

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane MIRA – BEJAIA
Faculté des sciences de nature et de la vie
Département des Sciences Biologiques de l'Environnement

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Magister en Analyse de l'Environnement
et Biodiversité

Présenté par Melle. Samira ACHOUR

Thème

Etude de l'influence des vers de terre (*Lumbricus terrestris L.*) et du fumier de bovin sur les propriétés physiques de deux types de sol, du pourtour de la baie de Béjaia

Devant le jury:

- Mr.IGUEROUADA M. (Pr. à l'Université de Béjaïa).....Président
- Mr.SIDI H. (M.C.A. à l'Université de Béjaïa).....Rapporteur
- Mme.MOALIN. (M.C.A. à l'Université de Béjaïa).....Examinatrice
- Mme.MOUHOUB C. (M.C.A. à l'Université de Béjaïa).....Examinatrice
- Mr.DELLAL A. (Pr. à l'Université de Tiaret).....Examineur

Soutenu le: 17/11/2011

Remerciements

Je remercie mon dieu tout puissant pour m'avoir donné le courage et la volonté de mener à terme ce travail.

Ma profonde reconnaissance s'adresse particulièrement à mon encadreur Mr. Sidi, pour son aide et ses conseils. Mais surtout pour m'avoir donné la possibilité de proposer et de choisir ; merci infiniment Mr. pour votre compréhension.

Mes remerciements s'adressent également à l'ensemble des membres de jury d'avoir accepté d'y faire partie-Mr. Iguerouada, Mme. Moali, Mme. Mouhoub, et Mr. Dellal.

Je tiens à exprimer mes reconnaissances et mes sincères gratitude à tous ceux qui ont aidé dans la réalisation de ce mémoire et ils sont si nombreux :

- *A Mr. Bekdouche et Mr. Iguerouada, qui m'ont autorisé l'accès à leurs laboratoires tout en mettant à ma disposition le matériel nécessaire pour la réalisation des manipes, ainsi que pour leurs aides en cas de besoin ;*
- *A tous les enseignants, qui m'ont tant aider, en particulier à Mr. Benabdelmoumene, Mr. Laimouche, Mr. Remdhani (ainsi que Mme Remdhani), Mr. Hassissane, Mme et Mr. Boulila, Mr. Bouâdam, Mr. Moulai, Mr. CHelli, Mr. Bachir et Mr. Benkhanouche ;*
- *A Mr. Kribaâ enseignant à l'Université Ferhat Abbas (Sétif) ;*
- *A Mr. Sehraoui, fonctionnaire à C.N.C.C.*
- *A l'ensemble de personnel de la Faculté des Sciences la Nature et de la Vie (en particulier Mr. Benkheniche) ;*
- *A l'ensemble des responsables et ingénieurs des laboratoires de la Faculté des Sciences de la Nature et de la vie (en particulier Siham de laboratoire d'écologie). Aussi ceux de la Faculté de Génie des procédés (en particulier Nassima de laboratoire chimie) ;*
- *Aux trois organismes :*
 - *I.N.R.A. de Oued-Ghire (en particulier Mr. Ait-Meziane) ;*
 - *CASDEP de Tichy (en particulier Mr. Felkai) ;*
 - *l'Horticulture de Mr. Ouchène, à Souk.El.Ténine.*
- *Aux trois instituts :*
 - *I.N.R.A. de Berraki ;*
 - *I.N.R.F. de Bainem (Cheraga) ;*
 - *I.N.S.I.D. d'El.Herrache*
- *A Mme. Hamadi et Mr. Achour, qui ont joué le rôle d'intermédiaire avec le responsable de la pépinière, Mr Ouchene. Aussi à Mr. Amara pour ses conseils.*

A toutes les personnes qui font partie de ma vie, je leur dit merci de faire partie de la leur.

A la mémoire de ma mère, il y'a une année déjà

Liste des figures et des photographies

Figures	Titres	pages
01	Représentation du triangle des textures (U.S.D.A).	05
02	Schéma d'un agrégat (INRA-OPIE, 2001)	08
03	Carte de situation géographique des deux stations d'étude.	41
04	Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953) cité par HALIMI, (1980).	48
05	Situation bioclimatique de la région de Béjaïa sur le climagramme d'EMBERGER modifié par Stewart en 1969 (Letreuch-Bélarouci, 1991).	50
06	Schéma du dispositif expérimental au niveau des deux sites (Tichy et Souk-El-Ténine).	56
07	Diagramme de classification détaillée des textures.	59
08	Dispositif expérimental de mesure de la perméabilité.	69
09	Classes granulométriques des 2 types de sols.	78
10	Mesure de l'humidité des 2 types de sol avant l'expérimentation	79
11	Mesure de la porosité des 2 types de sol avant l'expérimentation.	80
12	Mesure de la stabilité structurale des 2 types de sol avant l'expérimentation.	81
13	Mesure de la perméabilité des 2 types de sol avant l'expérimentation.	82
14	Dosage du carbone organique et de l'azote total. des 2 types de sol avant l'expérimentation.	83
15	Dosage du Calcaire actif et du Calcaire total des 2 types de sol avant l'expérimentation	83
16	Mesure du PH des 2 types de sol avant l'expérimentation.	84

17	Evolution de l'humidité des deux types de sol, durant l'expérimentation.	85
18	Evolution de la porosité des deux types de sol, durant l'expérimentation	87
19	Evolution de la l'indice d'instabilité structurale des deux types de sol durant l'expérimentation.	90
20	Evolution de la perméabilité des deux types de sol, durant l'expérimentation.	92
21	Evolution du carbone organique et de l'azote total dans le sol sableux, durant l'expérimentation.	95
22	Evolution du carbone et de l'azote dans le sol Limono-argileux, durant l'expérimentation.	95
23	Evolution du PH (PH_{eau} et PH_{KCl}) dans le sol sableux, avant et durant l'expérimentation.	99
24	Evolution du PH (PH_{eau} et PH_{KCl}) dans le sol limono-argileux, avant et durant l'expérimentation.	99
25	Longueur des feuilles - Site Baccaro (Tichy).	101
26	Nombre total des feuilles – Site Baccaro (Tichy).	103
27	Longueur de la tige – Site de Baccaro (Tichy).	104
28	Longueur des gousses – Site de Baccaro (Tichy).	105
29	Longueur des feuilles - Site de la pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine).	107
30	Nombre total des feuilles - Site de la pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine).	109
31	Longueur de la tige- Site de la pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine).	110
32	Longueur des gousses- Site de la pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine).	111

Photo graphies	Titres	pages
01	Photographie des turricules de lombrics à la surface du sol (Pelosi, 2008).	30
02	Photographie d'un contenant d'élevage fixe (Morin, 2002).	36

Liste des tableaux

Tableaux	Titres	Pages
I	Caractéristiques agronomiques du fumier de bovin (Chabaliér & al., 2006).	21
II	Valorisation et composition moyenne du fumier et du compost de fumier de bovin (kg/t de produit brut) (Chambre d'Agriculture de Normandie 2006 in Havard & al 2008).	22
III	Répartition de la faune dans un sol brun non cultivé des régions tempérées (Bachelier, 1978 in Polesi, 2008).	26
IV	Moyennes des températures mensuelles (°C) dans la région de Béjaïa (période 1970/2009).	46
V	Les précipitations moyennes mensuelles (P) de la station de Béjaïa (1970/2009).	47
VI	Doses de M.O. et nombre de Lombrics incorporés dans les blocs expérimentaux (Même dispositif pour les deux sites).	55
VII	Classes de stabilité structurale d'après log 10 I _s (Calvet & al., 2003).	66
VIII	Classification des perméabilités en fonction du coefficient K _s (Mathieu & Pieltain, 1998).	68
IX	Résultats des différentes analyses physico-chimiques des deux types de sol.	72
X	Résultats des analyses physiques au niveau des deux types de sols, durant l'expérimentation.	73
XI	Résultats des analyses chimiques au niveau des deux types de sols, durant l'expérimentation.	74
XII	Résultats des moyennes des mesures biométriques de la plante sur sol sableux-Site de la CASDEP de Baccaro (Tichy).	76
XIII	Résultats des moyennes des mesures biométriques de la plante sur sol limono-argileux-Site de la Pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine).	77

Liste des abréviations

Abréviations	Significations
A	Argile.
LF	Limon Fin.
LG	Limon Grossier.
SF	Sable Fin.
SG	Sable Grossier.
M	Moyenne mensuelle des maximas thermiques.
m	Moyennes mensuelles des minimas thermiques.
P	Précipitations.
T	Températures.
S.S.	Sol Sableux.
S.La.	Sol Limono-argileux.
0% MO + 0 Lombrics	0% de matière organique incorporée et 0 individu de lombric introduit.
2% MO + 0 Lombrics	2% de matière organique incorporée et 0 individu de lombric introduit.
4% MO + 0 Lombrics	4% de matière organique incorporée et 0 individu de lombric introduit.
0% MO + 100 Lombrics	0% de matière organique incorporée et 100 individus de lombrics introduits.
2% MO + 100 Lombrics	2% de matière organique incorporée et 100 individus de lombrics introduits.
4% MO + 100 Lombrics	4% de matière organique incorporée et 100 individus de lombrics introduits.
L_{B.1}	Le bloc 01, du sol limono-argileux.
L_{B.2}	Le bloc 02, du sol limono-argileux.
L_{B.3}	Le bloc 03, du sol limono-argileux.
L_{B.4}	Le bloc 04, du sol limono-argileux.
L_{B.5}	Le bloc 05, du sol limono-argileux.
L_{B.6}	Le bloc 06, du sol limono-argileux.
S_{B.1}	Le bloc 01, du sol sableux.
S_{B.2}	Le bloc 02, du sol sableux.
S_{B.3}	Le bloc 03, du sol sableux.
S_{B.4}	Le bloc 04, du sol sableux.
S_{B.5}	Le bloc 05, du sol sableux.
S_{B.6}	Le bloc 06, du sol sableux.

Sommaire

INTRODUCTION.....	01
-------------------	----

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1.1. LE SOL.....	03
1.1.1. Définition.....	03
1.1.2. Propriétés physiques du sol.....	03
1.1.2.1. La Texture.....	03
1.1.2.2. La Structure.....	05
1.1.2.3. L'Humidité.....	09
1.1.2.4. La Porosité.....	11
1.1.2.5. La Perméabilité.....	12
1.1.2.6. Le PH du sol.....	14
1.1.3. Les engrais chimiques dans le sol.....	15
1.2. LA MATIERE ORGANIQUE.....	17
1.2.1. Généralités.....	17
1.2.2. Dynamique de la matière organique dans le sol.....	17
1.2.3. Rôle de la matière organique sur les propriétés de sol.....	20
1.2.4. L'humus.....	20
1.2.5. Le fumier de bovin.....	21
1.2.5.1. La composition du fumier de bovin.....	22
1.2.5.2. L'importance du fumier de bovin dans les sols agricoles.....	22
1.2.5.3. Pourquoi utiliser le fumier de bovin à la place des engrais chimiques.....	23
1.2.6. L'agriculture biologique.....	23
1.3. LES VERS DE TERRE.....	25
1.3.1. Généralités.....	25
1.3.2. L'alimentation et les rejets.....	26
1.3.3. Classification des vers de terre.....	27
1.3.4. Reproduction et Régénération des vers de terre.....	28
1.3.4.1. Cycle de vie.....	28

1.3.4.2. Durée de vie	29
1.3.5. Rôle des vers de terre dans le sol	29
1.3.6. Facteurs menaçants les vers de terre	32
1.3.6.1. Techniques culturales	32
1.3.6.2. L'érosion	33
1.3.6.3. L'urbanisation	34
1.3.6.4. Les prédateurs	34
1.3.7. Elevage des vers de terre	35
1.4. LES FEVES <i>Vicia faba L.</i> (Var. aquadulce à longue cosse)	36
1.4.1. Caractéristiques	36
1.4.2. Maladies et ravageurs	37
1.4.3. Plante parasite, l'Orobanche	38

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE	39
2.2. SITUATION TOPOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE	42
2.2.1. Localité de Souk-El-Ténine (S.E.T.)	42
2.2.2. Localité de Tichy	42
2.3. SITUATION PEDOLOGIQUE	44
2.3.1. Localité de Souk-El-Ténine (S.E.T.)	44
2.3.2. Localité de Tichy	44
2.4. SITUATION VEGETALE	44
2.4.1. Localité de Souk-El-Ténine (S.E.T.)	44
2.4.2. Localité de Tichy	45
2.5. LE CLIMAT	45
2.5.1. Introduction	45
2.5.2. Les températures	45
2.5.3. Les précipitations	46
2.5.4. La synthèse climatique	47
2.5.4.1. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN	47
2.5.4.2. Climagramme d'Emberger	48

Chapitre III : Matériel et Méthodes

3.1. MATERIEL D'ETUDE	51
3.1.1. Les échantillons de sol	51
3.1.2. La matière organique	51
3.1.2.1. Quantité de la matière organique (MO) à incorporer au sol	51
3.1.3. Les lombrics	53
3.1.4. Le dispositif expérimental	54
3.1.4.1. Choix de l'emplacement	54
3.1.4.2. Description des blocs expérimentaux	55
3.2. METHODES D'ANALYSE DE SOL	57
3.2.1. Préparation de la terre fine	57
3.2.2. Analyses physico-chimiques caractéristiques des deux types de sol	57
3.2.2.1. Analyse granulométrique	57
3.2.2.2. Mesure du PH	60
3.2.2.3. Mesure de l'Humidité du sol	60
3.2.2.4. Dosage du Carbone organique	61
3.2.2.5. Dosage de l'Azote total	62
3.2.2.6. Dosage de Calcaire total	62
3.2.2.7. Dosage de Calcaire actif	62
3.2.3. Méthodes d'analyses physiques	63
3.2.3.1. Mesure de la Porosité	63
3.2.3.2. Mesure de la Stabilité Structurale	64
3.2.3.3. Mesure de la Perméabilité	67
3.2.4. Les mesure biométriques	70
3.2.4.1. Matériels utilisés pour les mesures	71

Chapitre IV : Résultats et discussion

4.1. PRESENTATION DES RESULTATS	72
4.1.1. Analyses physico-chimiques des 2 types de sol avant expérimentation (Témoin)	72
4.1.2. Analyses physico-chimiques des 2 types de sol durant l'expérimentation	73
4.1.2.1. Analyses physiques des 2 types de sol	73
4.1.2.2. Analyses chimiques des 2 types de sol.....	74
4.1.3 Mesures biométriques de la plante, <i>Vicia faba.L.</i> durant l'expérimentation	75
4.2. DISCUSSION DES RESULTATS	78
4.2.1. Interprétation des résultats d'analyses obtenus avant expérimentation	78
4.2.1.1. Analyse granulométrique des 2 types de sol	78
4.2.1.2. Mesure de l'Humidité des 2 types de sol	79
4.2.1.3. Mesure de la Porosité des 2 types de sol.....	80
4.2.1.4. Mesure de la Stabilité structurale des 2 types de sol.....	81
4.2.1.5. Mesure de la Perméabilité des 2 types de sol.....	82
4.2.1.6. Dosage du carbone organique et de l'azote total des 2 types de sol	83
4.2.1.7. Dosage du calcaire actif et du calcaire total des 2 types de sol.....	83
4.2.1.8. Mesure du PH_{eau} et PH_{KCl} des 2 types de sol	84
4.2.2. Evolution des paramètres physiques des 2 types de sol durant l'expérimentation	85
4.2.2.1. Evolution de l'humidité du sol	85
4.2.2.2. Evolution de la porosité du sol.....	87
4.2.2.3. Evolution de la stabilité structurale du sol	90
4.2.2.4. Evolution de la perméabilité du sol.....	92
4.2.3. Evolution des paramètres chimiques des deux types de sol durant l'expérimentation	94
4.2.3.1. Evolution du carbone organique et de l'azote total.....	94
4.2.3.2. Evolution du PH.....	98
4.2.4. Mesure biométriques	101
4.2.4.1. Mesure biométriques de la plante sur sol sableux-Site de Baccaro (Tichy)	101

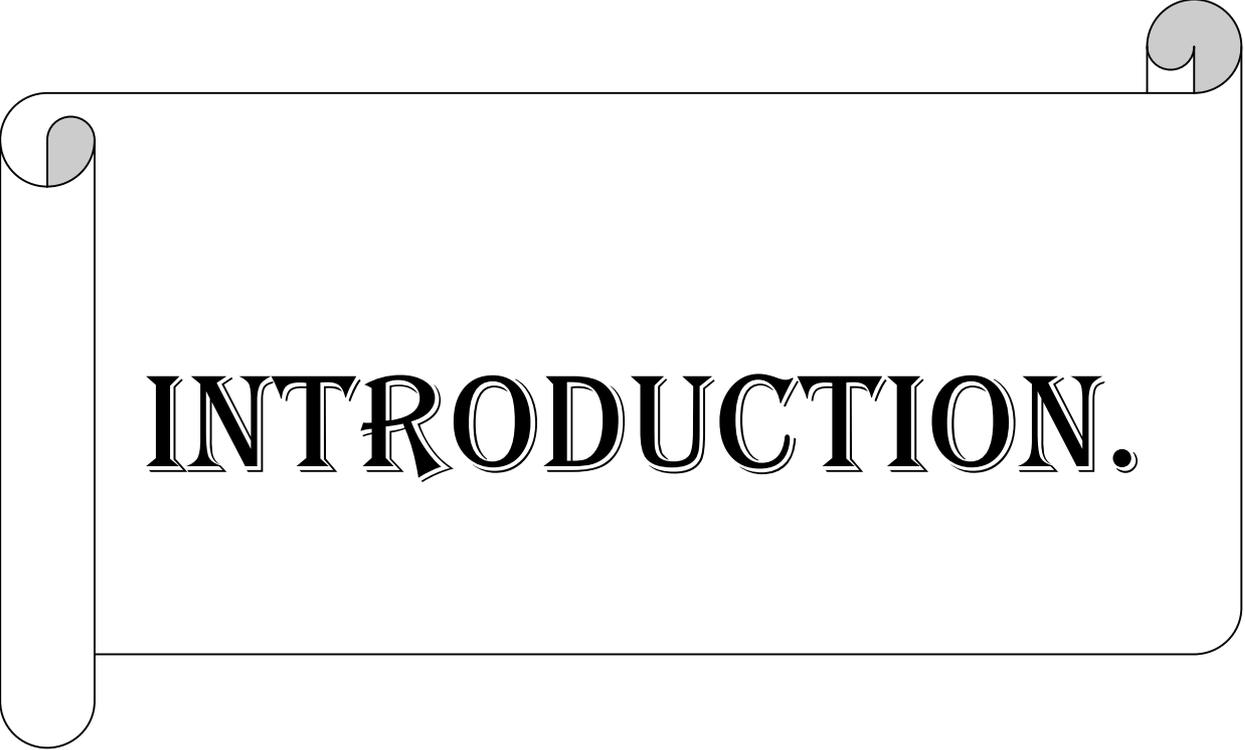
a) Longueur des feuilles	101
b) Nombre total des feuilles	103
c) Longueur de la tige.....	104
d) Longueur des gousses	105
4.2.4.2. Mesure biométriques de la plante sur sol limono-argileux-Site de la pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine).....	106
a) Longueur des feuilles	107
b) Nombre total des feuilles	109
c) Longueur de la tige.....	110
d) Longueur des gousses	111

CONCLUSION GENERALE

PERSPECTIVES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES



INTRODUCTION.

INTRODUCTION

Un sol se forme pendant des milliers d'années, mais l'action de l'homme peut le transformer en quelques années. L'agriculture est l'une des activités humaines les plus fondamentales, car elle doit faire face aux besoins alimentaires, de plus en plus croissant, de chaque personne devant se nourrir chaque jour.

L'équilibre entre la population et la productivité agricole devient de plus en plus fragile au fur et à mesure que la population grandit et que la demande en denrées alimentaires devient supérieure à l'offre dans les pays en développement, tandis que les pays du Nord continuent à surexploiter les terres arables en pratiquant l'agriculture intensive, avec comme conséquence la pollution des sols en pesticides, et leur dégradation à moyen terme.

L'exploitation des ressources en sol, constitue non seulement un phénomène environnemental local, mais un problème mondial (**Dakers, 1992**). Dans l'agriculture moderne où l'intensification agricole est accrue, les sols manifestent une dégradation à cause de la diminution de leur taux de matière organique (**Soudi & al., 2002**). L'exportation des résidus de récolte hors du sol, accompagnée d'un labour intensif provoque une détérioration sévère du sol sur le plan physique, notamment structural, engendrant par la suite une chute de la productivité (**Smith & Elliot, 1990 ; Power, 1990**).

D'après de nombreux auteurs, l'une des manières d'assurer la restauration de la fertilité des sols pourrait se faire par les amendements organiques. L'accumulation de la matière organique dans le sol est fonction de la dose, de la fréquence de ces amendements et de la nature des résidus de culture retournés au sol (**Sommerfeldt & al. 1988**). Ces matières organiques permettent non seulement l'amélioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, mais aussi constituent un réservoir important d'éléments nutritifs pour les cultures.

Du fait de ses propriétés singulières, le fumier de bovin est utilisé en tant qu'amendement organique des sols. Le fumier de bovin est destiné à améliorer, ou du moins conserver, les propriétés physico-chimiques des sols et à augmenter leur fertilité minérale suite à leur incorporation dans le sol. En effet, introduit dans le sol, ce fumier se décompose lentement, stimule l'activité biologique et améliore la structure du sol. De même, il apporte au

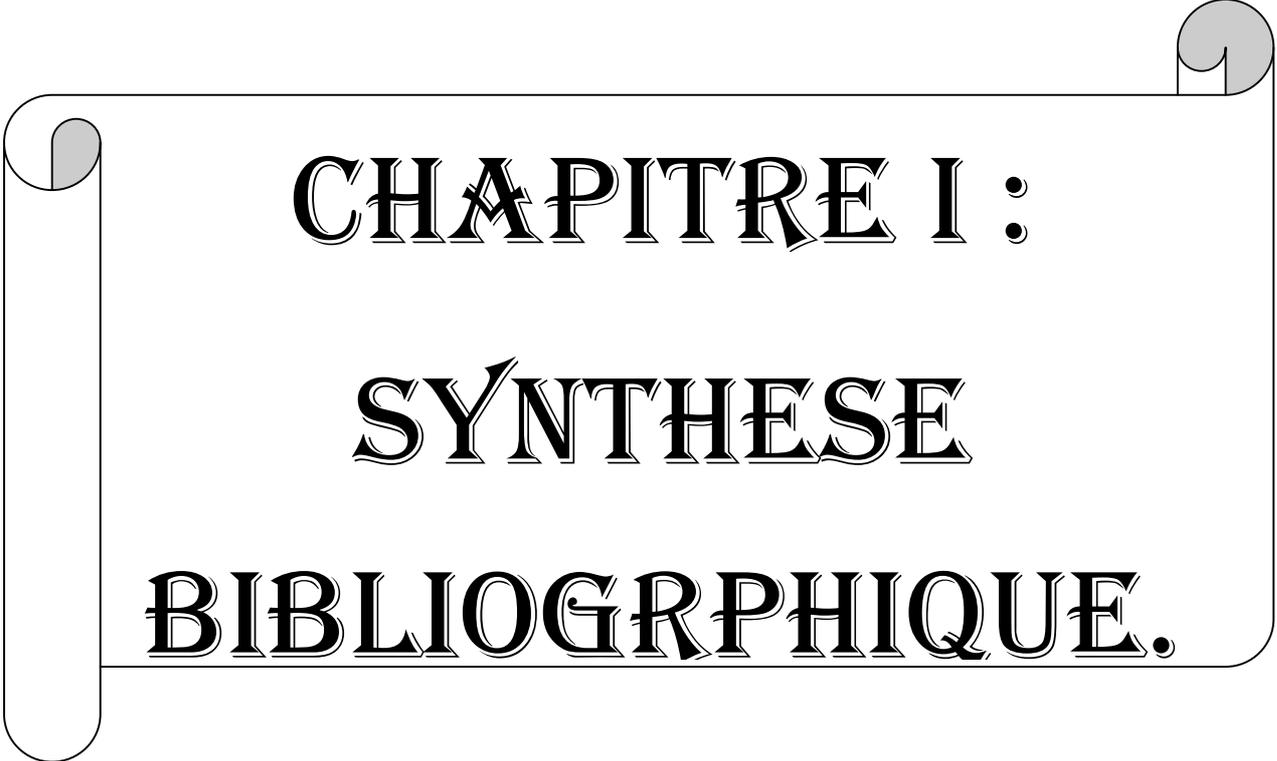
sol des éléments nutritifs et le protège contre l'érosion par la consolidation des agrégats suite à leur cimentation par les acides humiques (Soltner, 1987). L'introduction du fumier de bovin dans les systèmes culturaux comporte des avantages indéniables sur les plans agronomiques, économiques et bien sûr environnementaux.

En sols limono-argileux, la matière organique complexe l'argile et protège le sol contre la dispersion par l'eau, rendant ainsi la structure stable. De même, en sols sableux, la matière organique soude et cimente en agrégats les particules grossières, augmentant surtout la capacité de rétention en eau (N'Dayegamiye & al., 1997).

La science du sol doit fournir une réserve de connaissances dans laquelle la recherche appliquée doit puiser des éléments d'interprétation de leur fonctionnement, et ce, afin de répondre au besoin de l'agriculture moderne tout en veillant à la protection de l'environnement. On ne peut imaginer une agriculture véritablement durable sans se soucier de la qualité biologique des sols, car leur fonctionnement, tant sur le plan agronomique qu'environnemental, est largement tributaire des activités biologiques. La préservation des potentialités biologiques des sols passe par un apport rationnel en matière organique fertilisante, ainsi qu'une meilleure connaissance des organismes qui y vivent et une appréciation judicieuse de leurs activités en fonction des conditions pédoclimatiques, des systèmes et surtout des pratiques culturales.

La présente étude se définit comme objectif la confirmation ou l'infirmité du rôle positif du fumier de bovin et des vers de terre (*Lumbricus terrestris*) dans l'amélioration des caractéristiques physiques des sols, en prenant comme exemple deux types de sol de la région de Béjaïa. L'un, situé au niveau de la CASSDEP de Baccaro (Tichy), est un **sol léger de texture sableuse** et l'autre, situé au niveau de la Pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine), est un **sol lourd de texture limono-argileuse**.

Ainsi, le premier chapitre concernera une synthèse bibliographique touchant à la plupart des travaux se rapprochant de notre thème. La présentation des deux zones d'étude sera traitée dans le deuxième chapitre. Le troisième chapitre décrira l'ensemble du matériel et des méthodes utilisés, ainsi que la présentation du dispositif expérimental *in situ*. Dans le quatrième chapitre, nous présenterons les différents résultats obtenus et leurs interprétations. Enfin nous terminerons par une conclusion générale avec quelques recommandations.

A decorative border resembling a scroll, with rounded corners and a slight shadow effect, framing the text.

CHAPITRE I :
SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE.

1.1. LE SOL :

1.1.1. Définition :

Le sol est la formation naturelle de surface à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche-mère sous-jacente sous l'influence de divers processus physiques, chimiques et biologiques (**Demolon 1966, in Prévost, 1990**).

Au sein de l'écosystème, le sol représente le second élément du biotope permettant aux êtres vivants présents d'assurer leur développement. Il héberge et nourrit les espèces animales souterraines et il est le support et le réservoir alimentaire de la quasi-totalité des espèces végétales.

La nature du sol est très variable et ses caractéristiques physiques, chimiques et biologiques influencent très fortement le développement de la biocénose (**Prévost, 1990**). Un volume du sol est constitué d'éléments solides, liquides et gazeux (**Morel, 1996**).

Comme tout milieu à caractère discontinu, le sol peut être considéré comme un assemblage de pleins et de vides, l'organisation des uns conditionnant les caractéristiques des autres. Les pleins sont constitués par la phase solide, squelette et plasma (argile + substances organiques et colloïdales diverses). Les vides occupés par les phases liquides et gazeuses représentent le système poral, siège des phénomènes de transfert, dont l'importance est évidente sur le plan du fonctionnement physico-hydrique des sols (**Chrétien & Pedro, 1987**).

Le « sol agricole » représente la couche de terre labourée ou terre arable. Pour l'agriculteur, cette couche constitue le support et le réservoir alimentaire de sa culture et ses propriétés physiques et chimiques sont déterminantes dans la production agricole (**Prévost, 1990**).

1.1.2. Propriétés physiques de sol :

1.1.2.1. La texture :

La texture reflète la proportion des constituants minéraux du sol découlant de la composition granulométrique selon la taille des particules. On distingue la texture minérale qui est la proportion des sables, limons et argiles mesurés par l'analyse granulométrique, et la texture organique qui reflète la proportion de fibres et de matériel fin micro-agrégés dans les

matériaux holorganiques (**Gobat & al., 2003**). Tout en sachant que, pour les fractions minérales, la texture peut s'apprécier au toucher :

- L'**argile** est mise en évidence par la réalisation d'un boudin de terre humide.
- Les **limons** donnent sous les doigts et à l'état sec une impression de talc (**Anonyme, 2004**).
- Les **sables**, visibles, sont rugueux à la peau (**Gobat & al., 2003**).

Quelle soit minérale ou organique, la texture conditionne directement la structure du sol, et donc la porosité et le régime hydrique. En particulier, la proportion d'argile influence la formation du complexe argilo-humique, la capacité d'échange, la fertilité et la profondeur d'enracinement. La texture est une propriété stable, ne variant qu'en fonction de l'évolution à long terme du sol, pour laquelle elle est une bonne indicatrice (**Gobat & al., 2003**).

La texture renseigne sur les principales propriétés physiques du sol: rétention et circulation de l'eau, cohésion et plasticité, battance, prise en masse, sensibilité à l'érosion etc.

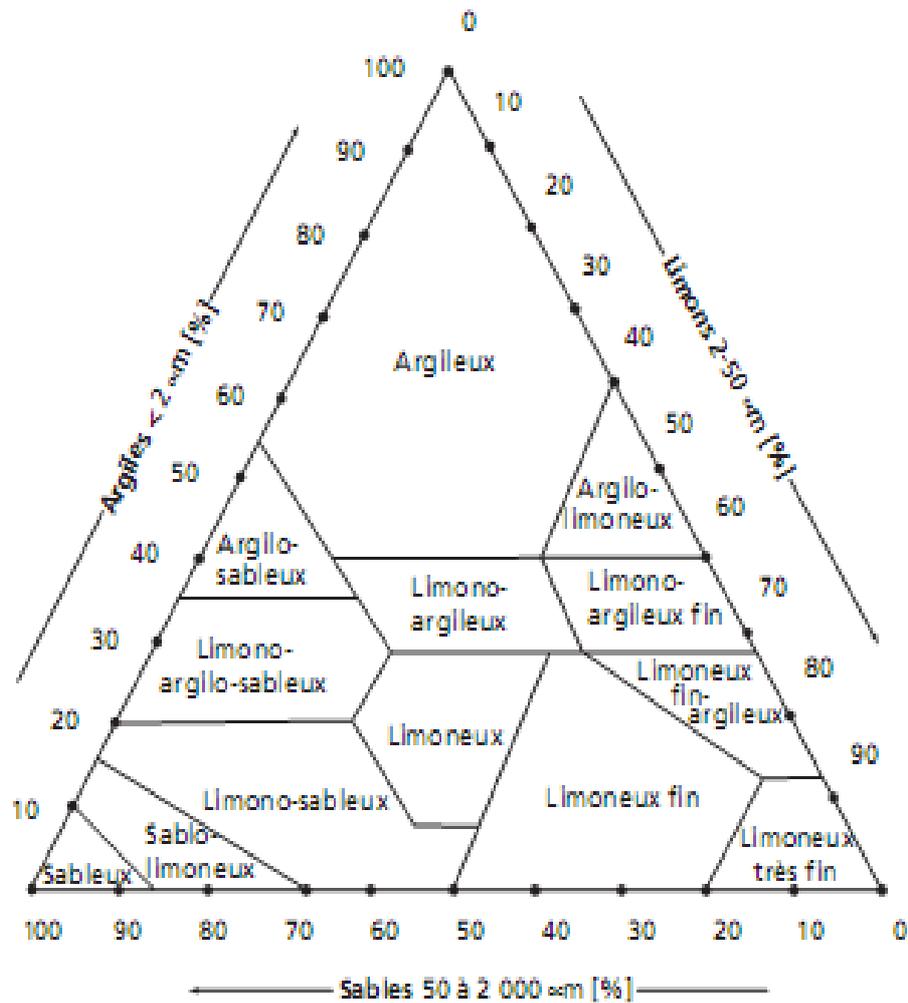


Figure 01: Représentation du triangle des textures (U.S.D.A.).

1.1.2.2. La structure :

Le concept de structure du sol ne fait pas l'objet d'une définition unique et généralement acceptée ; il existe plusieurs définitions qui sont adoptées dans la littérature scientifique. Toutefois, elles font toute référence à l'organisation spatiale des constituants (**Annabi, 2005**). En anglais, **Kay & Angers (1999)** parlent du "tilth" qui décrit un état d'agrégation propice à la croissance végétale et caractérisé par un fractionnement régulier lors du travail mécanique,

de la levée des plantules et de la croissance des racines, procurant ainsi un environnement optimal à la croissance des plantes et des microorganismes (**Rousseau, 2005**).

La qualité physique d'un sol est étroitement liée à sa structure, c'est-à-dire à la façon dont les constituants minéraux et organiques sont assemblés les uns par rapport aux autres (**Tessier & al., 1996**). Ces constituants élémentaires définissent la texture du sol qui peut être déterminée de façon relativement précise et aisée (**Anonyme, 2004**).

L'importance de la structure est considérable ; elle influence l'aération du sol, elle joue un rôle dans la résistance à l'érosion, et enfin elle intervient dans le lessivage des sols et leur perméabilité (**Duchaufour, 1965**).

L'importance de la structure dans la fertilité d'un sol est en relation avec ses propriétés physiques et biologiques ; ces propriétés se manifestent sur le terrain par le développement d'un état structural qui constitue un indice de fertilité. En agriculture, on recherche la structure grumeleuse perméable à l'eau et l'air (**Levrard, 2004**).

Hénin (1976), Russel (1971), Prévost (1990) & Valles (2005) distinguent trois grandes catégories de structures :

- Une structure "particulaire" correspondant à un assemblage lâche de particules totalement séparées les unes des autres, et où l'on parle parfois abusivement de sols sans structure. C'est le cas par exemple des sables purs.
- Une structure "massive" ou "continue" lorsque les particules sont fortement liées en blocs cohésifs de grandes dimensions. C'est le cas par exemple d'une argile très sèche qui forme des blocs rigides que l'on peut considérer comme des fragments à une échelle supérieure. Entre aussi dans ce cadre le cas d'une argile très humide dont la structure "continue" devient boueuse ou "fondue".
- Entre ces deux extrêmes se trouve le type du sol jugé le plus favorable pour la croissance des plantes ; sa structure "fragmentaire" se caractérisant par la présence de regroupements plus ou moins stables de particules en agrégats de différentes formes et tailles. C'est le cas pour de nombreux sols, dès qu'une certaine quantité d'argile est présente.

La structure s'apprécie au couteau et à la main, en rompant doucement des mottes de taille variable ; on note la forme, les dimensions et la consistance (**Anonyme, 2004**).

L'évolution de la structure dans le temps est fonction du climat, des racines, des interventions culturales et de l'état biologique du sol (richesse en matière organique, humus en particulier, et activité biologique de la faune et des microorganismes comme les vers de terre, les bactéries et les champignons (**Anonyme, 2004**).

- L'Agrégation :

La répartition et la résistance des zones de rupture vont conditionner, chez un sol donné, la répartition de la taille des agrégats en différentes classes. Les caractéristiques des zones de rupture sont principalement fonction de la texture de sol, de sa teneur en matière organique et de la composition des ciments qui lient les particules entre elles (organiques et inorganiques) (**Kay & Angers, 1999 ; Rousseau, 2005**).

Les agrégats de sol sont des groupes de particules liées entre elles par un ciment humique ou minéral, et l'espace entre les agrégats constitue la porosité servant à la conservation et l'échange d'air et d'eau (**Anonyme, 1996 ; Diaz, & al., 1994 in Belaidi, 2007**). Les agrégats sont des assemblages de particules primaires, c'est-à-dire, des particules de quartz dans l'ensemble, mais aussi d'autres minéraux comme argileux (**Calvet, 2003**).

La terre est constituée de macro-agrégats sous diverses formes structurales, qui sont eux même composés de grains de sable, de débris, de colonies bactériennes et de micro-agrégats de 50µm. Ces micro-agrégats sont faits de grains de limon, de colonies bactériennes enchâssées dans une matrice brunâtre et du complexe argilo-humique (**Levrard, 2004**).

L'agrégat, unité structurale de base, est constitué d'un squelette de grains de sable et de limon reliés entre eux par un ciment argilo-humique. La structure du sol se forme ainsi grâce à la floculation des colloïdes qui se fixent à la surface des éléments grossiers en les reliant entre eux (**Prévost, 1990**). La **figure n° 02**, ci-dessous montre la structuration d'un agrégat avec ses différentes composantes.

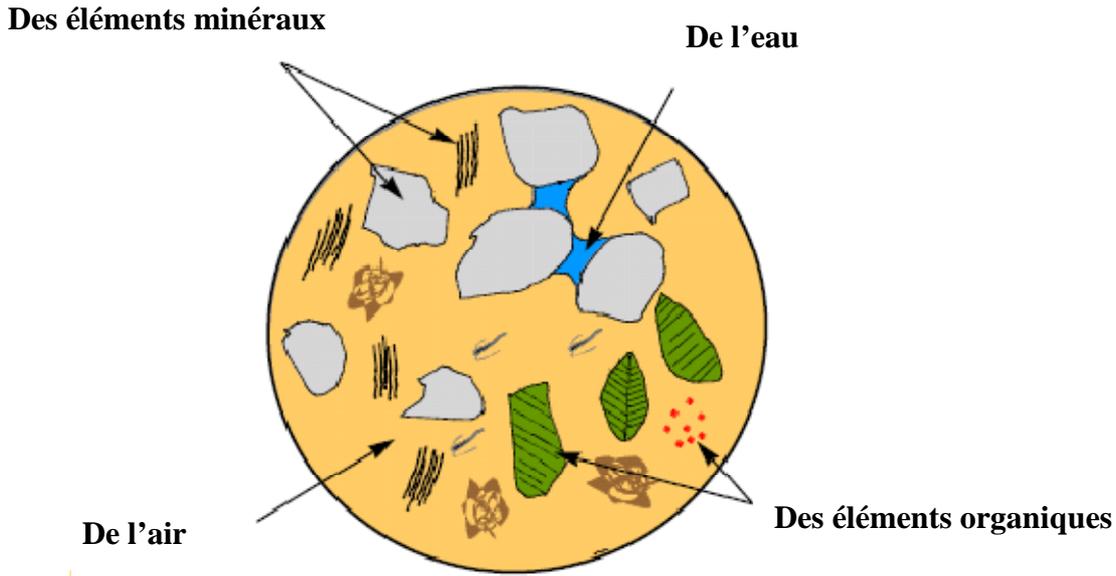


Figure 02 : Schéma d'un agrégat (INRA-OPIE, 2001)

- La stabilité structurale :

La structure se caractérise, dans de nombreux sols, par la présence d'agrégats ou de paquets de particules solidaires aisément observables. La notion de structure des sols est donc, étroitement liée à celle des agrégats dont la création ou la destruction peuvent être expliquées par plusieurs facteurs physico-chimiques. La recherche de ces facteurs est source de nombreuses études sur la régénération ou la dégradation de la structure (Perrier, 1995).

La stabilité structurale définit la capacité d'un sol à conserver sa forme structurale. Elle est spécifique à chaque forme structurale et dépend essentiellement des propriétés physiques et biologiques du sol, ainsi que de la nature des forces appliquées. Les principaux facteurs qui agissent sur la stabilité structurale sont les cycles humectation-dessiccation, le travail du sol et le passage des engins mécaniques. La stabilité structurale d'un sol est généralement estimée par l'humectation des agrégats, suivie d'une agitation dans l'eau, du tamisage ou de l'ultrasonisation (Kay & Angers, 1999 ; Rousseau, 2005).

La structure des sols est évolutive et peut être modifiée par toutes sortes de facteurs ; l'état hydrique, les pratiques culturales par les agriculteurs, la charge des engins de labours, les plantations, la faune du sol et la présence de matière organique ou d'éléments chimiques dans le sol. La structure des sols est plus ou moins modifiée par un compactage suivant l'état

hydrique du moment. **Grimaldi (1986a)** a montré que les modifications concernent tous les niveaux d'organisation structurale.

En conditions naturelles, les modifications de structure sont en grande partie dues aux variations climatiques ; le sol gonfle en période humide et se rétracte en période sèche. Ceci est particulièrement sensible dans le cas des sols argileux, la porosité correspondant à l'assemblage des particules argileuses présentant des capacités de gonflement-retrait à l'eau très importantes pour la plupart des argiles (**Tessier & Pedro, 1984**). Si les sables purs sont considérés comme indéformables, un sol plus ou moins sableux comportant une faible proportion d'argile subit des modifications de structure selon la teneur en eau (**Perrier, 1995**).

1.1.2.3. L'humidité :

L'eau est un élément constamment présent dans le sol, en plus ou moins grande quantité. C'est la présence de l'eau qui permet le développement de la végétation, et c'est à travers l'eau que se font les transferts de tous les solutés et les apports nutritifs pour la plante. (**Perrier, 1995**). Les végétaux sont constitués à 80% en eau, et celle-ci est vitale pour leur développement végétatif (**Levrard, 2004**). D'autre part, c'est l'un des principaux facteurs de la pédogenèse, qui conditionne la plupart des processus de formation des sols (**Duchaufour, 1997**).

Les sources principales de l'eau du sol sont, d'une part **l'eau de précipitation**, et aussi, dans certaines stations, **l'eau souterraine** (nappe phréatique permanente, alimentée souterrainement).

Les pluies qui tombent à la surface du sol se subdivisent en diverses fractions, et donnent ainsi naissance aux formes d'eau suivantes :

- **L'eau de ruissellement**, superficielle ou « hypodermique », lorsqu'elle circule au sein des horizons supérieurs, parallèlement à la surface (cette seconde forme est l'agent de l'appauvrissement, entraînant latéral des particules les plus fines, limons et argiles) ; le ruissellement n'est pas constant et n'affecte que les surfaces en pente (même faible), soumises à des pluies violentes.

- **L'eau de gravité**, entraînée par la pesanteur, circule dans les pores grossiers et moyens (supérieurs à 10 μ m), le plus souvent *verticalement*, parfois aussi de manière *oblique*, s'il ya une pente, et que la perméabilité du sol diminue dans les horizons profonds (c'est alors l'agent du lessivage oblique).
- **L'eau retenue** par le sol au cours de l'infiltration des pluies occupe les pores fins et très fins (inférieurs à 10 μ m environ) : les forces capillaires et d'absorption sont suffisamment élevées pour s'opposer aux forces de gravité. L'eau retenue se subdivise en deux parties : *l'eau capillaire* absorbable par les racines, qui occupe les pores fins, ou forme des « ménisques » entre les particules solides, *l'eau liée* (appelée aussi *eau d'absorption*), qui forme une fine pellicule à la surface des particules du sol (pores très fins, diamètre inférieurs à 0,2 μ m), et qui, retenue très énergiquement, n'est pas absorbable par les racines (**Duchaufour, 1997**).

Les vers de terre ont une respiration cutanée qui n'est possible que si leur peau est constamment maintenue humide. De très importants échanges d'eau se font à travers la paroi du corps des vers de terre. Les lombrics absorbent continuellement par la peau une grande quantité d'eau qu'ils rejettent ensuite par les néphridies et l'intestin (**Avel, 1959**).

D'une manière générale, les vers de terre recherchent l'humidité et craignent beaucoup plus la sécheresse qu'une immersion temporaire (**Bachelier, 1963**).

Les lombrics, dans les sols qui ne sont pas entièrement imbibés, ne sont jamais complètement hydratés et leur teneur en eau peut varier dans de très larges limites. *Dendrobaena subrubicunda*, *Lumbricus rubellus* et, *Lumbricus terrestris* préfèrent un sol simplement humide à un sol saturé. *Allolobopkora caliginosa*, *A. clilorotica* et *A. longa* préfèrent les sols saturés; tous peuvent survivre 31 à 50 semaines dans un sol submergé, pour autant que l'eau soit aérée (**Roots, 1956**).

Quand les sols se dessèchent, les vers de terre, s'ils ne meurent pas, s'enfoncent dans le sol, se roulent en boule dans des cellules d'estivation et se déshydratent en pouvant perdre jusqu'à la moitié de leur eau; leur léthargie cesse avec le retour de l'eau et leur réimbibition. L'eau joue donc pour les vers de terre un rôle fondamental dans leurs variations saisonnières, encore que

les jeunes vers sont souvent plus nombreux pendant l'été dans les sols possédant une litière protectrice suffisante (**Bachelier, 1963**).

D'un autre côté, l'excès d'eau dans le sol provoque beaucoup de désagréments, que ce soit au niveau de l'état physique du sol (déstructuration, prise en masse) mais aussi au niveau de l'activité biologique du sol, où l'on observe une diminution de celle-ci par le fait de l'engorgement de la porosité de sol qui limite l'activité des microorganismes et de la faune du sol. Cela peut être résumé comme suit :

- Un manque d'air pour les racines et les microorganismes du sol.
- L'accumulation de gaz carbonique.
- Un durcissement trop important du sol par temps sec.
- Un trop long réchauffement du sol au printemps.
- Une mauvaise décomposition des matières organiques.
- Une production d'acide humique et un développement des mauvaises herbes et des maladies parasitaires. (**Levrard, 2004**).

1.1.2.4. La porosité :

La porosité, c'est la fraction de l'unité de volume du sol en place qui n'est pas occupée par la matière solide (**Hénin & al., 1969**). Elle donne une bonne idée sur l'état structural avec, comme avantage certain, la possibilité de mesures comparatives (**Gobat & al., 2003**). D'après **Gisi & al. (1997) in Gobat & al. (2003)**, la porosité se subdivise, selon la taille des pores, en **macroporosité** (vides > 50 µm, pouvant être remplis par l'eau de gravité rapidement drainée et souvent colonisés par les racines moyennes), en **mésoporosité** ou porosité capillaire, constituée des vides de 0,2 à 50 µm retenant l'eau utile aux plantes, et en **microporosité**, dont les vides inférieurs à 0,2 µm retiennent l'eau inutilisable.

La mésoporosité dépend beaucoup de la texture, et la macroporosité essentiellement de la structure du sol (**Gobat & al., 2003**). La microporosité est liée principalement à la présence dans le sol de composés organiques très polymérisés, bien humifiés et de la richesse en argile. Car, la microporosité, constituée surtout de porosité capillaire, permet au sol de stocker l'eau pendant longtemps grâce aux forces de rétention provoquées par les argiles et l'humus.

La porosité est mesurée sur un échantillon du sol, de volume connu, prélevé sans modification de sa structure et pesé après dessiccation à 105 °C. La porosité totale (P), égalant à la somme de la macroporosité, la mésoporosité et la microporosité, peut être déduite par les mesures de la densité apparente (da) et la densité réelle (dr), à travers la formule suivante :

$$P = \frac{(dr - da)}{dr} \times 100$$

Où :

P : Porosité en %

dr : densité réelle

da : densité apparente

L'intérêt de connaître la densité apparente du sol est manifeste, car elle nous renseigne directement sur l'état poral du sol, qui évolue rapidement selon l'état d'humidité du moment, mais aussi selon l'état de compaction du sol induite par des agressions externes comme le piétinement des animaux ou le poids des engins de labours.

La porosité renseigne sur les capacités hydriques ou atmosphériques d'un sol, en volume ou en flux (**Gobat & al., 2003**).

1.1.2.5. La perméabilité :

D'après **Hénin & al. (1969)**, le terme "perméabilité" dans la terminologie française représente le volume d'eau mobile par unité de volume de sol traversé par le liquide. **Levrard (2004)** la définit comme étant la propriété qu'ont les sols de se laisser traverser par l'eau et l'air. Plus un sol est composé de sable, plus il est perméable. A l'inverse, les terrains riches en argile sont imperméables. Le tassement de sol joue un rôle dans la perméabilité ; Plus la terre est tassée, plus le sol devient imperméable.

La perméabilité de la roche mère détermine la vitesse de circulation des eaux dans le sol. Un engorgement de la roche mère contraint les eaux à ne circuler que très lentement. Les

solutions du sol vont peu à peu se concentrer en éléments solubles libérés par l'altération des minéraux (**Beauchamp, 2006**).

Des minéraux argileux de néogène vont se former : souvent des argiles gonflantes du type smectite à forte capacité de rétention en eau (montmorillonite de néogène).

Si la roche est perméable, d'importantes quantités d'eau percolent. Ces eaux vont être extrêmement diluées en éléments minéraux. Des minéraux argileux type kaolinite ou vermiculite se formeront préférentiellement. Par ailleurs l'altération est plus rapide sur les roches à gros grain (pegmatites). Enfin le sens de la schistosité (horizontale ou verticale) joue également un rôle (**Beauchamp, 2006**).

La perméabilité **k** d'un sol est définie par la vitesse d'infiltration de l'eau; ou la perméabilité (**k**), mesurée selon la méthode de Hénin, basée sur la loi de Darcy :

$$Q = K.s. H/h$$

Où :

Q: Débit (en cm^3/h)

K: Perméabilité (en cm/h)

S: Section de la colonne de sol (en cm^2)

H: Hauteur de la colonne d'eau (en cm)

h: hauteur de la colonne de sol (en cm).

* Pour des sols saturés en eau (Après une forte pluie):

• **Sols sableux**: **k** est compris entre 5 et 10 cm/heure

• **Sols limoneux**: **k** varie de 2 à 50 cm/heure dans un horizon A selon le type d'humus. Il est de l'ordre de 1 mm/heure dans les horizons B enrichis en argiles.

* Pour les sols non saturés (pluies faibles, air présents dans la porosité de sol), **k** est beaucoup plus faible (ex : 0,1 mm/heure pour un limon) (**Beauchamp, 2006**).

Une couche est réputée imperméable pour des valeurs de k de l'ordre de (10^{-9} m/s); Si la pluie est forte, le sol ne peut pas absorber toute l'eau tombée, la partie supérieure du sol devient saturée, mais le transfert vers la profondeur n'est pas assez rapide. Lorsque la surface du sol est imperméable, le ruissellement apparaît sitôt que les dépressions du sol ont été remplies (**Beauchamp, 2006**).

La perméabilité s'exprime par la vitesse d'infiltration de l'eau de gravité et elle est d'autant plus élevée que la porosité non capillaire est plus forte (**Baver, 1948 in Duchaufour, 1965**).

Les recherches de plusieurs auteurs (**Combeau & Monnier, 1961 ; Vigneron & Desauette, 1960**) ont clairement montrées l'influence prééminente de la structure, par rapport à la texture, sur la perméabilité ; les sols à structure stable sont en générale perméables, alors que les sols à structure fondue, ou particulaire, sont peu perméables, ceci est particulièrement vérifié chaque fois que la composition physique du sol, sa granulométrie est mal équilibrée (**Duchaufour, 1965**).

1.1.2.6. Le PH de sol :

La phase liquide du sol, quel que soit son volume relatif à un instant considéré, recèle un cortège d'ions positifs et négatifs et, parmi eux, des ions H_3O^+ , résultant de la combinaison d'ion hydrogène avec des molécules d'eau. La connaissance du niveau de concentration des ions H_3O^+ se réfère à la notion de PH (**Morel, 1996**).

Système très hétérogène, le sol ne peut donner lieu à une mesure de PH. En revanche, la phase liquide appelée communément la solution du sol, pourrait faire l'objet de détermination ; toutefois, celle-ci se révèle délicate et techniquement trop longue. Aussi, le PH d'un sol répond-t-il à une mesure conventionnelle, effectuée selon un protocole simple couvrant plusieurs modalités [PH_{eau} ; PH_{KCl}] (**Morel, 1996**).

Le PH des sols varie :

- Dans l'espace : sous l'influence directe de la roche mère (qui libère peu ou beaucoup de bases : roches calcaires).

- Dans le temps : selon la saison (le PH en été est légèrement plus faible du fait d'une forte activité biologique produisant des acides organiques) et à long terme, selon l'intensification de la culture qui peut épuiser le sol en bases par de mauvaises pratiques culturales (ex. : mauvais choix d'engrais).

Selon les sols, cette variation n'est pas égale, car elle dépend de son pouvoir tampon, c'est-à-dire de sa capacité à résister aux variations du PH. Cette propriété est liée à la présence des colloïdes qui fixent une partie des ions apportées et diminuent ainsi la variation de PH. Par exemple, un sol argileux a un PH qui varie moins que celui d'un sol sableux lors d'un apport d'ions calcium (amendement calcique) (**Prévost, 1990**). Un sol riche en humus aura un PH plus stable lors d'un apport calcique, car sa Capacité d'Echange Cationique (C.E.C.) est élevée comparée à celle d'un sol peu organique ou sableux. Un sol riche en humus ou en argile aura un pouvoir de fixation des cations dans le sol beaucoup plus grand, et donc pourra, selon les situations, faire face à un changement brutal du PH.

La connaissance de la phase tampon, active actuellement, permet d'évaluer le degré d'évolution d'un sol, ainsi que sa résistance potentielle aux polluants atmosphériques.

