Algérie.
- Rebati, N., Bouchenafa, N., Oulbachir, K., Svideniuk, M. (2019). Remote sensing and ground based assesement of distribution of land cover parameters in the catchment area of Wadi el K'sob M'sila (Algeria). *Journal of Geology, Geography and Geology* 27(3), 485-494.
- Sahnoune, R. (2014). Thèse de master, Analyse et caractérisation physico-chimique des sols de stockage de la station pétrolière (Bejaia). Université de Bejaia, Algeria 42.
- Samai, I. (2007). Thèse de master, Évaluation et caractérisation de la matière organique dans les sols d'Annaba. Université d'Annaba, Algérie 71.
- Samreen, S., Zahir, S., Wisal, M. (2017). Impact of organic amendments on soil carbon sequestration, water use efficiency and yield of irrigated wheat. *BASE* 21 (1), 36-49.
- Saravanakumer, K., Anburaj, R., Gomathi, V., Kathiresan, K. (2016). Ecology of soil microbes in a tropical mangrove forest of south east coast of India. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 8, 73-85.
- Siboukeur, A. (2013). Thèse de master, Évaluation de la valeur fertilisante de différents types de fumier. Université Kasdi Merbah d'Ouargla, Algérie 50.
- Tahani, A. (2009). Look at experiences in Algeria and Egypt. Perspectives of agricultural policies in North Africa. *Mediterranean options*, 144-172.
- Vilain, M. (1987). Plant production, the components of production. Baillière (Ed). Paris, 396.
- Ullah, R., Lone, M.I., Mian, S.M., Ali S., Ullah K.S., Sheikh A.A., Ali I. (2014). Impact of seasonal variations and cropping systems on soil microbial biomass and enzymatic activities in slope gradient moisture stressed soils of Punjab-Pakistan. *Soil and Environment* 31(1), 21–29.
- Wang, H., Yang, S.H., Yang, J.P., Lv, Y.M., Zhao, X., Pang J.I. (2014). Temporal changes in soil bacterial and archaeal communities with different fertilizers in tea orchards. *Journal of Zhejiang University Science B* 15, 953-695.

Citation:

Benouadah, S., Oulbachir, K., Benaichata, L., Miara, M.D., Snorek, J. (2020). Evolution of the microbial population of a cultivated soil with organic matter input under semi-arid conditions (Tiaret, Algeria). *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(3), 28-35.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0. License

RÉSUMÉ

La matière organique du sol est un indicateur rentable et informatif de la fertilité. Le but de ce travail expérimental est d'évaluer les effets des amendements organiques tels que les fumiers sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol en climat semi-aride. Une expérience sur terrain a été menée en utilisant deux essais expérimentaux, le premier consiste en une étude comparative permettant de connaître l'évolution de trois types de fumiers: volailles, chevaux et bovins, ainsi que leurs influences sur : les propriétés physiques du sol (densité apparente, porosité, stabilité structurale, rétention en eau et perméabilité) ; le pouvoir minéralisateur de l'azote (azote ammoniacal et azote nitrique) et le stockage de carbone organique du sol (éléments grossiers et le carbone organique) selon les variations saisonnières. Le second essai expérimental porte particulièrement sur le suivi de l'évolution du niveau de la population microbienne d'un sol cultivé à savoir : actinomycètes, bactéries aérobies, azotobacters et champignons, selon les différents stades végétatifs du blé sous un apport de fumier de chevaux. Tous les fumiers ont été appliqués à des doses de 20% et 40%. Au terme de cette étude, il s'est avéré que sous l'effet des amendements réalisés, les caractéristiques du sol s'annoncent améliorées. Pour le premier essai, les résultats analytiques ont indiqué que tous les traitements ont enregistré une amélioration significative des propriétés du sol par rapport au sol témoin. L'effet le plus hautement significatif ($P < 0,001$) a été observé avec le traitement du fumier de volaille à 40% de dose, nous avons également montré que la dose 20% de fumier qui semble la plus efficace, a engendré une bonne prolifération microbienne ; coïncidant au stade tallage de la culture de blé qui traduit une bonne activité physiologique dans le second essai. D'où il est recommandé d'apporter du fumier de volailles bien décomposé à 40% de dose (fractionné durant l'année, soit 20% en automne + 20% en printemps) afin d'éviter la sur-minéralisation de la matière organique du sol, d'améliorer son état physico-chimique et de préserver son équilibre biologique.