Le pouvoir tampon de sol peut concerner d'autres facteurs écologiques, la température par exemple. Globalement, il garantit ainsi le maintien d'un système physico-chimique stable, dont profitent la végétation et la microflore (**Gobat & al., 2003**).

1.1.3. Les engrais chimiques dans le sol :

Si pendant longtemps le fumier a été le seul élément fertilisant connu, on ne conçoit plus actuellement de culture sans l'emploi des engrais chimiques. Les régions où l'agriculture est le plus prospère sont celles qui en utilisent les plus forts tonnages (**Gauthier, 1991**).

Un engrais chimique est une substance contenant une certaine proportion d'éléments fertilisants qui, apportée au sol, est destinée à nourrir la plante cultivée (**Prévost, 1990**). Les engrais chimiques apportent aux plantes les aliments qui ne se trouvent pas en quantités suffisantes dans le sol et permettent ainsi l'obtention de rendements importants (**Gauthier, 1991**).

Les plantes sont plus vulnérables aux attaques de parasites et d'insectes lorsqu'elles sont dans des conditions de stress ou de manque en éléments nutritifs et en eau. La qualité du sol est donc essentielle pour maintenir les végétaux dans de bonnes conditions. Résistantes naturellement, les plantes auront moins besoin d'être soumises aux traitements herbicides et insecticides.

Les engrais comportent principalement trois (03) éléments nutritifs : L'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). L'azote favorise la pousse des feuilles et intensifie la coloration verte du feuillage. Le phosphore favorise l'enracinement et le développement des bourgeons floraux. Le potassium est un élément essentiel à la formation des fruits et il favorise la résistance des plantes aux maladies (**Anonyme, 2001**).

Les oligo-éléments sont aussi indispensables que les éléments nutritifs principaux. Ce sont par exemple le magnésium (nécessaire à la formation de chlorophylle), le zinc (facteur de croissance), le cuivre (qui favorise l'assimilation de la potasse et de l'azote), le bore (qui contribue à la formation cellulosique) (**Anonyme, 2001**).

Les engrais de synthèse n'activent pas les microorganismes du sol, les ions NO_3^- par exemple sont directement ajoutés au sol. Les ions sont donc présents une seule fois en grande quantité et la plante ne peut pas absorber une telle dose (**Anonyme, 2001**). Les risques sont alors de nature environnementale et sanitaire. Les ions nitrates sont emportés par infiltration d'eau jusqu'aux nappes phréatiques ou dans les rivières (**Anonyme, 2001**).

En l'absence d'oxygène (dans le système digestif par exemple), les ions nitrate se transforment en ions nitrite ou restent stables. Ces ions sont susceptibles d'être responsables de la méthémoglobinémie (l'hémoglobine ne remplit plus son rôle de transport de l'oxygène dans le sang), de cancers de l'estomac et de malformations (**Anonyme, 2001**).

Le rôle d'un amendement est de rééquilibrer le taux de matière organique du sol. L'apport d'un engrais vise un seul objectif : apporter les éléments minéraux dont la plante a besoin. Les doses sont bien inférieures à celles d'un amendement (**Morlat, 2006**).

1.2. LA MATIERE ORGANIQUE :

La matière organique constitue le pilier central de la fertilité car elle influence la plupart des propriétés édaphiques. Elle revêt également un intérêt écologique indéniable. Le carbone organique stocké dans les sols représente en effet une source importante de dioxyde de carbone et participe au cycle du carbone. De par son importance, ce réservoir, à la faveur des changements climatiques, pourrait influencer la concentration en CO₂ dans l'atmosphère et entraîner des changements environnementaux (**Kirschbaum, 1995 In Pallo & al., 2008**).

1.2.1. Généralités :

La matière organique représente environ 5 à 10 % de sol (**Dubreuil, 2000**). Elle provient de l'activité biologique, animale et végétale dans le sol et conditionne l'évolution de celle-ci (**Magny & Baur 1962, Mathur & Wong 1991 in Pallo & al., 2008**). Dans les pays méditerranéens, les taux de matière organique dans le sol sont relativement faibles (1 à 8 ou 9%). Dans les parcelles cultivées, il peut augmenter sous l'effet des divers amendements organiques, jusqu'à atteindre parfois 30 ou 40%.

La matière organique désigne l'ensemble des substances et des composés carbonés d'origine animale et végétale. Elle se localise surtout dans les horizons superficiels (0-20 à 30cm).

La nature de la matière organique du sol (MOS) se répartit en 4 catégories :

- ▶ La matière organique vivante (vers de terre, insectes, champignons, bactéries,...) ;
- ▶ La matière organique fraîche principalement d'origine végétale ;
- ▶ La matière organique labile (glucides simples, acides aminés)
- ▶ La matière organique stable (l'humus), bien évoluée et humifiée, issue de la décomposition de la matière organique végétale (**Anonyme, 2009**).

1.2.2. Dynamique de la matière organique dans le sol :

La quantité des matières organiques dans le sol évolue en fonction des flux d'entrée (restitutions ou apports d'amendements organiques) et des flux de sortie (minéralisation). Chaque année, 1 à 2% de l'humus du sol (soit de 300 à 1200 kg/ha/an selon le taux initial de matière organique) sont dégradés (**Anonyme, 2009**).

La décomposition de la matière organique implique un grand nombre de processus et d'organismes. Les différentes transformations subies par la matière organique sont de trois types (Gobat & al., 2003) :

a)minéralisation: processus physique, chimique et biologique menant à la transformation des constituants organiques en constituants minéraux. Ils se divisent en deux phases :

-minéralisation primaire: dégradation rapide (1 à 5 ans) de la matière organique fraîche;

-minéralisation secondaire: destruction lente (1 à 3% par année) des molécules organiques synthétisées par les processus d'humification.

b) humification : synthèse de matière organique stabilisée, formant l'humus (au sens biochimique), et incorporation au complexe argilo-humique. Celui-ci est l'ensemble des substances du sol constituées par l'association des molécules organiques humifiées et des argiles. Ce complexe est une propriété très importante dans le sol, car il contrôle tout les échanges ioniques entre la solution du sol, le végétal et les matières organiques de sol.

L'humification présente trois voies de synthèse :

- **Humification1:** par **héritage** ; des composés résistants libérés lors de la fragmentation de la litière, par exemple la lignine et les acides phénoliques, sont incorporés directement au complexe argilo-humique.
- **Humification 2 :** Par **polycondensation** ; des composés phénoliques simples issus des premières étapes de minéralisation ou hérités de la litière se condensent en molécules plus grosses (acides créniques ou humiques).
- **Humification 3 :** Par **néosynthèse bactérienne** ; reprise par les bactéries de certaines molécules solubles issues des dégradations enzymatiques et transformation en polysaccharides très stables, donnant de la cohésion aux colonies bactériennes.

c)Assimilation : Celle-ci s'effectue par les organismes vivants qui représentent l'ensemble des chaînes de décomposition :

- La faune du sol joue un rôle dans la destruction physique des tissus superficiels, le découpage des feuilles, la réduction de la taille des débris par d'autres organismes,

l'enfouissement des crottes et débris et lessivage, dissémination et contrôle des champignons et bactéries (**Gobat & al., 2003**).

- Les vers de terre participent dans l'humification de la matière organique dans leur tube digestif, ainsi que son intégration au complexe argilo-humique (**Gobat & al., 2003**). Le vers de terre, particulièrement de type anécique (cas de *Lombricus terrestris*), est un peu comme un tube digestif ; il forme des enzymes et des bactéries. En plus de ventiler le sol, il mange littéralement le sol dans des proportions allant jusqu'à 10% du sol par an. les matières organiques (mortes ou vivantes) ingérées par les lombriciens sont dégradées et mélangées à la fraction minérale du sol durant le transit intestinal. Au cours de ce processus, dans lequel interviennent activement les microorganismes du tube digestif, les propriétés physiques et chimiques du sol sont modifiées. Ses déjections sont un humus pur contenant ces enzymes et ces bactéries (**Hébert, 2008**).
- Les bactéries et les champignons sont des acteurs majeurs de la décomposition. Chez les bactéries, on distingue la respiration (aérobie) et la fermentation (anaérobie). Cette dernière, qui convertit les sucres en acides et alcools, est moins efficace que la respiration. Les bactéries sont les décomposeurs dominants de la matière organique d'origine animale. Les champignons sont les décomposeurs dominants de la matière organique d'origine végétale. La décomposition de la matière végétale est plus complexe que celle de la matière animale (**Gobat & al., 2003**).

La vitesse de décomposition dépend du type de molécule, en tant que source d'énergie ;

- Le glucose et autres sucres simples, ainsi que les protéines et d'autres composés solubles sont facilement biodégradables et très énergétiques.
- Par contre, la lignine et plus particulièrement la cellulose sont très difficilement biodégradables. La vitesse de décomposition de feuilles mortes est inversement proportionnelle à la proportion de lignine (**Gobat & al., 2003**).

L'azote est récupéré en partie par les microorganismes pour leurs propres besoins (immobilisation), et le reste est minéralisé. Le taux net de minéralisation varie selon le type de litière et le temps. Les carcasses animales sont attaquées par divers charognards, et le reste est

décomposé assez rapidement (sous nos climats) par des insectes (asticots : larves de mouches *Calliphoridae*) et des bactéries (**Gobat & al., 2003**).

Le climat influence aussi le rythme de décomposition ; le froid et le sec inhibent l'activité microbienne. Tandis que la chaleur et l'humidité la favorisent (**Gobat & al., 2003**).

1.2.3. Rôle de la matière organique sur les propriétés de sol :

La matière organique du sol est un élément clé de la fertilité :

◆ Grâce à l'association entre l'humus et les argiles (complexe argilo-humique), la matière organique permet de maintenir une bonne structure (limite l'érosion et la battance, améliore la capacité de rétention en eau et le drainage, améliore l'aération du sol et le réchauffement au printemps, favorise la pénétration racinaire, ainsi qu'une bonne perméabilité du sol) ;

◆ Elle améliore du stockage et de la mise à disposition des éléments minéraux (N, P, K et oligo-éléments) pour la plante par minéralisation ;

◆ Elle stimule du développement de l'activité biologique des sols ; Elle favorise l'activité biologique et microbienne qui rend les éléments minéraux assimilables aux plantes ;

◆ Elle limite les toxicités en favorisant la complexation des éléments trace métalliques (Cuivre, Manganèse...);

◆ Elle améliore la rétention et dégradation des micropolluants organiques et des pesticides ;

◆ Et plus généralement, elle améliore la qualité et la productivité légumière.

(**Magny & Baur, 1962 ; Mathur & Wong, 1991 in Pallo & al., 2008**)

1.2.4. L'humus :

L'humus stable est la matière organique du sol qui n'est que difficilement décomposable (minéralisable). Il se forme à partir de résidus végétaux ou animaux et donne une couleur foncée au sol (**Muller & al., 2008**).

En agronomie, une teneur suffisante des sols en humus est depuis toujours une préoccupation. L'humus permet non seulement de retenir de l'eau et des nutriments, il lie aussi les particules minérales du sol en formant des complexes argilo-humiques (**Muller & al., 2008**).

L'humus contient du carbone, de l'oxygène, de l'hydrogène et de l'azote. Les plantes utilisent l'humus sous forme d'humâtes de magnésie, chaux, potasse. En absence de ces bases, il y a formation d'acide humique néfaste à la plupart des plantes. (**Levrard, 2004**).

L'humus est appelé tourbe lorsque la décomposition a lieu sous l'eau. Il absorbe beaucoup d'eau et reste longtemps humide. Il absorbe la chaleur du fait de sa couleur sombre. Il allège les terres argileuses et donne du corps aux terres sableuses (**Levrard, 2004**).

1.2.5. Le Fumier de bovin :

C'est un mélange plus ou moins décomposé de litière carbonée (par exemple : pailles, bagasse) et de déjections (fèces et urine) de bovin. C'est une matière brune, plus ou moins pailleuse et compacte, hétérogène, à odeur caractéristique, relativement humide. (**Chabaliér & al., 2006**). Les Caractéristiques agronomiques du fumier de bovin sont consignées dans le tableau I ci-contre.

Tableau I : Caractéristiques agronomiques du fumier de bovin.

Caractéristiques physico-chimiques de la matière organique	<ul style="list-style-type: none"> - C/N : 13 à 15 - ISB : 40 à 60 - K₁ : 20 à 40 - PH : 7 à 8 (plutôt neutre)
Coefficients d'équivalence engrais	<ul style="list-style-type: none"> - N : 0,1 à 0,4 - P₂O₅ : 1 - K₂O : 1 - CaO : 1 - MgO : 1

(**Chabaliér & al., 2006**).

Où :

*C/N : le rapport Carbone organique/ Azote total ; *ISB : Indice de stabilité biologique (ISB) ; *K₁ : Coefficient isohumique ; *N : Azote organique ; *P₂O₅ : Phosphore total ; *K₂O : Potassium total ; *CaO : Calcium total ; *MgO : Magnésium total.

1.2.5.1. La composition du fumier de bovin :

Le fumier contient des composés organiques dissous ou non comme des polysaccharides, des lipides, des protéines et des acides gras volatils, mais également un nombre important de composés inorganiques (**Garcia-Ochoa et al., 1999 in Pinatton, 2007**).

Tableau II : Valorisation et composition moyenne du fumier et du compost de fumier de bovin (kg/t de produit brut).

	Compost de fumier de bovin	Fumier de bovin
% matière sèche	26,6	19,8
% matière organique	15,4	13,8
PH	7,8	7,9
Azote N (en Kg/t brut)	6,3	5
Phosphore P ₂ O ₅ (en Kg/t brut)	3,9	2,9
Potasse K ₂ O (en Kg/t brut)	8,3	6,3

(Chambre d'Agriculture de Normandie, 2006 in Havard & al., 2008).

1.2.5.2. L'importance du fumier de bovin dans les sols agricoles :

En amendement organique avec un C/N > 14, le fumier de bovin est un produit relativement mature. L'azote contenu dans ce fumier n'est pas disponible immédiatement pour la plante. L'apport de fumier au sol bloque l'azote du sol, nécessaire à la minéralisation des pailles, ce qui peut entraîner des faims d'azote plus ou moins fortes par la culture (jaunissement, voire mort des plantes). Un à trois (03) mois après, l'azote est progressivement libéré en petites quantités par minéralisation biologique. Cette matière organique a un effet à long terme sur la fertilité du sol. Elle sert à l'entretien du stock d'humus du sol et joue surtout sur l'amélioration de la structuration du sol (apport de matière organique jeune) et des activités biologiques. L'apport d'humus au sol est de l'ordre de 100kg par tonne apportée. Matière organique ayant des teneurs moyennes en éléments fertilisants relativement bien équilibrés (azote, phosphore, potassium) par rapport aux besoins des plantes (**Chabalié & al., 2006**).

1.2.5.3. Pourquoi utiliser le fumier de bovin à la place des engrais chimiques ?

Comme les engrais chimiques, le fumier joue lui aussi un rôle important dans l'amélioration de la structure physique des sols en augmentant leur pouvoir de rétention en eau, leur aération, leur réchauffement, leur résistance à l'érosion, leur pouvoir de filtration des éléments nutritifs ainsi que leur facilité au travail ;

→**Elle améliore les qualités biologiques des sols** en apportant de nombreux micro-organismes ($300.000.000/\text{cm}^3$) et des éléments organiques ainsi que le support physique nécessaire à la vie et à la multiplication de la faune et de la flore du sol.

→**Elle améliore les qualités chimiques des sols** en solubilisant les sels minéraux insolubles et en nitrifiant l'azote organique.

Comme tout engrais, il faut prévoir des apports de fumier chaque année (peu importe la saison étant donné que le fumier est composté) à la dose de 2 à 3 kg/m² environ (**Anonyme., 2008**).

Contrairement aux engrais chimiques, le fumier n'assure pas une production quantitativement importante. Par contre du point de vue qualitatif, c'est une production saine car il s'agit d'une production biologique, donc naturelle qui ne présente aucun risque ni pour l'homme ni pour son milieu; l'environnement y compris la biocénose qui y vit. A condition bien sûr d'une utilisation rationnelle qui répond aux normes assurant la protection des trois compartiments de l'écosystème contre la pollution.

1.2.6. L'agriculture biologique :

L'agriculture biologique est un mode de production dans le respect des équilibres naturels excluant l'usage d'engrais chimiques et de pesticides (**ÉNITA de Bordeaux, 2003**). L'agriculture biologique est un système de production fondé sur la gestion des ressources naturelles qui restreignent l'utilisation de ressources non renouvelable, qui limitent de manière stricte l'utilisation d'intrants chimiques de synthèse et qui exclut l'utilisation d'OGM (**Copa-Cogeca, 2007**).

Les avantages que présente l'agriculture biologique pour l'environnement sont les suivants:

- 1- Les systèmes d'agriculture biologique sont caractérisés par une matière organique du sol relativement élevée. Elle est préservée et enrichie par des pratiques agricoles favorisées dans la production biologique (rotation des cultures, cultures de légumineuses fixatrices d'azote atmosphérique,...) tant elles limitent l'utilisation d'intrants externes et d'engrais de synthèse.

L'épandage de matières organiques provenant de résidus de plantes et de fumier crée des conditions favorables à l'activité biologique du sol (cas des vers de terre).

- 2- L'utilisation restreinte de pesticides de synthèse, l'interdiction d'utiliser des engrais minéraux azotés et les faibles densités de stockage des animaux d'élevage contribuent à réduire les taux de lessivage et la pollution des eaux de manière générale.
- 3- L'agriculture biologique a un impact favorable sur la biodiversité tant en ce qui concerne les espèces domestiquées que la diversité de la faune et de la flore en surface et dans les sols.
- 4- Le dioxyde de carbone (CO_2) est absorbé par les plantes via la photosynthèse et est stocké dans la matière organique du sol. Comme l'agriculture biologique conduit à une teneur élevée en matière organique dans le sol, son impact sur la réduction de CO_2 est très positif.

L'élevage biologique génère également peu d'émissions de méthane (CH_4) par hectare étant donné la faible densité de stockage ; il est possible de réduire les émissions de CH_4 en changeant le régime alimentaire des ruminants et en améliorant la gestion du fumier (**Copa-Cogeca, 2007**).

1.3. LES VERS DE TERRE :

1.3.1. Généralités :

La faune du sol, que l'on répartit habituellement en fonction de la taille des organismes qui la composent en trois groupes distincts, micro-, méso- et macrofaune. **Le tableau n° III** recouvre de nombreux taxons, comprenant eux-mêmes des centaines voire des milliers d'espèces (**Bachelier, 1978 ; Dindal, 1990 ; Gobat & al., 2003 ; Pelosi, 2008**).

Un hectare de sol abrite environ deux tonnes (02 t/ha) de ces organismes vivants, (**Dubreuil, 2000**). Il y a environ 20 000 à 40 000 espèces de bactéries par gramme du sol et il existe 105 à 106 espèces microbiennes (**Tiedje, 1995**). La macrofaune correspond aux organismes ayant une taille comprise entre 4 et 80mm (**Bachelier, 1978**). Comprenant un très grand nombre de

taxons, elle joue un rôle clé dans la régulation des propriétés physiques des sols et de la biodiversité des organismes plus petits comme la microflore, la microfaune et la mésofaune (**Lavelle & Spain, 2001**).

Ainsi, la faune du sol participe à la décomposition de la matière organique et à la biodisponibilité des nutriments pour les plantes et les microorganismes du sol. Elle joue également un rôle dans la création et la conservation de la structure du sol (**Mayeux & Savane, 1996**).

C'est donc une source de biodiversité importante qu'il convient de préserver car ces organismes ont des rôles essentiels pour le maintien de la qualité de sol, que l'on peut définir comme l'aptitude à fournir un certain nombre de biens et de services écosystémiques utiles pour les sociétés humaines (**Daily & al., 1997; Wall, 2004; Anonyme, 2005**).

Tableau III : Répartition de la faune dans un sol brun non cultivé des régions tempérées

Types	Types d'organismes
Microfaune	- Nématodes, - Protozoaires
Mésafaune	- Microarthropodes < 1 mm (Ex : Collemboles – acariens) - Enchytréides
Macrofaune	-Lombriciens Macrofaune, - Mollusques

(Bachelier, 1978 in Polesi, 2008).

1.3.2. L'alimentation et les rejets :

Aristote a dit des vers de terre qu'ils sont « **les intestins de la terre** ». Les vers de terre sont omnivores (Edwards & Bohlen, 1996 ; Sims & Gerard, 1999). Car, selon Polesi (2008), s'ils se nourrissent principalement des fragments de matériel végétal plus ou moins dégradés et incorporés dans le sol, ils ingèrent également des microorganismes vivants, des champignons, de la micro- et de la mésafaune vivante ou morte.

On distingue deux régimes alimentaires chez les vers de terre :

- D'une part, les détritivores, qui se nourrissent de litière végétale et de racines mortes situés à la surface ou dans les horizons de surface, riches en matières organiques. Il s'agit principalement des endogés et des épigés.
- D'autre part, les vers de terre géophages qui ingèrent de grandes quantités de sol au niveau des horizons plus profonds. Ce sont essentiellement des anéciques. Perel (1977) distinguait ainsi les vers de terre qui « fabriquent » l'humus de ceux qui le « consomment ».

Les déjections des lombrics sont très riches en potassium, en ammoniacque, en phosphore et en magnésium. Ces éléments sont surtout mieux échangeables et mieux assimilables quand ils transitent par leur tube digestif que lorsqu'ils sont adsorbés sur les colloïdes argilo-humiques. La faune du sol joue un rôle fondamental d'intermédiaire entre le sol et la plante. Tous les animaux dans le sol sont nécessairement microphytophages. La raison en est que les aliments que ces animaux consomment sont obligatoirement couverts de bactéries, de mycéliums ou de cyanobactéries.

Il est certain qu'un bon nombre de ces microorganismes sont détruits par les processus digestifs (bactéries saprophytes surtout). Mais il est probable aussi que d'autres de ces organismes, non détruits, sont stimulés au cours de ce transit. C'est probablement le cas des organismes de la microflore humifiante, puisque l'on constate que l'humus se forme plus rapidement à partir des déjections animales qu'à partir des débris végétaux n'ayant pas subi de transit intestinal.

Les activités alimentaires et de rejet des vers de terre affectent différemment la matière organique du sol en fonction de l'échelle du temps considérée, puisqu'à court terme, l'activité des vers de terre favorise la minéralisation de la matière organique, alors qu'à long terme, elle participe à la formation de l'humus et à la stabilité structurale (**Pelosi, 2008**).

1.3.3. Classification des vers de terre :

Les ancêtres des vers de terre actuels vivaient dans l'eau. Ils n'ont pu conquérir la terre ferme qu'à partir du moment où la végétation était présente parce qu'ils se nourrissent essentiellement de matière végétale en décomposition (**Buch, 1991**). Leur histoire remonte vraisemblablement au Précambrien, il y a environ, 700 millions d'années (**Bouché, 1984**).

Les vers de terre sont des invertébrés. Ils appartiennent à l'embranchement des Annélides - des vers segmentés - dont la principale caractéristique évolutive est un corps formé d'une série d'anneaux. Ces anneaux très apparents à la surface du corps correspondant à autant de cavités internes séparées, qui permettent d'effectuer des mouvements efficaces pour l'enfouissement dans le sol ou la vase. Les vers de terre sont dans la classe des Oligochètes qui comprend des vers terrestres (**Morin, 2002**).

La famille des Lumbricidés est la plus importante des Oligochètes et probablement la plus récente en terme évolutif de la classe. Elle se compose essentiellement de vers terrestres (**Edwards & Bohlen, 1996**). On estime à 7 000 environ le nombre total d'espèces, la majorité vivant sous les tropiques (**Lavelle et al., 1998**). Selon **Edwards & Bohlen (1996)**, c'est principalement par l'action de l'homme qu'elles se sont répandues à travers le monde. La famille des Lumbricidés se divise en plusieurs genres : *Lumbricus*, *Eisenia*, *Dendrobaena*, etc.

1.3.4. Reproduction et Régénération des vers de terre :

1.3.4.1. Cycle de vie :

Tous les vers de terre sont hermaphrodites. Un échange de spermatozoïdes a lieu lors d'un accouplement, qui se produit généralement à la surface du sol ou dans le solum, lorsque les conditions sont favorables. Quelques jours plus tard, le clitellum glisse le long de la partie antérieure du ver. Le cocon, encore appelé œuf ou zygote, contenant des gamètes mâles et femelles, est émis dans le sol sous forme d'une capsule fermée aux deux extrémités (**Pelosi, 2008**).

Certaines espèces sont obligatoirement biparentales, comme *Lumbricus terrestris*, alors que d'autres peuvent se reproduire sans accouplement, par auto-fertilisation ou parthénogénèse (**Sims & Gerard, 1999**). Les vers adultes produisent plusieurs cocons par an, en fonction de leur âge (**Svendsen & al., 2005**) et des conditions dans lesquelles ils se trouvent (**Lee, 1985**). Une synthèse de plusieurs études faite par **Satchell (1967)** montre qu'*Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea longa* et *Octalasion cyaneum*, qui sont des espèces anéciques ou endogées, produisent entre 3 et 13 cocons par an alors que les épigés *L. rubellus*, *Lumbricus castaneus* et *Dendrobaena rubidus* sont capables d'en produire entre 42 et 106 par an. *Lumbricus terrestris* peut produire entre 10.1 et 25.3 cocons par an en fonction des conditions de température (**Butt, 1991**). Un ou plusieurs vers immatures, appelés juvéniles, éclosent quelques temps plus tard.

Butt (1993) a montré que 20% des cocons viables d'*Octalasion cyaneum* produisent des jumeaux, comparé à 1 % pour *Lumbricus terrestris* et *Aporrectodea longa*. **Hartenstein & al. (1979)** trouvent un nombre maximum de 11 vers de terre par cocon pour *Eisenia fetida*. La

durée d'incubation dépend des conditions climatiques (**Holmstrup & al., 1996**) et des conditions de vie de l'adulte qui a produit ce cocon (**Phillipson & Bolton, 1977**).

1.3.4.2. Durée de vie :

Les vers de terre ont une durée de vie dépendante de l'espèce, de leur biotope et des conditions dans lesquelles ils vivent. En effet, un ver appartenant à l'espèce *Lumbricus terrestris* peut vivre plusieurs années en conditions de laboratoire (**Lakhani & Satchell, 1970**), alors qu'en conditions naturelles, et particulièrement en système cultivé, il est exposé à des risques qui diminuent son espérance de vie à quelques mois (**Satchell, 1967**).

Suivant le groupe fonctionnel, les stratégies d'allocation de l'énergie varient entre les types **r** et **k** selon **Satchell (1980)**. La stratégie de type **r** concerne les espèces à durée de vie courte, donc plus spécifiquement les épigés, qui allouent tout d'abord leur énergie à la reproduction et à la croissance. A l'inverse, la stratégie de type **k**, principalement les endogés et les anéciques, privilégient la survie à la reproduction et à la croissance car ils ont une durée de vie plus longue.

La durée des quatre étapes fondamentales du cycle de vie des lombriciens (cocon, juvénile, sub-adulte et adulte), ainsi que la fécondité et la survie des vers dépendent fortement de l'espèce considérée mais aussi des conditions du milieu (**Pelosi, 2008**).

La grande capacité de régénération est un mécanisme de défense pour la survie. Le ver peut régénérer la partie postérieure de son corps qui a été sectionnée (**Buch, 1991**).

1.3.5. Rôle des vers de terre dans le sol :

Le rôle des vers de terre dans l'amélioration de la fertilité des sols n'est plus à démontrer. En effet, ces animaux, en perpétuel déplacement dans la rhizosphère, assurent l'aération et le brassage du sol. L'effet positif des vers de terre sur la production végétale est en partie expliqué par leur relation très étroite avec le système racinaire des plantes (**Bouché & al., 1986 ; Hameed & al., 1993 ; Boersma & al., 1994 ; Parkin & al., 1994 in El Harti & Raouane, 2008**).

En excréant les matières ingérées, les vers de terre modifient alors localement le sol. Les rejets sont enrichis en nutriments utilisables par les microorganismes et les plantes. La

biomasse et l'activité microbienne sont ainsi localement favorisées (**Tiunov & Scheu, 1999**) car les rejets sont généralement plus riches en azote, en phosphore et en matières organiques humifiées que le sol environnant.

La biomasse microbienne favorise à son tour la minéralisation de la matière organique et la libération des nutriments. (**Tiunov & Scheu, 1999 ; Eriksen-Hamel & Whalen, 2007a**).

Ces microorganismes semblent jouer un rôle dans la dégradation des protéines et interviennent dans le cycle de l'azote (**Furlong & al., 2002 ; Horn & al., 2003 ; 2005 ; 2006a ; 2006b ; Davidson & al., 2006**). Le processus est donc amplifié, ce qui explique l'importance du rôle des vers de terre en tant que régulateurs des cycles biogéochimiques dans les sols cultivés.

L'activité des vers de terre induit la production de matière organique stable, qui se retrouve physiquement protégée à l'intérieur des déjections (**Gobat & al., 2003**). Les vers de terre participent ainsi à la séquestration du carbone.

Les populations de vers de terre sont également étroitement liées aux cultures fourragères. Les activités de ces fouisseurs améliorent la structure du sol, et après ingestion de plus de 35 tonnes de terre sèche par hectare, ils laissent derrière eux près de 18 t/ha de turricules (déjections des lombrics). Ces fèces, beaucoup plus riches en éléments nutritifs et biologiquement plus actifs que le sol alentour, sont comparables à du compost de très haute qualité (**Jannasch, 2008**).

Certaines espèces de vers anéciques comme *Lumbricus terrestris* forment des amas au niveau de l'orifice de leur galerie, à la surface du sol. Ces structures, appelées middens (**Hamilton & Sillman, 1989**), sont constituées de débris organiques plus ou moins enfouis à l'entrée des galeries et mélangés avec des turricules déposés à la surface (**Photographie n° 01**).



Photographie n°01 : Photographie des turricules de lombrics à la surface du sol
(Pelosi, 2008).

Les conditions de température et d'humidité régnant au sein de ces petits monticules entraînent un développement des activités microbiennes qui utilisent le substrat des composés facilement assimilables contenus dans les déjections des lombriciens et des fragments organiques. Partiellement dégradés, ces fragments organiques sont ensuite consommés par le ver occupant la galerie et progressivement enfouis au sein du profil (Pelosi, 2008).

Des composés organiques présentant des propriétés hormonales sur la croissance des plantes ont été mis en évidence dans les fèces de différentes espèces de vers de terre (Musscolo & al., 1999). Des substances rhizogènes ont été détectées et identifiées par El Harti & al. (2001a & 2001b). Il s'agit de composés indoliques libérés dans les excréments des vers et dont les effets sont similaires à ceux de l'acide indole acétique (AIA), phytohormone propre aux végétaux qui stimule la néoformation racinaire (rhizogénèse). La détection de ces composés à effet rhizogène a été facilitée par leurs propriétés physiques de fluorescence et d'absorbance en UV ainsi que par leurs propriétés biologiques caractéristiques (El Harti & Raouane, 2008).

Les vers de terre ont également d'autres rôles ; ils participent à la libération de substances (vitamines, protéines) qui stimulent la croissance des plantes (Edwards & Bohlen, 1996). Les

vers de terre peuvent également, en levant les dormances de certaines graines, permettre leur germination et contribuer à la dissémination des espèces végétales concernées (**Pelosi, 2008**).

Par ailleurs, ils participent à la dispersion de propagules de mycorhizes et contribuent ainsi au bon fonctionnement de la rhizosphère. **Hutchinson & Kamel (1956)** ont montré que *L. terrestris* participait à la dispersion des spores de champignons du sol. De plus, une étude récente (**Blouin & al., 2005**) a montré qu'ils pouvaient affecter les populations de nématodes phytoparasites; Ces auteurs émettent l'hypothèse selon laquelle la présence de vers de terre *Millsonia anomala* stimule l'expression de trois gènes de réponse au stress qui induisent une tolérance de la plante aux nématodes.

D'autres auteurs avancent l'idée d'un effet direct des vers sur les nématodes eux-mêmes, dont la viabilité serait affectée par le transit dans le tube digestif. On trouve également dans la littérature la description d'un effet indirect sur les nématodes passant par des modifications de la structure du sol, du régime hydrique et du recyclage des nutriments au sein de l'agrosystème, phénomènes qui défavoriseraient les populations de nématodes et/ou rendraient la plante plus tolérante (**Cluzeau & al., 2005**).

Enfin, les vers de terre servent de ressource alimentaire à bon nombre d'organismes carnivores et insectivores, de la taupe à la chouette en passant par les hérissons, les mouettes, les renards et certains coléoptères prédateurs (**Sims & Gerard, 1999**). Leur présence (ou leur absence) affecte ainsi la biodiversité à de nombreux niveaux trophiques, allant des microorganismes aux mammifères (**Pelosi, 2008**).

1.3.6. Facteurs menaçant les vers de terre :

1.3.6.1. Techniques culturales :

Les vers de terre sont sensibles aux techniques utilisées par l'agriculteur. En particulier, ils réagissent fortement au travail du sol et à tout ce qui joue sur la quantité de matière organique mise à leur disposition, puisqu'il s'agit de leur nourriture.

En règle générale le travail du sol en profondeur est globalement défavorable aux vers de terre, mais il affecte principalement les vers de type anécique en détruisant leurs galeries,

incorporant dans le sol la matière organique de surface dont ils se nourrissent, voire en les blessant directement.

Les vers de type endogés peuvent par contre être plus nombreux dans les parcelles labourées, car la couche arable est riche en matière organique, ce qui leur est favorable. La quantité globale de carbone dans le sol est également prépondérante, ce qui fait qu'on trouvera plus de vers de terre dans les prairies que dans des parcelles de grande culture, ainsi que dans les parcelles recevant des amendements organiques provenant d'élevage (fumier par exemple).

En grande culture, l'effet des pesticides apparaît secondaire, en particulier nous avons observé que les effectifs étaient similaires en agriculture conventionnelle et en agriculture biologique. Dans des vergers, où la quantité de pesticides utilisée est nettement plus forte qu'en grande culture, on a par contre observé des effets négatifs de ces produits sur les lombriciens **(Bertrand, 2009)**.

1.3.6.2. L'érosion :

L'érosion arrache le toit de l'usine du sol, endommageant l'organisation complexe qui se trouve dessous. L'érosion se produit lorsque la surface des sols est éliminée par le vent et l'eau, en raison des pratiques agricoles, de la déforestation, de l'exploitation abusive des pâturages, des incendies de forêt et des travaux de construction. On s'attend à ce que le changement climatique aggrave la situation.

L'appauvrissement du niveau de matière organique des sols provoque la famine de tous les travailleurs qui vivent sous la terre. Convertir un écosystème naturel tel qu'une forêt en terrain agricole, par exemple, réduit le réservoir de carbone des sols de 50 à 75 %. Par ailleurs, l'irrigation inappropriée ou la suppression de la biomasse résiduelle (telle que la paille), éliminent les éléments nutritifs des sols et empêche le recyclage et la reconstitution de la matière organique qui assure le fonctionnement des organismes de la terre.

La salinisation, l'accumulation dans les sols de sels solubles dans l'eau, est une forme de pollution. Elle est due à une irrigation inappropriée ou à une extraction excessive des eaux souterraines dans les zones côtières et peut pousser les espèces bactériennes dans un état de

dormance à tuer d'autres organismes du sol. Il en résulte une diminution de la croissance des plantes et de la productivité des cultures, ainsi qu'un risque accru de désertification.

La salinisation déstructure le sol en surface et induit un tassement de sol écrasant l'usine de la vie (vers de terre). Il est dû aux activités naturelles et humaines, en particulier à l'utilisation d'engins agricoles lourds sur des sols humides. Il fait ressortir l'air des sols, ce qui empêche l'infiltration d'eau et entraîne la destruction des réseaux de tunnels et d'interstices qu'empruntent les architectes du sol, tels que les lombrics. Cela menace tous les habitats souterrains et restreint la disponibilité des éléments nutritifs.

1.3.6.3. L'urbanisation :

L'imperméabilisation, terme qui fait référence à la présence d'une couche imperméable entre le milieu superficiel et le sous-sol, provoque l'étouffement des sols. L'urbanisation et le recours généralisé à l'asphalte et au béton provoquent la mort de la plupart des organismes du sol. Ces techniques peuvent également endommager des zones situées hors de l'environnement local, car le ruissellement des eaux détournées peut causer érosion et inondations.

Les villes se développant souvent à proximité de terres très fertiles, l'extension urbaine peut entraîner la disparition de certaines des terres les plus productives. Conserver des espaces semi-naturels dans les zones urbaines et créer des toitures vertes sont deux solutions qui peuvent permettre de lutter contre les pires effets de l'imperméabilisation (**Commission européenne, 2010**).

1.3.6.4. Les prédateurs :

Les vers de terre possèdent de nombreux prédateurs. Des animaux de taille plus grande (Coléoptères, Mouette, Hérisson, Taupe, Renard...). Dans certains pays (comme le Danemark), le pire ennemi des lombriciens, est le ver plat (Ordre des Plathelminthes) vivant dans les endroits humides. Dans ces régions, un seul ver plat peut consommer à lui seul un bon nombre de lombriciens, dans une grande surface agricole. La conséquence est la disparition des lombriciens dans le site, ainsi que la transformation de ce dernier en un sol imperméable, immergé, devenu mauvais pour l'agriculture, alors qu'il était un sol friable et fertile en présence des lombriciens.

1.3.7. Elevage des vers de terre :

L'élevage des vers de terre se fait uniquement pour la pêche, et l'espèce la plus fréquemment utilisée est le ver du fumier (*Eisenia foetida*) ; un ver de surface, petit de taille et moins exigeant du point de vue écologique, contrairement à d'autres ; comme *Lumbricus terrestris*, qui selon les auteurs (**Morin, 2002**), demande trop d'espace pour l'élevage.

Il n'existe pas d'élevage intensif du lombric-*Lumbricus terrestris*, cette espèce demandant trop d'espace, elle semble avoir besoin d'un minimum de 1,6 litres du sol par ver pour permettre sa reproduction en captivité (**Tomlin 1981**). À titre d'exemple, un élevage de 1.000.000 de vers de cette espèce nécessiterait un espace minimal de 1 600m³ de terre, soit un tas de compost rectiligne de 1m de hauteur par 4m de largeur et d'une longueur de 400m. La cueillette du lombric est préférable à son élevage parce qu'elle est moins coûteuse et moins difficile. Cette espèce ne se reproduit pas en condition de forte densité de population. Il n'est donc pas possible de l'élever à l'échelle industrielle à un prix concurrentiel par rapport à celui de la cueillette (**Tomlin, 1983**).

Le semi-élevage débute avec des vers adultes prêts à reproduire. Généralement, les vers utilisés dans les expérimentations peuvent être récoltés à la bêche dans le jardin, ou ramassés la nuit dans les champs ou sur les pelouses au printemps. Ils peuvent aussi être achetés dans le commerce (**Morin, 2002**).

Les vers peuvent être gardés dans des boîtes rectangulaires amovibles d'une capacité maximale de 20 à 30 litres de volume pour en faciliter les manipulations. L'utilisation de boîtes amovibles s'impose pour la production de juvéniles parce que cela permet de vider facilement les contenants pour trier les petits vers, les enlever de la terre, et les transférer ensuite dans un lieu d'engraissement. L'utilisation de contenants individuels permet aussi de circonscrire plus facilement l'apparition éventuelle d'un problème de santé. Le fond doit être perforé de quelques trous, pour laisser sortir le surplus d'eau, et recouvert à l'intérieur d'une moustiquaire afin d'éviter que les vers ne s'échappent par ces trous. Un couvercle, fait aussi d'une moustiquaire, doit recouvrir la boîte afin d'empêcher les vers de s'échapper et d'assurer une bonne circulation de l'air. Il faut prévoir quelques-unes de ces boîtes de manière à pouvoir répartir les vers par catégories de taille après les avoir triés (**Buch, 1991**).

Des contenants fixes de toutes dimensions peuvent aussi être utilisés mais ils ne permettent pas de manipuler la terre et de trier les vers aussi facilement que des boîtes amovibles. Les contenants fixes se prêtent bien par contre à l'enrichissement. L'élevage peut aussi être pratiqué directement dans un tas de terre, mais il n'assure pas forcément la contention des lombrics qui peuvent s'en échapper. Lorsqu'ils atteignent la maturité sexuelle, l'instinct de migration commence à se faire sentir et ils quittent le tas de compost (**Buch, 1991**).



Photographie n° 02 : Photographie d'un contenant d'élevage fixe (**Morin, 2002**).

1.4. LES FEVES *Vicia faba* L. (Var. aquadulce à longue cosse) :

1.4.1. Caractéristiques :

Pour la semence, nous avons pensé à une espèce de saison (automne), cas des fèves. Le choix de cette plante est basé sur le fait qu'elle est peu exigeante sur le plan édaphique, climatique et qu'elle représente une culture très intéressante pour la consommation humaine.

La Fève est une légumineuse, de la famille des fabacées, annuelle, originaire du Moyen-Orient, cultivée pour ses grosses graines, elle est destinée à l'alimentation humaine et animale. Exemple d'espèce : *Vicia faba* (Famille des Fabacées).

La fève est peu exigeante vis-à-vis du sol, du climat. Sa température optimale de croissance se situe à 18-22°C. Elle résiste au froid jusqu'à (-3°C).

Elle se cultive en pleine terre, espacé de 30 à 40cm, 3 à 4 graines par trou, souvent en intercalaire avec une autre culture dans les pays méditerranéens. Le semis est effectué de Janvier à Avril et de Septembre à Décembre. Il faut faire un buttage et un binage quand les plantes ont cinq (5) feuilles. Dès les premières fleurs, il faut pincer les jeunes pousses, grandes consommatrices de sèves, afin d'obtenir de plus beaux fruits. Les gousses sont cueillies à partir de Mars pour les semis cuites et en Juin quand les gousses sont cuites complètement.

Comme variétés de la fève :

*la Précoce d'Aquitaine (considérée comme la meilleure variété) ;

*la Séville (hâtive et très productrice dont la gousse renferme six graines) ;

*l'Aquadulce à longue cosse (possède une gousse très longue et renferme 8 à 9 graines).

Comme variété locale, c'est cette dernière qui a été choisie pour la semence *Vicia faba* (Var. aquadulce à longue cosse).

1.4.2. Maladies et ravageurs : D'après **Mazoyer (2002)** et **Si Bennasseur (2005)**, il semblerait que ce sont principalement :

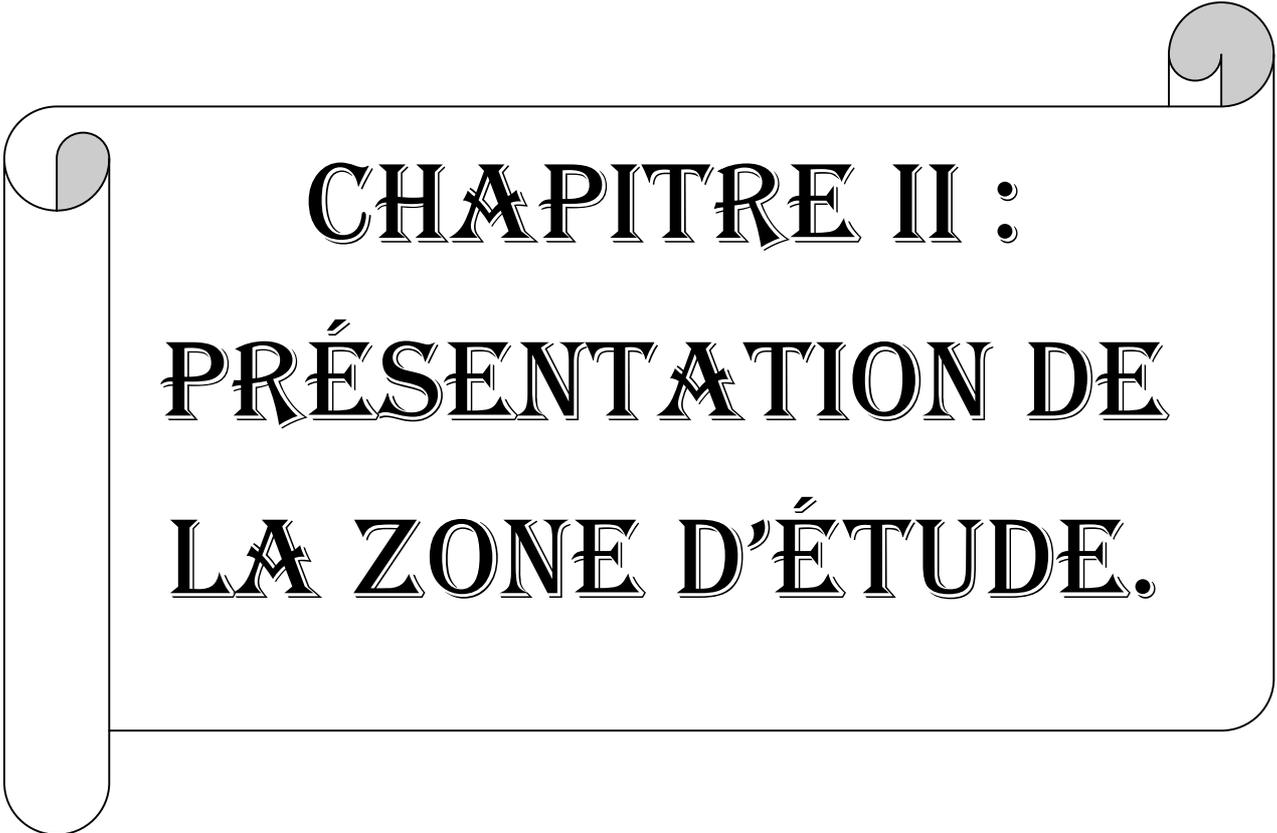
- ◆ Le puceron noir de la fève (*Aphis fabae*) ;
- ◆ Le mildiou (*Lycopersicum* spp.) ;
- ◆ La rouille (*Puccinia* spp.) ;
- ◆ L'ascochytose de la fève (*Didymella fabae*);
- ◆ Le virus de la jaunisse apicale du pois (*Luteovirus* spp.) ;
- ◆ L'Anthracnose (*Colletotrichum* spp.) ;
- ◆ La moisissure grise (*Botrytis* spp.).

1.4.3. Plante parasite, l'Orobanche :

Des plantes parasites, il y a le cas de l'Orobanche (*Orobanche sp.*), plante parasite répandue et redoutable qui s'attaque à de nombreuses plantes cultivées et sauvages, en occasionnant d'importantes pertes de rendement. Sur approximativement 160 espèces d'orobanche existantes dans les régions tempérées, *O. crenata*, *O. ramosa*, *O. aegyptiaca*, *O. featida* et *O. cerma*, sont les espèces les plus importantes et posant de sérieux problèmes à un grand nombre de cultures. Les plantes infestées par l'orobanche sont généralement des dicotylédones. Les monocotylédones sont rarement attaquées.

Quelques espèces d'orobanches sont extrêmement spécifiques alors que d'autres qui attaquent une large gamme d'hôtes (Fabacées, Solanacées, Asteracées, Brassicacées...). C'est le cas *O. crenata* qui parasite particulièrement toutes les légumineuses.

La large gamme d'hôte du parasite est due à sa diversité génétique, provenant de sa pollinisation, régulièrement croisée par les insectes. Dans chaque espèce il ya diverses races physiologiques (**Zemrag, 1999**).

A decorative scroll graphic with a black outline and grey shading on the top and bottom edges, framing the text. The scroll is oriented vertically, with the top edge on the right and the bottom edge on the left.

CHAPITRE II :
PRÉSENTATION DE
LA ZONE D'ÉTUDE.

2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE :

Les deux stations d'étude font partie du golfe de Béjaïa, distant de 250km à l'est d'Alger. Ce golfe s'étend sur une largeur de 45km de côte, et une profondeur de 15km.

La première parcelle appartient à l'ensemble des terres exploitées par la Coopérative Agricole Maraichère (C.A.M.), qui est une organisation étatique créée le 15.04.1983. Depuis l'année 2000, elle porte le nom de C.A.S.S.D.E.P. (Coopérative Agricole de Service Spécialisé en Développement de la Plastique) en devenant semis privée. Le terrain appartient toujours à l'état, tandis que sa gestion est assurée par un ensemble d'organismes considérés comme adhérent. Cette coopérative fait partie de la commune de Tichy (22Km du chef lieu de la wilaya), au lieu dit Baccaro.

Le but de sa création est purement économique et elle vise une meilleure utilisation des moyens de production et au développement de la plasticulture. Elle est donc spécialisée dans la réalisation d'opérations de toutes nature, touchant les wilayas de Béjaïa, Sétif, Bordj-Bouararedj, Msila et Bouira, tels que :

- Création des ateliers de fabrication de serres ;
- Formation du personnel et son encadrement ;
- Apport d'aide technique et matériel à la coopérative afin de développer la production.

Le deuxième dispositif expérimental a été implanté au niveau de l'entreprise horticole « OUCHENE », qui fait partie de ce qui est nommé jadis « Village Agricole ».

Il s'agit de l'entreprise « JARDIN et BEAUTE » ou E.J.B., appelée avant pépinière « CHEMIN de l'ESPOIR ». Sa création date de 1992. Actuellement, l'horticulture révolutionne le domaine de la botanique, pas seulement à l'intérieure de la wilaya de Bejaïa mais aussi à l'échelle nationale.

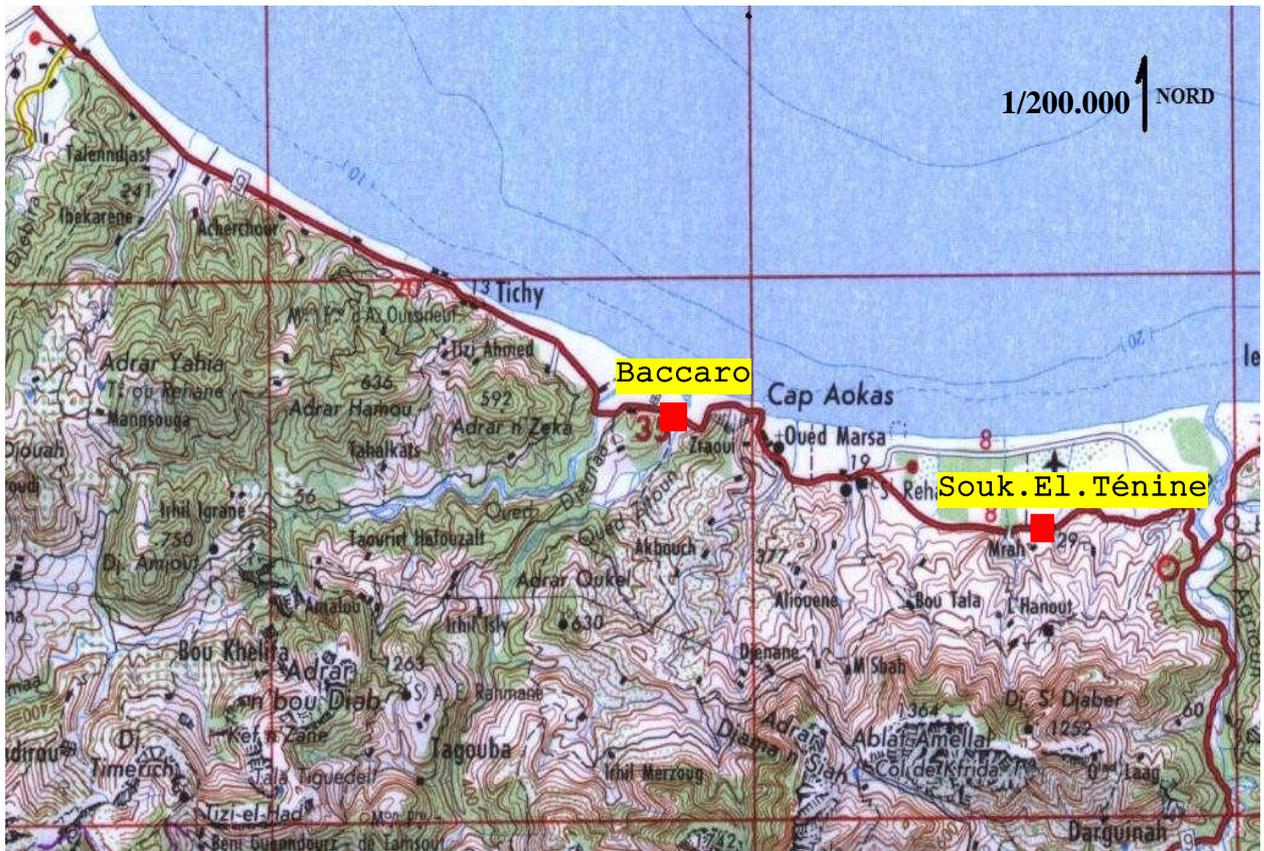
Dans cette entreprise, occupant une superficie totale de 13500m² (300m de long et 45m de large), une douzaine de serres sont réparties selon leur domaine d'utilisation spécifique.

L'entreprise JARDIN et BEAUTE fait partie de la daïra de Souk-El-Ténine, qui est une ville du littoral, située au Nord-est de la wilaya de Béjaïa, à 38km du chef lieu de celle-ci.

La daïra de Souk-El-Ténine est considérée comme un carrefour entre trois wilayas (Béjaïa, Sétif et Jijel).

Les prestations de service et domaines d'intervention de l'entreprise E.J.B. sont assez diversifiés et peuvent être résumés comme suit :

- Production des plantes ornementales et fruitières ;
- Aménagement des espaces verts (intérieurs et extérieurs) ;
- Décoration et entretien des jardins ;
- Vente des accessoires de décoration.