Mots clés: fumiers, Propriétés du sol, Climat semi-aride, Algérie.

ABSTRACT

Soil organic matter is a cost-effective and informative indicator of fertility. The aim of experimental work is to assess the effects of organic amendments such as manures on the soil physical, chemical and biological properties in a semi-arid climate. A field experiment was carried out using two experimental tests, the first one consisting of a comparative study allowing to know the evolution of three types of manure: poultry, horses and cattle, as well as their influences on: the soil physical properties (bulk density, porosity, water retention capacity, saturated hydraulic conductivity and structural stability) ; the mineralizing power of nitrogen (ammoniacal nitrogen and nitric nitrogen) and the soil carbon storage (coarse particles and organic carbon) according to seasonal variations. The second experimental test particularly concerned with monitoring the levels of microorganisms such as: actinomycetes, aerobic bacteria, azotobacters and fungi of a cultivated soil, according to the various vegetative stages of wheat under a supply of horse manure. All manures were applied at rates of 20% and 40%. At the end of this study, it turned out that under the effect of the amendments made, the soil characteristics are expected to improve. For the first test, analytical results indicated that all treatments recorded a significant improvement in soil properties compared to the control soil. The most highly significant effect ($P < 0.001$) was observed with the treatment of poultry manure at 40% dose, we also showed that the 20% dose of manure which seems to be the most effective, generated good proliferation microbial; coinciding with the tillering stage of the wheat crop which shows good physiological activity in the second test. Hence it is recommended to bring well decomposed poultry manure at 40% dose (fractionated during the year, 20% in autumn + 20% in spring) in order to avoid over-mineralization of organic matter soil, improve its physico-chemical state and preserve its biological balance.

Key words: Manures, Soil properties, Semiarid climate, Algeria.

ملخص

المادة العضوية هي مؤشر فعال بالنسبة لخصوبة التربة. الهدف من هذا العمل التجريبي هو تقييم آثار التعديلات العضوية مثل السماد الطبيعي على الخواص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للتربة في مناخ شبه جاف. أجريت تجربة ميدانية باستخدام اختبارين تجريبيين، الأول يتكون من دراسة مقارنة تسمح بمعرفة تطور ثلاثة أنواع من السماد: الدواجن والخيول والبقرة، ومدى تأثيرها على: الخصائص الفيزيائية للتربة (الكثافة الظاهرية، المسامية، الاستقرار الهيكلي، احتباس الماء والنفذية)؛ قوة تمعدن النيتروجين (نيتروجين الأمونيا والنترات) وتخزين الكربون العضوي في التربة (العناصر الخشنة والكربون العضوي) وفقاً للتغيرات الموسمية، أما الاختبار التجريبي الثاني يتعلق بشكل خاص بمتابعة تطور مستوى الكائنات الحية الدقيقة للأرض المزروعة والمتمثلة في: الأكتينوميستات، البكتيريا الهوائية، الأزوتوباكتر والفطريات، وفقاً للمراحل النباتية المختلفة للقمح بعد إضافة روث الخيل. تم تطبيق جميع الأسمدة بنسب 20% و 40%. في نهاية هذه الدراسة، تبين أنه في ظل تأثير التعديلات التي تم إجراؤها، أن خصائص التربة تحسنت بشكل ملحوظ. بالنسبة للتجربة الأولى، أشارت النتائج التحليلية إلى أن جميع المعاملات سجلت تحسناً معنوياً في خواص التربة مقارنة بالتربة الضابطة. روث الدواجن بجرعة 40% سجل التأثير الأكثر دلالة ($P > 0.001$)، كما أظهر الاختبار الثاني أن جرعة 20% من السماد الطبيعي هي الأكثر فاعلية، أنتجت تطوراً ميكروبيولوجياً ملحوظاً، لذا يوصى بإضافة روث الدواجن المتحلل جيداً بجرعة 40% (مجزأ خلال العام، أي 20% في الخريف + 20% في الربيع) لتجنب الإفراط في تمعدن المادة العضوية للتربة وتحسين حالتها الفيزيائية والكيميائية والحفاظ على توازنها البيولوجي.

الكلمات الرئيسية: الأسمدة الطبيعية، خصائص التربة، مناخ شبه قاحل، الجزائر