(Source : Carte de Bougie Type 1960. Au 1/200.000. Feuille Nord-Ouest 1-2)

Figure n° 03 : Carte de situation géographique des deux stations d'étude.

* **Les Cordonnés Lambert** : (Source : Carte de Bougie Type 1960. Au 1/200.000).

- Baccaro : X = 694 ; Y = 4060

- Souk-El-Ténine : X = 708 ; Y = 4056

* **Les Cordonnés GPS** (Source : Google earth. 2009).

- Baccaro : 36° 39' 03.77" N. 5° 11' 29.10" E. élév. 23m. Altitude 1.18 km.

- Souk-El-Ténine : 36° 37' 52.26" N. 5° 19' 30.80" E. élév. 3m. Altitude 336 m.

2.2. SITUATION TOPOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE :

2.2.1. Localité de Souk-El-Ténine (S.E.T.) :

Sur le plan topographique, celle-ci se situe dans la zone intermédiaire, **entre le Nord communal**, considérée comme une zone plane dont l'altitude ne dépasse pas 05m, **et le Sud communal**, représenté par un massif de montagne appartenant à l'Atlas Tellien. Son altitude moyenne est de 25m.

Concernant la géologie, l'intérieur de S.E.T. longe le flanc nord du synclinal d'Oued Marsa. Le crétacé supérieur y est schisteux avec quelques bands marno-calcaires lenticulaires. Sur le flanc sud, il est transgressif sur les schistes albo-aptiens. L'anticlinal du Djebel Imoulentaour, qui limite au sud le synclinal de l'Oued Marsa, montre son flanc nord renversé sur le crétacé. De la route, on voit bien les marno-calcaires du jurassique supérieur et les calcaires finement lités du lias supérieur Dogger, surmonté par les calcaires massifs du lias moyen qui forment les crêtes.

2.2.2. Localité de Tichy :

Sur le plan de la topographie, le territoire de Tichy s'étend sur une zone côtière, plane, longeant la mer méditerranée. A quelques centaines de mètres vers l'intérieur du pays, elle est constituée d'une bande montagneuse, caractérisée par un relief moyennement accidenté, avec une déclivité variant de 2% à 3%.

Concernant la géologie de cette localité, elle est composée de cinq grands ensembles de formations :

1- Formations récentes :

Une formation quaternaire qui montre des alluvions basses, dépôts limoneux, sable et cailloux suite au démantèlement des massifs montagneux d'âge liasique (calcaire et dolomite ainsi que des alluvionnaires) de l'Ouest Soummam. Ces alluvions sont associées à une matrice argileuse reposant sur un substratum de marnes schisteuses.

2- Roches intrusives grenues et microgrenues :

Présentées par les roches de granites et microgranites.

3- Formations subautochthone unité de Barbacha :

Il s'agit des faciès :

-Campanien - Maestrichtien ; faciès classique de marne brunes ; elle est surmontée par des boules de calcaires jaunes ; ces dernières donnent une apparence de stratification.

-Neocomien – Albien inférieur ; il est indifférencié cartographiquement ; représenté par des pelites noires à rares lits de grès fin.

-Aptien ; c'est-à-dire des pelites noires associés à des bancs épais de conglomérats.

-Domérien-Bathonien ; calcaires à silex ; alternant avec des argiles ou des marnes.

-Sinémurien-Carixien ; calcaire massif et calcaire en gros bancs ; des nodules siliceux se montrent dans les parties supérieurs (sommets).

4- Formation allochtone à faciès Flysch :

Issues des mouvements de charriage ; représentées essentiellement par :

-Aquataniens-Burdigaliens inférieurs ; grès et argiles à faciès numidien.

-Campanien-Maestrichtiens ; constitué le plus fréquemment par des argiles de bigarrées, associées à des schistes argileux, parfois marneux de couleurs grise. Ces argiles sont intercalées par de gros blocs arrondis et des conglomérats calcaires.

5-Trias :

Les nombreuses fractures ont permis la remontée en surface du Trias ; ce dernier se présente sous ses faciès classiques Nord africain, avec association de Keuper, argiles, cargneules et gypse ; le sel gemme est une roche éruptive qui se trouve fréquemment associée au Trias.

2.3. SITUATION PEDOLOGIQUE :

2.3.1. Localité de Souk-El-Ténine (S.E.T.) :

Les sols de la localité de S.E.T. sont constitués de terres fertiles, représentant presque 80% de la région. Le sol est formé par des dunes de sable tout au long du littoral, et par des sols de texture globale argilo-sableuse dans toute la plaine dite « Aschritt ». Les sols des piémonts sont représentés par des textures à tendances argileuses. Les sols de la plaine alluviale sont relativement profonds, avec des textures limono-sableuses à sablo-limoneuses. Par endroit, il apparaît des zones marécageuses colonisées par une végétation constituée de roseaux. Les sols des piémonts, sont beaucoup moins profonds (60 à 80cm de profondeur), et sont considérés comme des sols d'apport colluviaux ou des sols bruns lessivés.

2.3.2. Localité de Tichy :

Pour ce qui concerne la pédologie de Tichy, deux grandes zones se dégagent de l'ensemble :

*La zone Nord proche de la mer méditerranée;

*La zone Sud, située au piedmont d'un monticule ;

Au Nord, les sables prédominent. Après une couche de sable marneux ou limoneux, on trouve du sable de mer à granite moyen.

- Vers le Sud, sous la couche de terre végétale, apparaissent des marnes graveleuses avec des passages de sables en profondeur mélangés à quelques débris de schistes gris. Cette zone montagneuse, est constituée de sol argileux, intercalés en minces couches, créant des niveaux aquifères favorables à la végétation.

2.4. SITUATION VEGETALE :

2.4.1. Localité de Souk-El-Ténine (S.E.T.) :

La végétation de la région est de type méditerranéenne, constituée de formation haute représentée par la forêt, et des formations moyennes formées par des garrigues et des maquis. Ensuite viennent les formations basses, composées essentiellement d'espèces fourragères. Ses dernières occupent la quasi-totalité de la plaine et une partie du massif

montagneux, par contre la forêt occupe une surface de 1500 Ha soit 56% du territoire de la commune.

2.4.2. Localité de Tichy :

Du point de vue floristique, la région de Tichy appartient dans son ensemble au domaine méditerranéen (secteur numidien) et comporte les associations végétales de chêne-liège (*Quercus suber*), de chêne-zen (*Quercus faginea*), de chêne afares (*Quercus afares*) et, accessoirement, de pin maritime et de cèdre.

Ainsi, on distingue deux grandes catégories de subéraies, celle à faciès à Myrth (*Myrtus communis*) sur le littoral et en basses montagnes, avec un sous bois paissant et élevé et celle à faciès à Cytise à trois folioles (*Cytisus triflorus*), en montagne à sous bois restreint.

2.5. LE CLIMAT :

2.5.1. Introduction :

D'après **Greco, (1966)** Le climat est un facteur qui détermine la répartition et le développement de la végétation, et qui a une grande influence sur la formation et l'évolution des sols (donc sa pédogénèse).

Les unités synthétiques du climat sont caractérisées sur la base d'indices climatiques établis à partir des paramètres pluviométriques et thermiques recueillies au niveau de la station météorologique de l'aéroport de Béjaïa. Les données climatiques s'étalent sur une période allant de 1970 à 2009.

2.5.2. Les températures :

La température est un élément très important, pour le développement et la croissance des espèces végétales (**Ozenda, 1982**). Pour **Ramade (1994)**, celle-ci est un facteur limitant, car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne la répartition des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère. Les conditions thermiques sont d'une grande importance pour les fonctions vitales, car elles conditionnent la respiration et la photosynthèse (**Decourt, 2001**).

Le tableau n°04 montre la répartition des températures moyennes mensuelles en (C°) relevées au niveau de la station météorologique de Béjaïa (données 1970-2009). Cette

répartition des températures nous montre que le mois d'Août se révèle être le plus chaud, avec une température moyenne maximale de 29,8°C. Quand aux températures les plus basses, elles apparaissent en Janvier avec une température moyenne minimale de 11,9°C. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 17,94°C.

Tableau n° IV : Moyennes des températures mensuelles dans la région de Béjaïa (période 1970/2009).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
M	16,4	16,7	18,3	20,1	22,7	26,1	29,1	29,8	27,9	24,9	20,6	17,4
m	7,4	7,6	8,8	10,5	13,7	17,3	20	21,0	18,9	15,5	11,4	8,5
M+m/2	11,9	12,15	13,55	15,3	18,2	21,7	24,55	25,4	23,4	20,2	16	12,95

(Source : station météorologique, sise à l'aéroport de Béjaïa).

M : Moyennes mensuelles des **Maximas** thermiques ;

m : Moyennes mensuelles des **minimas** thermiques ;

M+m/2 : températures moyennes mensuelles.

2.5.3. Les précipitations :

Les précipitations constituent un facteur écologique d'importance fondamentale, dont l'alternance des saisons sèches et humides joue un rôle dans la distribution des biomes continentaux (**Ramade, 1994**). Dans la région d'étude, les précipitations décroissent au fur et à mesure que nous nous éloignons de la mer. Cette décroissance est due essentiellement à l'orographie et surtout aux effets de continentalité (**Benhamiche, 1997**).

La moyenne annuelle calculée sur 39 ans (1970 – 2009) s'élève à **786,8mm**. La valeur maximale étant enregistrée en **Décembre (130,4mm)** et la minimale en **Juillet (4,8mm)**, Voir tableau n° V ci-contre.

Tableau n° V : Les précipitations moyennes mensuelles (P) de la station de Béjaïa (1970/2009).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total Annuel Moyen
P (mm)	113,3	88,8	86,1	71,4	41,9	12,6	4,8	10,2	53,3	74	100	130,4	786,8

(Source : station météorologique, sise à l'aéroport de Béjaïa).

2.5.4. La synthèse climatique :

De nombreux indices climatiques sont proposés, dont les plus courants sont basés essentiellement sur la pluie et la température. Les deux indices les plus utilisés sont *le quotient pluvio-thermique d'Emberger et le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен*.

Les températures et les précipitations sont deux facteurs capitaux pour définir les climats. Ils constituent les deux groupes de paramètres climatiques fondamentaux qui caractérisent les milieux continentaux (Ramade, 2003).

2.5.4.1. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN :

Ce diagramme est construit en portant en abscisses les mois et en ordonnées les précipitations (P en mm) sur un axe et les températures (T en °C) sur le second, en prenant soin de doubler l'échelle par rapport à celle des précipitations (Dévaux & al., 2002), soit $P=2T$. On obtient deux diagrammes superposés. Les périodes d'aridité sont celles où la courbe pluviométrique est en dessous de la courbe thermique (Ramade, 2003). Ainsi, le diagramme établi avec les données concernant la période 1970-2009 dans la région de Béjaïa, montre l'existence d'une période humide, s'étalant du mois de septembre au mois de mai, et une période sèche qui débute de la fin du mois de Mai et se termine au début du mois de Septembre (Figure n°04).

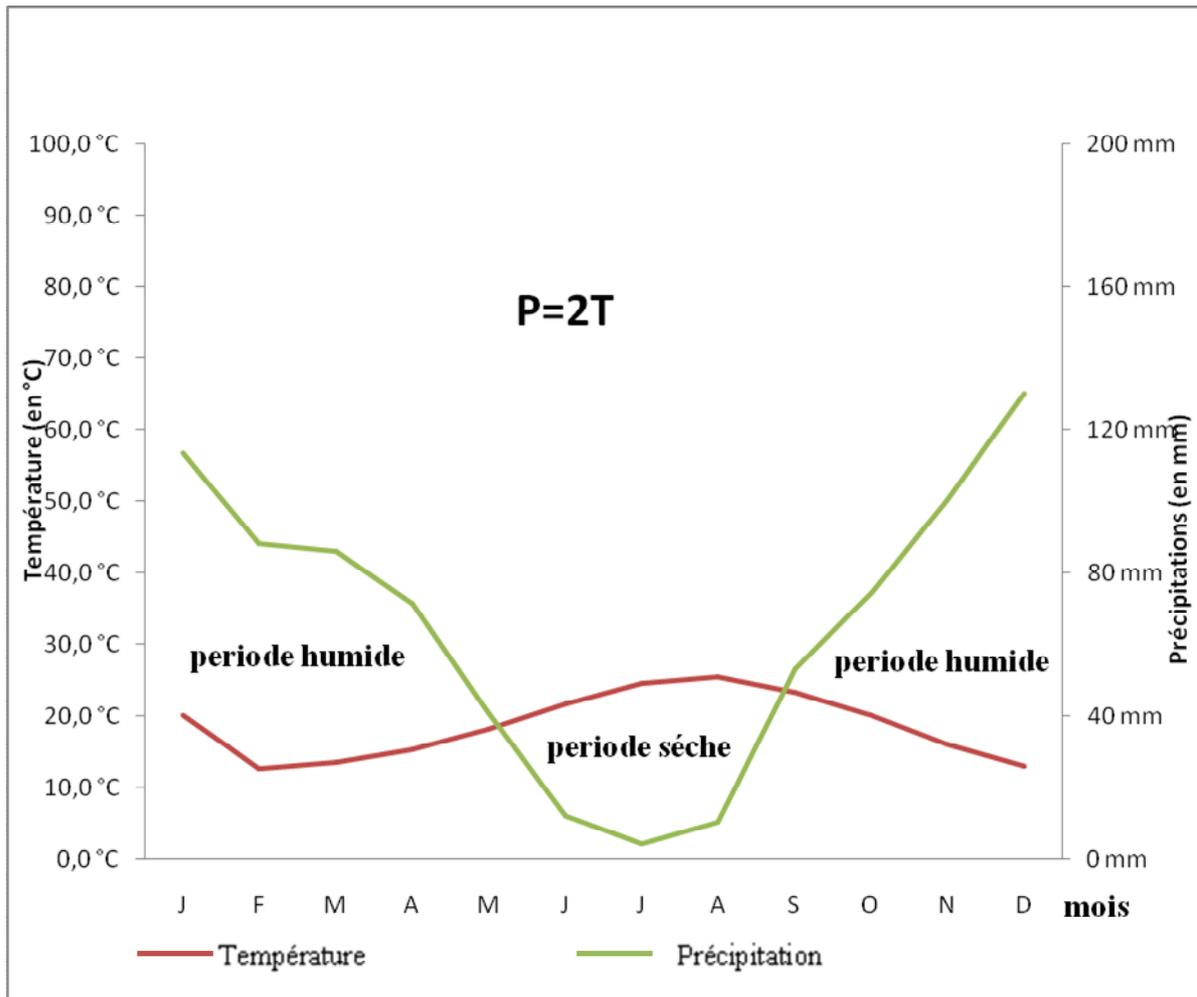


Figure n°04 : Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953) cité par HALIMI, (1980).

2.5.4.2. Climagramme d'Emberger :

Emberger a défini un quotient pluviométrique, qui est une synthèse climatique de type graphique, mettant en rapport les précipitations et les températures. Il permet de situer la région d'étude dans l'étage bioclimatique qui lui correspond (Dajoz, 1971). Le quotient (Q2) est donné par la formule suivante :

$$Q2 = \frac{1000P}{\frac{M+m}{2} - (M-m)}$$

Où :

P : Précipitations annuelles exprimées en mm.

M : Moyenne des températures **Maximales** du mois le plus chaud (°C).

m : Moyenne des températures **minimales** du mois le plus froid (°C).

Ce quotient a été adapté au climat du territoire nord-africain (Maroc, Algérie et Tunisie) :

$$Q_2 = 3,43 \frac{P}{M-m}$$

Où :

P : Précipitations annuelles moyennes.

M : Maximum annuel des températures.

m : Minimum annuel des températures.

Calcul de Q_2 de la région de Béjaïa :

$$P = 782,3 \text{ mm}$$

$$M = 29,8^\circ\text{C}$$

$$m = 7,4^\circ\text{C}$$

$$Q_2 = 3,43 \frac{786,8}{(29,8 - 7,4)} \longrightarrow \boxed{Q_2 = 120,47}$$

En rapportant ce quotient sur le climagramme d'Emberger (modifié par Stewart, 1969), et en tenant compte de la température minimale, il en résulte que la région de Béjaïa se situe dans l'**étage bioclimatique sub-humide à hiver chaud (Figure n° 05)**.

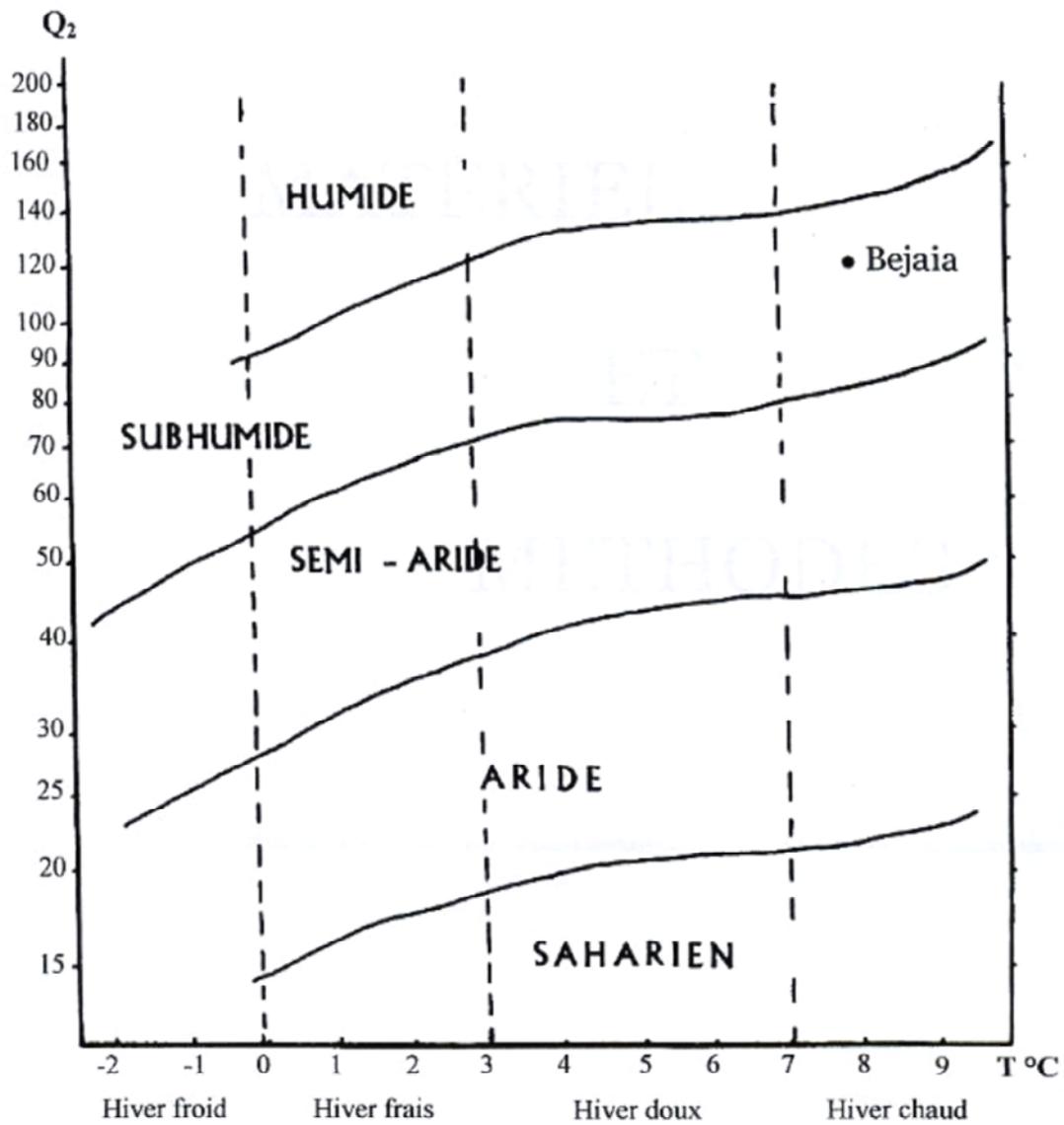
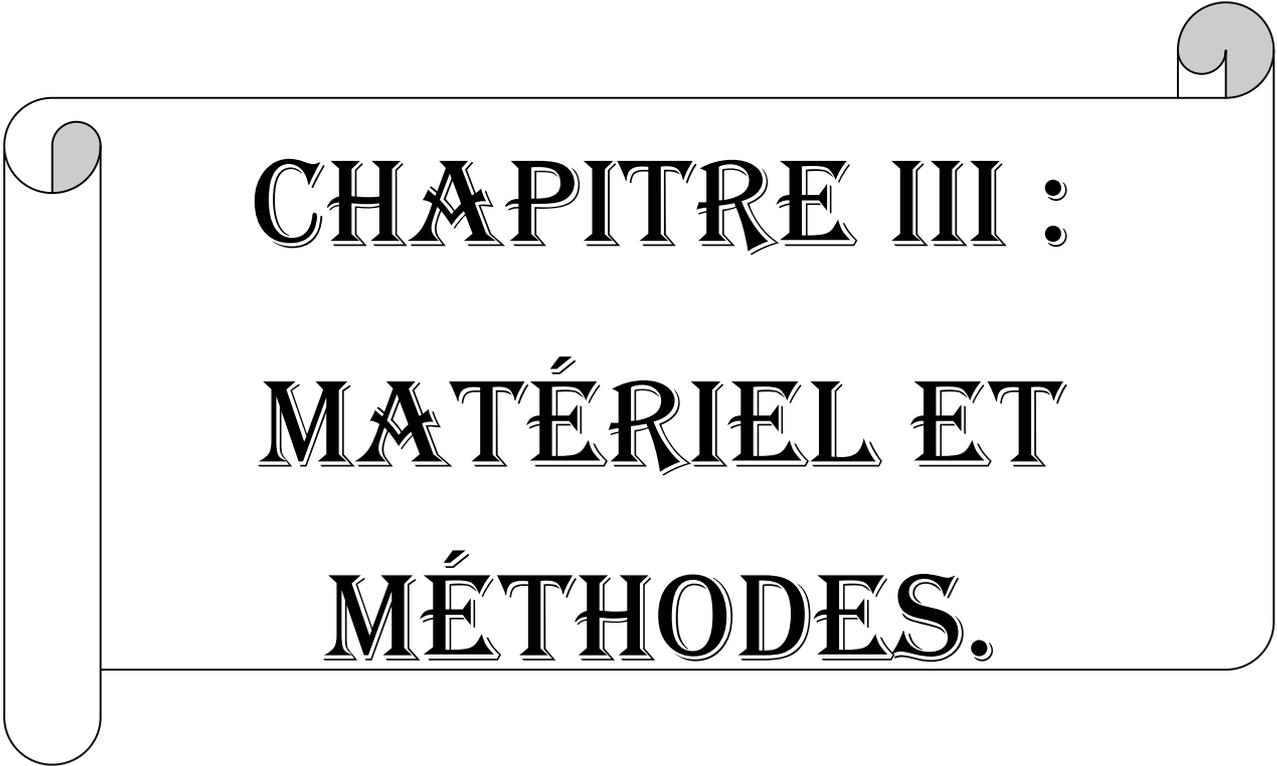


Figure n°05 : Situation bioclimatique de la région de Béjaïa sur le climagramme d'EMBERGER modifié par Stewart en 1969 (Letreuch-Bélarouci, 1991).

A decorative border resembling a scroll, with a grey shadow on the left and right sides, framing the text.

CHAPITRE III :
MATÉRIEL ET
MÉTHODES.

3.1. MATERIEL D'ETUDE :

3.1.1. Les échantillons de sol :

Deux types de sol ont été choisis pour mener cette expérimentation. Un sol de texture limono-argileuse et un autre de texture plus légère, sableuse. Le choix de ces sols a été motivé par la grande représentativité de ce type de texture dans la région de Béjaïa.

Les prélèvements ont été effectués pour chaque type de sol dans deux endroits différents pour constituer un échantillon composite représentatif. Les échantillons prélevés seront acheminés au laboratoire pour les préparer aux analyses de caractérisation. A cet effet, ils seront séchés à température ambiante du laboratoire, en les étalant sur du papier journal, ensuite ils seront broyés de telle sorte à ne pas détruire les agrégats du sol, et pour finir, ils seront passés au tamis à mailles de 2mm de diamètre pour récupérer la terre fine destinée aux analyses physico-chimiques.

3.1.2. La matière organique :

Pour sa grande disponibilité, ainsi que son coût relativement abordable, nous avons préféré utiliser le fumier de bovin, âgé de plus d'une année, dans le but d'enrichir le sol en matière organique. Le fumier a été incorporé au sol tel qu'il est, sous forme de débris organiques diversifiés, sec et relativement bien décomposé.

3.1.2.1. Quantité de Matière Organique (M.O.) à incorporer au sol :

Les pourcentages de matière organique à incorporer est de **2% et 4%**. Le choix de ces deux pourcentages est motivé par le souci de maximaliser les interactions entre cette matière organique et les propriétés physiques du sol (en particulier la structure des agrégats et la perméabilité), mais aussi de se rapprocher des conditions réelles qui prévalent dans la majorité des exploitations agricoles qui utilisent des amendements organiques proches de ces deux valeurs. De plus, avec l'incorporation des lombrics, la présence de la matière organique permettra de mettre en évidence de manière plus nette leur rôle de fouissement de la terre.

Le calcul des poids de la matière organique qui correspondent aux pourcentages choisis est effectué par l'intermédiaire de la densité apparente, mesurée par la méthode du cylindre, *in situ*.

* Calcul de la densité apparente :

$$\mathbf{d_a = Ps/Va}$$

Où :

d_a : densité apparente.

Ps : Le poids de l'échantillon sec.

Va : Le volume du cylindre utilisé.

Va = $\pi \times R^2 \times h$. [où : * $\pi = 3,14$; **R** = Rayon du cylindre utilisé et **h** = hauteur du cylindre].

* Calcul du poids de la matière organique à ajouter :

$$\mathbf{d_a = Ps/Va \text{ donc : } Ps = d_a.Va}$$

Où :

Ps : Poids du sol dans une parcelle (en Kg) ;

Va : Volume apparent (en m³) ;

* Pour calculer **Va**, dans une parcelle de surface **S** (m²) et de profondeur **F** (m) :

$$\mathbf{Va = S \times F (m^3)}$$

Ainsi on remplaçant les valeurs de **da** et **Va**, on peut déduire **Ps**.

Ex : Dans le cas de 2% de M.O. :

2g (MO) → 100g (sol), donc

2Kg (MO) → 100Kg (sol)

Et :

Xg (MO) → **Q** Kg (sol).

En appliquant la règle de trois, on peut déduire le poids de la matière organique correspondant à 2%. Le même calcul est appliqué pour le cas de la dose de 4%.

*Dans le cas du sol sableux de la CASSDEP Baccaro (Tichy) :

- Pour 2% (MO), c'est l'équivalent de 13,6 Kg de (MO).
- Pour 4% (MO), c'est l'équivalent de 27,2 Kg de (MO).

*Dans le cas du sol limono-argileux de la Pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine) :

- Pour 2% (MO), c'est l'équivalent de 11,48 Kg de (MO).
- Pour 4% (MO), c'est l'équivalent de 22,96 Kg de (MO).

3.1.3. Les lombrics :

D'une manière générale, les vers de terre sont connus pour leur utilité dans le sol et les différentes fonctions qu'ils assurent, ayant ainsi des conséquences positives sur les paramètres physico-chimiques du sol en le rendant plus fertile grâce aux rejets des turricules, ainsi que l'amélioration de sa structure et l'augmentation de la macroporosité.

Des trois groupes de vers existants (Les épigés, les endogés et les anéciques), nous avons choisi une espèce qui appartient au groupe des anéciques, connus comme « laboureurs », à savoir l'espèce *Lumbricus terrestris*. Ce choix n'est motivé que par le fait que cette espèce est omniprésente dans divers endroits; donc facile à récolter, même si le nombre nécessaire à l'expérimentation est important. L'espèce est rencontrée même à la surface du sol en période pluviale ou lorsqu'elle est en quête de nourriture.

Les vers utilisés dans la partie pratique du mémoire sont cueillis au sein d'un jardin potager dans une terre sur laquelle il y a un dépôt de fumier de bovin. D'après notre constat, nous pouvons déduire les conditions idéales dans lesquelles les vers préfèrent vivre et par conséquent proliférer.

La méthode à suivre ne demande pas beaucoup de moyens, seulement un endroit ombragé (sous les arbres d'un jardin), humidifié et où il y aura un dépôt de fumier. Sous l'action des facteurs climatiques ; températures, précipitations, humidité,... ; après un certain temps (quelques mois), l'endroit sera plein d'individus de vers appartenant à plusieurs espèces que les auteurs ont classé en trois groupes écologiques ; les épigés, vivant à la surface du sol,

qui se nourrissent de matières organiques fraîches, c'est le cas du ver de fumier (*Eisenia foetida*) dit « Lombricomposteur ». Proche de la surface du sol (dans les 20cm), il ya les endogés, qui se nourrissent de matières organiques dispersées dans la partie minérale du sol, c'est le cas de *Aporrectodea caliginosa*. Le troisième groupe renferme les anéciques ; des vers qu'on rencontre à plus de 20cm de profondeur et qui peuvent descendre jusqu'à 2m en période de sécheresse. Les vers des deux derniers groupes sont nommés les laboureurs car ils creusent des galeries ; horizontales dans le cas des endogés et verticales dans le cas des anéciques. Comme les anéciques remontent à la surface du sol pour chercher leurs nourriture dont une part est emmenée dans les galeries, en la distribuant ainsi dans tout le profil, certains auteurs les qualifiés "d'épi-anéciques". C'est le cas de *Lumbricus terrestris*, l'espèce choisie pour notre expérimentation.

Pour identifier l'espèce *Lumbricus terrestris* utilisée dans le mémoire, il existe des Protocoles d'identification, comme exemple celui appliqué par **Pelosi, (2008)**. Commencer l'identification en fonction de catégorie écologique, donc principalement par rapport à la coloration. Cependant, les anéciques et les épigés peuvent avoir des couleurs similaires ou très proches. **Les anéciques** sont des vers reconnaissables à leur grande taille et à leur coloration foncée. *Lumbricus terrestris* se reconnaît aisément car il est très coloré (rouge-vineux), la partie antérieure de l'espèce est arrondie et reste très trapu et solide dans le formol.

3.1.4. Le dispositif expérimental :

3.1.4.1. Choix de l'emplacement :

Pour l'installation du dispositif expérimental, nous avons choisi deux parcelles cultivées, qui représentent deux types de sol de textures différentes, qui possèdent des comportements physiques très variables vis-à-vis de la dynamique de la matière organique et du rôle de fouissement des vers de terre. Il faut noter qu'au moment de l'échantillonnage, ces parcelles étaient en jachère de plus de deux années.

A cause de la mise en culture, les sols manifestent une dégradation qui est due à la diminution de leur stock de matière organique, et par conséquent affecte ses caractéristiques physiques. La restauration de la fertilité physique et chimique de ces sols pourrait se faire

en apportant des amendements organiques. Ces essais expérimentaux nous permettront de mettre en évidence l'action synergique des effets de la matière organique et du rôle de fouissement des vers de terre sur l'amélioration des propriétés physico-chimiques des sols. L'impact de ces deux facteurs sera suivi *in situ* dans des blocs expérimentaux qui seront préalablement amendés en matière organique à des doses différentes et dans lesquels on aura mis des lombrics. Il était prévu d'incorporer des vers de terre en nombre croissant, pour essayer de situer la densité optimale de lombrics au m² permettant d'avoir une meilleure incidence sur les propriétés physiques de ces sols. Mais, la multiplication du nombre d'individus à mettre dans les parcelles ne nous a pas permis de le faire, alors nous avons choisi de comparer entre absence et présence de lombrics (100 individus).

3.1.4.2. Description des blocs expérimentaux :

Au niveau de chaque site d'étude, nous avons réalisé six blocs parcellaires de forme carrée ayant 1m² de surface. Pour empêcher que les lombrics ne s'échappent des parcelles expérimentales, des plaques métalliques (Tôle noire) ont été installées sur les côtés de chaque carré et enfoncée dans la terre à une profondeur de 70cm, avec une hauteur de 50cm au dessus de la surface du sol.

Tableau n° VI : Doses de M.O. et nombre de Lombrics incorporés dans les blocs expérimentaux (Même dispositif sur les deux sites).

Numéro des blocs expérimentaux	Matière Organique Incorporée (%)	Nombre de Lombrics Introduits
Bloc n° 1 (Témoin)	0 %	0
Bloc n° 2	2 %	0
Bloc n° 3	4 %	0
Bloc n° 4	0 %	100
Bloc n° 5	2 %	100
Bloc n° 6	4 %	100

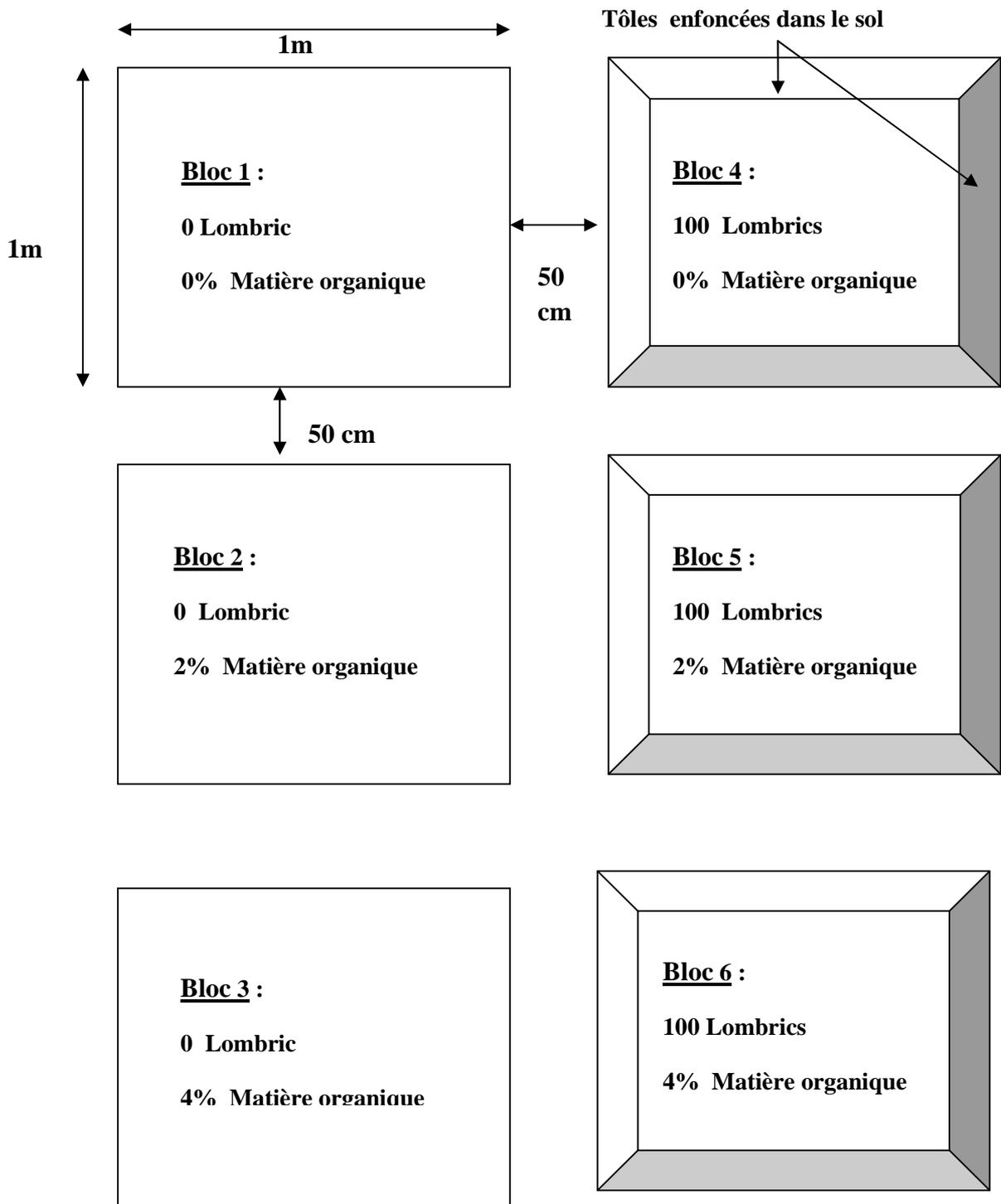


Figure n° 06 : Schéma du dispositif expérimental sur les deux sites Baccaro et Souk-El-Ténine.

3.2. METHODES D'ANALYSE DE SOL :

3.2.1. Préparation de la terre fine :

Pour les analyses caractéristiques de sol, nous avons réalisé des prélèvements dans chaque site d'étude à l'aide d'une petite pelle, tout en évitant la destruction des agrégats pour garder leur structure de départ dans la mesure du possible. Les échantillons ainsi prélevés sont ramenés au laboratoire, étalés et séchés à l'air libre pour être tamisés. Les deux prélèvements au niveau des deux sites ont été effectués pendant le mois de Novembre (11/2009).

Pour les échantillons du sol limono-argileux, ils sont écrasés délicatement à l'aide d'une pierre et forcés à la main à travers le tamis. Pour récupérer la terre fine, nous avons utilisé un tamis à mailles carrées de 2mm de diamètre. Le produit du tamisage est récupéré pour les analyses physico-chimiques ultérieures.

Au septième mois de l'expérimentation (en Mai), correspondant à la période la plus favorable à l'activité biologique ; c'est-à-dire à la fin de printemps, un seul prélèvement, répété trois fois pour avoir un échantillon composite, a été effectué dans chaque bloc expérimental. Les échantillons ainsi prélevés sont préparés de la même manière que les échantillons de départ pour caractériser les sols.

3.2.2. Analyses physico-chimiques caractéristiques des deux types de sol :

3.2.2.1. Analyse granulométrique :

Celle-ci a pour but de donner la composition du sol en particules élémentaires, en classant les particules minérales en groupes correspondant à des dimensions définies, ce qui permet de déterminer la texture de sol.

Les fractions granulométriques sont données selon une classification définie par l'échelle d'Atterberg qui détermine les classes des différents fractions granulométriques selon leurs diamètres (**Bonneau & Souchier, 1979 ; Baize & Jabiol, 1995**). Cette classification d'Atterberg est la suivante :

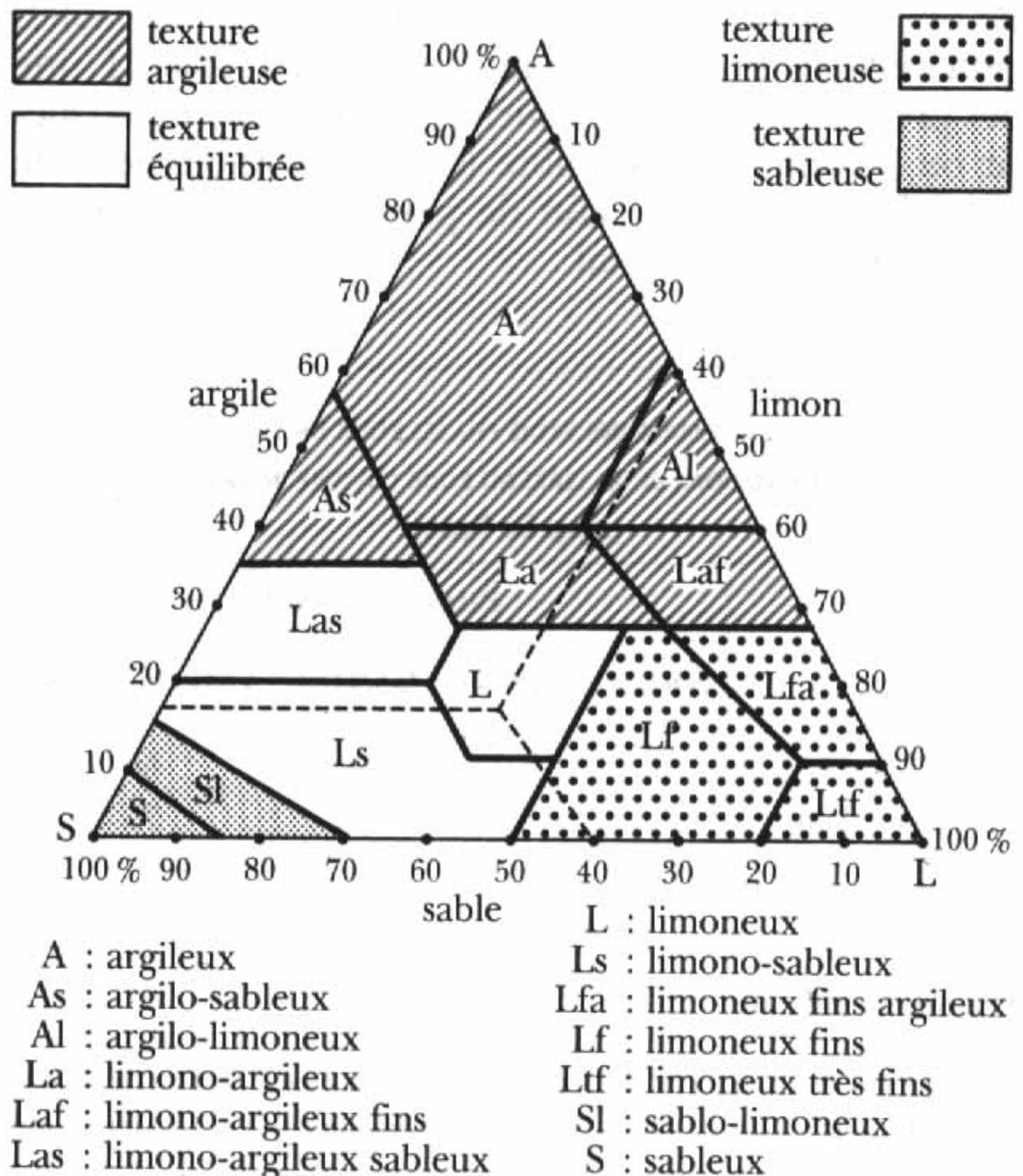
- Argiles (A) : $\Phi < 2\mu\text{m}$.

- Limons Fins (**L.F.**) : $2\mu\text{m} < \Phi < 50\mu\text{m}$.
- Limons Grossiers (**L.G.**) : $50\mu\text{m} < \Phi < 200\mu\text{m}$.
- Sables Fins (**S.F.**) : $200\mu\text{m} < \Phi < 500\mu\text{m}$.
- Sables Grossiers (**S.G.**) : $500\mu\text{m} < \Phi < 2\text{mm}$.

Pour effectuer l'analyse granulométrique sur les échantillons prélevés au niveau des deux (02) sites d'études, nous avons utilisé la méthode internationale à la pipette de Robinson, dont le protocole se résume en trois étapes suivantes :

- Destruction de la matière organique par l'addition de l'eau oxygénée (H_2O_2) à 20 volumes.
- Dispersion des agrégats par le pyrophosphate de sodium à 4%.
- Remise en suspension, prélèvement après un temps de sédimentation des particules fines (argiles et limons), et récupération des fractions grossières de $\Phi > 50\mu\text{m}$ (S.G., S.F. et L.G.) par tamisage après élimination des fractions fines (A+L.F.) par une série de siphonages.

La détermination de la texture se fait par la projection des pourcentages des différentes fractions sur « **le triangle des textures (U.S.D.A.)** », représenté par la **figure 07** ci-contre.



TRIANGLE DES TEXTURES

(d'après U.S. département of agriculture)

Figure n° 07 : Diagramme de classification détaillée des textures.

3.2.2.2. *Mesure du PH :*

L'acidité de sol à un moment donné est définie par la concentration en ions H^+ de la solution de sol en cet instant. Les sols ont une réaction neutre, acide ou basique. Leur degré d'acidité ou de basicité (alcalinité) est exprimé par le PH, qui constitue le test le plus sensible des modifications survenant dans l'évolution d'un sol (Calvet & al., 2003).

Pour mesurer le PH, nous avons employé un PH-mètre à électrode de verre préalablement étalonné à l'aide de solutions tampons de PH connu. La réaction de sol est déterminée sur une suspension aqueuse, dans laquelle le rapport pondéro-volumétrique eau/sol est de 1/2,5.

D'après **Duchaufour (1965)**, il existe deux types de PH :

- **Le PH_{eau}** , qui définit l'**acidité réelle** de sol. C'est le PH de la suspension d'un sol à un moment donné.
- **Le PH_{KCl}** , qui représente l'**acidité potentielle**. Elle correspond à la quantité des cations métalliques nécessaires pour saturer le complexe absorbant afin de remplacer la totalité des ions H^+ .

Le PH varie entre 0 et 14 :

- Sol neutre pour un **PH = 7** ;
- Sol acide pour un **PH < 7** ;
- Sol basique pour un **PH > 7**.

3.2.2.3. *Mesure de l'humidité du sol :*

Le besoin de déterminer la quantité d'eau contenue dans le sol et d'évaluer les états énergétiques de celle-ci se manifeste dans beaucoup d'études de sol. Cette information est indispensable pour la compréhension du comportement chimique et hydrologique des sols et de l'effet sur la croissance des plantes (Calvet & al., 2003).

Le principe, de la méthode utilisée pour mesurer l'humidité des échantillons, consiste à peser une certaine quantité de terre avant et après passage à l'étuve (à 105°C). Un passage qui doit être suffisamment long pour que le poids de la terre ne varie plus avec le temps. La perte de poids subie par le sol représente le poids d'eau évaporée pendant le séchage, (Mathieu & Pielain, 1998).

Cette méthode de mesure est la plus simple et la plus précise mais la moins rapide. Elle est à la base de méthode de référence dite gravimétrique. Il existe d'autres méthodes dites indirectes, comme celle des pF qui mesure le potentiel matriciel du sol sur l'eau à différentes pressions.

Le pourcentage d'humidité est calculé comme suit :

$$\%H = \frac{P_1 - P_2}{P_2 - P_3} \times 100$$

Où :

P₁ : Poids de 20g de sol + Poids de la boîte en aluminium avec couvercle (avant séchage) ;

P₂ : Poids du sol + Poids de la boîte en aluminium avec couvercle (après séchage) ;

P₃ : Poids de la boîte en aluminium vide avec couvercle ;

P₁ - P₂ : Poids de l'eau contenue dans l'échantillon du sol ;

P₂ - P₃ : Poids de la terre sèche contenue dans la boîte en aluminium.

3.2.2.4. Dosage du carbone organique :

La détermination de la teneur en carbone organique est réalisée par la méthode d'Anne modifiée. Le principe est basé sur l'oxydation à chaud du carbone de la matière organique en CO₂ par un mélange de bichromate de potassium K₂Cr₂O₇ (8%) et d'acide sulfurique concentré H₂SO₄, en présence de NaF et de diphenylamine. Le bichromate en excès est titré à froid par une solution réductrice de sels ferreux à 8% (sel de Mohr).

Le taux de la matière organique est déduit en multipliant le pourcentage du carbone organique par un facteur de 1,72.

$$\%MO = \%C \times 1,72.$$

3.2.2.5. Dosage de l'azote total :

Le dosage de l'azote total est effectué selon la méthode Kjeldahl, dans laquelle l'azote des composés organiques est transformé en azote ammoniacal sous l'action de l'acide sulfurique concentré à ébullition, qui se comporte comme un oxydant et détruit les matières organiques. Pour accélérer cette transformation, on utilise un catalyseur renfermant du sulfate de cuivre, du sulfate de potassium et du sélénium. Lorsque la matière organique est entièrement oxydée, la solution de sulfate d'ammonium obtenue est récupérée et on procède ensuite au dosage. L'ammoniac est déplacé de la combinaison par la soude, distillée et récupérée dans une solution d'acide borique. Il est titré avec une solution d'acide sulfurique de normalité connue.

3.2.2.6. Dosage du calcaire total :

Pour le dosage du calcaire total on applique la méthode gazométrique, à l'aide d'un appareil appelé calcimètre de BERNARD. Le carbonate de calcium se décompose sous l'action d'un acide (HCl). Le gaz carbonique (CO₂) dégagé est recueilli dans un tube gradué et son volume ainsi facilement mesuré. Il y a comparaison entre deux volumes ; celui de CO₂ dégagé en utilisant du CaCO₃ pur (courbe étalon) et celui de sol dans les mêmes conditions de température et de pression.

3.2.2.7. Dosage du calcaire actif :

Le calcaire actif correspond à la partie la plus fine des carbonates et facilement solubilisable par les solutions du sol. Pour son dosage, on utilise la propriété du calcium de se combiner aux oxalates pour donner de l'oxalate de calcium insoluble ; le reste d'oxalate est ensuite dosé par une solution de permanganate de potassium en milieu sulfurique.

La différence de KMnO₄ correspond à la quantité d'oxalate d'ammonium précipité, c'est-à-dire, à la quantité d'oxalate d'ammonium qui a réagi avec le calcaire actif. Enfin on établit la relation permettant d'exprimer en pourcentage (%) la teneur de sol en CaCO₃.

3.2.3. Méthodes d'analyses physiques :

En plus des dosages de carbone organique et de l'azote total, d'autres paramètres physiques ont été mesurés également, pour suivre leurs évolutions en fonction des variables introduites dans les essais (doses de matière organique et nombre de vers de terre) :

3.2.3.1. Mesure de la porosité :

La méthode choisie pour mesurer la porosité est celle qui est basée sur la mesure de la densité réelle et la densité apparente. La porosité est alors déduite selon la formule suivante :

$$P = \frac{(d_r - d_a)}{d_r} \times 100$$

Où :

P : Porosité ;

d_r : densité réelle ;

d_a : densité apparente.

* Calcul de la densité apparente : Celle-ci s'effectue par la méthode du cylindre.

$$d_a = P_s/V_a$$

Où :

d_a : densité apparente ;

P_s : Poids de l'échantillon sec (C'est le poids moyen de trois prélèvements au niveau de même caret).

V_a : Volume du cylindre.

$V_a = \pi \times R^2 \times h$. [où : * π = 3,14 ; * R = Rayon du cylindre utilisé et * h = hauteur du cylindre].

* Calcul de la densité réelle :

La méthode consiste à faire une série de quatre pesées a, b, c, d, dont on déduit le poids et le volume de l'échantillon.

a = Le pycnomètre vide ;

b = Le pycnomètre contenant le sol à étudier (15g environ) ;

c = Le pycnomètre + sol + eau ;

d = Le pycnomètre rempli d'eau.

Nous déduisons :

- Poids = b – a

- Volume = (d – a) – (c – b) d'où
$$dr = \frac{b-a}{(b+a)-(a+c)}$$

Il est essentiel que les pesées soient effectuées à température constante, à cause de la dilatation du pycnomètre et de l'eau, de préférence à 20°C.

3.2.3.2. *Mesure de la stabilité structurale :*

Le test de stabilité structurale utilisé est celui de Hénin, dont la méthode repose sur le principe d'une évaluation de la stabilité des agrégats déterminée en examinant l'action de l'eau, sous différents protocoles expérimentaux, qui, dans les conditions naturelles, se révèle être l'une des causes majeurs de la détérioration de la structure des sols (**Calvet & al., 2003**).

Les échantillons de terre subissent trois (03) prétraitements, comme suit :

- **Prétraitement à l'eau :** Les échantillons sont simplement immergés dans l'eau, permettant ainsi de mettre en évidence le phénomène d'éclatement des agrégats par l'eau dans les conditions normales.

- **Prétraitement à l'éthanol (alcool éthylique) :** Les échantillons sont plongés dans de l'alcool avant de les mettre en contact avec l'eau. L'alcool, en occupant la porosité au départ, augmente la stabilité moyenne des agrégats vis-à-vis de l'eau. Celle-ci pénètre dans

la porosité sans faire subir aux agrégats un éclatement due à la compression de l'air par l'eau dans la porosité, l'air s'en échappant sans détruire la structure.

- **Prétraitement au benzène** : Les échantillons sont plongés dans du benzène avant de les mettre en contact avec l'eau. Le benzène est un liquide organique non miscible à l'eau et non fixé par la matière minérale, permettant donc de faire ressortir le rôle protecteur des matières organiques sur les agrégats.

Après les prétraitements, les échantillons de sols sont agités (30 retournements successifs à la main) et tamisés sous l'eau à 200 µm. Les agrégats, refus sur le tamis ainsi obtenus, sont notés **Age** pour le prétraitement à l'eau (**e**), **Aga** pour le prétraitement à l'alcool (**a**), et **Agb** pour le prétraitement au benzène (**b**). Sur la suspension qui traverse le tamis contenant les particules de diamètre inférieur à 200 µm, on détermine les teneurs en argile + limon fin (**A+Lf**). Pour le calcul de l'indice *I_s* (Instabilité structurale), c'est la valeur la plus élevée des (**A+Lf**) obtenue pour les trois traitements (eau, alcool, benzène) qui sera utilisée. Lors du tamisage on recueille sur le tamis, en plus des agrégats, des sables grossiers ayant un diamètre plus grand que 0,2mm. Pour ne pas surestimer le taux d'agrégats sur le tamis, il faudrait donc soustraire ces sables grossiers. C'est dans cette optique que le coefficient 0,9 a été retenu, car il correspond le mieux au comportement aux champs de la plupart des sols. Tous ces éléments permettent de calculer l'indice d'instabilité structurale (*I_s*) qui est déterminé par la formule suivante :

$$I_s = \frac{(A + L)_{\max}}{\frac{(Age+Aga+Agb)}{3} - 0,9 SG}$$

Où:

- (**A+L**) **max** : Taux de dispersion maximum;
- **Age** : Taux d'agrégats sans prétraitement ;
- **Aga** : Taux d'agrégats après prétraitement à l'alcool ;
- **Agb** : Taux d'agrégats après prétraitement au benzène ;

- **S.G.** : Sables Grossiers.

Selon (Calvet & *al.*, 2003), Trois facteurs interviennent dans le calcul de l'indice d'instabilité structurale :

- Le pourcentage moyen des agrégats compris entre 0,2 et 2mm, stables à l'eau ;
- Le pourcentage d'argile et de limon dispersés à l'eau ;
- Le pourcentage de sables grossiers, c'est-à-dire d'éléments ayant la taille d'agrégats définis précédemment.

Tableau n° VII : Classes de stabilité structurale d'après $\log 10 I_s$ (Calvet & *al.*, 2003).

Stabilité	Log 10 I_s	Évolution structurale probable
Très stable	< 1	- Aucune manifestation de désagrégation. - Effet durable des sous solages et labours profonds réalisés en conditions sèches.
Stable	1,0 à 1,3	- Battance peu probable et peu intense. - Prise en masse hivernale rare. - Sensibilité à l'érosion faible, même sur pente forte.
Stabilité médiocre	1,3 à 1,7	- Battance fréquente et accentuée en conditions pluvieuses. - Prise en masse lors d'excédents hydriques prolongés. - Érosion en rigole sur pentes fortes (>3%).
Instables	1,7 à 2,0	- Battance et prise en masse fréquentes en conditions climatiques normales. - Érosion fréquente sur pentes moyennes.
Très instables	> 2	- Battance et prise en masse généralisées. - Imperméabilité totale en fin d'hiver. - Érosion sur pente très faible.

3.2.3.3. Mesure de la perméabilité :

La perméabilité d'un sol est définie par la vitesse d'infiltration de l'eau de gravité en cm par seconde (ou par heure, si la vitesse est lente), (**Duchaufour, 2001**).

La méthode utilisée est celle de **Hénin & al. (1969)** ; qui consiste à mesurer la vitesse d'infiltration de l'eau à travers un échantillon remanié. Le principe est le suivant :

- 1) Verser 50 g de terre fine dans un tube de verre cylindrique, fermé à sa partie inférieure par une toile de gaze. Il est impératif de verser l'échantillon de terre par prises successives de 10g de terre, toujours dans un excès d'eau, afin d'obtenir une colonne de terre homogène et sans gaz.
- 2) Soumettre la colonne à l'infiltration de l'eau sous une hauteur d'eau libre constante de 2cm.
- 3) Laissez ressuyer pendant les cinq (05) premières minutes (mn) après le début de la filtration. Commencer à recueillir l'eau de percolation durant une heure (01h) et noter son volume, soit (V).
- 4) Calculer la vitesse de percolation "K" (cm/h):

$$K(\text{cm/h}) = \frac{e \times V}{H \times S}$$

Où:

K : Vitesse de percolation (cm/h).

e : Hauteur de la colonne de terre (cm).

V : Volume d'eau recueilli durant une heure de percolation (cm³);

H : Hauteur de la charge totale de la base de la colonne de terre jusqu'à la surface de l'eau libre (cm).

S : Section inférieure du tube de percolation (cm²).

Tableau n° VIII : Classification des perméabilités en fonction du coefficient K_s (Mathieu & Pieltain, 1998).

Valeurs de K (cm/h)	Vitesses de filtration
0,1	Très lente
0,1 à 0,5	Lente
0,5 à 2	Assez lente
2 à 6,5	Moyenne
6,5 à 12,5	Assez rapide
12,5 à 25	Rapide
<25	Très rapide

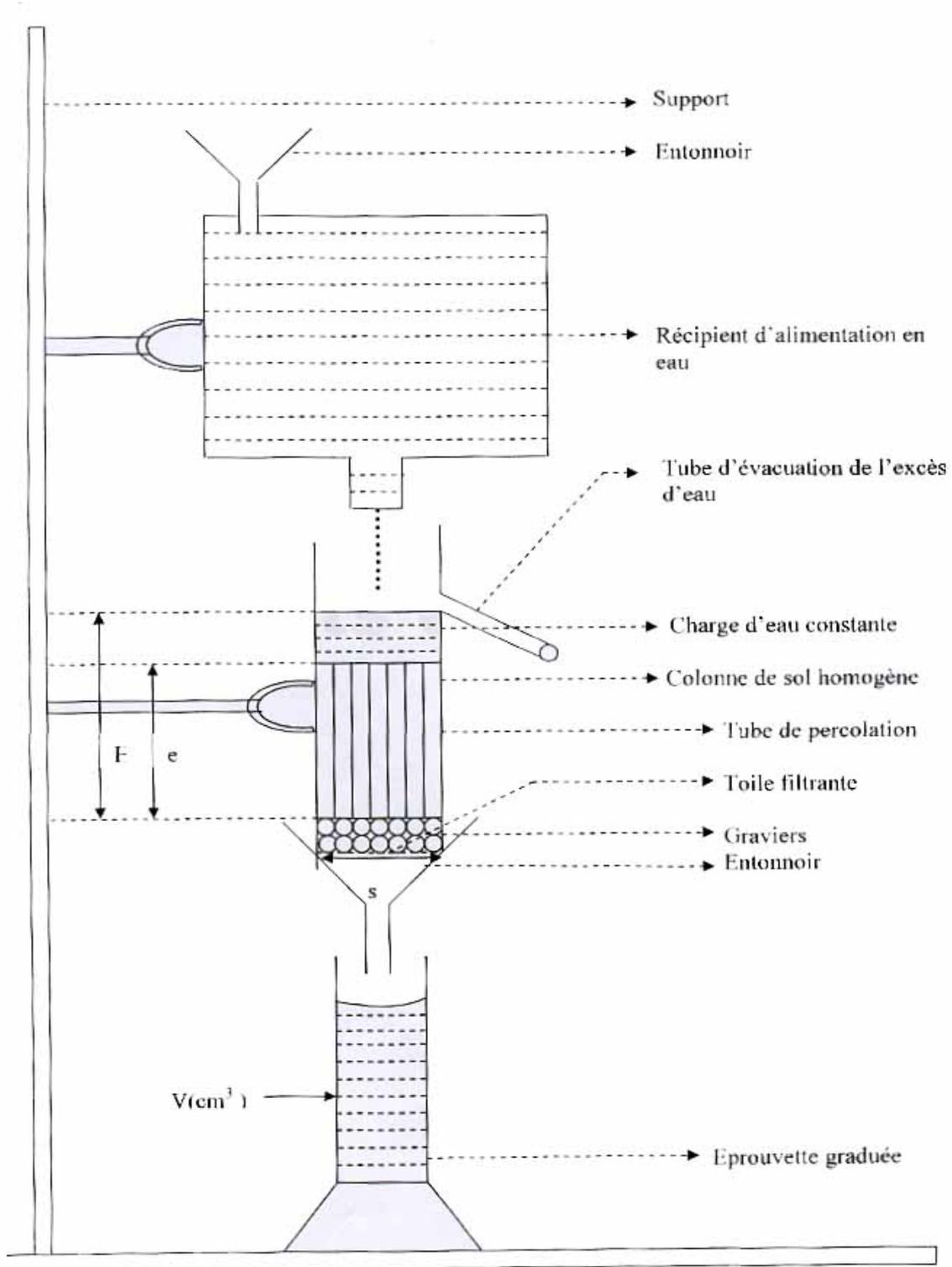


Figure n° 08 : Dispositif expérimental de mesure de la perméabilité

3.2.4. Les mesures biométriques :

Pour le choix du type de semence, nous avons opté pour une espèce de saison (Automne), cas des Fèves. Comme variété locale, ce choix s'est porté sur l'Aquadulce à longue cosse, à savoir *Vicia faba* (L.Var. aquadulce à longue cosse.). Pour ce qui concerne le dispositif de plantation au niveau de chaque bloc expérimental, nous avons creusé quatre trous distants d'une cinquantaine de centimètre l'un de l'autre, pour ensemercer les graines à raison de deux unités par trou. Avec le développement des individus, ces derniers se sont enchevêtrés, ce qui a rendu les mesures délicates, particulièrement en période de floraison. A cet effet, nous préconisons qu'il est plus pratique et plus judicieux, dans le cas d'une étude expérimentale au champ, de mettre une seule graine par trou.

L'ensemencement a été effectué au mois de décembre au niveau des deux sites étudiés; à raison de deux graines par trou, quatre trous par bloc expérimental, et six blocs par site. Au total, nous avons donc ensemené quarante huit (48) graines par site. Cette mise en terre des graines a été effectuée, au niveau des deux sites selon le calendrier suivant :

- Site de la CASSDEP de Baccaro (sol sableux) : Le 16/12/2009.
- Site de Souk-El-Ténine (sol argileux) : Le 18/12/2009.

Les mesures biométriques ont débutées trente (30) jours après l'ensemencement. Tout les mois, nous effectuons des mesures pour chaque plante.

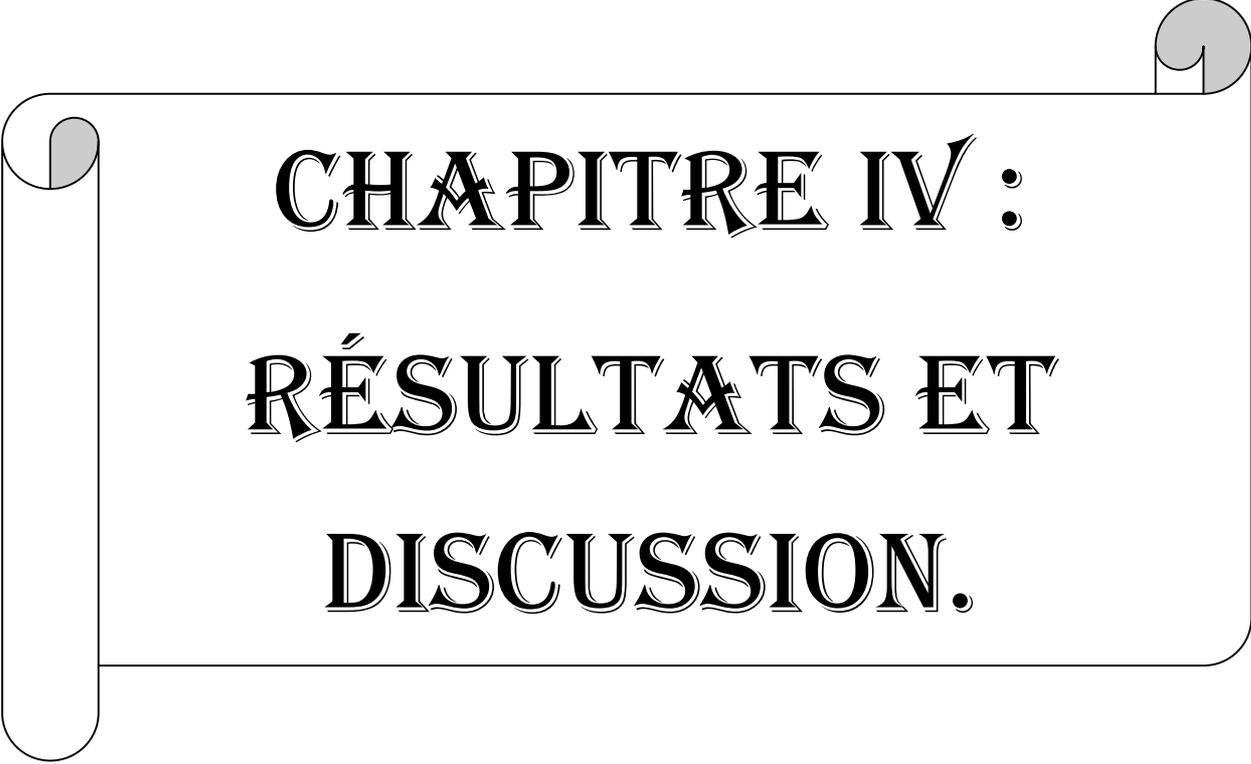
Signalons que pour la station de Souk-El-Ténine (sol limono-argileux), la plupart de ses plants n'ont pu dépasser la troisième mesure (jusqu'au mois de Mars seulement) ; la cause étant une longue période pluvieuse durant laquelle le sol est devenu très boueux, ce qui a causé l'étouffement des racines, ainsi que la mort de ces plants (tige, feuilles et gousses fanées). Le reste des plants sont fanés après le quatrième mois (mois d'Avril). Au niveau de la station CASSDEP de Baccaro (sol sableux), la plupart ont atteint la quatrième mesure (jusqu'au mois d'Avril). Durant la période du mois de Mai, les feuilles étaient complètement fanées et non mesurables, nous n'avons pas pu mesurer les gousses car elles ont été récoltées.

Concernant les mesures biométriques pour chaque plant, nous avons mesuré les paramètres suivants :

- La **longueur de la tige la plus longue** (chaque graine peut donner un plant avec une douzaine de tiges).
- La **longueur des trois feuilles les plus grandes**.
- Le **nombre total des feuilles**.
- Ainsi que la **longueur des gousses**.

3.2.4.1. Matériels utilisés pour les mesures :

- **La longueur de la tige** a été mesurée à l'aide d'un ruban-mètre malléable, car les plants présentent des tiges déformées, non rectilignes.
- **La longueur de la feuille** et de **la gousse** sont mesurées par un pied à coulisse électronique.
- **Le nombre total des feuilles** dénombré est noté à chaque fois pour tous les plants.

A decorative border resembling a scroll, with rounded corners and a vertical strip on the left side. The text is centered within this border.

CHAPITRE IV :
RÉSULTATS ET
DISCUSSION.

4.1. PRESENTATION DES RESULTATS :

4.1.1. Analyse physico-chimiques des 2 types de sol avant expérimentation (Témoin):

Les résultats présentés dans le **tableau n° IX**, concernent l'analyse granulométrique ainsi que les analyses physico-chimiques effectuées, avant l'expérimentation, sur les deux types de sol. Ces derniers font partie de l'ensemble des terres de la région du pourtour de la baie de Béjaïa. La première parcelle faisant partie de la CASSDEP de Baccaro (Tichy) et la deuxième étant située au niveau de la pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine).

Tableau n° IX : Résultats des analyses physico-chimiques des deux types de sol.

		Sol argilo-limoneux (Souk-El-Ténine)	Sol sableux Baccaro (Tichy)
Analyse granulométrique	A (%)	32,51	7,89
	SG (%)	14,50	75,20
	SF (%)	14,79	8,90
	LG (%)	5,86	0,11
	LF (%)	32,30	7,80
	Texture	Limono-argileuse	Sableuse
Analyses Physico-chimiques	Humidité « H » (%)	38,2	2
	Porosité « P » (%)	29,07	67,85
	Stabilité structurale « Is »	70,79	9,44
	Perméabilité « Ks » (cm/h)	0,14	19,8
	PH _{eau}	8,68	8,40
	PH _{Kcl}	8,15	7,67
	Calcaire total (%)	18	2,61
	Calcaire actif (%)	15	1,11
	Carbone organique (%)	4	5,92
	Matière organique (%)	6,88	11,37
	Azote total (N) (%)	0,22	0,11

4.1.2. Analyses physico-chimiques des 2 types de sol durant l'expérimentation :

4.1.2.1. Analyses physiques des 2 types de sol :

Les analyses physiques prises en considération sont les suivantes : Humidité, Porosité, Stabilité structurale et Perméabilité.

Les résultats des différentes analyses physiques des deux sols durant le temps d'expérimentation, sont présentés dans le **tableau n° X**, ci-dessous. Les résultats concernant la Porosité, la Perméabilité et la Stabilité structurale, en détaille dans l'**annexe n° 01**, pour la première et l'**annexe n° 02**, pour les deux dernières.

Tableau n° X : Résultats des analyses physiques au niveau des deux types de sol, durant l'expérimentation.

		Sol Limon-argileux		Sol Sableux	
Humidité	H (%)	L _{B.1}	38,2	S _{B.1}	2
		L _{B.2}	30	S _{B.2}	3
		L _{B.3}	29,45	S _{B.3}	3,3
		L _{B.4}	30,3	S _{B.4}	2,4
		L _{B.5}	29,3	S _{B.5}	5,3
		L _{B.6}	27,4	S _{B.6}	5,4
Porosité	P (%)	L _{B.1}	29,07	S _{B.1}	67,85
		L _{B.2}	33,13	S _{B.2}	60
		L _{B.3}	42,9	S _{B.3}	50,91
		L _{B.4}	28,8	S _{B.4}	64,69
		L _{B.5}	43,56	S _{B.5}	49,15
		L _{B.6}	54,13	S _{B.6}	38,33
Perméabilité	K _S (cm/h)	L _{B.1}	0,14	S _{B.1}	19,8
		L _{B.2}	0,22	S _{B.2}	16,9
		L _{B.3}	0,36	S _{B.3}	15,7
		L _{B.4}	0,45	S _{B.4}	18,35
		L _{B.5}	0,69	S _{B.5}	12,47
		L _{B.6}	0,83	S _{B.6}	12,1
Stabilité structurale	I _S	L _{B.1}	20,09	S _{B.1}	9,44
		L _{B.2}	6,84	S _{B.2}	2,82
		L _{B.3}	6,31	S _{B.3}	2,065
		L _{B.4}	6,09	S _{B.4}	2,19
		L _{B.5}	5,19	S _{B.5}	1,57
		L _{B.6}	3,35	S _{B.6}	1,32

4.1.2.2. Analyses chimiques des 2 types de sol :

Les analyses chimiques qui ont fait l'objet de l'étude sont les dosages de carbone organique et de l'azote total, ainsi que les mesures du PH (PH_{eau} et PH_{KCl}).

Les résultats des différentes analyses chimiques des deux sols après sept mois d'expérimentation, sont présentés dans le **tableau n° XI**, ci contre.

Tableau XI : Résultats des analyses chimiques au niveau des deux types de sol, durant l'expérimentation.

Stations	Sol Limono-argileux		Sol Sableux	
Carbone Organique (%)	L _{B.1}	4,39	S _{B.1}	3,94
	L _{B.2}	5,69	S _{B.2}	5,65
	L _{B.3}	7,72	S _{B.3}	6,76
	L _{B.4}	8	S _{B.4}	8,01
	L _{B.5}	8,17	S _{B.5}	7,88
	L _{B.6}	11,48	S _{B.6}	11,35
Matière Organique (%)	L _{B.1}	7,5	S _{B.1}	6,78
	L _{B.2}	9,79	S _{B.2}	9,82
	L _{B.3}	13,28	S _{B.3}	11,63
	L _{B.4}	13,76	S _{B.4}	13,78
	L _{B.5}	14,05	S _{B.5}	13,55
	L _{B.6}	19,75	S _{B.6}	19,5
Azote Total (%)	L _{B.1}	0,26	S _{B.1}	0,17
	L _{B.2}	0,3	S _{B.2}	0,34
	L _{B.3}	0,45	S _{B.3}	0,4
	L _{B.4}	0,58	S _{B.4}	0,13
	L _{B.5}	0,64	S _{B.5}	0,48
	L _{B.6}	0,71	S _{B.6}	0,68
PH_{eau}	L _{B.1}	8,285	S _{B.1}	8,26
	L _{B.2}	8,11	S _{B.2}	8,365
	L _{B.3}	7,745	S _{B.3}	8,44
	L _{B.4}	8,33	S _{B.4}	8,595
	L _{B.5}	8,195	S _{B.5}	8,375
	L _{B.6}	8,31	S _{B.6}	8,125
PH_{KCl}	L _{B.1}	7,395	S _{B.1}	8,02
	L _{B.2}	7,465	S _{B.2}	7,95
	L _{B.3}	7,48	S _{B.3}	7,975
	L _{B.4}	7,44	S _{B.4}	8,025
	L _{B.5}	7,5	S _{B.5}	7,985
	L _{B.6}	7,57	S _{B.6}	7,705

4.1.3. Mesures biométriques de la plante, durant l'expérimentation :

Les résultats des moyennes des différentes mesures biométriques de *Vicia faba L.* (Variété aquadulce à longue cosse), sur un sol sableux dans la station CASSDEP de Baccaro (Tichy) et sur un sol limono-argileux dans la station pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine), effectuées tous les mois à partir de la date du semis, sont présentés dans le **tableau n° XII**, pour le sol sableux et dans le **tableau n° XIII**, pour le sol limono-argileux.

Les mesures des paramètres biométriques ; la longueur des feuilles et de leurs nombre total, la longueur de la tige et des gousses, pour les individus des deux types de sol, sont présentées dans l'**annexe n° 03**, pour le sol sableux et l'**annexe n° 04**, pour le sol limono-argileux.

Tableau n° XII : Moyennes des mesures biométriques de la plante sur sol sableux-
Site de la CASSDEP de Baccaro (Tichy).

Sol sableux				
<i>Longueur des feuilles (en mm)</i>				
	Janvier	Février	Mars	Avril
(0% MO + 0 Lombrics)	54,68 mm	47,59 mm	41,31 mm	35,02 mm
(2% MO + 0 Lombrics)	63,44 mm	68,05 mm	68,43 mm	/
(4% MO + 0 Lombrics)	68,15 mm	68,16 mm	81,49 mm	67,11 mm
(0% MO + 100 Lombrics)	69,64 mm	73,49 mm	78,58 mm	80,69 mm
(2% MO + 100 Lombrics)	61,78 mm	67,58 mm	71,59 mm	65,29 mm
(4% MO + 100 Lombrics)	73,40 mm	65,42 mm	81,59 mm	73,73 mm
<i>Nombre total des feuilles</i>				
	Janvier	Février	Mars	Avril
(0% MO + 0 Lombrics)	25,49	61,43	193,43	214,14
(2% MO + 0 Lombrics)	27,50	118,71	377,5	/
(4% MO + 0 Lombrics)	33,00	106,5	503,00	292,00
(0% MO + 100 Lombrics)	19,12	100,17	407,71	551,00
(2% MO + 100 Lombrics)	24,00	118,25	476,37	454,00
(4% MO + 100 Lombrics)	28,29	146,86	723,57	616,71
<i>Longueur de la tige (en cm)</i>				
	Janvier	Février	Mars	Avril
(0% MO + 0 Lombrics)	12,01 cm	15,92 cm	28,63 cm	34,3 cm
(2% MO + 0 Lombrics)	12,96 cm	15,93 cm	39,62 cm	/
(4% MO + 0 Lombrics)	16,88 cm	24,46 cm	50,75 cm	47,80 cm
(0% MO + 100 Lombrics)	24,34 cm	23,80 cm	64,26 cm	75,64 cm
(2% MO + 100 Lombrics)	22,73 cm	22,32 cm	52,62 cm	52,86 cm
(4% MO + 100 Lombrics)	28,70 cm	22,94 cm	68,57 cm	73,40 cm
<i>Longueur de la gousse (en mm)</i>				
	Janvier	Février	Mars	Avril
(0% MO + 0 Lombrics)	/	/	30,21 mm	Récoltées
(2% MO + 0 Lombrics)	/	/	41,31 mm	//
(4% MO + 0 Lombrics)	/	/	39,94 mm	//
(0% MO + 100 Lombrics)	/	/	37,23 mm	//
(2% MO + 100 Lombrics)	/	/	45,59 mm	//
(4% MO + 100 Lombrics)	/	/	43,19 mm	//

Tableau n° XIII : Moyennes des mesures biométriques de la plante sur sol limono-argileux-
Site de la Pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine).

Sol limono-argileux				
<i>Longueur des feuilles (en mm)</i>				
	Janvier	Février	Mars	Avril
(0% MO + 0Lombrics)	37,61mm	39,16 mm	43,92 mm	46,45 mm
(2% MO + 0 Lombrics)	44,38 mm	65,00 mm	59,07 mm	53,71 mm
(4% MO + 0 Lombrics)	48,33 mm	67,40 mm	80,92 mm	59,02 mm
(0% MO + 100 Lombrics)	66,41 mm	58,11 mm	36,00 mm	/
(2% MO + 100 Lombrics)	71,55 mm	65,14 mm	71,80 mm	74,75 mm
(4% MO + 100 Lombrics)	73,00 mm	50,79 mm	71,37 mm	/
<i>Nombre total des feuilles</i>				
	Janvier	Février	Mars	Avril
(0% MO + 0Lombrics)	18,57	30,00	83,50	74,00
(2% MO + 0 Lombrics)	16,00	22,86	194,83	264,00
(4% MO + 0 Lombrics)	17,00	41,12	378,57	113,00
(0% MO + 100 Lombrics)	19,75	39,00	86,50	/
(2% MO + 100 Lombrics)	18,62	37,67	310,83	134,50
(4% MO + 100 Lombrics)	18,75	23,80	153,00	/
<i>Longueur de la tige (en cm)</i>				
	Janvier	Février	Mars	Avril
(0% MO + 0Lombrics)	15,47 cm	17,25 cm	33,20 cm	36,30 cm
(2% MO + 0 Lombrics)	17,60 cm	25,08 cm	54,96 cm	51,65 cm
(4% MO + 0 Lombrics)	15,63 cm	26,69 cm	56,50 cm	52,00 cm
(0% MO + 100 Lombrics)	25,55 cm	37,00 cm	48,10 cm	/
(2% MO + 100 Lombrics)	25,29 cm	38,26 cm	68,39 cm	76,75 cm
(4% MO + 100 Lombrics)	24,44 cm	40,04 cm	77,50 cm	/
<i>Longueur de la gousse (en mm)</i>				
	Janvier	Février	Mars	Avril
(0% MO + 0Lombrics)	/	/	55,91 mm	57,82 mm
(2% MO + 0 Lombrics)	/	/	53,64 mm	52,19 mm
(4% MO + 0 Lombrics)	/	/	45,57 mm	/
(0% MO + 100 Lombrics)	/	/	47,50 mm	/
(2% MO + 100 Lombrics)	/	/	47,70 mm	/
(4% MO + 100 Lombrics)	/	/	38,63 mm	/

4.2. DISCUSSIONS DES RESULTATS :

4.2.1. Interprétation des résultats d'analyses obtenus avant expérimentation :

4.2.1.1. Analyse granulométrique des 2 types de sol :

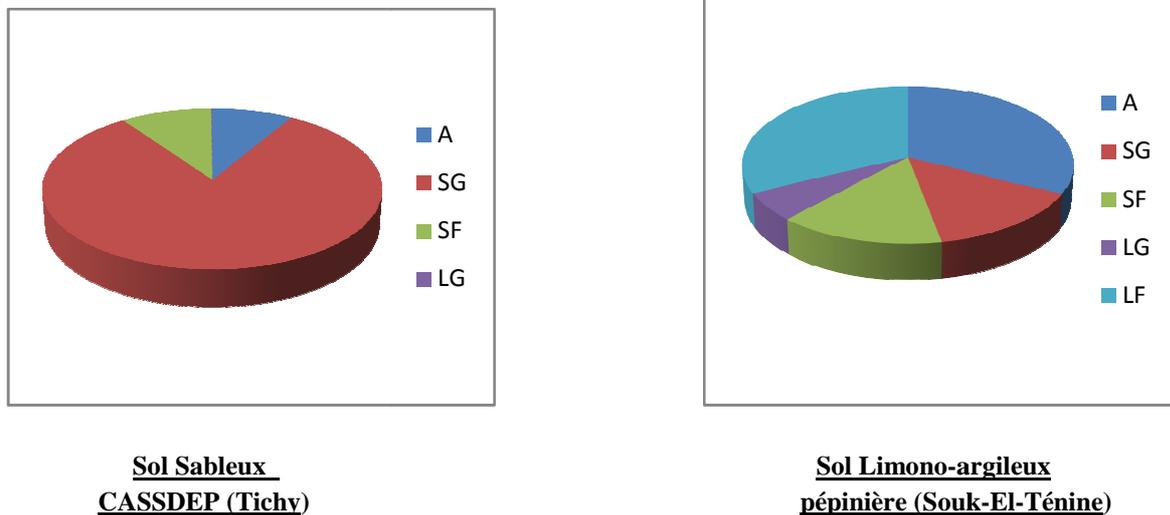


Figure n° 09 : Classes granulométriques des 2 types de sol

A : argiles ; **SG** : sables grossiers ; **SF** : sables fins ; **LG** : limons grossiers ; **LF** : limons fins.

D'après le triangle des texture de USDA, Les résultats de l'analyse granulométrique montrent que la texture du sol de la CASSDEP de Baccaro (Tichy) est sableuse, tandis que le sol de la pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine) présente une texture limono-argileuse. Cela est lié à la situation géographique des deux stations. Celle de Baccaro, située sur la bande littorale longeant la route nationale 9, très proche de la mer, est de ce fait influencée par la présence de celle-ci. Toutes les terre de cette région sont sablonneuses, à l'exception de celles situées sur les versants un peu plus en amont, constituées de terre limoneuses et limono-argileuse. Les terre de la pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine) sont situées plus en amont et assez loin du littoral. Elles sont dans la majorité des cas de texture fine, limono-argileuse, argilo-limoneuse ou argileuse. Il est important d'apporter des matières organiques facilement biodégradables aux sols très filtrant, comme ceux de la CASSDEP (Tichy), afin de reconstituer le complexe argilo-humique et remédier ainsi aux divers problèmes physico-chimiques rencontrés dans ces sols très filtrants. Cela pourrait aussi améliorer la capacité de rétention de ces sols vis-à-vis de l'eau et des

éléments minéraux, et de reconstituer le stock minéral de ces sols relativement faible par rapport aux autres sols à l'amont.

4.2.1.2. Mesure de l'humidité des 2 types de sol :

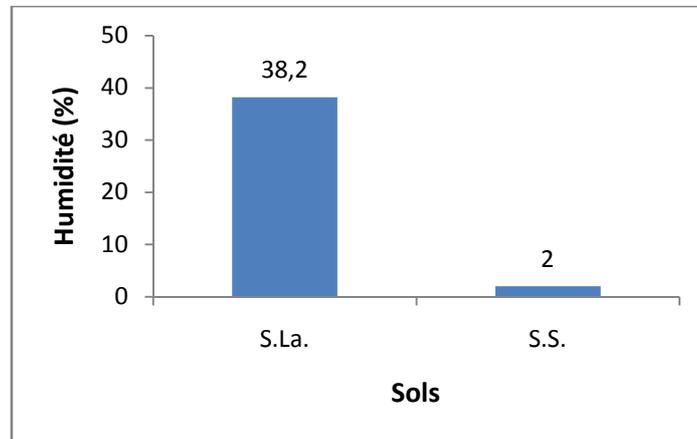


Figure n°10 : Mesure de l'humidité des 2 types de sol avant l'expérimentation.

Le sol limono-argileux présente un pourcentage d'humidité élevé, alors que le pourcentage de l'humidité du sol sableux est faible. Cela étant lié principalement au fait que le sol limono-argileux présente une porosité beaucoup plus fine que le sol sableux, et que la rétention de l'eau est plus importante. Dans le sol sableux de la CASSDEP de Baccaro (Tichy), c'est la macroporosité qui domine par rapport à la microporosité, ce qui rend le sol très filtrant, l'empêchant ainsi de garder son eau suffisamment longtemps. Cela est très néfaste sur le plan chimique, car dans ce type de sol très filtrant, le drainage trop important lessive les matières organiques hydrosolubles et les éléments minéraux, principalement l'azote, diminuant ainsi la fertilité du sol. A ce titre, l'apport de matière organique et la présence de lombrics pourrait rééquilibrer les conditions physico-chimiques dans ce type de sol et limiter ainsi les pertes en eau et en éléments minéraux indispensables aux plantes.

4.2.1.3. Mesure de la Porosité des 2 types de sol :

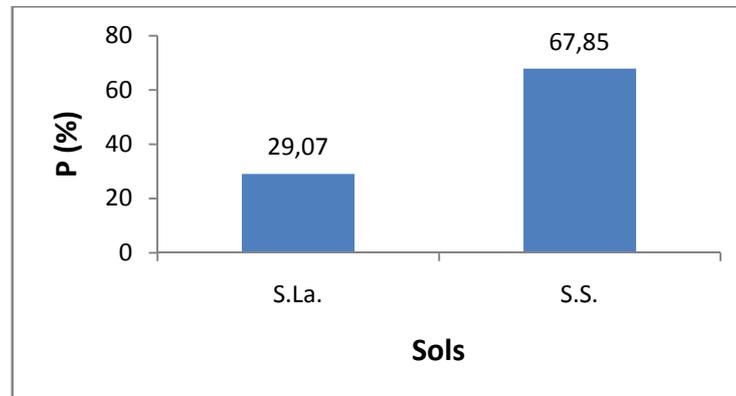


Figure n°11 : Mesure de la porosité des 2 types de sol avant l'expérimentation.

Le sol sableux de la CASSDEP (Tichy) est un milieu très poreux, beaucoup plus que le sol limono-argileux de la pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine). Les sols ayant un système poreux trop élevé, comme celui de la CASSDEP (Tichy), permettent un bon enracinement des cultures et un travail facile, mais d'un autre côté, l'eau s'infiltré trop rapidement dans le sol et la rétention de l'eau est trop faible, et de ce fait ne permettent pas un stockage de l'eau et des éléments nutritifs dans le sol suffisamment longtemps pour que la plante puisse en profiter. Même si cette aération du sol, représente un impact positif sur l'activité biologique, cet état de fait reste un handicap important au vu des problèmes cités précédemment. Cette porosité élevée pourrait être corrigée par des apports réguliers de matière organique suffisamment évoluée (fumier de bovin, compost...), ajouté à la présence de vers de terre, cela permettrait de reconstituer un complexe argilo-humique de qualité.

4.2.1.4. Mesure de la Stabilité structurale des 2 types de sol :

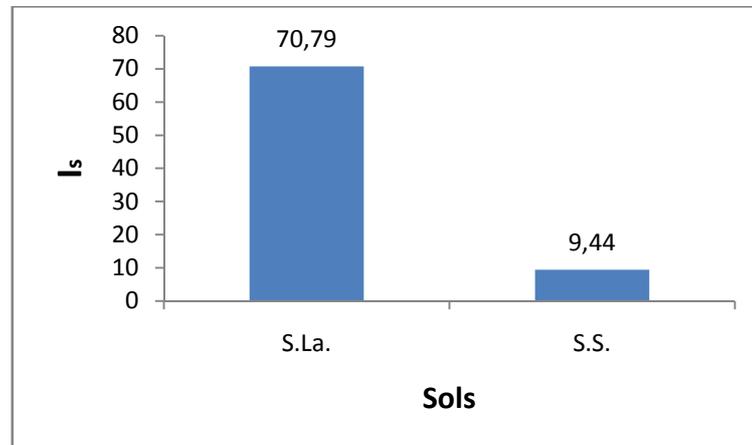


Figure n°12 : Mesure de la stabilité structurale des 2 types de sol avant l'expérimentation.

Le sol limono-argileux de la pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine) présente un indice d'instabilité structurale (I_s) très élevé par rapport à celui du sol sableux de la CASSDEP (Tichy). Ces mesures indiquent que la structure du sol limono-argileux est plus dégradée que celle du sol sableux. Cela pourrait être expliqué par la nature texturale du sol limono-argileux, le rendant sensible à la battance en surface. D'ailleurs, les prélèvements d'échantillons de sol ont été effectués seulement en surface. Le sol sableux de la CASSDEP (Tichy) présente une texture moins dégradée, mais relativement mauvaise si l'on se réfère aux normes de (Hénin & al., 1969). Il serait judicieux de suivre le comportement structural du sol limono-argileux sur une longue période (5 années par exemple), en y apportant de la matière organique tout les ans, afin de voir si la sensibilité à la battance diminue. L'influence de la présence des vers de terre serait également intéressante à observée sur une longue période.

4.2.1.5. Mesure de la Perméabilité des 2 types de sol :

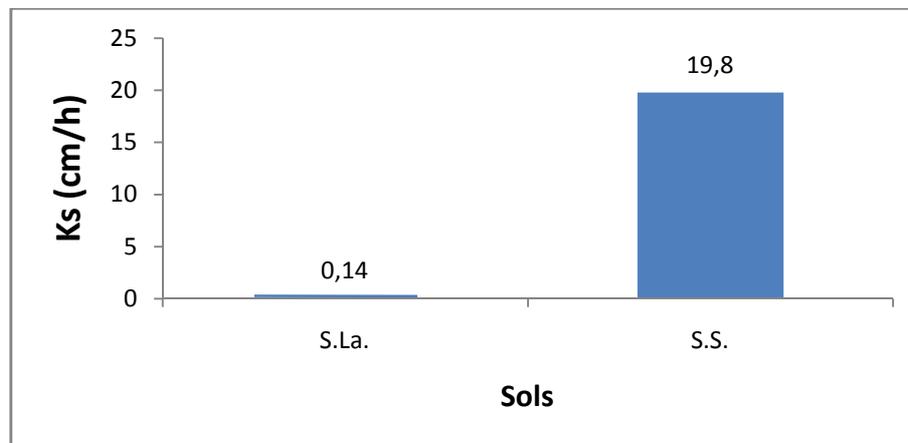


Figure n°13 : Mesure de la perméabilité des 2 types de sol avant l'expérimentation.

La perméabilité dans le sol sableux est très appréciable (19,8cm/h) si on la compare aux normes de **Hénin & al. (1969)**. A cet effet, ce sol se dessèche très rapidement en surface, provoquant un déficit hydrique très néfaste pour les cultures, obligeant l'exploitant à irriguer assez souvent ces parcelles de terre. Pour le sol limono-argileux, la vitesse d'infiltration est très faible (0,14cm/h), ce qui montre que l'eau a du mal à s'infiltrer en profondeur à cause probablement du problème de battance superficielle ayant provoqué une dégradation des structures superficielles du sol. Cela provoque souvent des situations d'engorgement par l'eau durant les périodes de fortes pluies, particulièrement en automne. Il est indispensable de corriger ces problèmes de dégradation physiques en surfaces, et cela ne peut se faire que par des apports conséquents de matière organique de façon régulière et un travail superficiel peu agressif, pour ne pas aggraver le problème de battance en surface par l'écrasement des mottes en particules fines.

4.2.1.6. Dosage du Carbone organique et de l'Azote total des 2 types de sol :

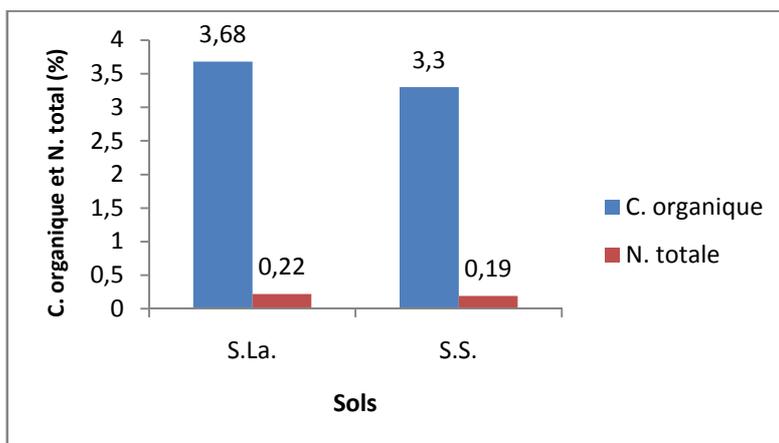


Figure n°14 : Dosage du carbone organique et de l'azote total. des 2 types de sol avant l'expérimentation.

Les deux sols présentent une teneur très faible en carbone organique, alors que l'azote est presque inexistant. Cela pourrait être attribué à un déficit en amendement organique et en engrais azoté, vu que les deux parcelles sont restées en jachère depuis plus de deux ans. Surtout pour ce qui concerne le sol sableux de la parcelle de la CASSDEP de Baccaro (Tichy), car l'azote est facilement entraîné par drainage durant les épisodes pluvieux. Il serait intéressant d'installer une culture de légumineuse, avant la mise en culture, afin de reconstituer le stock en azote de ces sols.

4.2.1.7. Dosage du Calcaire actif et du Calcaire total des 2 types de sol :

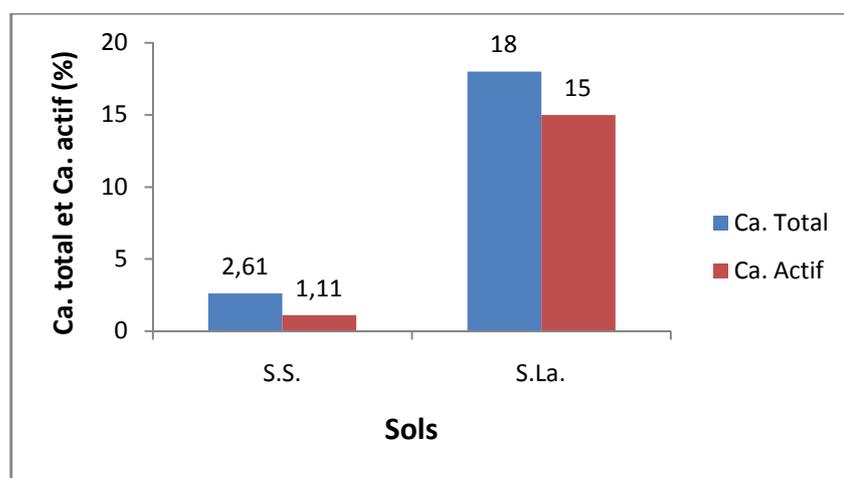


Figure n°15 : Dosage du Calcaire actif et du Calcaire total des 2 types de sol avant l'expérimentation.

Selon la dénomination des sols, suivant leur teneur en calcaire, donnée par **Hénin & al., (1969)**, et en vu de nos résultats, nous pouvons dénommer les textures des deux types de sol comme suit : limono-argilo-calcaire et sableux. Nous notons la présence d'une faible quantité de calcaire actif dans ces sols. Cela pourrait avoir un effet favorable sur l'activité microbienne qui se trouverait stimulée (**Hénin & al., 1969**). Encore faudrait-il avoir suffisamment d'humus dans le sol pour alimenter cette activité biologique, en incorporant de la matière organique régulièrement.

4.2.1.8. Mesure du PH_{eau} et PH_{kcl} des 2 types de sol :

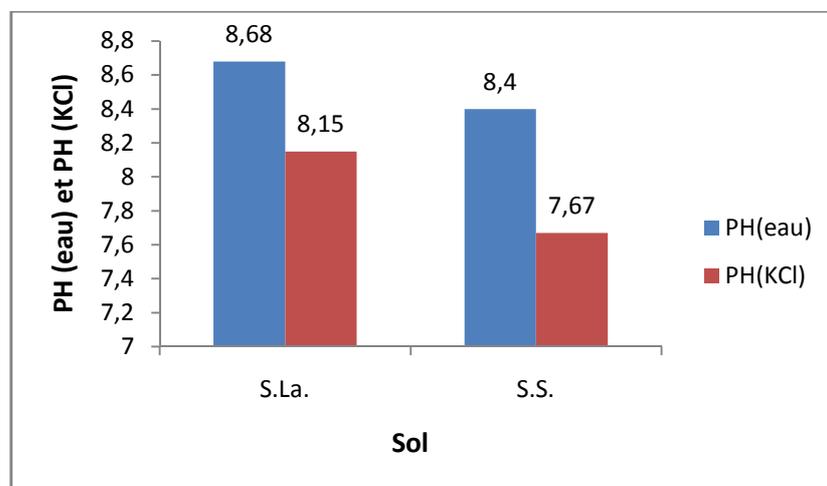


Figure n°16 : Mesure du PH des 2 types de sol avant l'expérimentation.

Les deux sols présentent des PH légèrement alcalins. Cela étant lié à la présence dans le sol de calcaire actif. Cette situation pourrait engendrer une bonne capacité dans les phénomènes d'échange ionique. Le ΔPH ($PH_{eau} - PH_{kcl}$) est assez appréciable dans les deux types de sol, avec un ΔPH de 0,53 pour le sol limono-argileux de la pépinière Ouchène de Souk-El-Ténine et de 0,73 pour le sol sableux de la CASSDEP de Baccaro (Tichy). A partir de là, nous pouvons dire que les deux sols présentent des acidités d'échange assez importantes, avec un pouvoir tampon appréciable. De plus, l'activité biologique pourrait être influencée favorablement.

4.2.2. Evolution des paramètres physiques des deux types de sol durant l'expérimentation :

4.2.2.1. Evolution de l'humidité du sol :

Dans la figure n°17, nous avons représenté les résultats de l'évolution de l'humidité, obtenus au niveau des deux sites expérimentaux, station CASSDEP de Baccaro (Tichy) pour le sol sableux et la station Pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine).

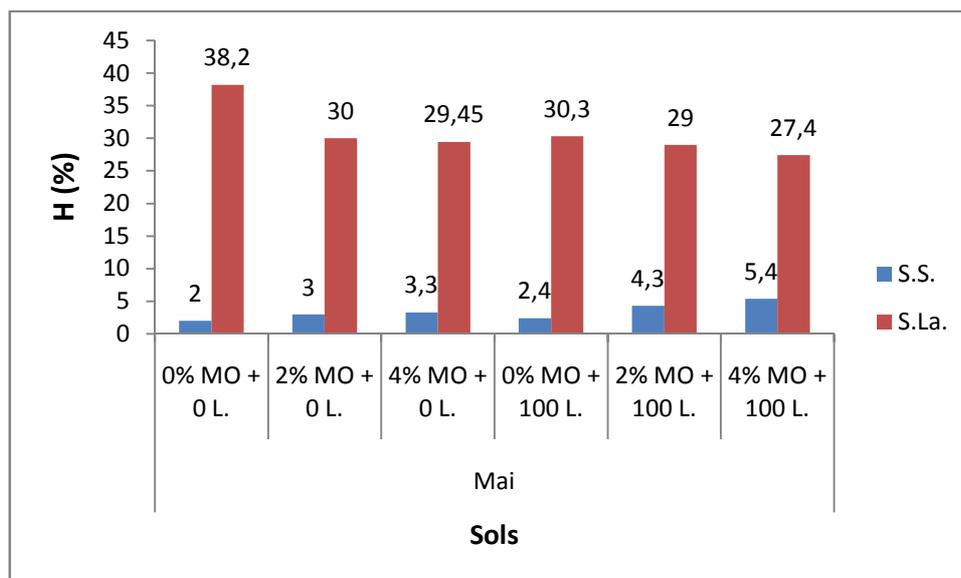


Figure n°17 : Evolution de l'humidité des deux types de sol, durant l'expérimentation

L'apport de la matière organique et des lombrics dans les deux sols, a manifestement amélioré la disponibilité de l'eau dans les deux types de sol et la dynamique de sa circulation. Cela est révélé par l'évolution croissante du taux d'humidité dans le sol sableux, donc probablement sa capacité de rétention de l'eau, alors que dans le sol limono-argileux la diminution du taux d'humidité constatée traduit une réorganisation structurale du sol par les apports organiques et l'apport des vers de terre, qui aurait permis une limitation de la rétention de l'eau assurant ainsi aux végétaux l'eau utile absorbable, en plus des éléments nutritifs assimilables. Dans le sol limono-argileux, cette réorganisation structurale a permis l'évacuation de l'eau libre qui occupe la macroporosité, permettant ainsi l'aération du sol et la respiration des végétaux. Les lombrics ne peuvent pas vivre dans un sol à forte humidité si leurs galeries sont remplies d'eau (**Hénin & al., 1969**).

Dans le sol sableux, le témoin (*0% MO + 0 Lombrics*), présente un taux d'humidité de 2%. Son évolution est en constante augmentation, et il passe à un taux de **2,4%** dans le bloc 4 (*0% MO + 100 Lombrics*), puis un taux de **3%** dans le bloc 2 (*2% MO + 0 Lombrics*), ensuite un taux de **4,3%** dans le bloc 5 (*2% MO + 100 Lombrics*), pour atteindre **5,4%** dans le bloc 6 (*4% MO + 100 Lombrics*). Nous remarquons que c'est le facteur « **matière organique** » qui a le plus d'impact sur l'amélioration du taux d'humidité par rapport au facteur « **vers de terre** ». Mais, il ressort aussi un effet synergique des deux facteurs si l'on se réfère aux blocs aux blocs 5 et 6, avec la présence simultanée des lombrics et de la matière organique (2% et 4%).

Dans le sol limono-argileux, le témoin présente un taux d'humidité de 38,2%. L'évolution générale de celui-ci est régressive, car il passe de **38,2%** pour le témoin (*0% MO + 0 Lombrics*), pour se stabiliser à environ **29 et 30 %** pour les *blocs 2 (2% MO + 0 Lombrics)*, *3 (4% MO + 0 Lombrics)*, *4 (0% MO + 100 Lombrics)* et *5 (2% MO + 100 Lombrics)*, ensuite le taux diminue encore jusqu'à une valeur de 27,4% pour le *bloc 6 (4% MO + 100 Lombrics)*.

Dans les deux types de sols, sableux et limono-argileux, la diversité dans les valeurs de l'humidité est faible. Que ce soit dans le sol sableux ou dans le sol limono-argileux, l'amélioration de l'humidité est plus importante quand il y a un apport simultané de la matière organique et des lombrics, comme dans les *blocs 5 (2% MO + 100 Lombrics)* et *6 (4% MO + 100 Lombrics)*. Nous notons également, que plus la quantité de matière organique incorporée est élevée, plus l'amélioration est importante. Celle-ci est plus remarquable dans les *blocs 6 (5,4% pour le sol sableux et 27,4% pour le sol limono-argileux)* par rapport aux *blocs 5 (4,3% pour le sol sableux et 29% pour le sol limono-argileux)*.

L'apport de matière organique sans lombrics a été plus bénéfique que l'apport des lombrics sans matière organique. C'est peut être parce que le sol sableux est pauvre en matière organique, car d'après **Hénin & al., (1969)**, on trouve peu de vers de terre dans les sols sableux, constitués par des éléments grossiers. L'apport de 2% dans le *bloc 2 (2% MO + 0 Lombrics)* et 4% dans le *bloc 4 (4% MO + 0 Lombrics)* a attiré les lombrics des parcelles avoisinantes. Les lombrics modifient la composition du sol grâce à leurs turricules (déjections/excréments), riches en complexes argilo-humique (**Estevez & al., 1992 ; Madina, 1997**).

Le sol limono-argileux présente un stock en matière organique important (**Duchaufour, 1997**), contrairement au sol sableux. Cependant, ce constat n'est pas reflété dans le *bloc 4*, où

l'introduction de **100** lombrics sans matière organique a eu un effet moins important, par rapport aux blocs qui ont reçu de la matière organique sans lombrics (**2%** dans **le bloc 2 et 4%** dans le **bloc 3**). Dans ce bloc, il faudrait signaler l'impact que pourrait avoir le passage d'animaux (sanglier, chien) sur le sol déjà humide, causant le compactage du sol par leur piétinement, et diminuant ainsi l'infiltration de l'eau par la fermeture des pores grossiers dans lesquels circule l'eau.

La sensibilité des sols à la battance et au tassement dépend non seulement de leur texture, mais aussi de leur teneur en matière organique et de l'humidité, ces deux derniers facteurs étant fortement dépendants de l'utilisation du sol et des pratiques agricoles. Aussi l'asphyxie des plantes peut avoir lieu soit par excès d'eau lié à un faible drainage ou à une mauvaise structure du sol (Monnier, 1965 ; Monnier & Stengel, 1982 ; Darthout & al., 1995).

4.2.2.2. Evolution de la porosité du sol :

Les résultats des mesures de la porosité, pour les deux types de sol, sont représentés dans la figure n°18 ci-dessous. Les résultats sont assez diversifiés d'un traitement à un autre, dans les différents blocs expérimentaux. Au niveau du sol sableux, elle est dominée par les pores grossiers, qui assurent une forte capacité en air et engendre une très faible teneur en eau utile. Tandis que dans le sol limono-argileux, la porosité est dominée par les pores les plus fins, lesquels entraînent une assez faible capacité en air, et une teneur en eau relativement plus élevée.

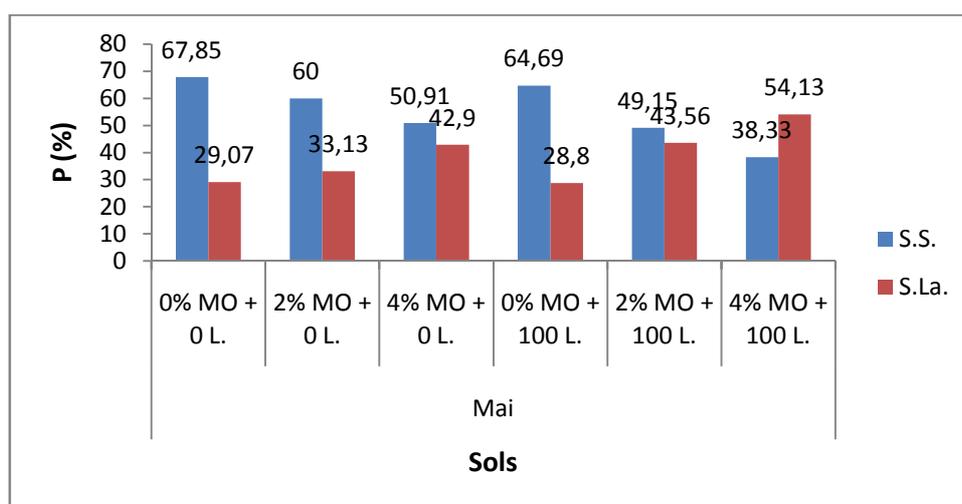


Figure n°18 : Evolution de la porosité des deux types de sol, durant l'expérimentation

La porosité au niveau du sol sableux témoin, dominée par les pores grossiers, est très élevée (**67,85%**). Lorsqu'un sol possède une fraction granulométrique dominante, son système poreux est lui-même caractérisé par une famille de pores dominante. Les sols sableux, pauvres en argile, présentent des porosités importantes (**Chretien & Pedro., 1987**). Pour rendre la porosité de sol diversifiée, l'incorporation de la matière organique (fumier de bovin) avec ou sans introduction d'individus de lombrics, aurait contribué à réorganiser la porosité de ces sols et la rendre plus équilibrée (Microporosité/Macroporosité). Des éléments colloïdaux (éléments fins-argile, hydroxydes et acide humique provenant de la décomposition de la matière organique incorporée) vont jouer le rôle de ciment et permettre l'assemblage des éléments minéraux grossiers, sable et limon de différentes tailles. Cet assemblage élémentaire favorisera la formation des agrégats élémentaires. Le rassemblement des agrégats élémentaires entre eux donnera naissance aux micro-agrégats, puis formeront des macro-agrégats. Les vides intra et inter micro-agrégats constituent les pores fins qui renferment l'eau de rétention et l'eau utile (**Dosso & Ruellan, 1993**).

L'amélioration la plus importante est observée dans le **bloc 6 (avec 38,33%)**, qui a reçu en plus des 100 lombrics, le pourcentage en matière organique le plus élevé (**4%**). Suivi du **bloc 5 (avec 49,15%)**, qui a reçu 2% MO + 100 Lombrics, ensuite vient le **bloc 3 (avec 50,91%)**, qui a reçu 4% MO + 0 Lombrics, suivi du **bloc 2 (avec 60%)**, ayant reçu 2% MO + 0 Lombrics, et enfin l'amélioration la plus faible est constatée au niveau du **bloc 4 (avec 64,69%)**, qui a reçu seulement **100** Lombrics comme traitement et pas de matière organique.

D'après **Hénin et al., (1969)** on trouve peu de lombrics dans les sols sableux, pauvres en matières organiques devenant sec en été. Il se pourrait que la majorité des individus introduits ait quitté le bloc expérimental, en passant sous les plaques métalliques, pour rejoindre les autres parcelles, car ne trouvant pas une texture adéquate et favorable pour leur travail de fouissement. Cela expliquerait la faible activité biologique constatée, et l'amélioration relativement médiocre observée.

Contrairement au témoin du sol sableux, celui du sol limono-argileux présente une porosité totale assez faible (**29,07%**). C'est la porosité d'un sol relativement mal aéré. L'inconvénient dans ce type de sol est lié au fait que c'est la microporosité qui prédomine au détriment de la macroporosité. Ce qui fait qu'en période pluviale, ils deviennent quasiment imperméable, avec la formation d'une croûte de battance en surface (**Coulon, 1988 ; Le Bissonnais, 1988**,

Duchaufour, 1997). La conséquence de cela, les racines des végétaux trouvent beaucoup de difficultés à la pénétration dans le sol, influencées par la structure, qui jouent le rôle d'obstacles. Cela peut provoquer leur asphyxie, si l'oxygène vient à faire défaut par saturation de la porosité; les racines absorbantes s'atrophient, leurs activités diminuent, l'absorption des nutriments est rapidement freinée, notamment l'eau, même si elle paraît être en excès. La respiration et la pénétration des racines dans le sol sont assurées lorsque l'état de la structure assure une forte capacité en air (**10%**. Seuil critique **5%**), car elles sont en contact avec l'oxygène de l'air (**Duchaufour, 1997**).

L'apport de la matière organique associée ou non aux lombrics, a été favorable dans l'augmentation du taux des pores grossiers dans les différents blocs, excepté le **bloc 4 (4% MO + 0 Lombrics)** qui présente un pourcentage plus bas que celui du témoin (**28,8%** contre **29,07%** respectivement). Cela étant probablement au passage d'un sanglier pourchassé par un chien, alors que le sol était encore humide, ayant provoqué un tassement du sol par le piétinement des animaux.

Le taux de porosité a connu une évolution positive, en allant du **bloc 2 (2% MO + 0 Lombrics)**, avec **33,13%**, suivi du **bloc 3 (4% MO + 0 Lombrics)**, avec **42,9%**, puis du bloc 5 (**2% MO + 100 Lombrics**), avec **43,56%** et enfin le **bloc 6 (4% MO + 100 Lombrics)** avec **54,13%**, qui représente le bloc expérimental le plus avantageux.

Par l'ingestion de la terre et de la matière organique, les lombrics contribuent par leur transit intestinal à la formation des macro-agrégats, constituant des composés argilo-humiques à partir d'argiles liées avec les acides humiques et les biomolécules. Ils sont à l'origine d'une porosité tubulaire, grâce aux galeries profondes qu'ils creusent, améliorant ainsi l'aération du sol (**Garnier Sillam & al., 1991 in Duchaufour 1997; Garnier Sillam & Harry, 1994 in Duchaufour 1997**). Ils ramènent des profondeurs du sol, une partie des argiles et des ions de calcium entraînés, le calcium ralentit la biodégradation des composés humiques et confère aux agrégats argilo-humiques une forte résistance à l'égard des agents agressifs, comme l'eau durant les fortes pluies (**Gaiffe, 1987**).

4.2.2.3. Evolution de la stabilité structurale du sol :

Les résultats des mesures de l'indice de l'instabilité structurale sont représentés dans la figure n°19 ci-dessous. D'après les histogrammes des deux types de sol, nous remarquons une diminution graduelle et constante des valeurs de l'indice de l'instabilité structurale.

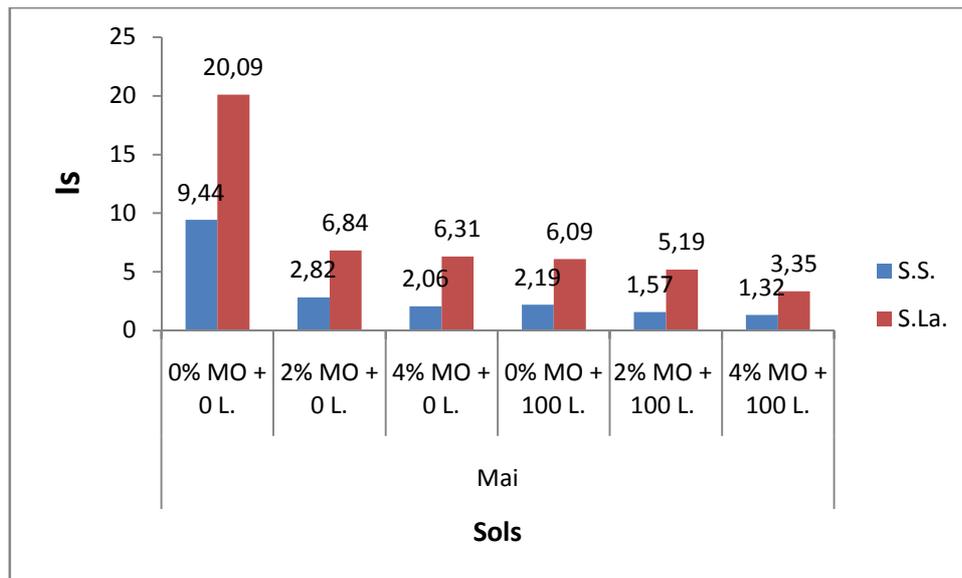


Figure n°19 : Evolution de l'indice d'instabilité structurale des deux types de sol, durant l'expérimentation

Au niveau du sol sableux, (Is) évolue de **9,44** pour le **bloc témoin (0% MO + 0Lombrics)**, jusqu'à atteindre **1,32** pour le **bloc 6 (4% MO + 100 Lombrics)**, reflétant ainsi une amélioration de la stabilité des agrégats. Une amélioration qui a permis au sol d'évoluer d'une structure instable pour le témoin avec $Is=9,44$ en passant par une structure médiocre pour le **bloc 2 (2% MO + 0 Lombrics)** avec $Is=2,82$ ainsi que les **blocs 3 (4% MO + 0 Lombrics) et 4 (% MO + 100 Lombrics)** avec respectivement des Is de **2,06 et 2,19** pour aboutir à une structure stable dans les **blocs 5 (2% MO + 100 Lombrics) et 6 (4% MO + 100 Lombrics)** avec des Is respectifs de **1,57 et 1,32**. Cette amélioration structurale est liée à l'augmentation de la teneur du sol en matière organique. L'ajout de matière organique sans les vers de terre (**blocs 2 et 3**) ou l'incorporation de lombrics sans matière organique (**bloc 4**) ont fait diminuer faiblement la valeur de (Is), avec une

variation non significative par rapport au témoin. Par contre, la présence de la matière organique en synergie avec les lombrics au niveau du même bloc (**blocs 5 et 6**) a permis au sol d'améliorer grandement sa stabilité structurale (structure stable dans l'échelle de HENIN). Avec des apports plus conséquents de matière organique, il serait possible d'atteindre une structure très stable, laquelle d'après **Hénin & al., (1969)**, présentera une résistance durable à la désagrégation, même en cas de sous solages ou de labours profonds réalisés en conditions sèches.

Pour le sol limono-argileux, la structure *très instable* ($Is=20,09$) pour le *témoin* (0% MO et 0 Lombrics) a évoluée vers une structure *instable*, après l'apport de la matière organique (2% ou 4%) et l'incorporation des lombrics (100 individus). Cela a été constaté au niveau du **bloc 2** (2% MO + 0 Lombrics) ; **bloc 3** (4% MO + 0 Lombrics) ; **bloc 4** (0% MO + 100 Lombrics) et **bloc 5** (2% MO + 100 Lombrics), avec des *Is* respectifs de 6,84 ; 6,31 ; 6,09 et 5,19. L'augmentation du pourcentage de matière organique à 4%, en association avec l'incorporation de 100 vers de terre au niveau du bloc 6 a considérablement amélioré la stabilité des agrégats. L'indice *Is* est descendu jusqu'à 3,35 ; faisant évoluer la stabilité du niveau *instable* à un niveau *médiocre*.

Contrairement au sol sableux, où nous avons pu atteindre le *niveau stable*, dans ce dernier cas, la stabilité des agrégats reste insuffisante, cela étant lié à la nature limoneuse de ces sols, qui est très sensible au phénomène de battance. Cette texture limono-argileuse des sols de la station Pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine) aurait besoin de matière organique plus conséquente et des apports réguliers et fréquents pour les préserver de la dégradation superficielle par la battance. Les deux sols ont besoins d'un pourcentage de matière organique dépassant les 4%. La présence des lombrics n'est bénéfique que si le taux de matière organique est important, et il serait souhaitable aussi d'augmenter le nombre de vers de terre, au-delà de 200 unités, pour espérer un effet conséquent sur la structure, surtout au niveau du sol limono-argileux.

La dégradation de la structure, au niveau des deux sols peut être la cause de la perte de la porosité (par la disparition de la porosité structural), de la perméabilité, du à l'utilisation des tracteurs dans l'agriculture. Comme elle peut se produire par une prise en masse, un état de dispersion, et à la surface du sol par la formation d'une croûte de battance (**Boiffin, 1984**).

Dans les deux sols (sableux et limono-argileux), nous remarquons que la stabilité s'est beaucoup améliorée dans les blocs où la porosité et la perméabilité sont importantes, avec une baisse de l'indice **Is** conséquente, et cela confirme les observations faites par **Hallaire & al. (1997)**.

La stabilité de la structure est influencée par la texture et la diminution de la matière organique ; qui provoquent la diminution de la stabilité des agrégats (**Le Bissonais & Arrouays, 1997 ; Arrouays & al, 2001**).

D'après **Sidi (1987)**, c'est surtout l'action des acides humiques gris, représentant 60% des acides totaux, qui influencent d'une manière significative la stabilité structurale, en agissant progressivement et à long terme sur l'amélioration de la stabilité des agrégats. La stabilité de la structure est influencée également par la nature des constituants et des précédents culturaux. En particulier, la quantité, la qualité et le niveau des stocks organiques (**Boiffin & fleury, 1974 ; Guerif, 1982 ; Albrecht, 1992**). Toutefois, l'effet de la matière organique sur la stabilité structurale ne devient effectif que pour des teneurs très élevées, supérieures à celles que nous avons incorporées à nos deux types de sol (**2% et 4%**).

4.2.2.4. Evolution de la perméabilité du sol :

Les résultats des mesures de la perméabilité (notée K_s), exprimée en cm/h, sont reportés dans la figure n°20 ci-dessous. D'après les histogrammes des deux types de sol, nous remarquons une diminution graduelle et constante des valeurs de la perméabilité pour le sol sableux et une légère augmentation de celle-ci pour le sol limono-argileux.

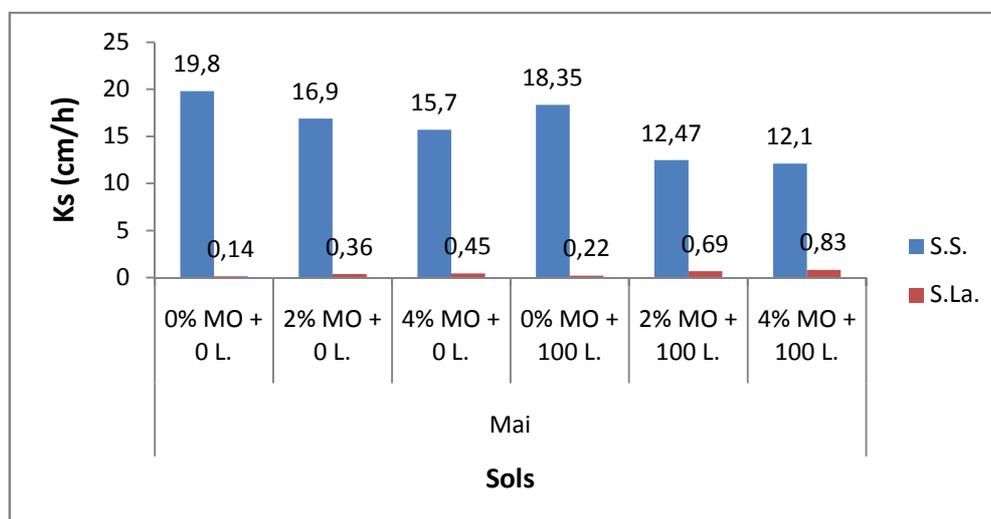


Figure n°20 : Evolution de la perméabilité des deux types de sol, durant l'expérimentation

La perméabilité connaît une amélioration, par rapport aux témoins, dans les deux sols. La capacité d'infiltration est profondément affectée par la structure et la porosité. La perméabilité

est élevée là où la porosité et la structuration sont importantes. C'est le cas du sol sableux, où ce sont les pores grossiers et les macro-agrégats qui dominent, alors que dans le sol limono-argileux, la dominance est aux pores fins associés aux micro-agrégats, qui limitent l'infiltration de l'eau dans le sol.

L'amélioration dans le sol sableux se traduit par la diminution de la vitesse d'évacuation de l'eau, causée par la réorganisation de la porosité et de la structuration des agrégats induites par l'apport du fumier de bovin et l'incorporation des lombrics. La dominance de la macroporosité observée au niveau du témoin diminue pour se rééquilibrer avec la microporosité.

Le sol sableux présentait au début une perméabilité élevée. Le **bloc 2 (2% MO + 0 Lombrics)**, le **bloc 3 (4% MO + 0 Lombrics)** et le **bloc 4 (0% MO + 100 Lombrics)** présentent des perméabilités presque identiques que le témoin (**19,8%**), malgré une légère amélioration de celle-ci (**16,9%** ; **15,7%** ; **18,35%**). C'est le bloc 3, qui présente une perméabilité plus basse, suivi du bloc 2, en fin le bloc 4. L'apport de la matière organique (fumier de bovin) sans lombrics est plus avantageux que l'apport des lombrics sans matière organique. La présence de lombrics en plus de la matière organique, grâce aux complexes argilo-humiques, qui constituent les macro-agrégats contenus dans leurs déjections, améliore encore plus la perméabilité, ainsi que d'autres caractéristiques du sol. C'est ce que prouvent les résultats obtenus au niveau des deux blocs, **5 (2% MO + 100 Lombrics)** et **6 (4% MO + 100 Lombrics)**. Ces traitements ont permis une amélioration de la perméabilité assez conséquente, avec des valeurs respectives de **12,47%** et **12,1%**.

Dans le cas du sol limono-argileux, l'amélioration se manifeste par l'augmentation de la perméabilité, liée à une réorganisation des agrégats par l'apport de la matière organique et la présence de lombrics, augmentant ainsi la macroporosité, qui était faible au départ au niveau du témoin. La domination des pores fins dans le témoin causait la rétention de l'eau en excès, entraînant un engorgement du sol, qui est dans l'incapacité d'évacuer l'excès par manque de pores grossiers. La majorité des vides sont occupés par l'eau, donc pas d'échange gazeux, pas d'aération du sol, ni respiration des racines, qui s'étoufferont par anoxie.

La présence bénéfique des lombrics dans les blocs amendés avec le fumier de bovin se traduit par un réseau de galeries plus dense et plus profond, donc une bonne infiltration de l'eau de pluie et un bon enracinement des plantes.

L'amélioration de la perméabilité dans le sol limono-argileux a connu dans sa quasi-totalité la même évolution au niveau des six blocs. Le sol présente une *perméabilité lente* dans le bloc témoin ($K_s=0,14\%$). Les *blocs 2 (2% MO + 0 Lombrics)*, *3 (4% MO + 0 Lombrics)* et *4 (0% MO + 100 Lombrics)* présentent eux aussi des perméabilités classées dans la catégorie lente. Comme dans le cas du sol sableux, c'est le *bloc 3* qui présente l'amélioration la plus nette de la perméabilité ($K_s=0,45\%$), suivi du *bloc 2* ($K_s=0,36\%$) et en dernier le *bloc 4* ($K_s=0,22\%$).

D'après les résultats obtenus, au niveau des deux *blocs 2 et 3*, nous pouvons dire que la perméabilité réagit favorablement selon le taux croissant de matière organique, ce qui n'est pas le cas de la présence des lombrics comme c'est le cas du bloc *4(0% MO + 100 Lombrics)*, où l'amélioration de la perméabilité à été très faible.

Le *bloc 5 (2% MO + 100 Lombrics)* et le *bloc 6 (4% MO + 100 Lombrics)* sont les seuls qui présentent une perméabilité nettement améliorée, avec des valeurs respectives de *0,69 et 0,83* ; prouvant l'effet synergique qu'il y a entre l'apport de matière organique et l'incorporation des lombrics. La présence simultanée des deux éléments est plus bénéfique que l'apport de l'un ou l'autre seulement (*cas des blocs 2, 3 et 4*).

La capacité d'infiltration est profondément affectée par la structure du sol. Plus les pores sont de petites tailles, plus le phénomène d'engorgement se produit pour des précipitations de faibles intensité (Hénin & al., 1969). *Cela rejoint le cas de notre sol limono-argileux, qui présente un gros problème de battance en surface pendant les grosses pluies*. L'amélioration de la structure accroît la capacité d'infiltration ainsi que l'amélioration des stocks hydriques (Valet & al., 2007).

4.2.3. Evolution des paramètres chimiques des deux types de sol durant l'expérimentation :

4.2.3.1. Evolution du carbone organique et de l'azote total :

Les résultats des mesures de l'évolution du carbone organique et de l'Azote total en fonction du temps sont représentés dans la figure n°21, pour le sol sableux et la figure n°22, pour le sol limono-argileux.

Les résultats des deux figures révèlent une augmentation des pourcentages de carbone organique et d'azote total, dans le temps pour tous les traitements, par rapport au témoin, pour les deux types de sol, mais cela reste tout de même faible.

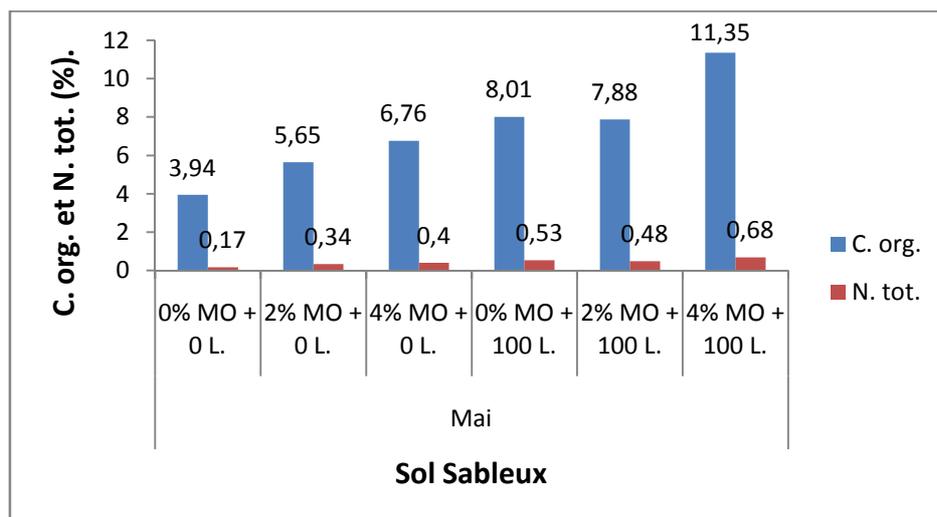


Figure n°21 : Evolution du carbone et de l'azote dans le sol sableux, durant l'expérimentation

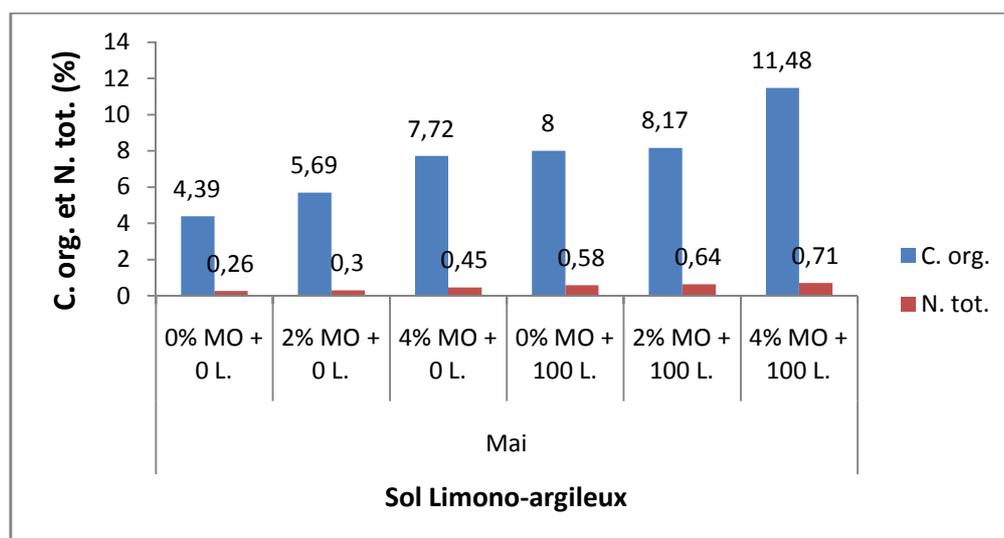


Figure n°22 : Evolution du carbone et de l'azote dans le sol Limono-argileux, durant l'expérimentation.

Dans le cas du sol sableux, les teneurs en carbone organique, dans les six blocs expérimentaux, évoluent lentement, selon le traitement effectué. Dans les blocs 1 (0% MO + 0 Lombrics), 2 (2% MO + 0 Lombrics) et 3 (4% MO + 0 Lombrics), nous enregistrons les teneurs les plus basses, avec respectivement (3,94 ; 5,65% et 6,76%). Le bloc 4 (0% MO + 100 Lombrics), fait exception avec une teneur de 8,01%. Une valeur plus élevée que celle du bloc 5 (2% MO + 100 Lombrics) dont la teneur est de 7,88%, malgré le traitement avantageux qu'il a

subit en matière organique. Le *bloc expérimental 6 (4% MO + 100 Lombrics)*, montre un meilleur taux de carbone, avec une teneur de **11,35%**.

Les teneurs de l'azote total, au niveau du sol sableux, sont également plus élevée dans le *bloc 6 (4% MO + 100 Lombrics)*, avec un **taux de 0,68%**. Elles sont relativement moins élevées dans le *bloc 4 (0% MO + 100 Lombrics)* avec une teneur de **0,53%**. Elle diminue encore dans le *bloc 5 (2% MO + 100 Lombrics)* pour atteindre **0,48%** et dans le *bloc 3 (4% MO + 0 Lombrics)* avec **0,4%**. La teneur en azote la moins élevée des blocs traités et celle du *bloc 2 (2% MO + 0 Lombrics)*, avec un pourcentage de **0,34%**. Le *bloc 1*, représentant le témoin (*0% MO + 0 Lombrics*), est le moins pourvu en azote avec un taux de **0,17%**.

Les rapports C/N, oscillent en moyenne entre **15 et 24**, pour les *blocs 1 (0% MO + 0 Lombrics)*, *2 (2% MO + 0 Lombrics)*, *3 (4% MO + 0 Lombrics)*, *4 (2% MO + 100 Lombrics)*, *5 (2% MO + 100 Lombrics)* et *6 (2% MO + 100 Lombrics)*, avec des valeurs respectives de **23,18 ; 16,62 ; 16,9 ; 15,11 ; 16,42 et ; 16,69**. Mais nous remarquons tout de même que tout les parcelles expérimentales traitées, avec de la matière organique ou avec des lombrics présentent des C/N, qui se stabilisent entre 15 et 16, beaucoup plus bas que le témoin. Nous pouvons dire alors que dans tous les blocs traités, la matière organique a évolué positivement avec une maturation assez bonne, vu que les C/N sont relativement bas. Le témoin présente un C/N moyen, probablement lié au fait que le taux d'azote est faible dans ce sol et que la biodégradation est très ralentie.

Au niveau du sol limono-argileux, nous remarquons des variations des teneurs en carbone organique relativement importante, par rapport au témoin, au cours de l'expérimentation.

Les *blocs 3 (4% MO + 0 Lombrics)*, *4 (0% MO + 100 Lombrics)* et *5 (2% MO + 100 Lombrics)*, présentent des teneurs en carbone organique voisines, avec respectivement **7,72%**, **8%** et **8,17%**. La teneur en carbone organique la plus basse des parcelles traitées est observée dans le *bloc 2 (2% MO + 0 Lombrics)*, avec un taux de **5,69%**, qui est tout de même plus élevé que celui du témoin (*0% MO + 0 Lombrics*) avec **4,39%**. Tandis que dans le *bloc 6 (4% MO + 100 Lombrics)*, nous observons une teneur en carbone organique nettement plus élevée que toutes les autres parcelles traitées, avec un pourcentage de **11,48%**.

Les teneurs de l'azote total évoluent dans le même sens que celles du carbone organique. La valeur la plus faible est celle enregistrée chez le témoin, *bloc 1 (0% MO + 100 Lombrics)*, avec une valeur de **0,26%**, suivi du *bloc 2 (2% MO + 0 Lombrics)* avec **0,3%**, ensuite vient le *bloc 3*

(4% MO + 0 Lombrics) avec 0,45%, suivi du *bloc 4* (0% MO + 100 Lombrics) ; avec une teneur de 0,58%, et du *bloc 5* (2% MO + 100 Lombrics) avec 0,64%, pour finir enfin avec le *bloc 6* (0% MO + 100 Lombrics), qui présente une teneur relativement élevée de 0,71%.

Les rapports C/N au niveau des parcelles expérimentales sont pratiquement de la même grandeur. Pour le *bloc 1* (0% MO + 0 Lombrics), qui représente le témoin, le C/N est de 16,88 ; alors que les *blocs 2* (2% MO + 0 Lombrics) et 3 (4% MO + 0 Lombrics), ils présentent des C/N respectifs plus élevés de 18,97 et 17,16. Les seules parcelles dans lesquelles nous avons des valeurs relativement basses, sont les *blocs 4* (0% MO + 100 Lombrics) et 5 (2% MO + 100 Lombrics), avec des C/N respectifs de 13,79 et 12,77. Dans le *bloc 6* (4% MO + 100 Lombrics), nous observons un rapport C/N de 16,17. Les différents blocs présentent tous des rapports C/N moyens, sauf pour les parcelles 4 et 5, où le rapport est bas, dénotant une maturation et une stabilisation de la matière.

En moyenne, le rapport C/N est plus élevé dans le sol sableux que dans le sol limono-argileux ; cela est dû au fait que la teneur du sol limono-argileux en carbone est plus importante que celle du sol sableux, ainsi que l'augmentation du degré d'humification des produits organiques dans le sol sableux. Cela confirme les observations émises par certains auteurs ayant travaillé sur le sujet comme Anderson & al. (1981) ; Catroux & Schnitzer. (1987) ; Baldock & al. (1992) ; Feller (1994) ; Guggenberger & al. (1994) ; Kouakoua (1998) ; Christensen (2001) ; Ganry (2002) ; Pallo & al. (2008).

D'après Hénin & al., (1969), lorsque le rapport C/N est entre 15 et 20, ou même plus, cela signifie qu'une grande partie de la matière organique du sol, ou celle incorporée, est dans un état libre, non liée, n'ayant peu ou pas subi d'humification pour donner de l'humus stable, considéré comme une matière organique liée, donnant un rapport C/N constant, se situant entre 8 à 10.

La minéralisation de l'azote est plus importante au niveau du sol limono-argileux que dans le sol Sableux. Cela pourrait dépendre, selon Ellert & Bettany (1992), de l'humidité et de la température du sol. La teneur en azote total est un bon indice de fertilité selon Mathieu & Pieltain (2003). Dans les deux sites étudiés, le pourcentage de l'azote total est faible, cela pourrait refléter une période de dénitrification ou de lessivage des nitrates ou de l'azote organique soluble vers les horizons inférieurs lors des fortes précipitations (Reversat, 1977). Cela pourrait constituer une explication des plus plausibles, car durant la période expérimentale, nous avons observé des périodes de forte pluviosité à plusieurs reprises.

L'apport de la matière organique et/ou des lombrics a enrichi les deux sols en carbone organique et en azote total, mais cet enrichissement organique et minéral n'a pas permis une forte amélioration de la structure des agrégats des deux sols. Car les résultats observés au niveau des paramètres mesurés (stabilité des agrégats, système poral, infiltration, croissance de la plante) n'ont pas été à la hauteur des espérances. Peut être que la cause n'est pas seulement la quantité de matière organique apportée aux sols ou du nombre de lombrics incorporés, mais aussi la durée du temps que prend le fumier de bovin pour se décomposer. Il serait intéressant d'aborder une

expérimentation de ce genre sur une longue période, environ 2 ou 3 années, pour se faire vraiment une idée plus précise concernant les interactions entre la matière organiques et les propriétés physiques des sols.

4.2.3.2. Evolution du PH :

Les résultats des mesures du PH (PH_{eau} et PH_{kcl}), des deux sols sont représentés dans les figures n°23 et 24 ci-dessous.

Le PH_{eau} est l'acidité de la solution du sol à un moment donné. Concernant le PH_{kcl} , les ions K^+ remplacent les ions H^+ dans le complexe argilo-humique, qui vont se retrouver dans la solution du sol, faisant diminuer alors le PH. La différence entre le PH_{eau} et le PH_{kcl} représente l'acidité du complexe argilo-humique.

Même si la matière organique n'a pas neutralisé le PH des deux sols, nous pouvons dire qu'elle a joué un rôle dans le maintien du PH plus ou moins constant. Il n'est devenu ni plus alcalin, ni plus acide.

Dans les deux types de sol, l'apport de matière organique (fumier de bovin) n'a pas vraiment influencé le PH, qui est resté légèrement alcalin. D'après **Duchaufour (1997)**, un sol neutre ou légèrement alcalin, signifie que l'ensemble du complexe absorbant est saturé.

Dans les différentes parcelles expérimentales, au niveau des deux types de sol, le PH n'a pas subi de variation significative par rapport au témoin. Que ce soit pour le PH_{eau} ou pour le PH_{kcl} .

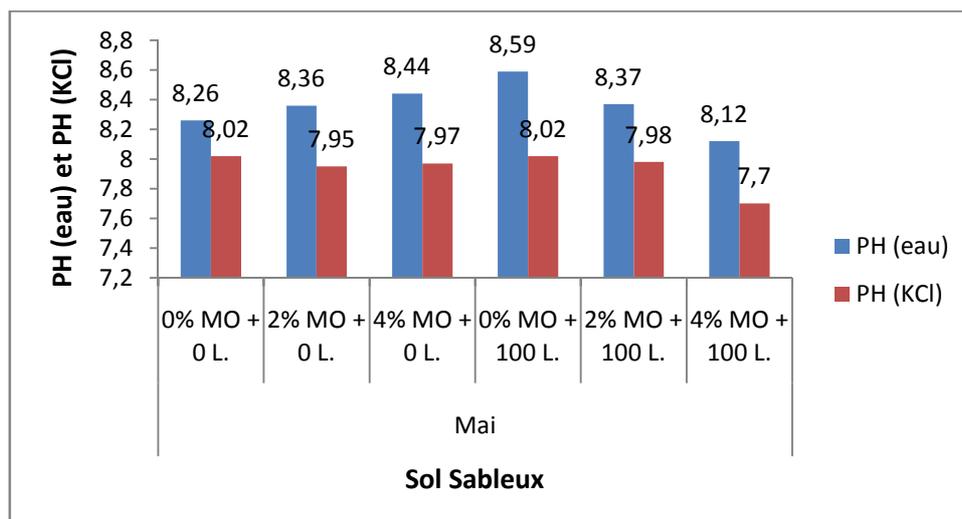


Figure n°23 : Evolution du PH (PH_{eau} et PH_{KCl}) dans le sol sableux, durant l'expérimentation

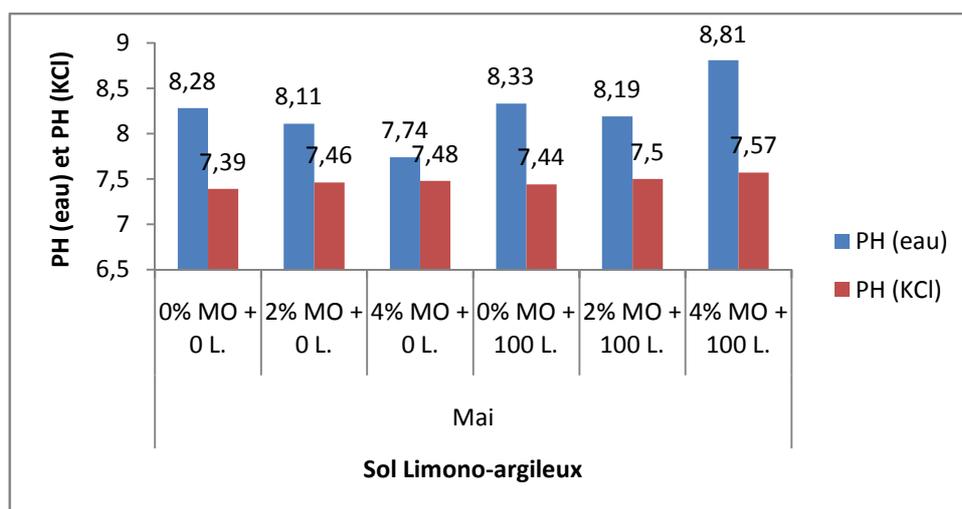


Figure n°24 : Evolution du PH (PH_{eau} et PH_{KCl}) dans le sol limono-argileux, durant l'expérimentation.

Dans le sol sableux, nous remarquons que les valeurs du PH ne varient pas beaucoup d'un bloc à un autre. Par contre, au niveau du ΔPH ($PH_{\text{eau}} - PH_{\text{KCl}}$), nous observons des variations assez intéressantes au niveau des différentes parcelles expérimentales. Dans le *bloc 1* (0% MO + 0 *Lombrics*), le ΔPH n'est que de 0,24 ; alors que dans le *bloc 2* (2% MO + 0 *Lombrics*), il a évolué pour atteindre 0,41. Au niveau du *bloc 3* (4% MO + 0 *Lombrics*), le ΔPH est de 0,47 dans le *bloc 4* (0% MO + 100 *Lombrics*), il atteint 0,61 ; puis vient le *bloc 5* (2% MO + 100 *Lombrics*), avec un ΔPH de 0,39 pour finir avec le *bloc 6* (4% MO + 100 *Lombrics*), où le ΔPH

est de **0,42**. Nous remarquons que le ΔPH a évolué positivement dans toutes les parcelles traitées, par rapport au témoin où il est très faible. C'est une caractéristique des sols sableux, qui possèdent généralement une faible acidité d'échange en relation avec la faiblesse de fixation du complexe argilo-humique. Il apparaît donc que l'apport de matière organique, plus particulièrement, en dehors de la présence de lombrics, améliore sensiblement la capacité du complexe argilo-humique dans les phénomènes d'échange ionique.

Dans le sol limono-argileux, les valeurs du PH sont relativement identiques, et ne varient pas beaucoup d'un bloc à un autre. Pour le ΔPH , nous remarquons dans le *bloc 1 (0% MO + 0 Lombrics)*, représentant le témoin, un ΔPH de **0,89** alors que pour le *bloc 2 (2% MO + 0 Lombrics)*, il est de **0,65**. Au niveau du *bloc 3 (4% MO + 0 Lombrics)*, le ΔPH est égal à **0,26** pour ensuite remonter dans le *bloc 4 (0% MO + 10(0 Lombrics)* à un niveau plus élevé égal à **0,89**. Dans les *blocs 5 (2% MO + 100 Lombrics)* et *6 (4% MO + 100 Lombrics)*, les ΔPH sont respectivement de **0,69** et **0,74**. Il apparaît clairement que mis à part le *bloc 3 (4% MO + 0 Lombrics)*, où le ΔPH est faible (**0,26**), toutes les autres parcelles expérimentales ont un ΔPH très élevée, dépassant **0,6**. Cela montre bien que ce sol limono-argileux, possède une bonne capacité d'échange ionique, contrairement au sol sableux.

L'activité des lombrics nécessite un PH pas acide en plus, des quantités abondantes de matière organique et d'azote. La présence de carbonate de calcium semble favoriser leur action (**Hélin & al., 1969**).

L'état du complexe absorbant, et ses modifications éventuelles par échange d'ions, revêt une importance considérable dans la mesure où ils régissent, par l'intermédiaire du PH, l'activité biologique et la fertilité minérale des sols (**Duchaufour, 1997**).

4.2.4. Mesures biométriques :

4.2.4.1. Mesures biométriques de la plante sur sol sableux - Site de Baccaro (Tichy) :

a) Longueur des feuilles :

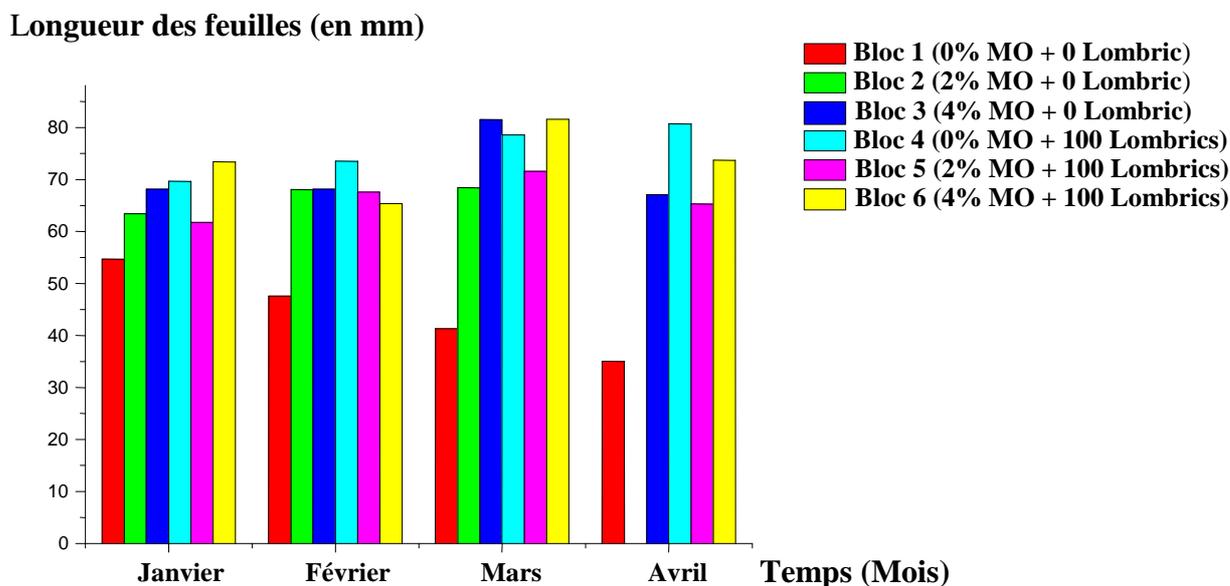


Figure n°25 : Longueur des feuilles - Site de Baccaro (Tichy).

Pour ce qui concerne la longueur des feuilles, Il n'y a pas de grandes différences entre les six blocs durant les quatre mois, le feuillage a pris de l'importance à partir du premier mois après le semis. C'est au troisième mois que la plupart des blocs expérimentaux présentent la moyenne la plus élevée. C'est le cas des blocs 2 (2% *M.O.* + 0 *Lombrics*), bloc 3 (4% *M.O.* + 0 *Lombrics*), bloc 5 (2% *M.O.* + 100 *Lombrics*) et bloc 6 (4% *M.O.* + 100 *Lombrics*).

La tête du classement se partage entre le bloc 6 (4% *M.O.* + 100 *Lombrics*) et le bloc 4 (0% *M.O.* + 100 *Lombrics*) tout au long des quatre mesures. Le bloc 6 (4% *M.O.* + 100 *Lombrics*) présente les moyennes les plus élevées, principalement au niveau de la première et la de la troisième mesure (73,40 mm et 81,59 mm). Ces résultats correspondent au traitement appliqué dans ce bloc (incorporation de 4% de *M.O.* et introduction de 100 *Lombrics*), démontrant ainsi le rôle crucial que jouent les vers de terre dans le sol. Comme l'avait signalé le premier scientifique Darwin « *le ver de terre est le plus important parce que c'est lui qui fabrique la matière nourricière* » ; c'est à l'intérieur de l'intestin du vers de terre que se mélange l'argile et l'humus pour former le complexe argilo-humique.

Au niveau du bloc 4 (*0% MO + 100 Lombrics*), c'est à la deuxième et quatrième mesure, que nous observons les moyennes les plus élevées (**73,49 mm-80,69 mm**). Bien que ce bloc n'ait reçu comme traitement que 100 Lombrics, sans incorporation de matière organique. Ce dernier est, étonnement, l'exception qui ne confirme pas la règle. Les individus de ce bloc ont présenté une croissance remarquable (la longueur, le feuillage, le rendement), aussi importante que celle des individus du bloc 6 (*4% MO + 100 Lombrics*), parfois mieux encore. Le plus étonnant réside dans le comportement des pucerons et des fourmis vis-à-vis des individus de ce bloc, qui étaient les seuls épargnés, contrairement aux individus des autres blocs qui ont subi l'action néfaste de ces insectes, et cela reste sans aucune explication logique. Tout en comparant ce bloc aux autres, soit en s'appuyant sur son emplacement par rapport aux autres, en parallèle avec le bloc 1 (*0% MO + 0 Lombrics*) et à côté du bloc 2 (*2% MO + 0 Lombrics*), soit sur le traitement qu'il a subi, le bloc 1 n'ayant subi aucun traitement (témoin). Les blocs 5 et 6, en plus de l'incorporation respective de 2% et 4% de la matière organique, contiennent aussi 100 Lombrics chacun.

Les différentes moyennes du bloc 3 (*4% MO + 0 Lombrics*), dépassent celles du bloc 5 (*2% MO + 100 Lombrics*) durant les quatre mesures ; « **68,15mm** contre **61,78mm** à la première mesure ; **68,16mm** contre **67,58mm** à la deuxième mesure ; **81,49mm** contre **71,59mm** à la troisième mesure et **67,11mm** contre **65,29mm** à la quatrième mesure ». Elles dépassent aussi celles du bloc 6 (*4% MO + 100 Lombrics*) à la deuxième mesure « **68,16 mm** contre **65,42 mm** ». Cela pourrait s'expliquer par la perte, dans le bloc 3, de la moitié de sa surface, causé accidentellement par le travailleur avec son tracteur, en labourant la parcelle voisine. Par conséquent, il ne restait que deux trous, avec une seule plante chacun. A chaque fois, la moyenne est alors calculée à partir de six valeurs de deux individus.

Le bloc 1 (*0% MO + 0 Lombrics*) possédait, pendant les quatre mois de mesure, les moyennes les plus faibles. Cela renforce la théorie, selon laquelle une bonne croissance de la plante est conditionnée par la présence, à la fois, des vers de terre et de la matière organique. La baisse de sa moyenne, à partir de la deuxième mesure, serait due à l'attaque des pucerons et des fourmis sur certains individus, qui ont complètement abimés leurs feuilles, empêchant ainsi d'effectuer toutes les mesures.

Les deux blocs 2 (*2% MO + 0 Lombrics*) et 5 (*2% MO + 100 Lombrics*) présentent des moyennes presque égales, avec au premier mois **63,44 mm** contre **61,78 mm**, au deuxième mois

68,05 mm contre 67,58 mm et au troisième mois **68,43 mm contre 71,59 mm**. Cela en dépit du fait que le traitement n'ai pas été le même pour les différents blocs. La seule explication plausible, serait la présence des pucerons qui ont été plus important sur les individus du bloc 5 (**2% MO + 100 Lombrics**) que sur ceux du bloc 2 (**2% MO + 0 Lombrics**). La disparition de tous les individus du bloc 2 (**2% MO + 0 Lombrics**), constatée durant le quatrième mois, est occasionnée par la construction d'une fourmilière au sein de ce bloc; où les fourmis se sont attaquées aux racines et aux feuilles des fèves.

b) Nombre total des feuilles:

Nombre total des feuilles

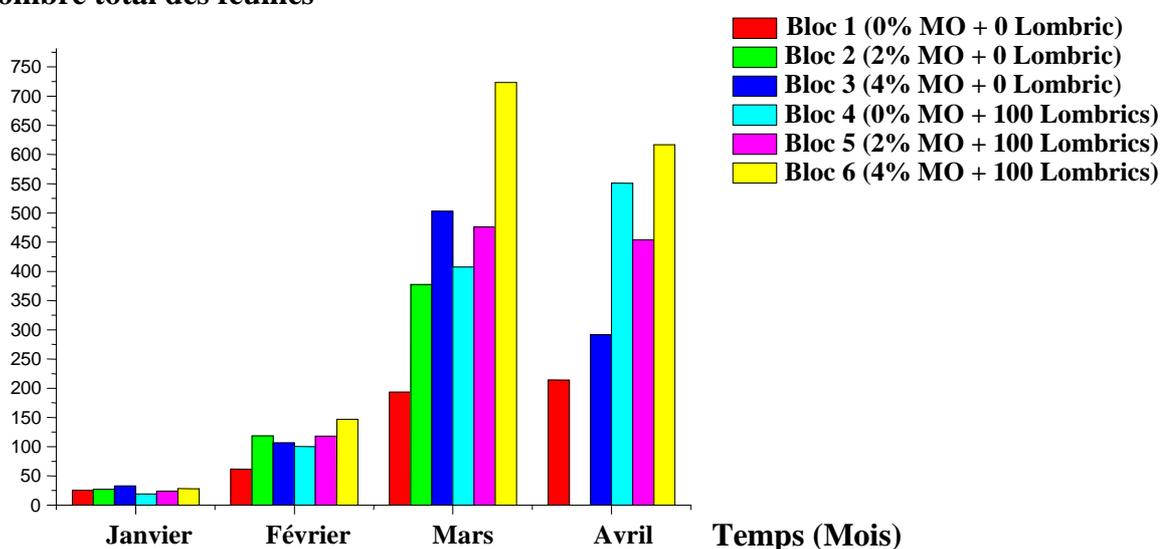


Figure n°26 : Nombre total des feuilles – Site de Baccaro (Tichy).

Le nombre des feuilles augmentent au fil du temps pour atteindre son maximum au troisième mois (Mars), au niveau de la majorité des blocs expérimentaux, à l'exception du bloc1 (**0% MO + 0 Lombrics**), dont la moyenne la plus grande est observée au quatrième mois (Avril), avec **214,14** et le bloc 4 (**0% MO + 100 Lombrics**), où la moyenne a atteint **551** au quatrième mois. Les autres blocs ont pu atteindre au troisième mois (Mars) les moyennes de **377,5** pour le bloc 2 (**2% MO + 0 Lombrics**); **503** pour le bloc 3 (**4% MO + 0 Lombrics**); **476,37** pour le bloc 5 (**2% MO + 100 Lombrics**) et **723,57** pour le bloc 6 (**4% MO + 100 Lombrics**).

Excepté les deux blocs 3 et 4 (**4% MO + 0 Lombrics** et **0% MO + 100 Lombrics**), les individus des autre blocs présentent des moyennes qui sont conformement au traitement appliqué pour

chacun, confirmant ainsi l'intérêt des vers de terre dans l'enrichissement des sols en présence de la matière organique.

c) Longueur de la tige :

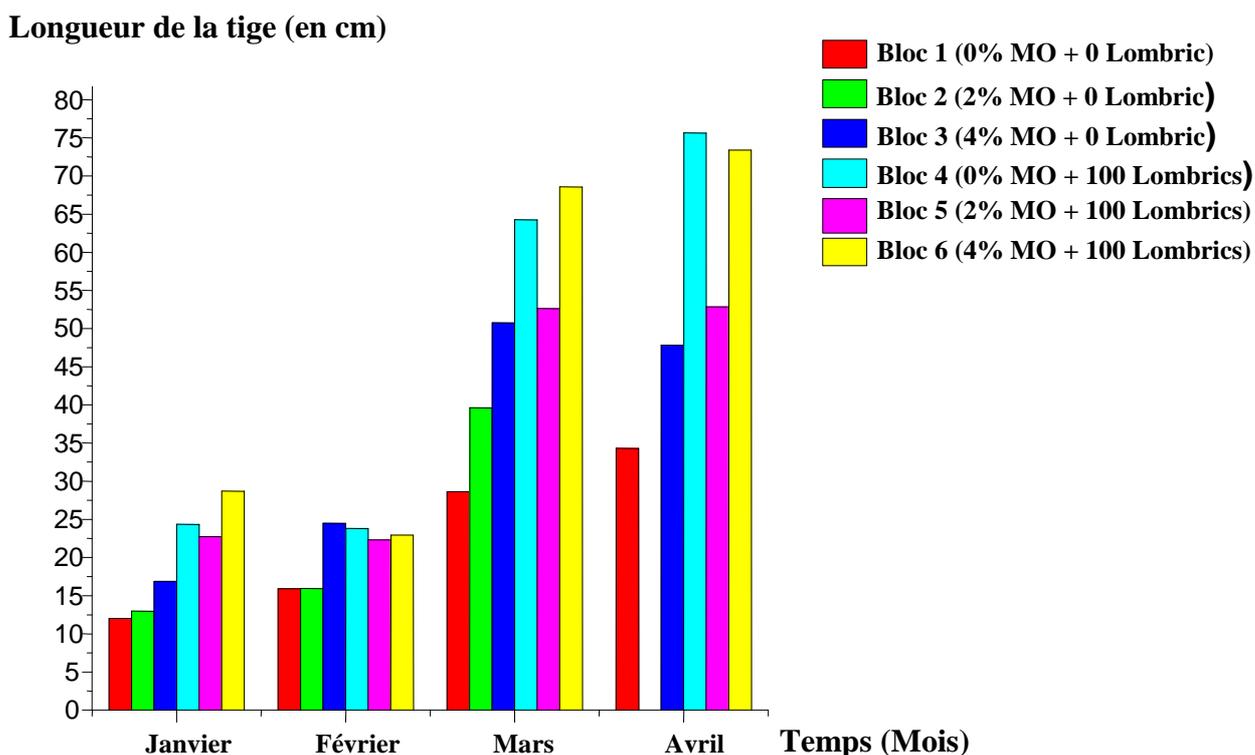


Figure n°27 : Longueur de la tige – Site de Baccaro (Tichy).

Au cours des quatre mois de mesure, l'évolution de la tige des individus pour la majorité des blocs, hormis les deux blocs 3 (4% MO + 0 Lombrics) et 4 (0% MO + 100 Lombrics), concorde avec les caractères distinctifs de chacun ; du point de vu incorporation ou non de la matière organique et/ou introduction ou non des lombrics. Ces résultats ressortent la fonction essentielle et primordiale des lombrics dans la décomposition du fumier et l'enrichissement du sol en éléments nutritifs assimilables par la plante.

La moyenne calculée à partir de la longueur de la tige des individus du bloc 1 (0% MO + 0 Lombrics), augmente du premier mois au quatrième mois de façon graduelle « 12,01cm ; 15,92cm ; 28,63cm et 34,3cm ». Ce qui laisse déduire que le sol n'est pas pauvre en éléments

nutritifs, alors qu'il n'y a aucune incorporation de matière organique (fumier de bovin). Ce sont les éléments nutritifs résiduels stockés dans le sol dont se nourrissent les fèves pour leur croissance.

d) Longueur des gousses :

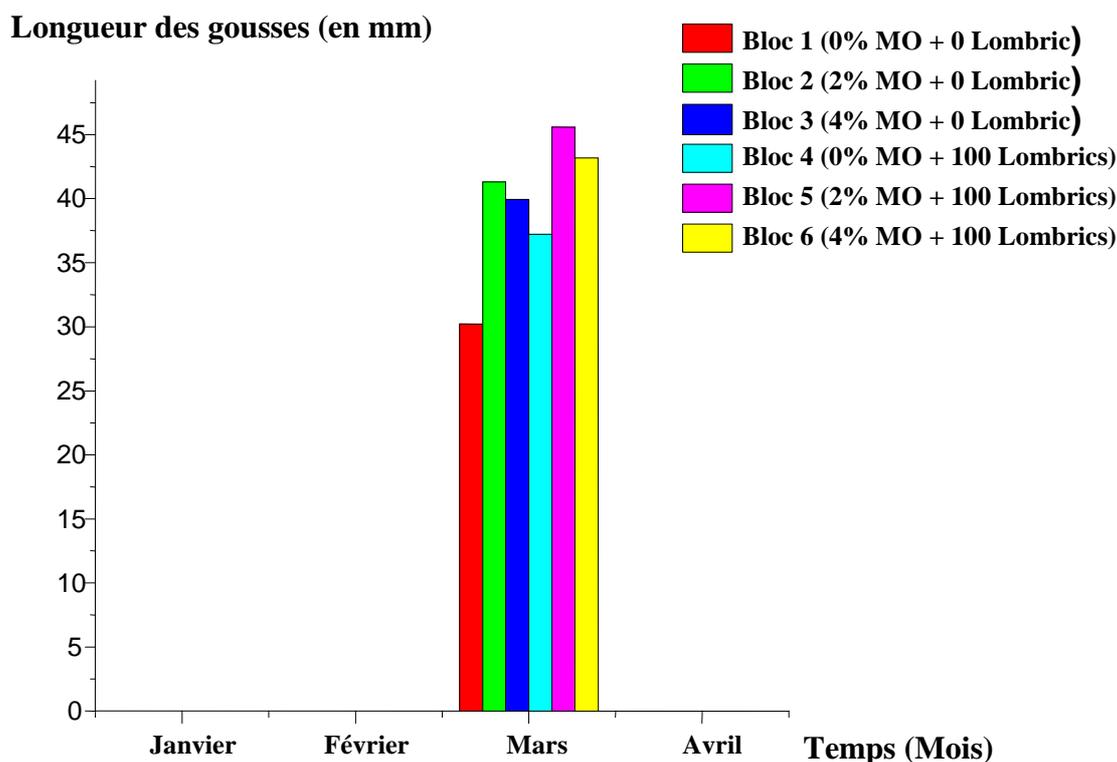


Figure n°28 : Longueur des gousses – Site de Baccaro (Tichy).

Les gousses ne sont apparues qu'au troisième mois avec l'arrivée du printemps. Leurs rendements étaient plus importants quantitativement que qualitativement ; la plupart des gousses étaient de taille moyenne, sauf quelques unes qui présentaient des tailles importantes. Cela n'empêche pas que les individus portaient un grand nombre de gousses. Ce sont les individus du bloc 5 (**2% MO + 100 Lombrics**), qui présentaient la moyenne la plus élevée, par rapport au bloc 6 (**4% MO + 100 Lombrics**), « **45,59 mm** contre **43,19mm** », en dépit du taux de matière organique deux fois plus élevé dans ce dernier. Cela est dû probablement au fait que les individus du bloc 6 ont utilisé une très grande partie des éléments nutritifs assimilables (disponibles) pour la croissance (taille et feuillage) au détriment de la croissance des gousses (épuiement des réserves du sol en éléments facilement dégradables).

Cela ne veut pas dire que la situation reste figée, car le milieu pourrait s'enrichir en éléments nutritifs provenant de la décomposition graduelle de la matière organique (fumier de bovin), et que les gousses de ce bloc présenteraient des moyennes plus élevées au mois d'Avril, Mai et Juin. Même chose pour le bloc 4 (*0% MO + 100 Lombrics*), si nous prenons en considération les résultats des facteurs biométriques précédents.

4.2.4.2. Mesures biométriques de la plante sur sol limono-argileux - Site de la pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine) :

Contrairement aux individus du site de Baccaro (Tichy), ceux de la pépinière Ouchène de Souk-El-Ténine ont beaucoup souffert entre la première et la deuxième mesure, à cause d'une longue période de pluie qui s'était abattue dans cette région, durant cette période. La texture limono-argileuse du sol, a entraîné une situation d'hydromorphie temporaire, induisant une immersion totale des blocs, et les individus de petite taille étaient totalement inondés. Le vent a provoqué la verse des individus de grande taille, victimes aussi de cette inondation. Seuls les individus de taille moyenne, qui avaient la partie supérieure au dessus de l'eau (à l'air libre), avaient survécu.

Avant la troisième mesure, certains individus ont été abimés par le passage d'un sanglier pourchassé par un chien à travers les blocs, alors que le sol était encore humide, ayant provoqué ainsi un tassement du sol par le piétinement.

Avant la quatrième mesure, le passage d'une longue période de mauvais temps a causé la détérioration de plusieurs individus dans certains blocs et la totalité des plantes dans d'autres.

a) Longueur des feuilles :

Longueur des feuilles (en mm)

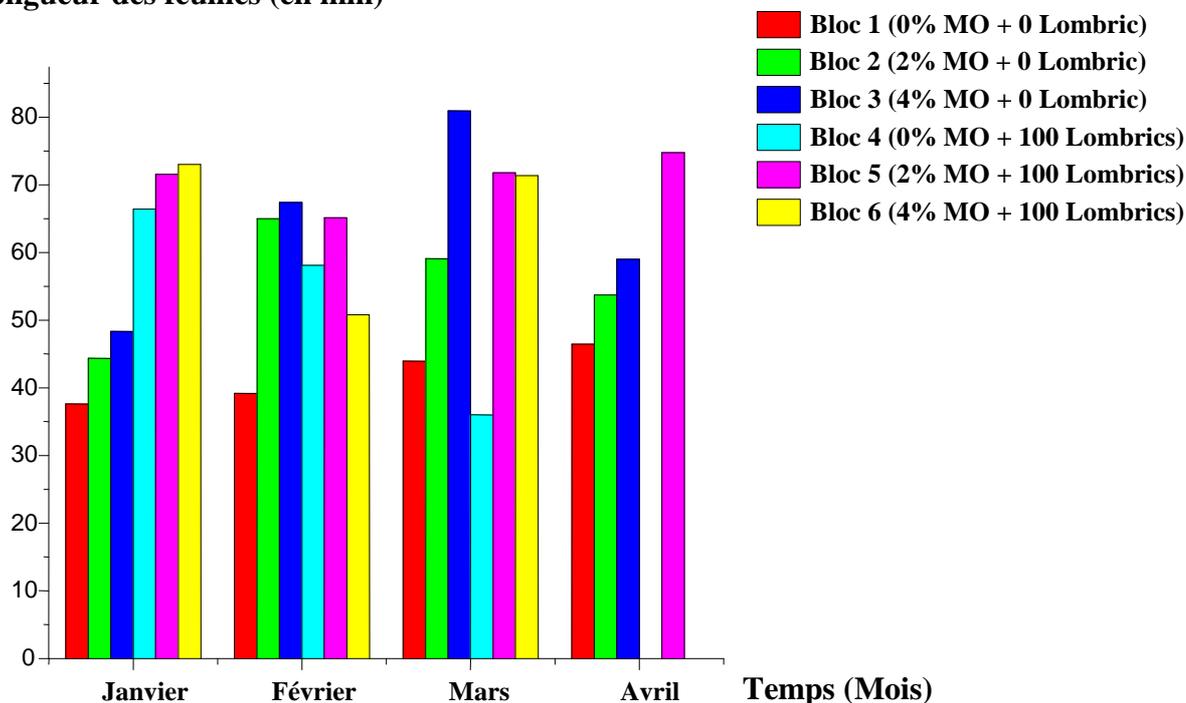


Figure n°29 : Longueur des feuilles - Site de la pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine).

Au bout du premier mois après le semis, une seule graine seulement n'avait pas germée dans le bloc 1 (*0% MO + 0 Lombrics*). La graine aurait pu pousser et donner un individu, s'il n'y avait pas eu le mauvais temps qui a causé l'étouffement de celle-ci. Toujours durant la première période, les moyennes des différents blocs, sont en accord avec les caractéristiques de chacun, suggérant ainsi une corrélation des propriétés structurales du sol avec l'ajout de matière organique en présence des vers de terre, qui dégradent celle-ci, fertilisant de cette manière le sol. La diminution des moyennes pendant le deuxième mois, est en relation avec le mauvais temps qui a précédé la deuxième mesure, provoquant la fanaison de beaucoup d'individu. Plusieurs individus appartenant à la majorité des blocs, présentent des moyennes élevées par rapport aux moyennes précédentes ; bloc 1 (*0% MO + 0 Lombrics*), « **37,61mm - 39,16mm** contre **43,92mm** », bloc 3 (*4% MO + 0 Lombrics*), « **48,33mm - 67,40mm** contre **80,92mm** », bloc 5 (*2% MO + 100 Lombrics*), « **65,14mm** contre **71,8mm** » et le bloc 6 (*4% MO + 100 Lombrics*), « **50,79mm** contre **71,37mm** ». Cela est du probablement à l'enrichissement du sol en éléments

nutritifs assimilables, provenant de la dégradation de la Matière Organique incorporée ou celle qui s'y trouvait par les vers de terre introduits ou par la faune préexistante.

Le bloc 1 (**0% MO + 0 Lombrics**) présente une moyenne qui augmente de mois en mois, et alors qu'il possédait sept individus à la première mesure, il ne lui restait que deux à la deuxième. Cela pourrait s'expliquer par le confinement du sol de la parcelle empêchant une bonne minéralisation de la matière organique liée au ralentissement de l'activité de la pédofaune par la mauvaise aération. C'est également le cas du bloc 2 et 3 (incorporation du fumier de bovin, 2% et 4% respectivement, sans incorporation de vers de terre), ou à l'inverse du bloc 4.

Le mauvais temps qui a précédé la quatrième mesure a eu une action néfaste sur les individus de fèves ; beaucoup ont été complètement abimés; cas des blocs 4 et 6 (**0% MO + 100 Lombrics ; 4% MO + 100 Lombrics**). Pour les blocs 2, 3 et 5 (**2% MO + 0 Lombrics ; 4% MO + 0 Lombrics ; 2% MO +100 Lombrics**), il ne leurs restaient qu'un seul individu pour les deux premiers et deux pour le dernier, alors qu'ils avaient (6, 8, 6) respectivement. Par conséquent, cela entraîna une baisse de la moyenne de chacun des deux blocs 2 et 3 (**2% MO + 0 Lombrics ; 4% MO + 0 Lombrics**), « de **59,07** à **53,71** » pour le premier et « de **80,92** à **59,02** » pour le deuxième.

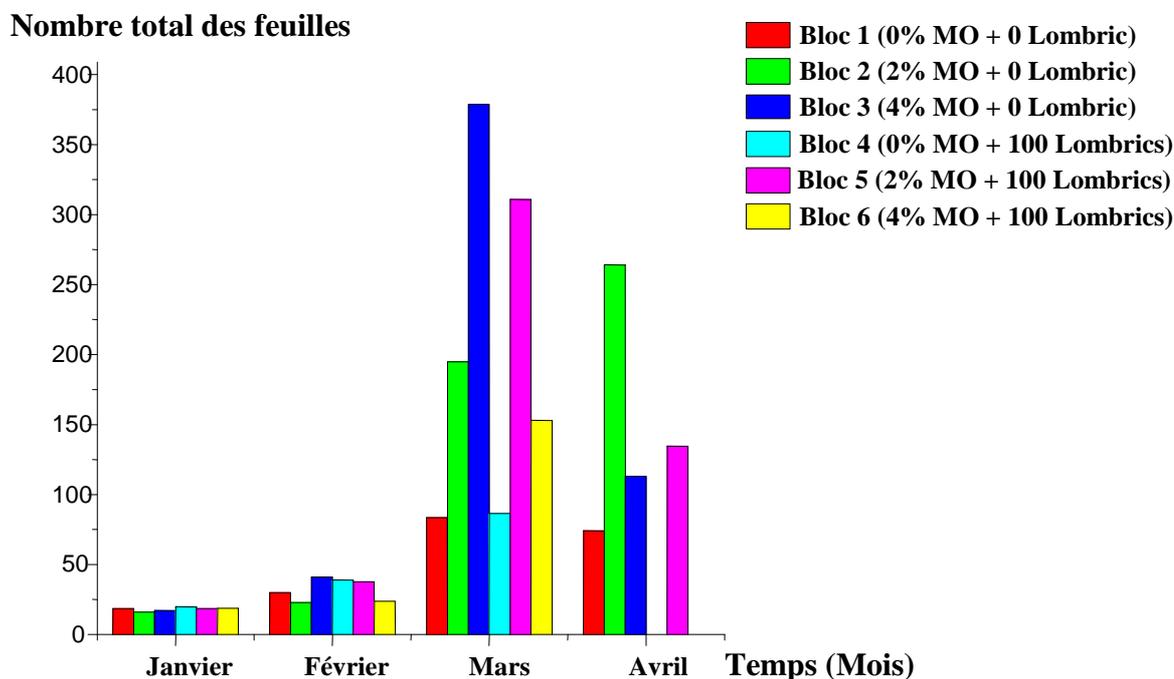
b) Nombre total des feuilles :

Figure n°30 : Nombre total des feuilles - Site de la pépinière Ouchène (Souk-.El-Ténine).

Au bout du premier mois après le semis, les individus ne possèdent pas beaucoup de feuilles. D'après les moyennes obtenues, les individus des différents blocs contenaient presque le même nombre de feuilles.

Les moyennes mesurées durant la deuxième période, présentent une augmentation très faible, à cause du mauvais temps qui avait prévalu durant celle-ci et du pourrissement de quelques individus, ajouté à la perte des feuilles par asphyxie (étouffement) pour les individus qui ont survécu.

Avec l'arrivée du printemps, où l'activité de la pédofaune est généralement importante, le développement des feuilles a repris, et c'est pourquoi le nombre de feuilles a augmenté. Cela explique les moyennes élevées mesurées durant le troisième mois.

Les moyennes de l'ensemble des blocs ne correspondent pas toujours avec les propriétés de chacun, où la plus élevée est celle du bloc 3 (2% MO + 0 Lombrics) avec **378,57** ; suivi du bloc 5 (2% MO + 100 Lombrics) avec **310,83** ; puis du bloc 2 (2% MO + 0 Lombrics) avec **194,83** ».

et le bloc 6 (**4% MO + 100 Lombrics**), avec une moyenne de **153**. Ce classement est la conséquence du nombre d'individus que chaque bloc ait gardé, après le passage du mauvais temps qui a précédé la deuxième mesure (8/8, 6/8, 6/8, 4/8) respectivement. C'est pourquoi, bien que le bloc (6) ait subi le traitement le plus favorable (4% de MO incorporée + 100 Lombrics introduits), il présente la moyenne la plus basse, en perdant la moitié de ses individus à cause du mauvais temps.

c) Longueur de la tige :

Longueur de la tige (en cm)

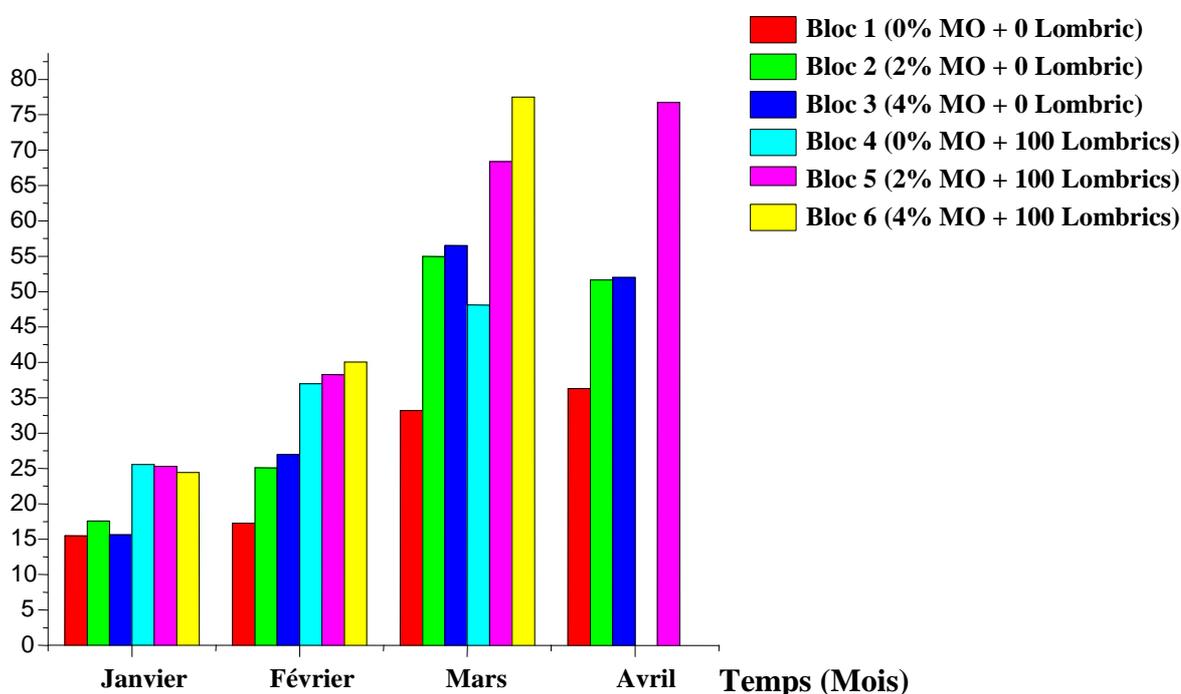


Figure n°31 : Longueur de la tige- Site de la pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine).

Les moyennes sont regroupées par deux ; les trois premiers blocs 1, 2 et 3 (**0% MO + 0 Lombrics ; 2% MO + 0 Lombrics ; 4% MO + 0 Lombrics**) présentent des moyennes proches « **15,47cm, 17,6cm et 15,63cm** », les trois blocs restants 4, 5 et 6 (**0% MO + 100 Lombrics ; 2% MO + 100 Lombrics ; 4% MO + 100 Lombrics**) présentent eux aussi des moyennes similaires « **25,55cm, 25,29cm et 24,44cm** »

Malgré la perturbation qui avait précédé la deuxième mesure, causée par le mauvais temps, les moyennes correspondent aux propriétés de chaque bloc. La même chose est observée pour les

mesures du troisième mois, à l'exception du bloc 4 (*0% MO + 100 Lombrics*) qui a perdu un individu.

Au quatrième mois, il y a quatre blocs qui présentent encore des individus. Par contre les blocs 4 et 6 (*0% MO + 100 Lombrics ; 4% MO + 100 Lombrics*) ont perdu tous leurs individus à cause du mauvais temps, ajouté à la mauvaise nature du sol (texture limono-argileuse, retenant beaucoup d'eau).

d) Longueur des gousses :

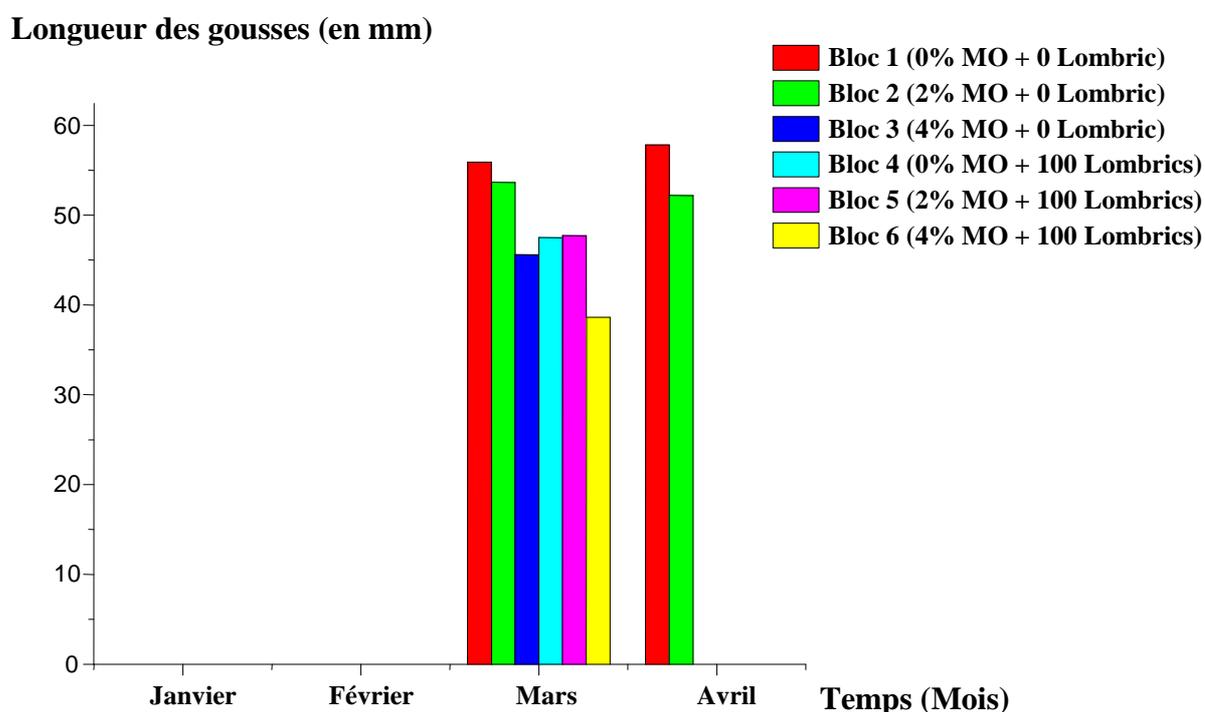


Figure n°32 : Longueur des gousses- Site de la pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine).

Comme les individus de la CASSDEP de Baccaro (Tichy), les gousses ne sont apparues qu'au troisième mois avec l'arrivée du printemps et toujours, généralement nombreuses mais de petite taille.

Plus le nombre d'individus dans un bloc est grand, plus le nombre de gousses est important, plus la moyenne est élevée. C'est ce que démontre les moyennes des trois blocs 3, 5 et 6 (*4% MO + 0 Lombrics ; 2% MO + 100 Lombrics ; 4% MO + 100 Lombrics*), qui possèdent (8, 6 et 4)

individus respectivement, d'où le classement des moyennes comme suit « **45,21mm-45,18mm-44,39mm** ».

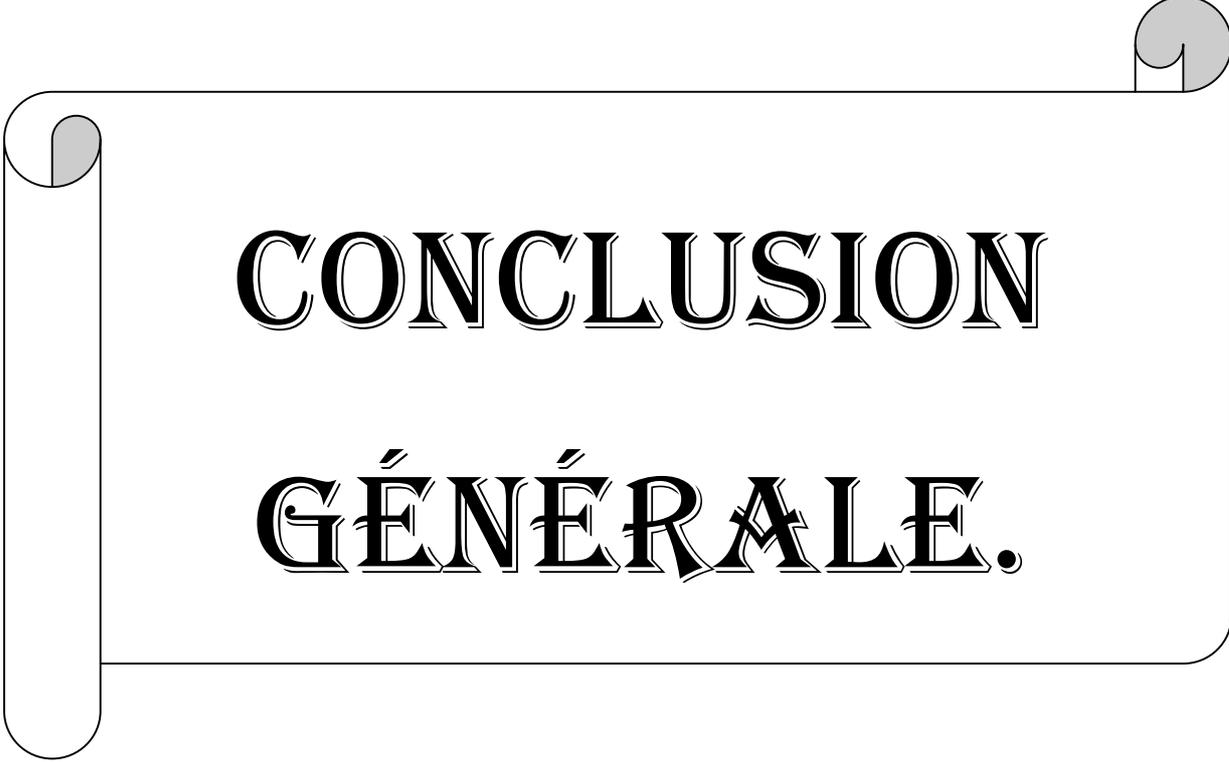
Le bloc 1 (**0% MO + 0 Lombrics**) ne présente que deux gousses, le dividende (numérateur) est important « **111,82** », alors que le diviseur (dénominateur) est égal à deux (**2**). C'est pour cette raison, probablement, que la moyenne est grande par rapport à celles des autres blocs.

Le bloc 2 (**2% MO + 0 Lombrics**) a une moyenne qui est un peu plus importante que celle du bloc 5 (**2% MO + 100 Lombrics**), « **53,64mm** contre **47,7mm** », bien que le nombre d'individu est le même dans les deux blocs et que le nombre de gousses est plus grand dans le bloc 5 que dans le bloc 2. La différence entre ces deux blocs est l'incorporation des **100** lombrics dans le bloc (5), cela en plus des **2%** de M.O. incorporées dans les deux blocs (2 et 5). Les individus du bloc 2 sont en bon état par rapport à ceux du bloc 5. La chute de la plupart des fleurs, avant de donner des gousses, malgré le nombre important de fleurs observé dans le bloc 5, et la faible croissance des gousses, a fait baisser la moyenne de la longueur des gousses dans ce bloc par rapport aux autres.

A la quatrième mesure, seule deux blocs présentaient des gousses ; le bloc 1 (**0% MO + 0 Lombrics**) avec deux gousses et le bloc 5 (**2% MO + 100 Lombrics**) avec huit gousses. Le bloc 1 présente une moyenne plus importante que celle du bloc 5 « **57,82** contre **52,19** ». Cela pourrait être dû à la faible longueur des gousses du bloc 5.

En plus de tous ces obstacles pour la bonne croissance et le bon rendement de la culture de fève, au niveau des deux sites, nous pensons que la baisse de la teneur en Azote dans les deux sols pourrait être l'une des causes, car d'après **N'Daygamiye (2007)**, l'Azote est l'élément nutritif le plus important pour la croissance des cultures et les niveaux de rendements. Dans les sols pauvres ou compactés avec de faibles potentiels de minéralisation, le sol ne peut fournir que moins d'un tiers des besoins en Azote des cultures.

Le mauvais temps et la perte d'individus et/ou des feuilles, durant la période de mesure, ont été des facteurs d'obstacle pour la détermination de l'importance des vers de terre, ainsi que leur rôle primordial dans l'enrichissement du sol en éléments nutritifs, en présence de la matière organique et en biomasse microbienne favorable ; les lombrics assurent la fertilisation, l'entretien, la productivité des sols, et donc leur durabilité (**Blanchart et al., 1993 ; Martin & Marinissen, 1993 ; Madina, 1997 ; Kay & Angers, 1999 ; Tiunov et Scheu, 1999 ; Ménard, 2005 ; Rousseau, 2005 ; Pelosi, 2008**).

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and rounded corners on the right. The text is centered within this frame.

**CONCLUSION
GÉNÉRALE.**

Conclusion générale :

Cette étude expérimentale s'est donnée comme objectif la mise en évidence de l'influence synergique des lombrics (*Lumbricus terrestris*) et de la matière organique (fumier de bovin) sur les propriétés physiques de deux types de sol (texture sableuse et texture limono-argileuse). Les paramètres physiques ciblés sont la stabilité structurale et la perméabilité, qui sont très importants du point de vue de leur impact sur le développement des cultures.

Cette expérimentation a été menée sur deux sites, dont l'un, situé au niveau de la CASSDEP de Baccaro (Tichy), présente un sol de texture très filtrante dans lequel les agriculteurs pratiquent de la plasticulture et l'autre, se trouvant au niveau de la Pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine), présente un sol relativement lourd, avec des problèmes de battance en surface liés à sa nature limoneuse.

Au niveau des sites d'étude, des dispositifs expérimentaux ont été installés. Ces derniers sont constitués de six (06) parcelles de 1m² chacune, séparées de 50 cm au minimum. Ces parcelles correspondent aux différents traitements effectués, soit en apport de matière organique (Fumier de bovin) à différentes doses (Témoin= 0%, 2% et 4%), soit en apport ou non de vers de terre (Témoin=0 unité ou 100 unités). Le même dispositif expérimental a été installé dans les deux sites étudiés.

En marge de cette étude sur l'impact de la matière organique et des lombrics sur certains paramètres physiques, nous avons ensemencé des graines d'une espèce de légumineuse potagère, *Vicia faba L.* (var. aquadulce à longue cosse), afin de suivre le développement de cette plante en relation avec l'amélioration des paramètres physiques cités par l'apport de matière organique et des lombrics. Le suivi du développement et de la croissance de la plante se fera par des mesures biométriques régulières tout au long de l'expérimentation. A cet effet, nous avons réalisés une série de mesures biométriques (longueur des trois feuilles les plus grandes et leur nombre total, la longueur de la tige et des gousses), sur les individus des fèves, tous les 30 jours à partir du semis.

Des prélèvements d'échantillons de terre ont été effectués, après sept mois d'expérimentation depuis l'installation du dispositif expérimental (fin Mai), période idéale pour l'activité des vers de terre, dans la dégradation de la matière organique. Cela, afin de voir

l'évolution dans le temps des paramètres physiques (stabilité structurale et perméabilité) en fonction des traitements effectués dans chaque parcelle, (apport de matière organique et incorporation de lombrics). Nous aurions aimé multiplier les prélèvements durant la durée de l'expérimentation, mais le problème réside dans le nombre très élevé des mesures physique à effectuées, ce qui n'est pas réalisable du fait de la réticence des laboratoires d'accueil.

Au vu des résultats présentés nous pouvons conclure qu'il est possible de changer les propriétés des deux sols (sableux et limono-argileux) et modifier leur environnement physico-chimique, par l'apport d'amendement organique et des lombrics.

Les mesures biométriques réalisés sur les individus des fèves (longueur des trois feuilles les plus grandes et leur nombre total, la longueur de la tige et des gousses) montrent l'influence du fumier et des lombrics sur les trois (quatre) paramètres cités précédemment. Les différentes analyses physiques effectuées, indique une amélioration au niveau des deux sols, vis-à-vis de la stabilité structurale, du système poral, de la vitesse d'infiltration de l'eau (perméabilité), ainsi que de la capacité de rétention en eau utile. Les échantillons enrichis en matière organique présentent toujours une stabilité supérieure aux échantillons témoins.

Du fait que des lombrics ingèrent la matière organique et la matière minérale pour former des complexes organominéraux sous forme d'agrégats, ils améliorent la structure, la rétention en eau utile, ils créent des réseaux de galeries à travers lesquelles s'infiltre l'eau, assurant ainsi un meilleur drainage et l'élimination des battances et des compactions, particulièrement, pour le sol limono-argileux. Ces réseaux galeries augmentent la porosité, permettant aussi l'aération du sol et la respiration des cultures de fèves.

Les résultats obtenus montrent un léger enrichissement des deux sols en éléments minéraux, principalement l'azote, et une amélioration notable de la structure et de la vitesse d'infiltration. Mais nous avons noté que cette amélioration des paramètres physiques apparaît surtout dans les parcelles enrichies en fumier de bovin, beaucoup plus que celles où il y avait eu incorporation de vers de terre. Toutefois, cette amélioration reste insuffisante, et il faudrait sans doute des doses de matière organique plus conséquentes. Il faudrait aussi signaler l'effet synergique des lombrics avec la présence de matière organique, qui donne des améliorations des propriétés physiques (porosité, densité apparente, stabilité structurale et perméabilité) nettement plus intéressantes.

L'effet dû au fumier est faible et pourrait être accru à condition d'augmenter sa dose, dépassant 4%. Même conclusion pourrai se faire en ce qui concerne les lombrics, par un apport plus conséquent de vers de terre supérieur à 200 unités. Dans la bibliographie, l'estimation en biomasse de lombric se situe entre 400 et 500 unités de lombrics pour avoir un effet optimal sur les propriétés physiques du sol.

PERSPECTIVES :

Une nouvelle approche sur l'agriculture est d'actualité. Il s'agit du semis direct sous couvert ; C'est-à-dire, l'utilisation d'une plante de couverture après la moisson. Celle-ci va nettoyer le sol avec ses racines, et va créer un bon lit de semence. L'agriculteur n'aura plus qu'à utiliser un rouleau pour écraser la plante et ensemercer directement dans le sol, avec comme conséquence l'absence de perturbation du sol, en plus d'une homogénéisation de la faune dans le sol.

Le tournesol, le radis, les petits pois, l'avoine et la vesce sont d'excellentes plantes de couverture. Le radis fourragé mobilise la potasse et travaille le sol. Le gros radis mobilise la potasse et assure la fissuration profonde. Le petit pois, une espèce de légumineuse, produit de l'azote qui enrichit le sol. La culture intercalaire, appelée aussi semis couvert ou semis direct sous couvert, quand elle se développe bien, est efficace, aère le sol et récupère les engrais.

Le système racinaire des plantes de couverture travaille mieux le sol que les outils ; arrivant dans les profils, elles enrichissent ce dernier sans perturber sa structure, empêchant l'installation des mauvaises herbes aux pieds du couvert végétal, en les concurrençant. Le couvert représente une nourriture pour la pédofaune, il enrichit le sol en éléments nutritifs et fertilise le sol pour les cultures d'après.

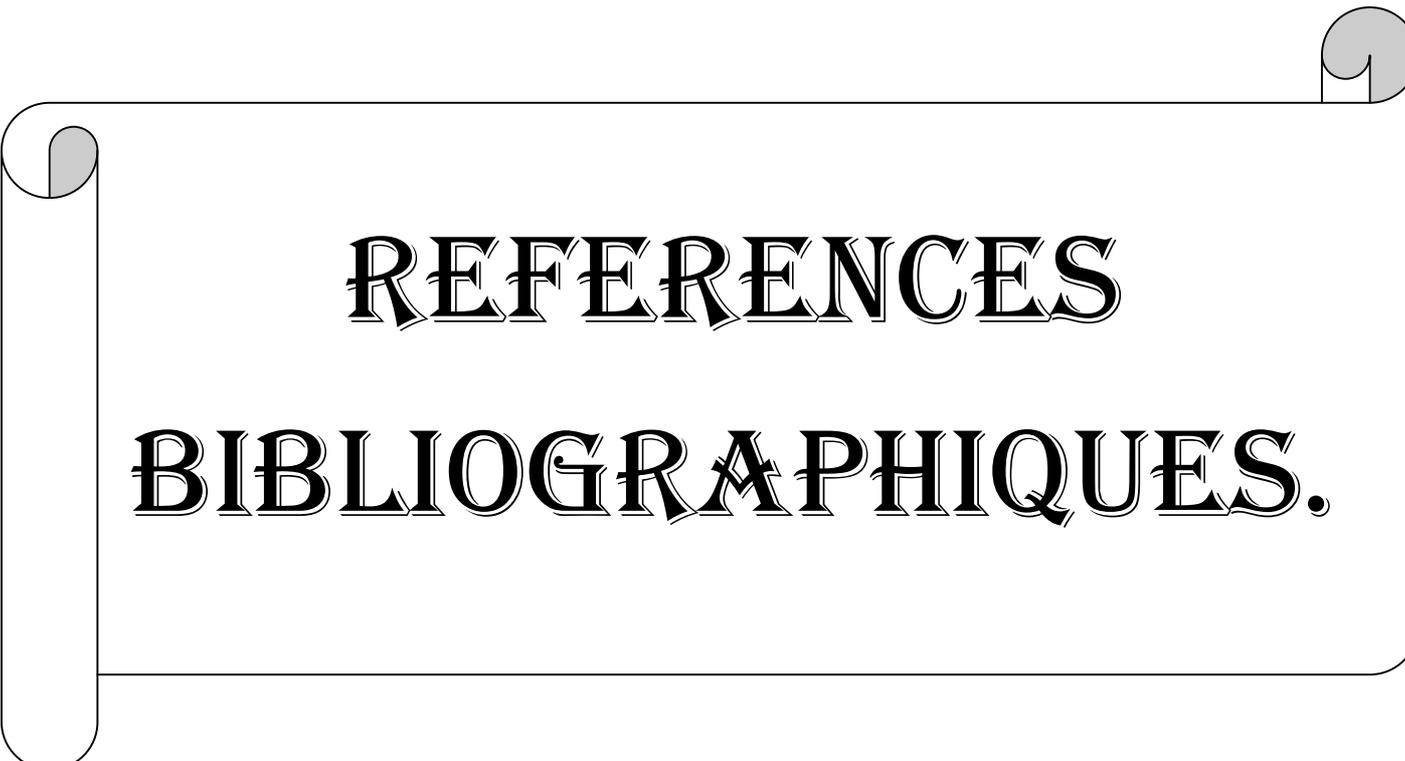
La charrue devient un instrument destructible. Quand on descend profondément dans le sol par le labour, cela compacte la terre car, il faut beaucoup d'énergie au tracteur pour tirer la charrue, cette dernière va appuyer sur la terre, compactant les éléments du sol, créant ainsi une zone imperméable et dure, que les racines ne peuvent pas pénétrer ; la structure est appelée « semelle de labour ».

Grace au semis direct sous couvert, il y a moins d'utilisation d'engrais ou d'amendements. Il génère de la matière organique (provenant du couvert), ce qui attirera la pédofaune. Cela permet un stockage de la matière organique, y compris du carbone. On stocke selon certains auteurs, 2 à 4 tonnes de CO₂ par hectare. Si 86% d'agriculteurs dans le monde appliquent le semis couvert, il y aura moins de CO₂ dans l'atmosphère.

La vraie agriculture, c'est celle qui peut nourrir l'humanité, sans dégrader le sol ; c'est la richesse que peut procurer un sol vivant sur lequel on cultive des plantes tout en assurant sa préservation pour les générations futures.

Pour que l'homme puisse faire face aux problèmes, causés par le changement climatique qu'il a produits par son inconscience, il serait bien inspiré de pratiquer l'agriculture biologique ou l'agro-écologie, basée sur une approche scientifique en terme de préservation et conservation des sols.

Associé à cette technique de semis direct sous couvert, les vers de terre termineront la tâche, par leur travail de foussement, en homogénéisant le sol, sur le plan de sa richesse en éléments minéraux, en matière organique favorisant la structuration des agrégats, et l'amélioration de certains paramètres physiques, notamment la stabilité des agrégats, la perméabilité et l'aération du sol.

A decorative border resembling a scroll, with rounded corners and a vertical strip on the left side. The scroll is outlined in black and has a light gray shadow effect on its top and left edges.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES.

Références bibliographiques

- **Albrecht A., Rangon L., et Barret P. (1992)** - Effet de la matière organique sur la stabilité structurale et la détachabilité d'un vertisol et d'un ferrisol. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 27 : 121-133.
- **Anderson D.W., Bettany J.R. Saggar S., & Stewart J.W.B. (1981)** - Particle size fractions and their use in studies of soil organic matter: I. The nature and distribution of forms of carbon, nitrogen and sulphur. Soil Sci. Soc. Am. J., 45, 767-772.
- **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 INA, Paris-Grignon : 270 p.
- **Anonyme (1996)** - Soil quality indicators : Agregate stability. Soil quality information sheet. USDA Natural Ressources Conservation Service, 2 p.
- **Anonyme (2001)** - Guide du Jardinage – Ecologique Alternatives aux Pesticides pour les Particuliers. Opération « Pesticides, on peut faire autrement » Actions sur les usages non agricoles. L'association Echo-Mer. 45 p.
- **Anonyme (2004)** - Fonctionnement du sol – diagnostic au champ. Chambres d'Agriculture de Bretagne –Agrocampus INRA de Rennes – UMR Sol Agronomie Spatialisation Kergéhenec. 3 p.
- **Anonyme (2005)** - Ecosystems and human Wellbeing, Synthesis, Disponiblesurhttp : millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf, 155 p.
- **Anonyme (2008)** - Un engrais biologique naturel : le Fumier de bovin. 1 p.
- **Anonyme (2009)** - Maintenir l'état organique des sols. Ed. Cerafel. 2 p.
- **Arrouays D., Le Villio M., Deslais W., Daroussin J., Le Bissonnais Y., & Clergeot D. (2001)** - Estimation des quantités de matière organique exogène nécessaires pour restaurer et entretenir les sols limoneux français à un niveau organique donné. Étude et Gestion des Sols. Volume 8, 1. 47-63.
- **Avel M. (1959)** - Classe des Annélides Oligochètes. Traité de Zoologie. Masson, Paris, V, fasc. 1. 224-470.
- **Bachelier G. (1963)** - La vie animale dans les sols. Déterminisme de la faune des sols. Doc. techn. ORSTOM, n°3, Paris, 280 p.
- **Bachelier G. (1978)** - La faune des sols, son écologie et son action, IDT N°38. ORSTOM, Paris, 391 p.

- **Baize D. & Jabiol B. (1995)** - Guide pratique de la destruction des sols. Ed. INRA, 375 p.
- **Bagnouls F. & Gaussen H. (1953)** – Saison sèche et incendie xérothermique. Documents pour les cartes de production végétale 3 : cartographie des limites écologiques 6art. 8, fac, sci. Toulouse V. 47 p.
- **Baldock J.A., Oades J.M., Waters A.G., Peng X., Vassollo A.M. & Wilson M.A. (1992)** - Aspects of the chemical structure of soil organic materials as revealed by solid state ¹³C.N.M.R. Spectroscopy Biogeochemistry, 16, 1-45.
- **Beauchamp J. (2006)** - Pédologie. L'eau et le sol. Université de Picardie. JULES VERNE. 30 p.
- **Belaidi K. (2007)** - Etude de l'évolution de matière organique de diverses natures après six mois d'incubation. Corrélation avec certains paramètres physiques du sol (perméabilité et stabilité structurale). Mémoire magister de l'Université A/Mira de Béjaia, 126 p.
- **Benhamiche N. (1997)** - Modélisation de la relation pluie-relief, en vue de la cartographie pour kriegeage : cas du bassin versant de la Soummam. Thèse de magistère en science Agronomique. Option : Aménagement et mise en valeur. I.N.A. Alger, 158 p.
- **Bertrand M. (2009)** - L'incroyable histoire des vers de terre. Centre de recherche INRA de Versailles-Grignon, Département Environnement et agronomie. 4 p.
- **Blanchart E., Bruand A. & Lavelle P. (1993)** - The physical structure of casts of *Millsonia anomala* (Oligochaeta: Megascolecidae) in shrub savanna soils (Côte d'Ivoire). Geoderma, 56: 119-132.
- **Blouin, M., Zuily-Fodil, Y., Pham-Thi, A.-T., Laffray, D., Reversat, G., Pando, A., Tondoh, G. & Lavelle, P. (2005)** - Belowground organism activities affect plant aboveground phenotype, inducing plant tolerance to parasites. Ecol. Let. 8, 202-208.
- **Boersma O.H. & Kooistra M.J. (1994)** - Difference in soil structure of silt loam typic fluvagents under various agricultural management practices. Agric. Ecosystem Environ., 51(1-2), 21-42.
- **Boiffin J. & Fleury A. (1974)** - Quelques conséquences agronomiques du retournement des prairies permanentes, Annales Agronomiques, 25, 555-573.
- **Boiffin J. (1984)** - La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse Doc. Ing. INAPG, Paris, 320 p.
- **Bonneau M. & Souchier B. (1979)** - Pédologie. 2 – Constituants et propriétés du sol. Ed. Masson et Cie, Paris, 459 p.

- **Bouché M.B. (1984)** - Les vers de terre. La recherche 15(156):796-804.
- **Bouché, M. B. & Aliaga, R. (1986)** - Contre une dégradation physique et chimique des sols et pour leur optimisation économique, l'échantillonnage des lombriciens : une urgente nécessité. La Défense des Végétaux, 242, 30-36.
- **Buch W. (1991)** - Le ver de terre au jardin. Arts Graphiques Européens. 124 p.
- **Butt K.R. (1991)** - The effects of temperature on the intensive production of *Lumbricus terrestris* (Oligochaeta: Lumbricidae). Pedobiol. 35, 257-264.
- **Butt K.R. (1993)** - Reproduction and growth of three deep-burrowing earthworms (Lumbricidae) in laboratory culture in order to assess production for soil restoration. Biol. Fertil. Soils 16, 135-138.
- **Calvet R. (2003)** - Le sol, propriétés et fonction, Tome I : Constitution et structure phénomène aux interfaces. Ed. France Agricole, 456 p.
- **Catroux G. & Schnitzer M. (1987)** - Chemical, spectroscopic and biological characteristics of the organic matter in particle size fractions separated from an Aquoll. Soil Sci. Soc. Am. J., 51, 1200-1207.
- **Chabalier P.C., Kerchove V.V. & Macary H.S. (2006)** - Guide de la fertilisation organique à La réunion. Fiches matières organiques – Fumier de bovin. Ed. CIRA. 2 p.
- **Chrétien J. & Pedro G. (1987)** - Granulométrie, porosité et spectre poral de sols développés sur formations détritiques Cas des terrasses alluviales de la Saône. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXIII, no 1, 1987: 43-54
- **Christensen B.T. (2001)** - Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. Eur. J. Soil Sci., 52, 345-353.
- **Cluzeau D., Ablain F., Blanchart E., Cuendet G., Fayolle L., Lavelle P. & Peres G. (2005)** - Faune du sol et Lombriciens dans les sols tempérés agricoles. Sols et environnement 2e cycle. Cours, exercices et études de cas. Paris. 386-407.
- **Combeau A. & Monnier G. (1961)** - Méthode d'étude de la stabilité structurale : application aux sols tropicaux. Sols Africains, vol. VI, no 1, p. 5-32.
- **Commission européenne (2010)** - L'usine de la vie. Pourquoi la biodiversité des sols est-elle si importante ? Luxembourg : Office des publications de l'Union européenne. 20 p.
- **Copa-Cogeca (2007)** - L'Agriculture Biologique dans l'Agriculture Européenne. 8 p.

- **Coulon E. (1988)** - Conséquences du tassement sur l'organisation de l'espace poral des sols sableux. Contribution à la connaissance des mécanismes de compactage. Thèse Doct. Univ. Orléans, 242 p.
- **Daily G.C., Alexander S. & Ehrlich P. R. (1997)** - Ecosystem services: benefits supplied to human societies by natural ecosystems. *Issues in Ecology* 2, 1-18.
- **Dajos R. (1971)** - Précis d'écologie, Ed. Dunod. Paris, 505 p.
- **Dakers S. (1992)** - L'avenir de l'agriculture durable. Bibliothèque du parlement. Service de recherche. Format Électronique. Numéro de catalogue : YM32-2F-PDF. BP-290F. 22 p.
- **Darthout R., Lelong F., Roose E. & Trevisand. (1995)** - Susceptibilité au ruissellement et à l'érosion en nappe de divers types texturaux de sols cultivés ou non cultivés du territoire français. Expérimentation au champ sous pluies simulées. (30)251-279.
- **Davidson S.K. & Stahl D.A. (2006)** - Transmission of nephridial bacteria of the earthworm *Eisenia fetida*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 72(1), 769-775.
- **Decourt N. (2001)** – La forêt dans le monde. Edition l'Harmattan, 192 p.
- **Dévaux J., Faurie C., Ferra C., Melori P., & Homptinne J.L. (2002)** - Ecologie. Approche scientifique et pratique. 5^{ème} édition. Edition Lavoisier. TEC & DOC. 407 p.
- **Dindal D. L. (1990)** - Soil biology guide. Wiley and sons Inc., New-York, 1349 p.
- **Dosso M., & Ruellan A. (1993)** - Regard sur le sol. Edition FOUCHER. 192 p.
- **Dubreuil M. (2000)** - La santé de nos sols – vers une agriculture durable au Canada. Agriculture et Agroalimentaire Canada. Publ. 1906/F. 4 p.
- **Duchaufour Ph. (1965)** - Précis de pédologie, Ed. Masson et Cie, Paris 261. 481 p.
- **Duchaufour Ph. (1997)** - Abrégé de pédologie : Sol, végétation, environnement. 5^{ème} édition. MASSON. 291 p.
- **Duchaufour Ph. (2001)** - Introduction à la science du sol - Sol, végétation, environnement, 6^{ème} édition. DUNOD. Paris 331 p.
- **Edwards, C. A., Bohlen, P. J., Linden, D. R. et Subler, S. (1995)** - Earthworms in agroecosystems. In: Hendrix, P. F. (ed. Earthworm ecology and biogeography in North America. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, pp. 185-213.
- **Edwards C. A. & Bohlen P. J. (1996)** - Biology and Ecology of Earthworms 3rd ed. Chapman and Hall, London, 426 p.

- **El Harti A., Saghi M., Molina J.A.E. & Teller G. (2001a)** - Production d'une substance rhizogène à effet similaire à celui de l'acide indole acétique par le ver de terre *Lumbricus terrestris*. Can. J. Zool., 79, 1911-1920.
- **El Harti A., Saghi M., Molina J.A.E. & Teller G. (2001b)** - Production de composés indoliques rhizogènes par le ver de terre *Lumbricus terrestris*. Can. J. Zool., 79, 1921-1932.
- **El Harti A. & Raouane M. (2008)** - Détermination de la région d'excrétion des substances rhizogènes chez *Lumbricus terrestris* L. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2009 13(1), 85-92.
- **Ellert B. H. & Bettany J. R. (1992)** - Temperature dependence of net nitrogen and sulphur mineralization. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 1133-1141.
- **ENITA de Bordeaux (2003)** - Agriculture biologique. Lavoisier. 312 p.
- **Eriksen-Hamel N.S. & Whalen, J.K. (2007a)** - Impacts of earthworms on soil nutrients and plant growth in soybean and maize agroecosystems. Agr. Ecosyst. Environ. 120, 442-448.
- **Estevez B., Bar Coderre D. & Pager F. (1992)** - Effet de la fertilisation sur les vers de terre et leur impact sur la porosité et la stabilité structurale du sol. Agrosol 5: 38-43.
- **Feller C. (1994)** - La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1:1. Recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique. Thèse Doctorat Sciences Naturelles, Institut de Géologie de Strasbourg, 393 p.
- **Furlong M.A., Singleton D.R., Coleman D.C. & Whitman W.B. (2002)** - Molecular and culture-based analyses of prokaryotic communities from an agricultural soil and the burrows and casts of the earthworm *Lumbriscus rubellus*. Appl. Environ. Microbiol., 68(3), 1265-1279.
- **Gaiffe M. (1987)** - Processus pédogénétiques dans le Karst jurassien, complexation organo-minérale en ambiance calcique, Thèse Besançon, Ann. Sci. géologique, mém. n°5, 160 p.
- **Ganry F., Hien E., Hien V. & Oliver R., (2002)** - Dynamique du carbone dans un sol de savane du Sud-ouest Burkina sous l'effet de la mise en culture et des pratiques culturales. 11p.
- **Garcia-Ochoa F., Santos V.E., Gardiola E. & Lopez B. (1999)** - Kinetic model for anaerobic digestion of livestock manure. Enzyme Microb. Technol., 25(1-2) : 55-60.
- **Gauthier J. (1991)** - Notion d'agriculture. Ed. Lavoisier, 574 p.

- **Gobat J.M., Aragnon M., & Mathey W. (2003)** - Le sol vivant. Base de pédologie. biologie des sols. Ed Presses polytechniques et universitaires Romande. Lausanne, 44, 50, 51.
- **Greco J. (1966)** - L'érosion, la défense et la restauration des sols. MARA. Alger. 196-238.
- **Grimaldi M. (1986a)** - Modifications structurales d'un matériau limoneux soumis à un compactage dynamique. Science du sol, 24, 269-284.
- **Guerif J. (1982)** - Compactage d'un massif d'agrégat: effets de la teneur en eau et de la pression appliquée. Agronomie, 2 (3), 287-94.
- **Guggenberger G., Christensen B.T. & Zech W. (1994)** - Land-use effects on the composition of organic matter in particle size separates of soil: I. Lignin and carbohydrate signature. Eur. J. Soil Sci., 45, 449-458.
- **Halimi A. (1980)** - l'Atlas Blidéen : Climat et étages végétaux. Ed. O.P.U., Alger. 523 p.
- **Hallaire V., Cumi P. & Widiatmaka. (1997)** - Morphologie de la porosité et circulation préférentielle en saturé- Cas des horizons d'un système pédologique armoricain. 115-126.
- **Hameed R., Cortez J. & Bouché M.B. (1993)** - Biostimulation of *Lolium perenne L.* growth with nitrogen excreted by *Lumbricus terrestris L.* Flow measurement in the laboratory. Soil Biol. Biochem., 26, 483-493.
- **Hamilton W. E. & Sillman D. Y. (1989)** - Influence of earthworm middens on the distribution of soil microarthropods. Biol. Fertil. Soils 8, 279-284.
- **Hartenstein H., Kaplan D.L. & Neuhauser E.F. (1979)** - Reproductive potential of the earthworm *Eisenia fetida*. Oecol. 43, 329-340.
- **Havard O., Poisson N., Fort M.-C. & Lallement H. (2008)** - Compost de fumier de bovin. Compost de fumier pailleux. Chambre d'Agriculture de la Manche. 1p.
- **Hébert J. (2008)** - Un sol de type forestier feuillu naturalisé en sol agricole par les BRF. 2p (ou bien) 01-08.
- **Hénin S., Gras R. & Monnier G. (1969)** - Le profil cultural. L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. Ed. Masson et Cie. Paris, 332 p.
- **Hénin S. (1976)** - Cours de physique du sol. Ed. Doc. techniques ORSTOM. N° 28. 221 p.
- **Holmstrup M., Ostergaard I.K., Nielsen A. & Hansen B.T. (1996)** - Note on the incubation of earthworm cocoons at three temperatures. Pedobiol. 40, 477-478.

- **Horn M.A. Drake H.L. & Schramm A. (2003)** - The earthworm gut: an ideal habitat for ingested N₂O-producing microorganisms. *Appl. Environ. Microbiol.*, 69(3), 1662-1669.
- **Horn M.A. Drake H.L. & Schramm A. (2005)** - *Dechloromonas denitrificans* sp. Nov., *Flavobacterium denitrificans* sp. Nov., *Paenibacillus anaericanus* sp. Nov. and *Paenibacillus terrae* strain MH72, N₂O-producing bacteria isolated from the gut of the earthworm *Aporrectodea caliginosa*. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 55, 1255-1265.
- **Horn M.A. Drake H.L. & Schramm A. (2006a)** - In vivo emission of dinitrogen by earthworms via denitrifying bacteria in the gut. *Appl. Environ. Microbiol.*, 72(2), 1013-10.
- **Horn M.A., Drake H.L. & Schramm A. (2006b)** - Nitrous oxide reductase genes (*nosZ*) of denitrifying microbial populations in soil and the earthworm gut are phylogenetically similar. *Appl. Environ. Microbiol.*, 72(2), 1019-1026.
- **Hutchinson A. & Kamel M. (1956)** - The effect of earthworms on the dispersal of soil fungi. *J. Soil Sci.*, 7, p. 213-218.
- **INRA-OPIE (2001)** - Le sol, toute une histoire. Le sol : une ressource à protéger. 1p.
- **Jannasch R. (2008)** - Nourrir les sols en gestion biologique avec des plantes fourragères. Centre d'agriculture biologique du Canada (CABC). M.Sc., P.Ag. 1 p.
- **Kay B.D. & Angers D.A. (1999)** - Soil Structure. Dans *Handbook of Soil Science*. Sous la direction de M.E. Summer. CRC Press Inc., Boca Raton Fl. p. A229-A276.
- **Kouakoua E. (1998)** - La matière organique et la stabilité structurale d'horizons de surface des sols ferrallitiques argileux. Effet du mode de gestion des terres. Thèse de Doctorat. Univ. Nancy I, 209 p.
- **Lakhani, K. H. et Satchell, J. E. (1970)** - Production by *Lumbricus terrestris* (L.). *J. Anim.Ecol.* 39, 473-492.
- **Lavelle P. & Spain A.V. (2001)** - *Soil Ecology*. Kluwer Scientific Publications, Amsterdam, 654 p.
- **Le Bissonnais Y. (1988)** - Analyse des mécanismes de désagrégation et de la mobilisation des particules de terre sous l'action des pluies. Thèse Doct., Univ. Orléans 196 p.
- **Le Bissonnais Y. & Arrouays D. (1997)** - Aggregates stability and assessment of soil crustability and erodibility : II Application to humic soils with various organic carbon contents. *Eur J Soil Sci.* ; 48 : 39-48.

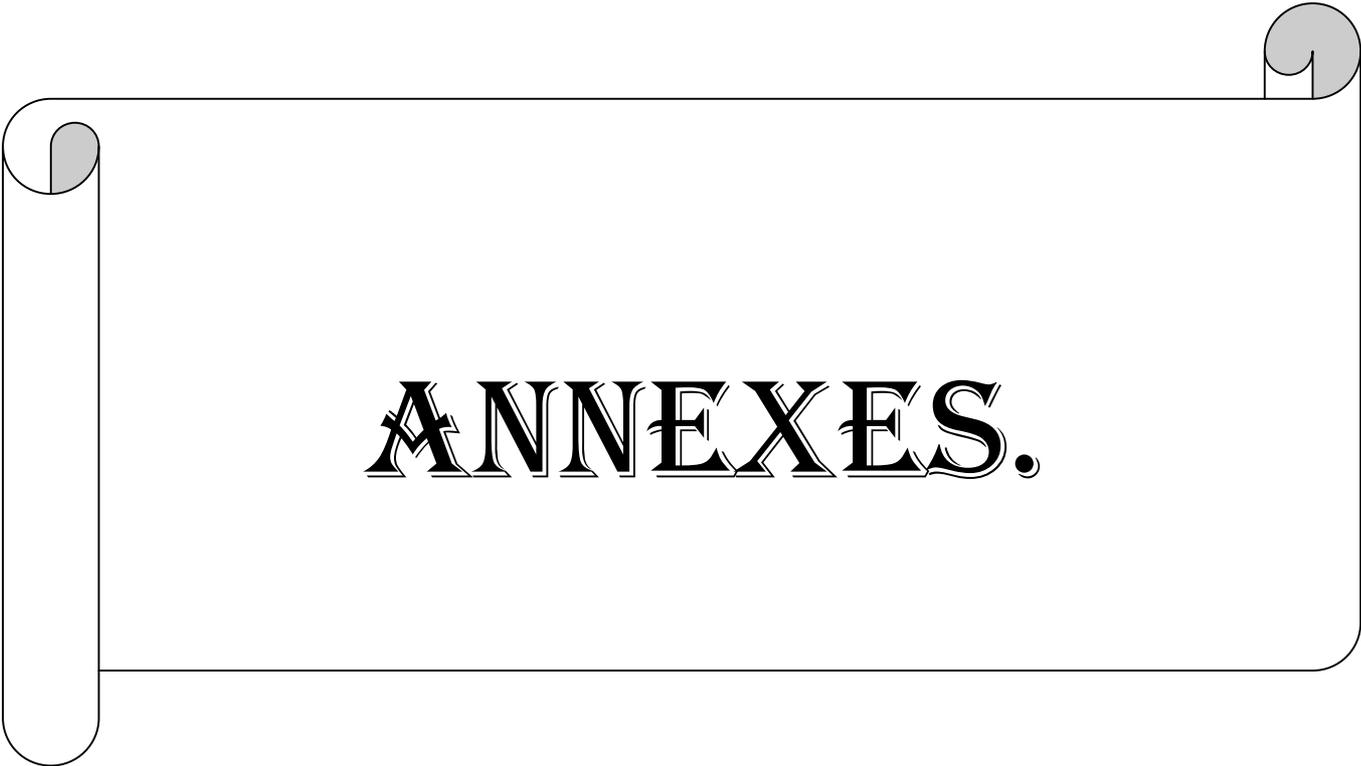
- **Lee K.E. (1985)** - Earthworms: their ecology and relationship with soils and land use. New York, 411 pp.
- **Letreuch-Bélarouci N. (1991)** - Reboisement en Algérie et leurs perspectives d'avenir. Ed. O.P.U., Tome 1, 294 p.
- **Levrard J.M. (2004)** - Guide du jardinage. Fiche Inspirée du document « fonctionnement du sol – diagnostic au champ » Chambres d'Agriculture de Bretagne – Agrocampus INRA de Rennes – UMR Sol Agronomie Spatialisation Kergéhenec. 39 p.
- **Madina M. A. (1997)** - Les effets de diverses espèces d'engrais verts sur le rendement du blé, ainsi que sur les constituants physico-chimiques et microbiens du sol de la série LE BRAS. 75 p.
- **Magny J. & Baur J. (1962)** - Pour comprendre les analyses de terre. Purpan. Reproduction des numéros 41-42 de Purpan. 78 p.
- **Martin, A. & Marinissen, J.C.Y. (1993)** - Biological and physico-chemical processes in excrements of soil animals. Geoderma, 56, 331-347.
- **Mathieu C. & Pielain F. (1998)** - Analyse physique des sols. Méthodes choisies. Editions TEC & DOC. Paris. 275 p
- **Mathieu C. & Pielain F. (2003)** - Analyse chimique des sols. Méthodes choisies. Editions TEC & DOC. Paris. 387 p.
- **Mayeux V. & Savanne, D. (1996)** - La faune, indicateur de la qualité des sols. Ademe, Direction Scientifique Service Recherche impacts et milieux, pp. 62.
- **Mazoyer M. (2002)** - Dictionnaire de botanique. Ed. Larousse / VUEF 2002. 767 p.
- **Ménard O. (2005)** – Les ouvriers du sol et les pratiques agricoles de conservation. Colloque en agroenvironnement « Des outils d'intervention à notre échelle ». CRAAQ. 6 p.
- **Monnier G. (1965)** - Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Thèse, Paris, 120 p.
- **Monnier G., & Stengel P. (1982)** - Structure et état physique du sol. 4. Genèse et évolution de la structure. Correction des comportements structuraux. Techniques Agricoles, 12, 1-18.
- **Morel R. (1996)** - Les sols cultivés. 2^{ème} édition. Lavoisier, Paris. 389 p.

- **Morin R. (2002)** - Exploitation et élevage des vers de terre pour le marché des appâts vivants. Direction de l'aquaculture et du développement durable. Les publications de la direction de l'innovation et des technologies. Document d'information. 14 p.
- **Morlat R. (2006)** - Effets de divers apports en matière organique sur le sol, la vigne et le vin, dans un essai de longue durée à Chinon). 42 p.
- **Muller M., Schafflutzel R., Chervet A., Sturny W. G., Zihlmann U. & Weisskope P. (2008)** - Teneurs en humus après onze ans de semis direct ou de labour. Revue suisse Agric. 40 (1): 5-10.
- **Muscolo A., Bovalo F., Gionfiddo F. & Nardi S. (1999)** - Earthworm humic matter produces auxin-like effects on *Daucus carota* cell growth and nitrate metabolism. Soil Biol. Biochem., 31, 1303-1311.
- **N'Daygamiye A., Goulet M. & Laverdière M. R. (1997)** - Effet a long terme d'engrais minéraux et de fumier sur les teneurs en C et N des fractions densimétriques et des agrégats du loarn limoneux Le Bras. Can. J. Soil. Sci. 77 : 351-358.
- **N'Daygamiye A. (2007)** - La contribution en azote du sol reliée à la minéralisation de la MO, facteur climatique et régies agricoles influençant les taux de minéralisation d'azote. Ph., agronome. Chercheur senior, IRDA. Professeur associé, Université Laval Québec. 28 p.
- **Ozenda P. (1982)** - Les végétaux dans la biosphère, Doin, Paris, 430 p.
- **Pallo F.J.P., Sawadogo N., Sedogo M.P. & Zombré N.P. (2008)** - Statut de la matière organique des sols de la zone nordsoudanienne au Burkina Faso. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2009 13(1), 139-142.
- **Pelosi C. (2008)** - Modélisation de la dynamique d'une population de vers de terre. *Lumbricus terrestris* au champ. Contribution à l'étude de l'impact de système de culture sur les communautés lombriciennes. THÈSE de doctorat de l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement. (Agro Paris Tech). 95 p.
- **Perel T.S. (1977)** - Differences in lumbricid organization connected with ecological properties. In: Lohm, U. et Persson, T. (eds), Soil organisms as components of ecosystems. Ecol. Bull., Stockholm. 56-63.
- **Perrier E. (1995)** - Cadre de la recherche et revues bibliographiques. Caractérisation de la structure des sols. 21 p.
- **Phillipson J. & Bolton P.J. (1977)** - Growth and cocoon production by *Allolobophora rosea* (Oligochaeta: Lumbricidae). Pedobiol. 17, 70-82.

- **Pinatton M. (2007)** - Séparation du lisier bovin par le procédé de flottation biologique LISOX. Ingénieur maître en Génie de l'Environnement. Mémoire présenté pour l'obtention du grade de Maître ès science (M.Sc.). 174 p.
- **Power J.F. (1990)** - Fertility management and nutrient cycling. In *Advances in soil science*. Vol. 13 : 69-85.
- **Prevost PH. (1990)** - Les bases de l'agriculture moderne. Edition Lavoisier, Tec et Doc. 261 p.
- **Ramade F. (1994)** - Elément d'écologie : Ecologie fondamentale. Ed. Ediscience, paris. 517 p.
- **Ramade F., (2003)** - Eléments d'écologie : écologie fondamentale, Ed. DUNOD, 690 p.
- **Reversat B. (1977)** - Observations sur la minéralisation in situ de l'azote du sol en savane sahélienne (Sénégal). ORSTOM. (6)301-306.
- **Roots B.I. (1956)** - The water relations of earthworms. II. Resistance to desiccation and immersion and behaviour when submerged and when allowed a choice of environment. *J. exp. Biol.*, 33 : 29-44.
- **Rousseau G. (2005)** - Analyses multidimensionnelles des effets de la rotation et d'un compost urbain sur la sclérotiniose du soja et la santé du sol. Thèse. 204 p.
- **Russel E.W. (1971)** - Soil structure: its maintenance and improvement, *Journal of soil science*, 22 (2), 137-150.
- **Satchell J.E. (1967)** - Lumbricidae. *Soil Biology*. Academic Press, London. 259-322.
- **Satchell J.E. (1980)** - 'r' worms and 'K' worms: a basis for classifying lumbricid earthworm strategies. 7th Intl Colloq. Soil Zool. Syracuse, Environmental Protection Agency, Washington D. C. 848-854.
- **Si Bennasseur A. (2005)** - Référentiel pour la Conduite Technique de la fève (*Vicia faba*). Importance économique et exigences écologiques de la fève. (11), 91-101.
- **Sidi H. (1987)** - Effet de l'apport de matière organique et de gypse sur la stabilité structurale de sol de région méditerranéenne (Mateur-Tunisie). Thèse de doctorat de l'INA. Paris-Grignon, 206 p.
- **Sims R.W. & Gerard B.M. (1999)** - Earthworms. FSC Publications, London, 167 p. 262 p.

- **Smith J.L. & Elliot L.F. (1990)** - Tillage and residue management effects on soil organic matter dynamics in semi arid regions. In *Advances in soil science*. Vol. 13 : 69-85.
- **Soltner D. (1987)** - Les amendements humifères et la stimulation de l'activité biologique des sols. Inc : *Les bases de la production végétale. Science et techniques agricoles*. Tome 1, 15^e édition : le sol. 295-308.
- **Sommerfeldt T.G., Chang C. & Entz T. (1988)** - Long-term annual manure applications increase soil organic matter and nitrogen, and decrease carbon to nitrogen ratio. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52. 1668-1672.
- **Soudi B., Chiang C.N., Berdai H. & Naaman F. (2002)** - Statut du cycle de l'azote et de la matière organique en zones semi-arides irriguées et d'agriculture pluviale. Séminaire "Equilibre Agriculture/ Environnement: enjeux, outils et perspectives du conseil agricole". 6-7 mai, Meknes, Maroc. 8-17.
- **Stewart P. (1969)** - Un nouveau climagramme pour l'Algérie et son application au barrage vert. *Bull. SOS. Hist. Nat. Afr. Du Nord.* 65, 1-2, 239-248.
- **Svendsen T.S., Hansen P.E., Sommer C., Martinussen T., Grønvold J. & Holter P. (2005)** - Life history characteristics of *Lumbricus terrestris* and effects of the veterinary antiparasitic compounds ivermectin and fenbendazole. *Soil Biol. Biochem.* 37, 927-936.
- **Tessier D. & Pedro G. (1984)** - Recherches sur le rôle des minéraux dans l'organisation et le comportement des sols, Livre Jubilaire du Cinquantenaire de l'Association Française pour l'Etude du Sol, AFES éd. 223-234.
- **Tessier D., Bruand A. Le Bissonnais Y. et Dambrine E. (1996)** - Qualité chimique et physique des sols. *Etude et gestion des sols* : 229-244.
- **Tiedje J.M. (1995)** - Approaches to the comprehensive evaluation of Prokaryote diversity of a habitat. UNEP/CAB International, Wallingford, U.K. 73-82.
- **Tiunov, A. V. & Scheu, S. (1999)** - Microbial respiration, biomass, biovolume and nutrient status in burrow walls of *Lumbricus terrestris* L. (Lumbricidae). *Soil Biol. Biochem.* 31, 2039-2048.
- **Tomlin A.D. (1981)** - Élevage des vers de terre. Agriculture Canada. Canadex No 4. 489 p.
- **Tomlin A.D. (1983)** - The earthworm bait market in North America, Chapman Hall London. 331-338.

- **Valet S., Motélica-Heino M. & Le Coustumer Ph. (2007)** - Influence géomorphologique et structurale des sols sur le report hydrique : Conséquences sur le fonctionnement hydrique des sols sur la biomasse en zone soudano sahélienne. 4 p.
- **Valles V., (2005)** - Cours de pédologie. 15 p.
- **Vigneron J. & Desaunette J.R. (1958)** - Etablissement d'un indice de compacité. Bull. de l'Ass. Porosité du sol, n° 4. 172-182.
- **Wall D.H. (2004)** - Sustaining biodiversity and ecosystem services in soils and sediments. Island Press, Washington, USA, 275 p.
- **Zemrag A. (1999)** - L'orobanche, monographie et gestion dans la culture des légumineuses alimentaires. Bulletin mensuel d'information et de liaison de PNTA. Transfert de technologie en agriculture. MADRPM/DERD. N°63. 4 p.



ANNEXES.

Annexe 01 :Résultats des analyses de la Porosité, des 2 types de sol durant l'expérimentation

	Sol Limono-argileux		Sol Sableux	
Densité apparente	L _{B.1}	1,06	S _{B.1}	1,25
	L _{B.2}	0,96	S _{B.2}	1,29
	L _{B..3}	1,015	S _{B.3}	1,26
	L _{B.4}	1,101	S _{B.4}	1,30
	L _{B.5}	1,705	S _{B.5}	1,295
	L _{B.6}	1,58	S _{B.6}	1,15
Densité réelle	L _{B.1}	2,52	S _{B.1}	2,26
	L _{B.2}	2,47	S _{B.2}	2,12
	L _{B..3}	2,51	S _{B.3}	2,18
	L _{B.4}	2,51	S _{B.4}	2,2
	L _{B.5}	2,51	S _{B.5}	2,1
	L _{B.6}	2,5	S _{B.6}	2,205
Porosité (%)	L _{B.1}	29,07	S _{B.1}	67,85
	L _{B.2}	33,13	S _{B.2}	60
	L _{B..3}	42,9	S _{B.3}	50,91
	L _{B.4}	28,8	S _{B.4}	64,69
	L _{B.5}	43,56	S _{B.5}	49,15
	L _{B.6}	54,13	S _{B.6}	38,33

Annexe 02:Résultats des analyses de la Stabilité Structurale et de la Perméabilité,
des 2 types de sol durant l'expérimentation.

		Sol Limono-argileux		Sol Sableux	
Stabilité structurale	I_s	L _{B.1}	70,79	S _{B.1}	9,44
		L _{B.2}	6,84	S _{B.2}	2,82
		L _{B.3}	6,31	S _{B.3}	2,065
		L _{B.4}	6,09	S _{B.4}	2,19
		L _{B.5}	5,19	S _{B.5}	1,57
		L _{B.6}	3,35	S _{B.6}	1,32
	Log 10 I_s	L _{B.1}	2,85	S _{B.1}	1,975
		L _{B.2}	1,835	S _{B.2}	1,45
		L _{B.3}	1,8	S _{B.3}	1,315
		L _{B.4}	1,785	S _{B.4}	1,34
		L _{B.5}	1,715	S _{B.5}	1,195
		L _{B.6}	1,525	S _{B.6}	1,12
	Echelle de stabilité	L _{B.1}	Très instable	S _{B.1}	Instable
		L _{B.2}	Instable	S _{B.2}	Stabilité médiocre
		L _{B.3}	Instable	S _{B.3}	Stabilité médiocre
		L _{B.4}	Instable	S _{B.4}	Stabilité médiocre
		L _{B.5}	Instable	S _{B.5}	Stable
		L _{B.6}	Stabilité médiocre	S _{B.6}	Stable
Perméabilité (%)	K_s	L _{B.1}	0,14	S _{B.1}	19,8
		L _{B.2}	0,22	S _{B.2}	16,9
		L _{B.3}	0,36	S _{B.3}	15,7
		L _{B.4}	0,45	S _{B.4}	18,35
		L _{B.5}	0,69	S _{B.5}	12,47
		L _{B.6}	0,83	S _{B.6}	12,1
	Classe de perméabilité	L _{B.1}	Lente	S _{B.1}	Rapide
		L _{B.2}	Lente	S _{B.2}	Rapide
		L _{B.3}	Lente	S _{B.3}	Rapide
		L _{B.4}	Lente	S _{B.4}	Rapide
		L _{B.5}	Assez lente	S _{B.5}	Assez rapide
		L _{B.6}	Assez lente	S _{B.6}	Assez rapide

Annexe 03 :

Mesures biométriques : Sol Sableux de la station CASSDEP de Baccaro (Tichy) :

Bloc 1 : 0 % (MO) + 0 Lombrics

Après le premier mois de la semence (Janvier)								
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur des tiges (cm)		Longueur des gousses (mm)	
a1	f1	61,49 mm	a1	36	a1	14,5 cm	a1	/
	f2	51,44 mm						
	f3	43,48 mm						
a2	f1	60,10 mm	a2	29	a2	13,2 cm	a2	/
	f2	59,64 mm						
	f3	49,44 mm						
b1	f1	67,34 mm	b1	19	b1	9,4 cm	b1	/
	f2	53,88 mm						
	f3	45,68 mm						
b2	f1	/	b2	/	b2	/	b2	/
	f2	/						
	f3	/						
c1	f1	62,07 mm	c1	20	c1	11,6 cm	c1	/
	f2	56,55 mm						
	f3	45,17 mm						
c2	f1	65,25 mm	c2	16	c2	11,4 cm	c2	/
	f2	55,08 mm						
	f3	44,52 mm						
d1	f1	61,12 mm	d1	25	d1	10 cm	d1	/
	f2	55,04 mm						
	f3	42,05 mm						
d2	f1	61,05 mm	d2	33	d2	14 cm	d2	/
	f2	54,48 mm						
	f3	53,41 mm						
Après le deuxième mois de la semence (Février)								
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)	
a1	f1	53,34 mm	a1	49	a1	17,82 cm	a1	/
	f2	49,76 mm						
	f3	48,95 mm						
a2	f1	48,49 mm	a2	55	a2	16,7 cm	a2	/
	f2	45,76 mm						
	f3	44,74 mm						
b1	f1	43,62 mm	b1	52	b1	13,6 cm	b1	/
	f2	40,95 mm						
	f3	39,71 mm						
b2	f1	31,57 mm	b2	66	b2	13,7 cm	b2	/
	f2	29,50 mm						
	f3	28,52 mm						
c1	f1	50,80 mm	c1	59	c1	18,9 cm	c1	/
	f2	47,77 mm						
	f3	47,58 mm						
c2	f1	68,35 mm	c2	67	c2	16,2 cm	c2	/
	f2	62,79 mm						
	f3	60,37 mm						
d1	f1	53,95 mm	d1	82	d1	14,52 cm	d1	/
	f2	53,58 mm						
	f3	49,29 mm						
d2	f1	/	d2	/	d2	/	d2	/
	f2	/						
	f3	/						

Après le troisième mois de la semence (Mars)									
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)		
a1	f1	57,21 mm	a1	218	a1	19,21 cm	a1	g1	27,47 mm
	f2	46,03 mm						g2	21,46 mm
	f3	32,06 mm						g3	18,45 mm
a2	f1	57,47 mm	a2	117	a2	32,6 cm	a2	g1	46,79 mm
	f2	46,43 mm						g2	43,48 mm
	f3	36,07 mm							
b1	f1	41,24 mm	b1	86	b1	20,5 cm	b1	/	
	f2	36,73 mm							
	f3	34,41 mm							
b2	f1	40,38 mm	b2	199	b2	28,3 cm	b2	g1	35,79 mm
	f2	33,39 mm						g2	30,45 mm
	f3	32,15 mm							
c1	f1	47,23 mm	c1	216	c1	32 cm	c1	/	
	f2	33,34 mm							
	f3	33,40 mm							
c2	f1	54,27 mm	c2	235	c2	33,3 cm	c2	g1	29,57 mm
	f2	42,00 mm						g2	28,47 mm
	f3	31,44 mm						g3	25,79 mm
d1	f1	50,02 mm	d1	283	d1	34,5 cm	d1	/	
	f2	48,16 mm							
	f3	34,08 mm							
d2	f1	/	d2	/	d2	/	d2	/	
	f2	/							
	f3	/							
Après le quatrième mois de la semence (Avril)									
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)		
a1	f1	35,15 mm	a1	159	a1	22,6 cm	a1	/	
	f2	34,12 mm							
	f3	32,28 mm							
a2	f1	/	a2	155	a2	33,7 cm	a2	/	
	f2	/							
	f3	/							
b1	f1	35,06 mm	b1	157	b1	21,5 cm	b1	/	
	f2	31,09 mm							
	f3	30,17 mm							
b2	f1	42,22 mm	b2	208	b2	37,6 cm	b2	/	
	f2	41,50 mm							
	f3	30,11 mm							
c1	f1	43,08 mm	c1	241	c1	39,2 cm	c1	/	
	f2	32,16 mm							
	f3	32,03 mm							
c2	f1	43,13 mm	c2	242	c2	46 cm	c2	/	
	f2	33,14 mm							
	f3	30,06 mm							
d1	f1	/	d1	337	d1	39,5 cm	d1	/	
	f2	/							
	f3	/							
d2	f1	/	d2	/	d2	/	d2	/	
	f2	/							
	f3	/							

Bloc 2 : 2 % (MO) + 0 Lombrics

Après le premier mois de la semence (Janvier)								
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)	
a1	f1	71,78 mm	a1	25	a1	15,5 cm	a1	/
	f2	70,84 mm						
	f3	60,31 mm						
a2	f1	60,25 mm	a2	26	a2	14,5 cm	a2	/
	f2	59,30 mm						
	f3	58,10 mm						
b1	f1	66,68 mm	b1	40	b1	13,2 cm	b1	/
	f2	63,54 mm						
	f3	60,85 mm						
b2	f1	59,53 mm	b2	18	b2	11 cm	b2	/
	f2	57,73 mm						
	f3	56,54 mm						
c1	f1	70,04 mm	c1	30	c1	11 cm	c1	/
	f2	62,86 mm						
	f3	62,52 mm						
c2	f1	63,54 mm	c2	28	c2	11,5 cm	c2	/
	f2	62,09 mm						
	f3	61,59 mm						
d1	f1	68,10 mm	d1	21	d1	13,5 cm	d1	/
	f2	65,38 mm						
	f3	61,95 mm						
d2	f1	67,24 mm	d2	32	d2	13,5 cm	d2	/
	f2	66,22 mm						
	f3	65,48 mm						
Après le deuxième mois de la semence (Février)								
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)	
a1	f1	79,71 mm	a1	166	a1	18,4 cm	a1	/
	f2	77,87 mm						
	f3	75,11 mm						
a2	f1	77,11 mm	a2	133	a2	15,4 cm	a2	/
	f2	72,32 mm						
	f3	52,52 mm						
b1	f1	84,57 mm	b1	167	b1	13,6 cm	b1	/
	f2	81,72 mm						
	f3	81,01 mm						
b2	f1	60,19 mm	b2	87	b2	16,3 cm	b2	/
	f2	59,52 mm						
	f3	58,39 mm						
c1	f1	66,76 mm	c1	92	c1	20,4 cm	c1	/
	f2	65,22 mm						
	f3	61,52 mm						
c2	f1	/	c2	/	c2	/	c2	/
	f2	/						
	f3	/						
d1	f1	83,37 mm	d1	83	d1	12,6 cm	d1	/
	f2	73,26 mm						
	f3	71,46 mm						
d2	f1	70,83 mm	d2	103	d2	14,8 cm	d2	/
	f2	39,94 mm						
	f3	36,56 mm						

Après le troisième mois de la semence (Mars)

Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)			
a1	f1	73,57 mm	a1	470	a1	40,5 cm	a1	g1	120,61 mm	
	f2	71,70 mm						g2	80,91 mm	
	f3	70,01 mm						g3	76,23 mm	
	g4		70,46 mm							
	g5		66,71 mm							
	g6		60,76 mm							
	g7		51,06 mm							
	g8		42,51 mm							
	g9		40,88 mm							
	g10		37,61 mm							
	g11		39,63 mm							
	g12		39,11 mm							
	g13		34,50 mm							
	g14		30,56 mm							
	g15		28,41 mm							
	g16		28,10 mm							
	g17		25,75 mm							
	g18	16,41 mm								
a1	f1	/	a1	/	a1	/	a1	/		
	f2	/								
	f3	/								
b1	f1	77,32 mm	b1	380	b1	43 cm	b1	g1	34,10 mm	
	f2	70,69 mm						g2	33,70 mm	
	f3	69,28 mm						g3	32,14 mm	
	g4		29,45 mm							
	g5		25,89 mm							
	g6		25,25 mm							
	g7		24,09 mm							
	g8		23,52 mm							
	g9		22,26 mm							
	g10		19,92 mm							
	g11		17,19 mm							
b2	f1		69,62 mm	b2	223	b2	45 cm	b2	g1	65,07 mm
	f2		66,58 mm						g2	64,65 mm
	f3	62,40 mm	g3						47,94 mm	
			g4	44,49 mm						
			g5	42,25 mm						
			g6	35,96 mm						
			g7	32,41 mm						
			g8	32,10 mm						
			g9	19,08 mm						
c1	f1	/	c1	/	c1	/	c1	/		
	f2	/								
	f3	/								
c2	f1	/	c2	/	c2	/	c2	/		
	f2	/								
	f3	/								
d1	f1	68,09 mm	d1	437	d1	30 cm	d1	/		
	f2	64,62 mm								
	f3	57,33 mm								
d2	f1	/	d2	/	d2	/	d2	/		
	f2	/								
	f3	/								

Après le quatrième mois de la semence (Avril)								
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)	
a1	f1	/	a1	/	a1	/	a1	/
	f2	/						
	f3	/						
a2	f1	/	a2	/	a2	/	a2	/
	f2	/						
	f3	/						
b1	f1	/	b1	/	b1	/	b1	/
	f2	/						
	f3	/						
b2	f1	/	b2	/	b2	/	b2	/
	f2	/						
	f3	/						
c1	f1	/	c1	/	c1	/	c1	/
	f2	/						
	f3	/						
c2	f1	/	c2	/	c2	/	c2	/
	f2	/						
	f3	/						
d1	f1	/	d1	/	d1	/	d1	/
	f2	/						
	f3	/						
d2	f1	/	d2	/	d2	/	d2	/
	f2	/						
	f3	/						

Bloc 3 : 4 % (MO) + 0 Lombrics

Après le premier mois de la semence (Janvier)								
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)	
a1	f1	74,27 mm	a1	30	a1	13,3 cm	a1	/
	f2	71,82 mm						
	f3	70,03 mm						
a2	f1	60,80 mm	a2	37	a2	12 cm	a2	/
	f2	59,76 mm						
	f3	56,77 mm						
b1	f1	75,17 mm	b1	48	b1	18,6 cm	b1	/
	f2	73,12 mm						
	f3	71,94 mm						
b2	f1	65,33 mm	b2	53	b2	17,1 cm	b2	/
	f2	60,14 mm						
	f3	58,69 mm						
c1	f1	71,43 mm	c1	24	c1	17,55 cm	c1	/
	f2	70,93 mm						
	f3	68,49 mm						
c2	f1	66,08 mm	c2	26	c2	20,5 cm	c2	/
	f2	63,72 mm						
	f3	62,02 mm						
d1	f1	72,76 mm	d1	24	d1	19 cm	d1	/
	f2	72,37 mm						
	f3	71,12 mm						
d2	f1	75,29 mm	d2	22	d2	17 cm	d2	/
	f2	73,59 mm						
	f3	69,98 mm						

Après le deuxième mois de la semence (Février)																	
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)										
a1	f1	/	a1	/	a1	/	a1	/	/								
	f2	/															
	f3	/															
a2	f1	/	a2	/	a2	/	a2	/	/								
	f2	/															
	f3	/															
b1	f1	/	b1	/	b1	/	b1	/	/								
	f2	/															
	f3	/															
b2	f1	/	b2	/	b2	/	b2	/	/								
	f2	/															
	f3	/															
c1	f1	64,83 mm	c1	129	c1	20,73 cm	c1	/	/								
	f2	62,29 mm															
	f3	59,91 mm															
c2	f1	73,22 mm	c2	154	c2	22,2 cm	c2	/	/								
	f2	72,97 mm															
	f3	71,67 mm															
d1	f1	77,31 mm	d1	66	d1	27,6 cm	d1	/	/								
	f2	69,26 mm															
	f3	62,28 mm															
d2	f1	71,25 mm	d2	77	d2	27,3 cm	d2	/	/								
	f2	68,66 mm															
	f3	64,17 mm															
Après le troisième mois de la semence (Mars)																	
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)										
a1	f1	/	a1	/	a1	/	a1	/	/								
	f2	/															
	f3	/															
a2	f1	/	a2	/	a2	/	a2	/	/								
	f2	/															
	f3	/															
b1	f1	/	b1	/	b1	/	b1	/	/								
	f2	/															
	f3	/															
b2	f1	/	b2	/	b2	/	b2	/	/								
	f2	/															
	f3	/															
c1	f1	84,44 mm	c1	701	c1	49 cm	c1	g1	44,90 mm								
	f2	82,31 mm						g2	44,42 mm								
		81,47 mm						g3	43,92 mm								
c2	f3	/	c2	/	c2	/	c2	g4	38,59 mm								
								g5	32,92 mm								
								g6	32,13 mm								
								g7	30,77 mm								
								g8	29,41 mm								
								g9	25,52 mm								
								g10	22,44 mm								
								g11	21,07 mm								
								g12	18,25 mm								
								d1	f1	82,90 mm	d1	305	d1	52,5 cm	d1	g1	94,97 mm
									f2	81,09 mm						g2	93,41 mm
										76,76 mm						g3	85,60 mm
d2	f3	/	d2	/	d2	/	d2	g4	49,25 mm								
								g5	28,68 mm								
								g6	27,38 mm								
								g7	26,45 mm								
								g8	23,04 mm								
								g9	21,62 mm								

d2	f1	/	d2	/	d2	/	d2	/
	f2	/		/				
	f3	/		/				
Après le quatrième mois de la semence (Avril)								
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)	
a1	f1	/	a1	/	a1	/	a1	/
	f2	/		/				
	f3	/		/				
a2	f1	/	a2	/	a2	/	a2	/
	f2	/		/				
	f3	/		/				
b1	f1	/	b1	/	b1	/	b1	/
	f2	/		/				
	f3	/		/				
b2	f1	/	b2	/	b2	/	b2	/
	f2	/		/				
	f3	/		/				
c1	f1	/	c1	/	c1	/	c1	/
	f2	/		/				
	f3	/		/				
c2	f1	/	c2	/	c2	/	c2	/
	f2	/		/				
	f3	/		/				
d1	f1	69,05 mm	d1	292	d1	47,8 cm	d1	/
	f2	66,44 mm		/				
	f3	65,85 mm		/				
d2	f1	/	d2	/	d2	/	d2	/
	f2	/		/				
	f3	/		/				

Bloc 4 : 0 % (MO) + 100 Lombrics

après le premier mois de la semence (Janvier)								
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)	
a1	f1	70,92 mm	a1	23	a1	27,87 cm	a1	/
	f2	70,07 mm						
	f3	68,48 mm						
a2	f1	77,23 mm	a2	25	a2	24,66 cm	a2	/
	f2	73,17 mm						
	f3	66,17 mm						
b1	f1	68,02 mm	b1	19	b1	35,68 cm	b1	/
	f2	66,50 mm						
	f3	64,80 mm						
b2	f1	75,76 mm	b2	30	b2	36,92 cm	b2	/
	f2	75,40 mm						
	f3	73,56 mm						
c1	f1	68,27 mm	c1	22	c1	23,79 cm	c1	/
	f2	67,90 mm						
	f3	67,10 mm						
c2	f1	/	c2	08	c2	13,96 cm	c2	/
	f2	/						
	f3	/						
d1	f1	/	d1	06	d1	11,98 cm	d1	/
	f2	/						
	f3	/						
d2	f1	68,69 mm	d2	20	d2	20,86 cm	d2	/
	f2	66,44 mm						
	f3	64,97 mm						

Après le deuxième mois de la semence (Février)									
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)		
a1	f1	71,22 mm	a1	113	a1	25,6 cm	a1	/	
	f2	65,42 mm							
	f3	60,33 mm							
a2	f1	/	a2	/	a2	/	a2	/	
	f2	/							
	f3	/							
b1	f1	66,81 mm	b1	94	b1	21 cm	b1	/	
	f2	62,62 mm							
	f3	61,74 mm							
b2	f1	65,40 mm	b2	/	b2	19 cm	b2	/	
	f2	56,32 mm							
	f3	54,04 mm							
c1	f1	70,82 mm	c1	87	c1	22,4 cm	c1	/	
	f2	64,56 mm							
	f3	63,15 mm							
c2	f1	64,30 mm	c2	114	c2	18,5 cm	c2	/	
	f2	64,05 mm							
	f3	62,28 mm							
d1	f1	62,73 mm	d1	96	d1	15,7 cm	d1	/	
	f2	61,60 mm							
	f3	60,60 mm							
d2	f1	62,55 mm	d2	97	d2	20,6 cm	d2	/	
	f2	60,55 mm							
	f3	61,73 mm							
Après le troisième mois de la semence (Mars)									
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)		
a1	f1	78,54 mm	a1	388	a1	50 cm	a1	g1	30,79 mm
	f2	77,48 mm						g2	29,94 mm
	f3	75,46 mm						g3	30,94 mm
								g4	33,48 mm
								g5	31,56 mm
								g6	31,15 mm
								g7	24,96 mm
g8	19,34 mm								
a2	f1	/	a2	/	a2	/	a2	/	
	f2	/							
	f3	/							
		90,37 mm						g1	23,86 mm

b1		80,84 mm	a2	473	a2	64 cm	a2	g2	27,89 mm
		76,74 mm						g3	25,87 mm
								g4	31,92 mm
								g5	22,83 mm
								g6	49,93 mm
								g7	51,29 mm
								g8	50,58 mm
								g9	29,53 mm
								g10	23,90 mm
								g11	45,20 mm
								g12	20,96 mm
								g13	30,12 mm
								g14	45,84 mm
								g15	30,73 mm
								g16	24,81 mm
								g17	25,97 mm
								g18	25,82 mm
								g19	32,58 mm
								g20	29,64 mm
								g21	46,72 mm
								g22	57,20 mm
								g23	46,84 mm
								g24	64,94 mm
								g25	27,69 mm
								g26	25,74 mm
								g27	22,49 mm
								g28	28,93 mm
								g29	31,13 mm
								g30	29,59 mm
								g31	33,09 mm
								g32	36,55 mm
								g33	37,33 mm
								g34	73,82 mm
								g35	25,91 mm
								g36	22,40 mm
								g37	33,18 mm
								g38	33,17 mm
								g39	47,04 mm
								g40	57,68 mm
	b2							f1	73,20 mm
f2		72,23 mm	g2	25,16 mm					
f3		72,22 mm	g3	16,95 mm					
			g4	35,72 mm					
			g5	71,22 mm					
			g6	18,20 mm					
			g7	52,75 mm					
			g8	55,19 mm					
			g9	29,32 mm					
			g10	61,70 mm					
			g11	28,38 mm					
c1	f1	74,71 mm	c1	274	c1	69 cm	c1	g1	19,04 mm
	f2	74,62 mm						g2	19,52 mm
	f3	73,76 mm						g3	38,72 mm
g4			20,87 mm						
g5			31,12 mm						
g6			41,17 mm						
g7			42,59 mm						
g8			46,86 mm						
g9			52,71 mm						
g10			40,54 mm						
g11			20,98 mm						
g12			23,25 mm						
g13			19,54 mm						
g14			35,80 mm						
g15	39,97 mm								
c2	f1	73,78 mm	c2	429	c2	65 cm	c2	g1	23,97 mm
	f2	72,25 mm						g2	28,95 mm
	f3							g3	76,25 mm
								g4	20,53 mm
								g5	27,53 mm

		72,01 mm						g6	56,56 mm
								g7	57,55 mm
								g8	23,66 mm
								g9	27,58 mm
								g10	52,14 mm
								g11	48,17 mm
								g12	45,63 mm
								g13	44,68 mm
								g14	72,47 mm
								g15	45,15 mm
d1	f1	88,90 mm	d1	371	d1	76 cm	d1	g1	28,22 mm
	f2	86,45 mm						g2	34,51 mm
	f3	76,36 mm						g3	41,15 mm
								g4	54,63 mm
								g5	84,15 mm
								g6	41,85 mm
								g7	59,49 mm
								g8	27,07 mm
								g9	32,25 mm
								g10	33,72 mm
								g11	38,98 mm
								g12	37,64 mm
								g13	38,43 mm
								g14	29,82 mm
								g15	32,93 mm
								g16	54,18 mm
								g17	45,19 mm
								g18	22,91 mm
								g19	30,45 mm
								g20	46,22 mm
								g21	42,92 mm
								g22	51,02 mm
								g23	73,01 mm
								g24	35,54 mm
								g25	49,54 mm
								g26	33,80 mm
								g27	59,19 mm
d2	f1	91,44 mm	d2	464	d2	58,8 cm	d2	g1	27,96 mm
	f2	86,95 mm						g2	35,53 mm
	f3	82,61 mm						g3	34,36 mm
								g4	44,32 mm
								g5	29,96 mm
								g6	15,02 mm
								g7	13,18 mm
								g8	22,18 mm
								g9	27,31 mm
								g10	41,34 mm
								g11	56,31 mm
								g12	17,60 mm
								g13	29,79 mm
								g14	31,47 mm
								g15	44,41 mm
								g16	33,14 mm
								g17	36,24 mm
								g18	20,03 mm
								g19	49,07 mm
								g20	76,35 mm
Après le quatrième mois de la semence (Avril)									
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)		
a1	f1	87,25 mm	a1	517	a1	76,4 cm	a1	/	
	f2	86,48 mm							
	f3	84,80 mm							
a2	f1	/	a2	/	a2	/	a2	/	
	f2	/							
	f3	/							

b1	f1	90,22 mm	b1	730	b1	79,85 cm	b1	/
	f2	89,63 mm						
	f3	85,77 mm						
b2	f1	68,60 mm	b2	868	b2	77,43 cm	b2	/
	f2	66,75 mm						
	f3	66,68 mm						
c1	f1	/	c1	305	c1	72,8 cm	c1	/
	f2	/						
	f3	/						
c2	f1	/	c2	566	c2	73,5 cm	c2	/
	f2	/						
	f3	/						
d1	f1	/	d1	354	d1	75 cm	d1	/
	f2	/						
	f3	/						
d2	f1	/	d2	517	d2	74,5 cm	d2	/
	f2	/						
	f3	/						

Bloc 5 : 2 % (MO) + 100 Lombrics

Après le premier mois de la semence (Janvier)								
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)	
a1	f1	67,94 mm	a1	20	a1	20,2 cm	a1	/
	f2	64,03 mm						
	f3	69,34 mm						
a2	f1	69,46 mm	a2	22	a2	20 cm	a2	/
	f2	67,69 mm						
	f3	66,34 mm						
b1	f1	67,52 mm	b1	23	b1	21,3 cm	b1	/
	f2	65,62 mm						
	f3	65,03 mm						
b2	f1	/	b2	6	b2	10 cm	b2	/
	f2	/						
	f3	/						
c1	f1	37,42 mm	c1	8	c1	16 cm	c1	/
	f2	36,54 mm						
	f3	35,71 mm						
c2	f1	/	c2	5	c2	8,5 cm	c2	/
	f2	/						
	f3	/						
d1	f1	70,93 mm	d1	36	d1	21,4 cm	d1	/
	f2	65,48 mm						
	f3	58,85 mm						
d2	f1	69,62 mm	d2	24	d2	21 cm	d2	/
	f2	68,60 mm						
	f3	66,92 mm						
Après le deuxième mois de la semence (Février)								
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)	
a1	f1	79,18 mm	a1	137	a1	23,2 cm	a1	/
	f2	77,61 mm						
	f3	77,10 mm						
a2	f1	71,54 mm	a2	100	a2	24,2 cm	a2	/
	f2	70,99 mm						
	f3	65,76 mm						
b1	f1	78,79 mm	b1	165	b1	25,1 cm	b1	/
	f2	75,89 mm						
	f3	74,65 mm						
b2	f1	55,83 mm	b2	94	b2	18,4 cm	b2	/
	f2	54,42 mm						
	f3	50,95 mm						

c1	f1	65,07 mm	c1	127	c1	21,3 cm	c1	/
	f2	62,74 mm						
	f3	62,36 mm						
c2	f1	57,02 mm	c2	87	c2	17,6 cm	c2	/
	f2	53,00 mm						
	f3	50,66 mm						
d1	f1	78,79 mm	d1	130	d1	25,2 cm	d1	/
	f2	70,81 mm						
	f3	63,71 mm						
d2	f1	77,06 mm	d2	106	d2	23,6 cm	d2	/
	f2	76,55 mm						
	f3	71,44 mm						

Après le troisième mois de la semence (Mars)

Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)		
a1	f1	84,01 mm	a1	550	a1	51 cm	a1	g1	23,51 mm
	f2	79,85 mm						g2	59,75 mm
	f3	76,22 mm						g3	88,65 mm
							g4	116,52 mm	
							g5	122,29 mm	
							g6	66,68 mm	
							g7	101,59 mm	
							g8	40,58 mm	
							g9	54,85 mm	
							g10	74,95 mm	
							g11	94,35 mm	
							g12	39,18 mm	
							g13	97,03 mm	
							g14	25,49 mm	
							g15	39,03 mm	
a2	f1	54,56 mm	a2	386	a2	46,49 cm	a2	g1	32,74 mm
	f2	54,18 mm						g2	51,23 mm
	f3	53,75 mm						g3	31,64 mm
							g4	32,18 mm	
							g5	69,16 mm	
							g6	52,26 mm	
							g7	79,49 mm	
							g8	56,34 mm	
							g9	16,89 mm	
							g10	24,62 mm	
							g11	20,48 mm	
							g12	41,93 mm	
							g13	26,50 mm	
b1	f1	61,30 mm	b1	609	b1	48,47 cm	b1	g1	26,22 mm
	f2	56,76 mm						g2	18,72 mm
	f3	56,24 mm						g3	25,05 mm
							g4	70,12 mm	
							g5	77,91 mm	
							g6	29,19 mm	
							g7	26,30 mm	
							g8	19,26 mm	
							g9	51,82 mm	
							g10	17,75 mm	
							g11	22,24 mm	
							g12	14,16 mm	
							g13	54,38 mm	
							g14	51,75 mm	
							g15	20,30 mm	
							g16	15,32 mm	
							g17	25,48 mm	
							g18	18,69 mm	
							g19	28,45 mm	
							g20	79,21 mm	
							g21	49,80 mm	

b2	f1	83,10 mm	b2	462	b2	64 cm	b2	g1	19,19 mm
	f2	80,31 mm						g2	21,86 mm
	f3	78,57 mm						g3	39,05 mm
c1	f1	80,65 mm	c1	598	c1	51,5 cm	c1	g4	20,73 mm
	f2	79,11 mm						g5	19,54 mm
	f3	78,48 mm						g6	38,08 mm
	g7							62,35 mm	
	g8							23,72 mm	
	g9							29,21 mm	
	g10							34,53 mm	
	g11							46,18 mm	
	g12							37,88 mm	
	g13							77,75 mm	
	g14							55,19 mm	
	g15							27,95 mm	
	g16							28,88 mm	
	g1							23,65 mm	
	g2							19,02 mm	
	g3							17,62 mm	
	g4							18,20 mm	
	g5							51,74 mm	
	g6							60,08 mm	
	g7							43,94 mm	
	g8							93,26 mm	
	g9							104,60 mm	
	g10							112,60 mm	
	g11							17,58 mm	
	g12							32,56 mm	
	g13							21,12 mm	
	g14							48,90 mm	
	g15							6293 mm	
	g16							66,67 mm	
	g17							54,67 mm	
	g18							43,94 mm	
	g19							16,03 mm	
	g20							13,07 mm	
	g21							15,99 mm	
g22	56,10 mm								
g23	41,53 mm								
g24	16,10 mm								
g25	26,24 mm								
g26	88,08 mm								
g27	64,32 mm								
g28	133,37 mm								
g29	119,77 mm								
g30	23,80 mm								
g31	27,61 mm								
g32	37,39 mm								
g33	45,09 mm								
g34	67,63 mm								
c2	f1	76,93 mm	c2	561	c2	56 cm	c2	g1	87,58 mm
	f2	74,30 mm						g2	84,13 mm
	f3	69,65 mm						g3	54,20 mm
g4	51,19 mm								
g5	49,88 mm								
g6	36,70 mm								
g7	70,50 mm								
g8	41,82 mm								
g9	16,91 mm								
g10	31,66 mm								
g11	97,79 mm								
g12	14,17 mm								
g13	37,10 mm								
g14	26,52 mm								
g15	33,12 mm								
g16	86,83 mm								
g17	25,55 mm								

d1	f1	73,73 mm	d1	397	d1	51,3 cm	d1	g1	21,15 mm	
	f2	72,31 mm						g2	20,96 mm	
	f3	71,70 mm						g3	26,63 mm	
	g4		22,73 mm							
	g5		27,20 mm							
	g6		74,20 mm							
	g7		84,38 mm							
	g8		74,31 mm							
	g9		25,62 mm							
	g10		41,85 mm							
	g11		43,67 mm							
	g12		22,40 mm							
	g13		14,36 mm							
	g14		20,26 mm							
	g15		57,37 mm							
	g16		39,13 mm							
	g17		60,88 mm							
	g18		90,47 mm							
	g19		19,13 mm							
	g20		43,59 mm							
	g21		15,81 mm							
d2	f1		75,72 mm	d2	248	d2	52,2 cm	d2	g1	24,27 mm
	f2		75,55 mm						g2	37,75 mm
	f3	71,22 mm	g3						32,67 mm	
	g4		52,27 mm							
	g5		76,95 mm							
	g6		29,42 mm							
	g7		31,49 mm							
	g8		32,78 mm							
	g9		37,46 mm							
	g10		54,19 mm							
	g11		23,42 mm							
	g12		29,74 mm							
	g13		33,48 mm							
	g14		33,46 mm							
	g15		59,44 mm							
	g16		105,41 mm							

Après le quatrième mois de la semence (Avril)

Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)	
a1	f1	69,80 mm	a1	524	a1	52,5 cm	a1	/
	f2	59,40 mm						
	f3	55,42 mm						
a2	f1	/	a2	357	a2	47 cm	a2	/
	f2	/						
	f3	/						
b1	f1	54,12 mm	b1	555	b1	47 cm	b1	/
	f2	53,42 mm						
	f3	47,55 mm						
b2	f1	78,41 mm	b2	457	b2	62,9 cm	b2	/
	f2	77,25 mm						
	f3	76,18 mm						
c1	f1	67,27 mm	c1	462	c1	48,9 cm	c1	/
	f2	65,01 mm						
	f3	57,20 mm						
c2	f1	58,55 mm	c2	599	c2	55 cm	c2	/
	f2	57,83 mm						
	f3	55,27 mm						
d1	f1	70,92 mm	d1	298	d1	53,9 cm	d1	/
	f2	69,80 mm						
	f3	67,06 mm						
d2	f1	78,81 mm	d2	380	d2	55,7 cm	d2	/
	f2	76,74 mm						
	f3	74,99 mm						

Bloc 6 : 4 % (MO) + 100 Lombrics

Après le premier mois de la semence (Janvier)								
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)	
a1	f1	77,80 mm	a1	28	a1	28,2 cm	a1	/
	f2	76,88 mm						
	f3	74,17 mm						
a2	f1	/	a2	/	a2	/	a2	/
	f2	/						
	f3	/						
b1	f1	74,74 mm	b1	23	b1	35,5 cm	b1	/
	f2	70,14 mm						
	f3	65,84 mm						
b2	f1	47,61 mm	b2	22	b2	21,4 cm	b2	/
	f2	44,19 mm						
	f3	41,88 mm						
c1	f1	73,52 mm	c1	30	c1	23,3 cm	c1	/
	f2	70,66 mm						
	f3	69,77 mm						
c2	f1	73,87 mm	c2	34	c2	31,6 cm	c2	/
	f2	73,00 mm						
	f3	72,70 mm						
d1	f1	106,75 mm	d1	29	d1	32,5 cm	d1	/
	f2	95,39 mm						
	f3	88,84 mm						
d2	f1	84,87 mm	d2	32	d2	28,4 cm	d2	/
	f2	83,46 mm						
	f3	75,39 mm						
Après le deuxième mois de la semence (Février)								
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)	
a1	f1	68,05 mm	a1	216	a1	27,5 cm	a1	/
	f2	66,74 mm						
	f3	56,01 mm						
a2	f1	59,69 mm	a2	118	a2	23,3 cm	a2	/
	f2	57,91 mm						
	f3	56,09 mm						
b1	f1	74,33 mm	b1	135	b1	25,4 cm	b1	/
	f2	65,98 mm						
	f3	61,47 mm						
b2	f1	63,38 mm	b2	130	b2	20,1 cm	b2	/
	f2	59,20 mm						
	f3	58,01 mm						
c1	f1	67,04 mm	c1	156	c1	25,7 cm	c1	/
	f2	65,63 mm						
	f3	64,41 mm						
c2	f1	80,94 mm	c2	130	c2	22 cm	c2	/
	f2	77,81 mm						
	f3	63,71 mm						
d1	f1	74,46 mm	d1	150	d1	19,62 cm	d1	/
	f2	71,78 mm						
	f3	67,51 mm						
d2	f1	65,28 mm	d2	140	d2	19,9 cm	d2	/
	f2	64,44 mm						
	f3	60,31 mm						

Après le troisième mois de la semence (Mars)

Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)		
a1	f1	87,88 mm	a1	413	a1	85,8 cm	a1	g1	26,79 mm
	f2	86,30 mm						g2	25,53 mm
	f3	85,91 mm						g3	33,05 mm
g4	50,01 mm								
g5	50,43 mm								
g6	107,28 mm								
g7	134,62 mm								
g8	21,95 mm								
g9	24,37 mm								
g10	38,77 mm								
g11	49,22 mm								
g12	42,54 mm								
g13	22,06 mm								
g14	21,71 mm								
g15	36,60 mm								
g16	31,39 mm								
g17	31,62 mm								
g18	28,13 mm								
g19	78,31 mm								
g20	70,42 mm								
g21	22,88 mm								
g22	32,52 mm								
g23	27,79 mm								
g24	17,04 mm								
g25	31,00 mm								
g26	47,80 mm								
g27	75,62 mm								
g28	66,71 mm								
g29	54,78 mm								
g30	23,11 mm								
g31	22,66 mm								
g32	29,21 mm								
g33	36,96 mm								
g34	56,99 mm								
g35	57,10 mm								
g36	77,08 mm								
g37	102,01 mm								
g38	98,25 mm								
g39	25,00 mm								
g40	31,63 mm								
g41	56,84 mm								
g42	83,36 mm								
g43	81,40 mm								
g44	27,94 mm								
g45	24,30 mm								
g46	27,55 mm								
g47	22,05 mm								
g48	37,22 mm								
g49	37,82 mm								
g50	25,83 mm								
g51	92,46 mm								
g52	42,56 mm								
g53	107,64 mm								
a2	f1	90,26 mm	a2	409	a2	94,8 cm	a2	g1	31,71 mm
	f2	88,40 mm						g2	41,84 mm
	f3							g3	75,06 mm
								g4	74,67 mm
								g5	116,04 mm
								g6	102,67 mm
								g7	65,63 mm
								g8	85,58 mm
								g9	20,69 mm
								g10	15,68 mm
								g11	19,76 mm
								g12	30,33 mm

		85,57 mm						g13	28,28 mm
								g14	53,34 mm
								g15	24,68 mm
								g16	18,21 mm
								g17	17,36 mm
								g18	72,63 mm
								g19	90,58 mm
								g20	119,27 mm
								g21	126,12 mm
b1	f1	81,85 mm	b1	895	b1	76,5 cm	b1	g1	17,65 mm
	f2	81,41 mm						g2	28,63 mm
	f3	71,82 mm						g3	15,80 mm
	g4		14,41 mm						
	g5		22,58 mm						
	g6		32,27 mm						
	g7		37,61 mm						
	g8		39,93 mm						
	g9		75,75 mm						
	g10		83,98 mm						
	g11		105,96 mm						
	g12		43,93 mm						
	g13		74,13 mm						
	g14		28,68 mm						
	g15		23,00 mm						
	g16		55,00 mm						
	g17		29,63 mm						
	g18		28,54 mm						
	g19		2032 mm						
	g20		23,74 mm						
	g21		29,49 mm						
	g22		33,58 mm						
	g23		62,16 mm						
	g24		88,50 mm						
	g25		85,12 mm						
	g26		18,12 mm						
	g27		19,77 mm						
	g28		79,76 mm						
	g29		25,40 mm						
	g30	66,23 mm							
	g31	79,55 mm							
	g32	15,66 mm							
	g33	27,83 mm							
	g34	16,21 mm							
	g35	21,33 mm							
	g36	21,76 mm							
	g37	27,30 mm							
	g38	24,00 mm							
	g39	39,36 mm							
	g40	42,05 mm							
	g41	61,45 mm							
	g42	111,30 mm							
	g43	91,65 mm							
	g44	25,91 mm							
	g45	20,34 mm							
	g46	21,26 mm							
	g47	19,61 mm							
	g48	18,56 mm							
	g49	24,70 mm							
	g50	36,15 mm							
	g51	30,94 mm							
	g52	90,27 mm							
	g53	83,09 mm							
	g54	79,60 mm							
	g55	15,37 mm							
	g56	22,44 mm							
	g57	24,18 mm							
	g58	18,49 mm							
	g59	22,31 mm							
	g60	18,28 mm							
	g61	24,25 mm							

								g62	30,21 mm
								g63	76,48 mm
								g64	84,74 mm
b2	f1	74,51 mm	b2	598	b2	59,95 cm	b2	g1	17,88 mm
	f2	74,14 mm						g2	29,48 mm
	f3	76,39 mm						g3	21,94 mm
								g4	20,50 mm
								g5	16,29 mm
								g6	29,50 mm
								g7	28,16 mm
								g8	18,55 mm
								g9	28,75 mm
								g10	23,68 mm
								g11	35,67 mm
								g12	18,44 mm
								g13	20,52 mm
								g14	42,62 mm
								g15	20,84 mm
								g16	46,84 mm
								g17	46,81 mm
								g18	17,88 mm
								g19	19,10 mm
								g20	19,08 mm
								g21	17,74 mm
								g22	26,34 mm
								g23	36,91 mm
								g24	45,23 mm
								g25	37,55 mm
c1	f1	80,92 mm	c1	863	c1	68,5 cm	c1	g1	16,75 mm
	f2	79,53 mm						g2	37,61 mm
	f3	78,33 mm						g3	33,69 mm
								g4	24,50 mm
								g5	89,95 mm
								g6	82,24 mm
								g7	21,44 mm
								g8	16,11 mm
								g9	28,68 mm
								g10	65,74 mm
								g11	106,20 mm
								g12	92,46 mm
								g13	18,75 mm
								g14	23,98 mm
								g15	16,76 mm
								g16	15,63 mm
								g17	87,92 mm
								g18	100,32 mm
								g19	23,55 mm
								g20	18,58 mm
								g21	33,67 mm
								g22	29,99 mm
								g23	68,81 mm
								g24	26,28 mm
								g25	97,34 mm
								g26	51,97 mm
								g27	95,24 mm
								g28	20,16 mm
								g29	21,19 mm
								g30	16,50 mm
								g31	19,09 mm
								g32	70,13 mm
								g33	100,55 mm
								g34	106,88 mm
								g35	102,06 mm
c2	f1	81,22 mm	c2	793	c2	51,75 cm	c2	g1	32,01 mm
	f2	78,61 mm						g2	53,44 mm
	f3	78,09 mm						g3	31,66 mm
								g4	52,44 mm

								g5	109,32 mm
								g6	105,90 mm
								g7	31,01 mm
								g8	34,56 mm
								g9	54,63 mm
								g10	51,63 mm
								g11	109,85 mm
								g12	107,11 mm
								g13	21,17 mm
								g14	15,65 mm
								g15	30,19 mm
								g16	44,45 mm
								g17	28,75 mm
								g18	40,62 mm
								g19	76,15 mm
								g20	24,88 mm
								g21	19,77 mm
								g22	51,09 mm
								g23	50,06 mm
								g24	86,21 mm
								g25	16,20 mm
								g26	23,52 mm
								g27	64,81 mm
								g28	14,75 mm
								g29	23,35 mm
								g30	31,89 mm
								g31	22,23 mm
								g23	31,45 mm
								g33	74,61 mm
								g34	96,89 mm
d1	f1	85,02 mm	d1	594	d1	62,7 cm	d1	g1	20,41 mm
	f2	84,77 mm						g2	27,90 mm
	f3	82,48 mm						g3	23,16 mm
								g4	18,83 mm
								g5	14,92 mm
								g6	17,12 mm
								g7	15,94 mm
								g8	34,35 mm
								g9	48,44 mm
								g10	68,43 mm
								g11	45,82 mm
								g12	30,73 mm
								g13	38,09 mm
								g14	57,97 mm
								g15	16,10 mm
								g16	20,37 mm
								g17	19,02 mm
								g18	20,07 mm
								g19	26,25 mm
								g20	33,47 mm
								g21	20,33 mm
								g22	38,00 mm
								g23	20,32 mm
								g24	20,18 mm
								g25	46,65 mm
								g26	32,87 mm
								g27	61,07 mm
								g28	66,44 mm
								g29	27,45 mm
								g30	22,67 mm
								g31	29,16 mm
								g32	29,19 mm
								g33	24,16 mm
								g34	28,07 mm
								g35	25,22 mm
								g36	46,77 mm
								g37	68,70 mm
								g38	37,92 mm

d2	f1	/	d2	/	d2	/	d2	/
	f2	/		/				
	f3	/		/				
Après le quatrième mois de la semence (Avril)								
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)	
a1	f1	84,55 mm	a1	815	a1	86 cm	a1	/
	f2	80,15 mm						
	f3	80,06 mm						
a2	f1	78,34 mm	a2	215	a2	77,3 cm	a2	/
	f2	73,73 mm						
	f3	72,17 mm						
b1	f1	79,83 mm	b1	668	b1	75,8 cm	b1	/
	f2	76,41 mm						
	f3	75,75 mm						
b2	f1	61,31 mm	b2	800	b2	68,8 cm	b2	/
	f2	59,70 mm						
	f3	59,54 mm						
c1	f1	/	c1	544	c1	72 cm	c1	/
	f2	/						
	f3	/						
c2	f1	75,05 mm	c2	636	c2	53,5 cm	c2	/
	f2	72,62 mm						
	f3	63,80 mm						
d1	f1	78,72 mm	d1	639	d1	80,4 cm	d1	/
	f2	78,72 mm						
	f3	76,64 mm						
d2	f1	/	d2	/	d2	/	d2	/
	f2	/						
	f3	/						

Annexe 04 :

Mesures biométriques : Sol Limono-argileux de la station Pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine) :

Bloc 1 : 0 % (MO) + 0 Lombrics

Après le premier mois de la semence (Janvier)								
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)	
a1	f1	37,55 mm	a1	18	a1	15,5 cm	a1	/
	f2	37,07 mm						
	f3	29,47 mm						
a2	f1	54,60 mm	a2	14	a2	17 cm	a2	/
	f2	55,36 mm						
	f3	23,68 mm						
b1	f1	50,40 mm	b1	32	b1	22,8 cm	b1	/
	f2	51,69 mm						
	f3	45,75 mm						
b2	f1	43,51 mm	b2	27	b2	18 cm	b2	/
	f2	43,55 mm						
	f3	43,33 mm						
c1	f1	27,61 mm	c1	10	c1	7,3 cm	c1	/
	f2	28,23 mm						
	f3	20,60 mm						
c2	f1	/	c2	/	c2	/	c2	/
	f2	/						
	f3	/						
d1	f1	34,52 mm	d1	13	d1	12,8 cm	d1	/
	f2	31,40 mm						
	f3	31,04 mm						
d2	f1	43,34 mm	d2	16	d2	14,9 cm	d2	/
	f2	44,60 mm						
	f3	42,21 mm						
Après le deuxième mois de la semence (Février)								
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)	
a1	f1	45,00 mm	a1	34	a1	18 cm	a1	/
	f2	40,00 mm						
	f3	22,80 mm						
a2	f1	46,00 mm	a2	26	a2	16,5 cm	a2	/
	f2	42,00 mm						
	f3	/						
b1	f1	/	b1	/	b1	/	b1	/
	f2	/						
	f3	/						
b2	f1	/	b2	/	b2	/	b2	/
	f2	/						
	f3	/						
c1	f1	/	c1	/	c1	/	c1	/
	f2	/						
	f3	/						
c2	f1	/	c2	/	c2	/	c2	/
	f2	/						
	f3	/						
d1	f1	/	d1	/	d1	/	d1	/
	f2	/						
	f3	/						
d2	f1	/	d2	/	d2	/	d2	/
	f2	/						
	f3	/						

Après le troisième mois de la semence (Mars)

Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)		
a1	f1	51,58 mm	a1	81	a1	35,8 cm	a1	/	
	f2	51,20 mm							
	f3	51,25 mm							
a2	f1	36,66 mm	a2	86	a2	30,6 cm	a2	g1	29,76 mm
	f2	36,72 mm						g2	82,06 mm
	f3	36,08 mm							
b1	f1	/	b1	/	b1	/	b1	/	
	f2	/							
	f3	/							
b2	f1	/	b2	/	b2	/	b2	/	
	f2	/							
	f3	/							
c1	f1	/	c1	/	c1	/	c1	/	
	f2	/							
	f3	/							
c2	f1	/	c2	/	c2	/	c2	/	
	f2	/							
	f3	/							
d1	f1	/	d1	/	d1	/	d1	/	
	f2	/							
	f3	/							
d2	f1	/	d2	/	d2	/	d2	/	
	f2	/							
	f3	/							

Après le quatrième mois de la semence (Avril)

Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)		
a1	f1	57,62 mm	a1	71	a1	43 cm	a1	g1	78,30 mm
	f2	56,81 mm						g2	37,34 mm
	f3	56,10 mm							
a2	f1	36,51 mm	a2	77	a2	29,6 cm	a2	/	
	f2	36,34 mm							
	f3	35,35 mm							
b1	f1	/	b1	/	b1	/	b1	/	
	f2	/							
	f3	/							
b2	f1	/	b2	/	b2	/	b2	/	
	f2	/							
	f3	/							
c1	f1	/	c1	/	c1	/	c1	/	
	f2	/							
	f3	/							
c2	f1	/	c2	/	c2	/	c2	/	
	f2	/							
	f3	/							
d1	f1	/	d1	/	d1	/	d1	/	
	f2	/							
	f3	/							
d2	f1	/	d2	/	d2	/	d2	/	
	f2	/							
	f3	/							

Bloc 2 : 2 % (MO) + 0 Lombrics

Après le premier mois de la semence (Janvier)									
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)		
a1	f1	53,20 mm	a1	15	a1	21,7 cm	a1	/	
	f2	46,28 mm							
	f3	44,62 mm							
a2	f1	37,88 mm	a2	16	a2	11,8 cm	a2	/	
	f2	/							
	f3	/							
b1	f1	45,45 mm	b1	17	b1	16 cm	b1	/	
	f2	38,55 mm							
	f3	37,85 mm							
b2	f1	38,73 mm	b2	17	b2	20,4 cm	b2	/	
	f2	38,45 mm							
	f3	36,84 mm							
c1	f1	47,75 mm	c1	14	c1	14,8 cm	c1	/	
	f2	32,25 mm							
	f3	35,28 mm							
c2	f1	51,15 mm	c2	15	c2	15,6 cm	c2	/	
	f2	46,32 mm							
	f3	45,77 mm							
d1	f1	55,26 mm	d1	16	d1	16,5 cm	d1	/	
	f2	45,24 mm							
	f3	40,55 mm							
d2	f1	58,44 mm	d2	18	d2	19 cm	d2	/	
	f2	54,99 mm							
	f3	45,51 mm							
Après le deuxième mois de la semence (Février)									
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)		
a1	f1	78,11 mm	a1	18	a1	29,9 cm	a1	/	
	f2	77,01 mm							
	f3	66,00 mm							
a2	f1	52,21 mm	a2	21	a2	17,8 cm	a2	/	
	f2	/							
	f3	/							
b1	f1	65,10 mm	b1	21	b1	26 cm	b1	/	
	f2	56,11 mm							
	f3	54,12 mm							
b2	f1	62,11 mm	b2	31	b2	27 cm	b2	/	
	f2	52,11 mm							
	f3	45,11 mm							
c1	f1	67,31 mm	c1	22	c1	25 cm	c1	/	
	f2	66,01 mm							
	f3	64,11 mm							
c2	f1	/	c2	17	c2	22,2 cm	c2	/	
	f2	/							
	f3	/							
d1	f1	79,01 mm	d1	30	d1	27,09 cm	d1	/	
	f2	67,22 mm							
	f3	65,10 mm							
d2	f1	79,11 mm	d2	/	d2	29,65 cm	d2	/	
	f2	72,12 mm							
	f3	67,02 mm							

Après le troisième mois de la semence (Mars)									
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)		
a1	f1	74,83 mm	a1	122	a1	67,6 cm	a1	g1	101,32 mm
	f2	73,75 mm						g2	91,36 mm
	f3	69,16 mm						g3	61,67 mm
							g4	31,14 mm	
a2	f1	63,57 mm	a2	151	a2	52 cm	a2	/	
	f2	58,21 mm							
	f3	54,25 mm							
b1	f1	60,16 mm	b1	191	b1	54,35 cm	b1	g1	108,89 mm
								g2	91,94 mm
	f2	58,25 mm						g3	34,63 mm
	f3	55,09 mm						g4	31,26 mm
								g5	61,10 mm
g6			58,83 mm						
		g7	27,15 mm						
		g8	21,89 mm						
b2	f1	42,03 mm	b2	165	b2	47 cm	b2	g1	49,13 mm
	f2	41,54 mm						g2	11,35 mm
	f3	38,97 mm							
c1	f1	71,90 mm	c1	313	c1	60,9 cm	c1	g1	64,89 mm
	f2	65,81 mm						g2	58,69 mm
	f3	62,52 mm						g3	54,21 mm
							g4	45,65 mm	
							g5	34,71 mm	
c2	f1	/	c2	/	c2	/	c2	/	
	f2	/							
	f3	/							
d1	f1	59,22 mm	d1	227	d1	47,9 cm	d1	g1	62,82 mm
	f2	58,11 mm						g2	55,82 mm
	f3	55,89 mm						g3	43,80 mm
							g4	31,46 mm	
d2	f1	/	d2	/	d2	/	d2	/	
	f2	/							
	f3	/							
Après le quatrième mois de la semence (Avril)									
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)		
a1	f1	/	a1	/	a1	/	a1	/	
	f2	/							
	f3	/							
a2	f1	/	a2	/	a2	/	a2	/	
	f2	/							
	f3	/							
b1	f1	/	b1	/	b1	54 cm	b1	g1	66,90 mm
	f2	/						g2	66,80 mm
	f3	/						g3	42,05 mm
								g4	40,44 mm
								g5	37,63 mm
b2	f1	/	b2	/	b2	/	b2	/	
	f2	/							
	f3	/							
c1	f1	/	c1	/	c1	/	c1	/	
	f2	/							
	f3	/							
c2	f1	/	c2	/	c2	/	c2	/	
	f2	/							
	f3	/							

d1	f1	56,73 mm	d1	264	d1	49,3 cm	d1	g1	67,35 mm
	f2	53,27 mm						g2	66,83 mm
	f3	51,14 mm						g3	29,52 mm
d2	f1	/	d2	/	d2	/	d2	/	
	f2	/							
	f3	/							

Bloc 3 : 4 % (MO) + 0 Lombrics

Après le premier mois de la semence (Janvier)									
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)		
a1	f1	54,78 mm	a1	12	a1	14,8 cm	a1	/	
	f2	46,29 mm							
	f3	43,33 mm							
a2	f1	57,12 mm	a2	16	a2	17,9 cm	a2	/	
	f2	46,41 mm							
	f3	46,17 mm							
b1	f1	59,06 mm	b1	18	b1	17,8 cm	b1	/	
	f2	53,91 mm							
	f3	47,03 mm							
b2	f1	54,73 mm	b2	21	b2	19,9 cm	b2	/	
	f2	42,03 mm							
	f3	48,25 mm							
c1	f1	37,15 mm	c1	15	c1	15,9 cm	c1	/	
	f2	37,50 mm							
	f3	33,75 mm							
c2	f1	/	c2	/	c2	/	c2	/	
	f2	/							
	f3	/							
d1	f1	53,21 mm	d1	18	d1	11,5 cm	d1	/	
	f2	45,28 mm							
	f3	47,51 mm							
d2	f1	54,80 mm	d2	19	d2	11,6 cm	d2	/	
	f2	44,47 mm							
	f3	42,15 mm							
Après le deuxième mois de la semence (Février)									
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)		
a1	f1	71,02 mm	a1	9	a1	16,2 cm	a1	/	
	f2	64,01 mm							
	f3	57,12 mm							
a2	f1	61,74 mm	a2	36	a2	25,58 cm	a2	/	
	f2	62,37 mm							
	f3	53,25 mm							
b1	f1	64,02 mm	b1	61	b1	24,81 cm	b1	/	
	f2	63,60 mm							
	f3	61,48 mm							
b2	f1	66,18 mm	b2	51	b2	28,12 cm	b2	/	
	f2	62,99 mm							
	f3	50,90 mm							
c1	f1	87,15 mm	c1	34	c1	23,7 cm	c1	/	
	f2	82,67 mm							
	f3	79,79 mm							
c2	f1	73,02 mm	c2	54	c2	32,2 cm	c2	/	
	f2	72,97 mm							
	f3	71,67 mm							
d1	f1	77,31 mm	d1	37	d1	31,6 cm	d1	/	
	f2	69,26 mm							
	f3	61,28 mm							
d2	f1	71,10 mm	d2	47	d2	31,3 cm	d2	/	
	f2	68,66 mm							
	f3	64,17 mm							

Après le troisième mois de la semence (Mars)

Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)		
a1	f1	77,41 mm	a1	394	a1	52,67 cm	a1	g1	59,73 mm
	f2	78,16 mm						g2	58,27 mm
	f3	67,12 mm						g3	35,39 mm
a2	f1	/	a2	/	a2	/	a2	/	
	f2	/							
	f3	/							
b1	f1	83,80 mm	b1	689	b1	54,5 cm	b1	g1	53,77 mm
	f2	78,16 mm						g2	45,98 mm
	f3	76,80 mm						g3	44,92 mm
								g4	41,09 mm
								g5	39,26 mm
								g6	34,26 mm
								g7	30,69 mm
								g8	36,35 mm
b2	f1	90,82 mm	b2	455	b2	54 cm	b2	g1	64,07 mm
	f2	88,48 mm						g2	53,16 mm
	f3	80,72 mm						g3	45,58 mm
								g4	40,85 mm
								g5	37,91 mm
								g6	34,30 mm
								g7	39,31 mm
								g8	27,48 mm
								g9	27,15 mm
								g10	26,35 mm
								g11	26,00 mm
								g12	24,93 mm
								g13	22,20 mm
								g14	16,71 mm
c1	f1	120,83 mm	c1	137	c1	64,1 cm	c1	g1	73,58 mm
	f2	110,33 mm						g2	71,00 mm
								g3	56,70 mm
								g4	56,65 mm
								g6	51,67 mm
								g7	32,19 mm
								g8	23,59 mm
								g9	22,18 mm
								g10	22,15 mm
c2	f1	89,07 mm	c2	528	c2	72 cm	c2	g1	84,34 mm
	f2	80,60 mm						g2	59,94 mm
	f3	77,76 mm						g3	56,35 mm
								g4	43,15 mm
								g5	32,31 mm
								g6	58,63 mm
d1	f1	68,25 mm	d1	214	d1	50,67 cm	d1	g1	23,17 mm
	f2	61,99 mm							
	f3	60,99 mm							
d2	f1	78,71 mm	d2	233	d2	47,57 cm	d2	g1	102,71 mm
	f2	75,62 mm						g2	107,56 mm
	f3	72,82 mm						g3	89,85 mm
								g4	70,02 mm
								g5	38,34 mm

Après le quatrième mois de la semence (Avril)								
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)	
a1	f1	59,51 mm	a1	113	a1	52 cm	a1	/
	f2	58,72 mm						
	f3	58,83 mm						
a2	f1	/	a2	/	a2	/	a2	/
	f2	/						
	f3	/						
b1	f1	/	b1	/	b1	/	b1	/
	f2	/						
	f3	/						
b2	f1	/	b2	/	b2	/	b2	/
	f2	/						
	f3	/						
c1	f1	/	c1	/	c1	/	c1	/
	f2	/						
	f3	/						
c2	f1	/	c2	/	c2	/	c2	/
	f2	/						
	f3	/						
d1	f1	/	d1	/	d1	/	d1	/
	f2	/						
	f3	/						
d2	f1	/	d2	/	d2	/	d2	/
	f2	/						
	f3	/						

Bloc 4 : 0 % (MO) + 100 Lombrics

Après le premier mois de la semence (Janvier)								
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Diamètre de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)	
a1	f1	75,29 mm	a1	23	a1	28,5 cm	a1	/
	f2	71,14 mm						
	f3	56,43 mm						
a2	f1	73,20 mm	a2	21	a2	29,6 cm	a2	/
	f2	71,19 mm						
	f3	63,76 mm						
b1	f1	61,34 mm	b1	15	b1	21,4 cm	b1	/
	f2	59,48 mm						
	f3	59,16 mm						
b2	f1	74,59 mm	b2	19	b2	26,5 cm	b2	/
	f2	63,10 mm						
	f3	62,28 mm						
c1	f1	67,01 mm	c1	23	c1	20 cm	c1	/
	f2	66,88 mm						
	f3	66,62 mm						
c2	f1	/	c2	/	c2	/	c2	/
	f2	/						
	f3	/						
d1	f1	/	d1	18	d1	24,85 cm	d1	/
	f2	/						
	f3	/						
d2	f1	70,68 mm	d2	19	d2	28 cm	d2	/
	f2	67,73 mm						
	f3	65,50 mm						

Après le deuxième mois de la semence (Février)									
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)		
a1	f1	/	a1	/	a1	/	a1	/	
	f2	/							
	f3	/							
a2	f1	/	a2	/	a2	/	a2	/	
	f2	/							
	f3	/							
b1	f1	71,23 mm	b1	41	b1	33,6 cm	b1	/	
	f2	69,99 mm							
	f3	55,42 mm							
b2	f1	56,99 mm	b2	37	b2	39,6 cm	b2	/	
	f2	53,46 mm							
	f3	50,87 mm							
c1	f1	55,67 mm	c1	39	c1	37,8 cm	c1	/	
	f2	51,24 mm							
	f3	/							
c2	f1	/	c2	/	c2	/	c2	/	
	f2	/							
	f3	/							
d1	f1	/	d1	/	d1	/	d1	/	
	f2	/							
	f3	/							
d2	f1	/	d2	/	d2	/	d2	/	
	f2	/							
	f3	/							
Après le troisième mois de la semence (Mars)									
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)		
a1	f1	/	a1	/	a1	/	a1	/	
	f2	/							
	f3	/							
a2	f1	/	a2	/	a2	/	a2	/	
	f2	/							
	f3	/							
b1	f1	36,48 mm	b1	97	b1	47 cm	b1	/	
	f2	33,99 mm							
	f3	33,97 mm							
b2	f1	37,96 mm	b2	76	b2	49,2 cm	b2	47,50 mm	
	f2	37,84 mm							
	f3	35,76 mm							
c1	f1	/	c1	/	c1	/	c1	/	
	f2	/							
	f3	/							
c2	f1	/	c2	/	c2	/	c2	/	
	f2	/							
	f3	/							
d1	f1	/	d1	/	d1	/	d1	/	
	f2	/							
	f3	/							
d2	f1	/	d2	/	d2	/	d2	/	
	f2	/							
	f3	/							

Après le quatrième mois de la semence (Avril)								
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)	
a1	f1	/	a1	/	a1	/	a1	/
	f2	/						
	f3	/						
a2	f1	/	a2	/	a2	/	a2	/
	f2	/						
	f3	/						
b1	f1	/	b1	/	b1	/	b1	/
	f2	/						
	f3	/						
b2	f1	/	b2	/	b2	/	b2	/
	f2	/						
	f3	/						
c1	f1	/	c1	/	c1	/	c1	/
	f2	/						
	f3	/						
c2	f1	/	c2	/	c2	/	c2	/
	f2	/						
	f3	/						
d1	f1	/	d1	/	d1	/	d1	/
	f2	/						
	f3	/						
d2	f1	/	d2	/	d2	/	d2	/
	f2	/						
	f3	/						

Bloc 5 : 2 % (MO) + 100 Lombrics

Après le premier mois de la semence (Janvier)								
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)	
a1	f1	78,87 mm	a1	25	a1	40,4 cm	a1	/
	f2	77,25 mm						
	f3	76,36 mm						
a2	f1	65,12 mm	a2	13	a2	15,8 cm	a2	/
	f2	63,36 mm						
	f3	62,00 mm						
b1	f1	61,12 mm	b1	16	b1	19,9 cm	b1	/
	f2	61,04 mm						
	f3	58,30 mm						
b2	f1	82,64 mm	b2	25	b2	29 cm	b2	/
	f2	78,63 mm						
	f3	78,29 mm						
c1	f1	77,40 mm	c1	18	c1	20,6 cm	c1	/
	f2	71,09 mm						
	f3	64,50 mm						
c2	f1	68,18 mm	c2	12	c2	17,7 cm	c2	/
	f2	67,31 mm						
	f3	62,50 mm						
d1	f1	79,37 mm	d1	24	d1	34,6 cm	d1	/
	f2	76,49 mm						
	f3	61,92 mm						
d2	f1	89,39 mm	d2	16	d2	24,3 cm	d2	/
	f2	78,04 mm						
	f3	78,03 mm						

Après le deuxième mois de la semence (Février)								
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)	
a1	f1	/	a1	/	a1	/	a1	/
	f2	/						
	f3	/						
a2	f1	65,05 mm	a2	29	a2	39,7 cm	a2	/
	f2	59,31 mm						
	f3	48,89 mm						
b1	f1	76,43 mm	b1	45	b1	36,5 cm	b1	/
	f2	75,43 mm						
	f3	73,76 mm						
b2	f1	95,14 mm	b2	49	b2	47,1 cm	b2	/
	f2	87,65 mm						
	f3	83,19 mm						
c1	f1	71,55 mm	c1	48	c1	45,7 cm	c1	/
	f2	66,12 mm						
	f3	64,69 mm						
c2	f1	66,90 mm	c2	41	c2	33,8 cm	c2	/
	f2	66,53 mm						
	f3	64,65 mm						
d1	f1	/	d1	/	d1	28 cm	d1	/
	f2	/						
	f3	/						
d2	f1	41,13 mm	d2	14	d2	37 cm	d2	/
	f2	33,47 mm						
	f3	32,72 mm						

Après le troisième mois de la semence (Février)									
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)		
a1	f1	/	a1	/	a1	/	a1	/	
	f2	/							
	f3	/							
a2	f1	52,47 mm	a2	145	a2	42,9 cm	a2	/	
	f2	52,44 mm							
	f3	51,11 mm							
b1	f1	85,86 mm	b1	374	b1	73,85 cm	b1	g1	60,55 mm
	f2	77,59 mm						g2	55,72 mm
	f3	76,41 mm						g3	81,31 mm
b2	f1	87,69 mm	b2	473	b2	81,5 cm	b2	g1	22,63 mm
	f2	81,63 mm							
	f3	76,54 mm							
c1	f1	81,07 mm	c1	257	c1	85,3 cm	c1	g1	90,75 mm
	f2	77,81 mm						g2	81,43 mm
	f3	77,51 mm						g3	46,46 mm
c2	f1	90,90 mm	c2	486	c2	78,8 cm	c2	g4	30,47 mm
		87,22 mm						g5	27,24 mm
	f3	85,32 mm						g6	51,44 mm
		g7						50,91 mm	
		g8						42,30 mm	
		g9						40,70 mm	
		g10						34,94 mm	
		g11						31,36 mm	
		g12						26,10 mm	
		g13						25,21 mm	
		g14						23,23 mm	

							g15	19,97 mm
							g16	18,04 mm
d1	f1	/	d1	/	d1	/	d1	/
	f2	/						
	f3	/						
d2	f1	50,80 mm	d2	130	d2	48 cm	d2	/
	f2	50,44 mm						
	f3	49,55 mm						

Après le quatrième mois de la semence (Avril)									
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)		
a1	f1	/	a1	/	a1	/	a1	/	/
	f2	/							
	f3	/							
a2	f1	/	a2	/	a2	/	a2	/	/
	f2	/							
	f3	/							
b1	f1	/	b1	/	b1	/	b1	/	/
	f2	/							
	f3	/							
b2	f1	/	b2	/	b2	/	b2	/	/
	f2	/							
	f3	/							
c1	f1	75,23 mm	c1	164	c1	86 cm	c1	/	/
	f2	72,77 mm							
	f3	77,51 mm							
c2	f1	/	c2	/	c2	/	c2	/	/
	f2	/							
	f3	/							
d1	f1	/	d1	/	d1	/	d1	/	/
	f2	/							
	f3	/							
d2	f1	76,59 mm	d2	105	d2	67,5 cm	d2	/	/
	f2	75,65 mm							
	f3	70,76 mm							

Bloc 6 : 4 % (MO) + 100 Lombrics

Après le premier mois de la semence (Janvier)									
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)		
a1	f1	77,18 mm	a1	13	a1	20,6 cm	a1	/	/
	f2	73,35 mm							
	f3	67,96 mm							
a2	f1	78,83 mm	a2	17	a2	20 cm	a2	/	/
	f2	78,52 mm							
	f3	63,48 mm							
b1	f1	79,43 mm	b1	19	b1	24,8 cm	b1	/	/
	f2	73,69 mm							
	f3	69,96 mm							
b2	f1	78,76 mm	b2	14	b2	24,75 cm	b2	/	/
	f2	77,16 mm							
	f3	66,36 mm							
c1	f1	76,34 mm	c1	28	c1	23 cm	c1	/	/
	f2	76,16 mm							
	f3	68,65 mm							
c2	f1	74,67 mm	c2	23	c2	26,4 cm	c2	/	/
	f2	73,82 mm							
	f3	72,05 mm							
d1	f1	76,77 mm	d1	16	d1	23 cm	d1	/	/
	f2	75,63 mm							

	f3	63,18 mm						/
d2	f1	75,18 mm	d2	20	d2	33 cm	d2	/
	f2	72,72 mm						
	f3	62,15 mm						
Après le deuxième mois de la semence (Février)								
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)	
a1	f1	53,80 mm	a1	04	a1	37,1 cm	a1	/
	f2	31,03 mm						
	f3	21,00 mm						
a2	f1	33,20 mm	a2	06	a2	33,1 cm	a2	/
	f2	/						
	f3	/						
b1	f1	/	b1	/	b1	/	b1	/
	f2	/						
	f3	/						
b2	f1	75,55 mm	b2	42	b2	43,8 cm	b2	/
	f2	71,35 mm						
	f3	66,69 mm						
c1	f1	52,63 mm	c1	37	c1	45,3 cm	c1	/
	f2	51,46 mm						
	f3	50,20 mm						
c2	f1	/	c2	/	c2	25,8 cm	c2	/
	f2	/						
	f3	/						
d1	f1	52,08 mm	d1	30	d1	43,3 cm	d1	/
	f2	50,07 mm						
	f3	51,41 mm						
d2	f1	/	d2	/	d2	51,9 cm	d2	/
	f2	/						
	f3	/						

Après le troisième mois de la semence (Mars)									
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)		
a1	f1	/	a1	/	a1	/	a1	/	
	f2	/							
	f3	/							
a2	f1	42,29 mm	a2	79	a2	37 cm	a2	/	
	f2	40,99 mm							
	f3	38,89 mm							
b1	f1	/	b1	/	b1	/	b1	/	
	f2	/							
	f3	/							
b2	f1	111,72 mm	b2	188	b2	100 cm	b2	g1	105,58 mm
	f2	108,78 mm						g2	41,31 mm
	f3	105,90 mm						g3	62,36 mm
c1	f1	80,13 mm	c1	153	c1	87 cm	c1	g4	48,10 mm
	f2	79,39 mm						g5	22,55 mm
	f3	74,41 mm						g6	25,59 mm
c2	f1	/	c2	/	c2	/	c2	g7	25,57 mm
	f2	/						g8	24,01 mm
	f3	/						g9	19,98 mm
c1	f1	80,13 mm	c1	153	c1	87 cm	c1	g1	33,44 mm
	f2	79,39 mm						g2	28,28 mm
	f3	74,41 mm						g3	23,46 mm
c2	f1	/	c2	/	c2	/	c2	/	/
	f2	/							
	f3	/							

d1	f1	61,54 mm	d1	192	d1	86 cm	d1	g1	42,21 mm
	f2	56,46 mm						g2	38,38 mm
	f3	55,94 mm							
d2	f1	/	d2	/	d2	/	d2	/	
	f2	/							
	f3	/							

Après le quatrième mois de la semence (Avril)									
Longueur des trois feuilles les plus longues (mm)			Nombre total des feuilles		Longueur de la tige (cm)		Longueur des gousses (mm)		
a1	f1	/	a1	/	a1	/	a1	/	
	f2	/							
	f3	/							
a2	f1	/	a2	/	a2	/	a2	/	
	f2	/							
	f3	/							
b1	f1	/	b1	/	b1	/	b1	/	
	f2	/							
	f3	/							
b2	f1	/	b2	/	b2	/	b2	/	
	f2	/							
	f3	/							
c1	f1	/	c1	/	c1	/	c1	/	
	f2	/							
	f3	/							
c2	f1	/	c2	/	c2	/	c2	/	
	f2	/							
	f3	/							
d1	f1	/	d1	/	d1	/	d1	/	
	f2	/							
	f3	/							
d2	f1	/	d2	/	d2	/	d2	/	
	f2	/							
	f3	/							

Annexe 05 :



Photos n° 01 : Fèves en très mauvais état, asphyxiées par les mauvaises conditions édaphiques, avant la quatrième mesure. Pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine).



Photo n° 02 : Fèves en mauvais état, asphyxiés, après le passage du mauvais temps avant la quatrième mesure. Pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine).



Photo n° 03 : Fèves de couleur vert-jaunâtre, due probablement au manque d'Azote.
Pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine).

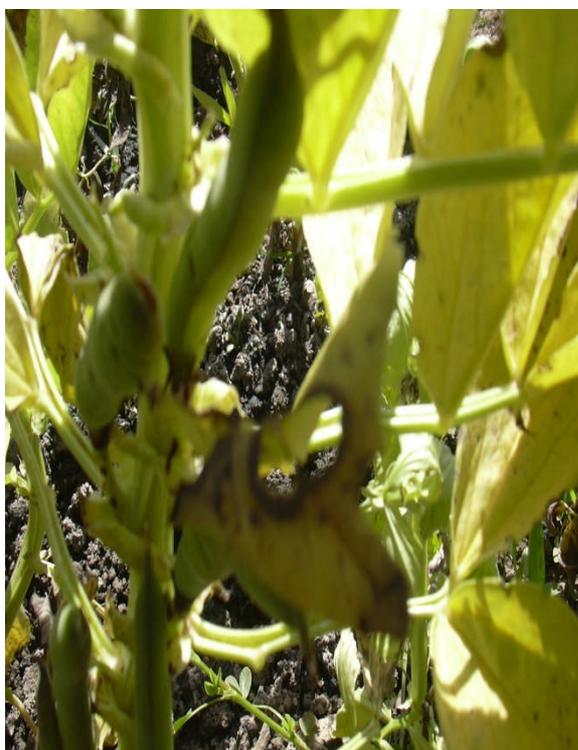


Photo n° 04 : Fèves, abimées par les ravageurs (cas des escargots et des pucerons).
Pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine).

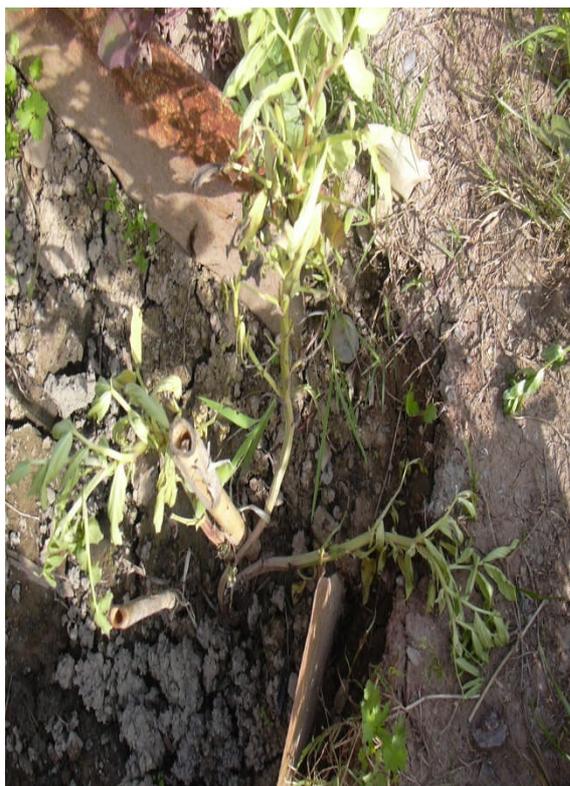


Photo 05 : Fèves abimées par des animaux (chiens, sanglier).
Pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine).

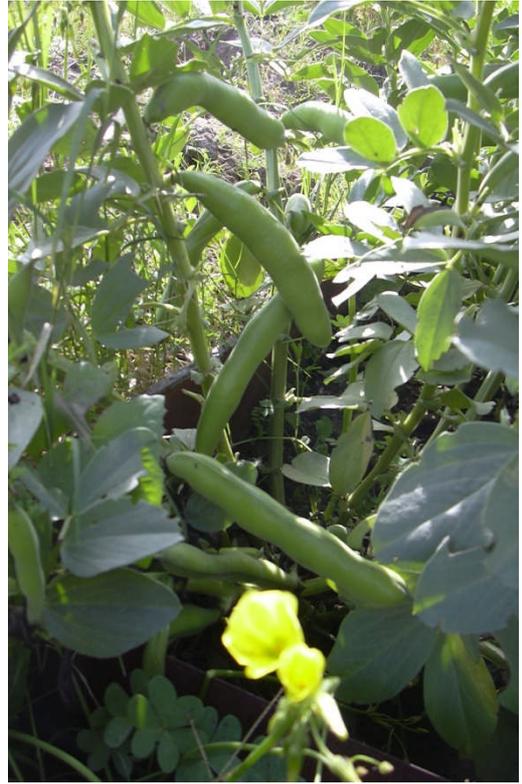


Photo n° 06 : Bloc expérimental n° 06 (04% MO + 100 Lombrics).
CASSDEP de Baccaro (Tichy).



Photo n° 07 : Bloc expérimental n°04 (0% MO + 100 Lombrics).
CASSDEP de Baccaro (Tichy).



Photo n° 08 : Un plan de fève fané, à cause d'une fourmilière au pied du plan.
Au quatrième mois. CASSDEP de Baccaro (Tichy).

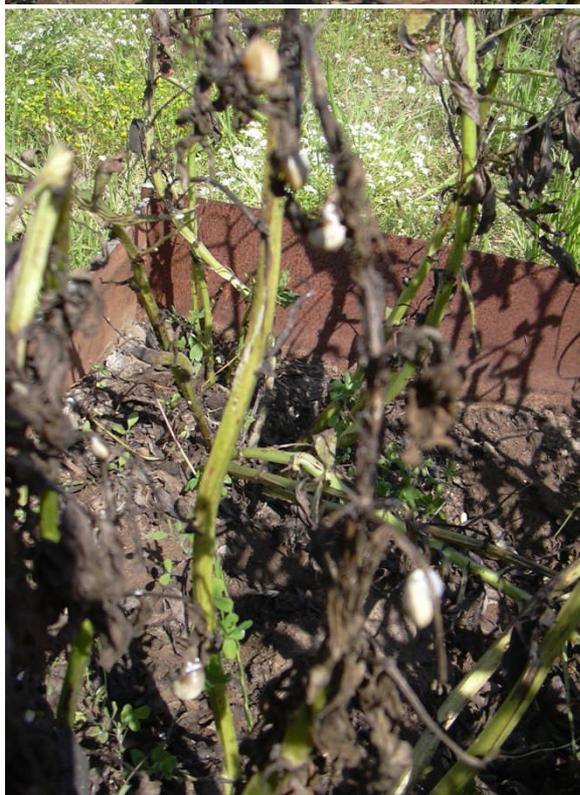
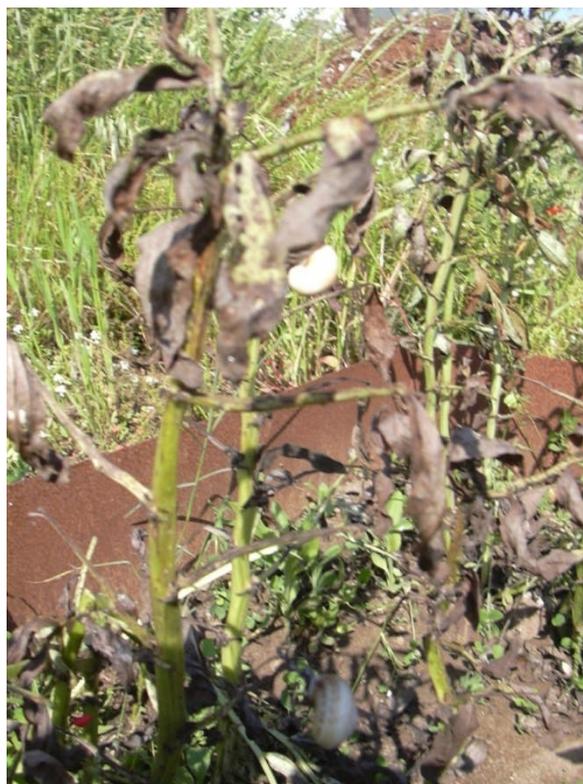


Photo n° 09 : L'état des plans de fèves, au quatrième et au cinquième mois.
CASSDEP de Baccaro (Tichy).



Photo n° 10 : L'état des feuilles des fèves, au quatrième mois.
CASSDEP de Baccaro (Tichy).



Photo n° 11 : L'état de quelques gousses restantes, au quatrième mois.
CASSDEP de Baccaro (Tichy).

Résumé :

Cette étude expérimentale sur l'influence synergique des vers de terre et du fumier de bovin sur les propriétés physiques de deux types de sol (texture sableuse et texture limono-argileuse), notamment la stabilité structurale et la perméabilité, a été menée sur deux sites différents. Le premier site se trouvant au niveau de la CASSDEP de Baccaro (Tichy) présente un sol de texture très filtrante dans lequel les agriculteurs pratiquent de la plasticulture. Le deuxième site, se trouvant au niveau de la Pépinière Ouchène (Souk-El-Ténine), présente un sol relativement lourd, avec des problèmes de battance en surface liés à sa nature limoneuse.

Au niveau de chaque site étudié, un dispositif expérimental, constitué de six carrés ou blocs de 1m² chacun, séparés de 50 cm au minimum, a été délimités avec les caractéristiques spécifiques à chacun d'eux : introduction ou non de vers de terre (*Lumbricus terrestris*) et incorporation de la matière organique (fumier de bovin) à 0%, 2% ou 4%.

Un bon rendement implique une bonne terre agricole, c'est pourquoi nous avons ensemencé des graines d'une espèce de légumineuse potagère *Vicia faba L.* (var. aquadulce à longue cosse). Ceci dans le but de faire ressortir l'influence du fumier et des lombrics sur le développement, la croissance et le rendement des fèves. A cet effet, nous avons réalisés une série de mesures biométriques (longueur des trois feuilles les plus grandes et leur nombre total, la longueur de la tige et des gousses), sur les individus des fèves, tout les 30 jours à partir du semis. Des prélèvements d'échantillons de terre ont été effectués, après sept mois d'expérimentation depuis l'installation du dispositif expérimental (fin Mai), période idéale pour l'activité des vers de terre, dans la dégradation de la matière organique. Cela, afin de voir l'évolution dans le temps des paramètres physiques (stabilité structurale et perméabilité) en fonction des traitements effectués dans chaque parcelle, (apport de matière organique et incorporation de lombrics).

Les résultats obtenus montrent un léger enrichissement des deux sols en éléments minéraux, principalement l'azote, et une amélioration notable de la structure et de la vitesse d'infiltration. Mais nous avons noté que cette amélioration des paramètres physiques apparaît surtout dans les parcelles enrichies en fumier de bovin, beaucoup plus que celles où il y avait eu incorporation de vers de terre. Toutefois, cette amélioration reste insuffisante, et il faudrait sans doute des doses de matière organique plus conséquentes. Il faudrait aussi signaler l'effet synergique des lombrics avec la présence de matière organique, qui donne des améliorations des propriétés physiques (porosité, densité apparente, stabilité structurale et perméabilité) nettement plus intéressantes.

Mots-clés : vers de terre, fumier de bovin, matière organique, sol sableux, sol limono-argileux, *Vicia faba L.*

Abstract:

This experimental study on the synergistic influence of the earthworms and the manure of bovine on the physical properties of two types of ground (sandy texture and limono-argillaceous texture), in particular structural stability and the permeability, was undertaken on two different sites. The first site being on the level of the CASSDEP of Baccaro (Tichy) presents a ground of very filter texture in which the farmers practise plasticulture. The second site, being on the level of the Seedbed Ouchène (Souk-El-Ténine), presents a relatively heavy ground, with problems of battance on the surface involved in its muddy nature.

On the level of each studied site, an experimental device, made up of six squares or blocks of 1m² each one, separated from 50 cm at least, was delimited with the characteristics specific to each one of them: introduction or not of earthworms of ground (*Lumbricus terrestris*) and organic incorporation de la matter (manure of bovine) to 0%, 2% or 4%.

A good output implies a good arable land, this is why we sowed seeds of a pot leguminous plant species *Vicia faba* L (VAR. aquadulce with long thimble). This with an aim of emphasizing the influence of the manure and the lombrics on the development, the growth and the yield broad beans. To this end, we carried out a series of biometric measurements (length of the three largest sheets and their total number, the length of the stem and pods), on the individuals of broad beans, every 30 days starting from sowing. Samplings of ground were carried out, after seven months of experimentation since the installation of the experimental device (at the end of May), ideal period for the activity of the ground worms, in the degradation of the organic matter. That, in order to see the evolution in the time of the physical parameters (structural stability and permeability) according to the treatments carried out in each piece, (organic matter contribution and incorporation of lombrics).

The results obtained show a light enrichment of the two grounds in biogenic salts, mainly the nitrogen, and a notable improvement of the structure and speed of infiltration. But we noted that this improvement of the physical parameters appears especially in the pieces enriched in manure by bovine, much more than those where there had been incorporation of ground worms. However, this improvement remains insufficient, and one would undoubtedly need organic matter amounts more consequent. It would also be necessary to announce the synergistic effect of the lombrics with the organic presence of matter, which gives improvements of the physical properties (porosity, apparent density, structural stability and permeability) definitely more interesting.

Keywords: earthworms, manure of bovine, organic matter, sandy ground, limono-argillaceous ground, *Vicia faba* L.

المختصر :

قد أجريت هذه الدراسة التجريبية على التأثير التآزري لديدان الأرض وسماد البقر على الخصائص الفيزيائية لنوعين من التربة (الملمس الرملي، والملمس الدبالي - الطيني) ، في الاستقرار الهيكلي خاصة والنفاذية، في موقعين مختلفين. الموقع الاول يجري على مستوى (ك ا س د ي ب) بمنطقة باكارو (تيشي) يمثل أرضية ذات تصفية جيدة تسمح بممارسة الزراعة البلاستيكية. الموقع الثاني، ويجري على مستوى مشتل أوشن (سوق - الاثنين)، ويعرض أرضية ثقيلة نسبيا ، مع مشاكل التعصد على السطح في طبيعته الموحلة.

في كل موقع تم وضع جهاز تجريبي ، يتكون من ستة مربعات ، مساحة الواحد 1م² ، تبعد عن بعضها البعض ب 50 سم على الأقل. كل مربع يختلف عن الآخر فيما يخص وجود أو انعدام ديدان الأرض (لومبيغوس تيريستريس) و نسبة المادة العضوية (سماد البقر) 0% ، 2% ، 4% .

المردود الجيد يدل على ان الأرض صالحة للزراعة. لهذا زرنا بدور لنوع من البقوليات (فيسيا فابا ل.) ، الصنف اكوادولس مع كشتبان طويلة) ، وذلك بهدف التأكيد على تأثير سماد البقر و ديدان الأرض على تنمية ونمو المحصول على نطاق واسع. تحقيقا لهذه الغاية، فإننا نفذنا سلسلة من القياسات البيومترية على أفراد الفول (طول أكبر ثلاثة أوراق وعددهم الإجمالي، وطول الساق والقرون) ، كل 30 يوما بدءا من البذر. تم أخذ عينات من الأرض ، بعد سبعة أشهر من التجريب منذ تركيب الجهاز التجريبي (في نهاية ماي) ، و هي الفترة المثالية لنشاط ديدان الأرض، وتحول المواد العضوية. بهدف متابعة تطور المعالم الفيزيائية مع الوقت (الاستقرار الهيكلي والنفاذية) وفقا للمعالجات التي نفذت في كل قطعة ، (إدخال سماد البقر و إدماج ديدان الأرض).

النتائج المتحصل عليها ، تبين تحسن ملموس على مستوى الترتيبين ، فيما يخص الأملاح المعدنية (النتروجين خاصة) ، و الاستقرار الهيكلي والنفاذية. لكن التحسن بدا أفضل في المربعات التي تم جلب سماد البقر، مقارنة مع المربعات التي تم إدماج ديدان الأرض. رغم هذا يبقى التحسن ضعيف، حيث ننصح بإضافة مقادير اكبر. كما ينبغي إبراز التأثير التآزري لديدان الأرض و سماد البقر في تحسين

الخصائص الفيزيائية (المسامية ، الكثافة الظاهرة ، الاستقرار الهيكلي والنفاذية) ذات أهمية كبيرة.

الكلمات الرئيسية : دود الأرض ، سماد البقر ، المادة العضوية ، التربة الرملية ، التربة الدبالو- الطينية ، فيسيا

فابال .