

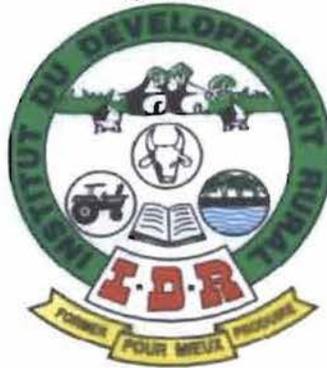
BURKINA FASO

Unité – Progrès – Justice

MINISTÈRE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE ET SUPÉRIEUR
(M.E.S.S)

Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso
(U.P.B)

Institut du Développement Rural
(I.D.R)



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE
en vue de l'obtention du
DIPLÔME DE MASTER 2 en Science du Sol
Spécialité : *Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols*

Thème :

EFFET DES PESTICIDES ET DE DIFFÉRENTS TYPES DE MATIÈRE ORGANIQUE SUR LA MACROFAUNE ET LA MICROFLORE D'UN SOL SOUS CULTURE PLUVIALE DE TOMATE (*Lycopersicum esculentum* Linné).

Présenté par **GOUNTAN André**

Directeur de memoire: Pr Nacro Hassan Bismarck

Maître de Stage: Pr Savadogo W. Paul

Décembre 2013

TABLES DES MATIÈRES

	Pages
Dédicaces	iv
AVANT-PROPOS	v
Remerciements.....	vi
Liste des tableaux.....	viii
Listes des figures	ix
Sigles et abréviations	x
RESUMÉ	xi
Abstract.....	xii
Introduction générale	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	3
I. Généralités sur la biologie du sol.....	3
1.1. Faune du sol	3
1.2. Relations entre les êtres vivants du sol et les fonctions du sol.....	4
1.2.1. Effet de la faune du sol sur les caractéristiques du sol.....	4
1.2.2. Effet des microorganismes sur les propriétés du sol.....	7
II. Généralités sur les pesticides	8
2.1. Définition, historique et classification des pesticides	8
2.1.1. Définition	8
2.2. Pesticides utilisés en culture maraîchère au Burkina Faso.....	10
Conclusion partielle	12
Chapitre II : Matériels et Méthodes	13
1. Matériels	13
1.1. Situation géographique.....	13
1.2. Climat.....	13
1.3. Pluviosité.....	14
1.4. Températures.....	15
1.5. Sols.....	16
1.6. Matériel végétal.....	17
1.7. Fertilisants.....	17
1.8. Pesticides.....	18
2. Méthode d'étude	19
2.1. Dispositif expérimental	19
2.2. Conduite de l'expérimentation	21
2.2.1. Mise en place de la pépinière	21
2.2.2. Implantation du site expérimental.....	21
2.2.3. Techniques culturales appliquées.....	21
2.2.4. Echantillonnage des sols	22
3. Méthodes d'analyses.....	23
3.1. Détermination des paramètres chimiques	23
3.1.2. Détermination du carbone total.....	23
3.2. Détermination des paramètres biologiques	24
3.2.1. Echantillonnage de la macrofaune	24
3.2.3. Respirométrie	25
Chapitre III : Résultats et discussions.....	28
1. Effet des pesticides et des sources de matière organique sur la macrofaune du sol	28
1.1. Résultats	28
1.1.1. Effet des pesticides et des sources de matière organique sur la densité de la population totale de macrofaune.....	28

1.1.1.2.	Effet des pesticides et des sources de matière organique sur la densité de la population des vers de terre	29
1.1.1.3.	Effet des pesticides et des sources de matière organique sur la densité de la population des termites	32
1.1.1.4.	Effet des pesticides et des sources de matière organique sur la densité des autres groupes de macrofaune.....	35
1.2.1.	Effet des pesticides et des sources de matière organique sur la densité de la population totale de la macrofaune.....	38
1.2.2.	Effet des pesticides et des sources de matière organique sur la densité de la population des vers de terre	39
1.2.3.	Effet des pesticides et des sources de matière organique sur la densité totale des termites	41
1.2.4.	Effet des pesticides et des sources de matière organique sur les autres groupes de macrofaune.....	42
-	Conclusion partielle	43
2.	Effet des pesticides et des matières organiques exogènes sur la respiration de base et la respiration induite par le substrat (SIR) de la microflore du sol.....	43
2.1.	Résultats	43
2.1.1.	Respiration de base	43
2.1.2.	Respiration induite par le substrat (SIR).....	45
2.2.	Discussion	48
2.2.1.	Effet des pesticides et des sources de matière organique sur la respiration de base. 48	
2.2.2.	Effet des pesticides et des sources de matières organiques sur la respiration induite par le substrat (SIR).....	49
	Conclusion partielle	50
3.	Effet sur les rendements de la tomate.....	51
3.1.	Résultats	51
3.2.	Discussion	53
	Conclusion partielle	54
	Conclusion générale et perspectives	55
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	57

Dédicaces

A mes parents : Mme **ZOUGOURI/ZAPAN Seh Nathalie** et
Feu. **ZOUGOURI Gountan Gabriel**

A feu ma tante, Mme **BORO/ZAPAN Koyo**.

A ma petite Famille: **Bertrand, Ariane** et leur Maman
GOUNTAN/BAGYRA Théodora.

AVANT-PROPOS

Le présent travail est le résultat d'une collaboration entre l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB) et l'Alliance pour une Révolution Verte en Afrique (AGRA) à travers son programme Santé du Sol et l'INERA. Il s'inscrit dans le cadre d'un Programme de renforcement des capacités des agronomes de trois pays du Sahel (Burkina Faso, Mali et Niger). Il répond à un besoin de rendre plus opérationnels auprès des petits producteurs agricoles des agronomes capables de lever certaines contraintes liées à la gestion des sols. Nous voulons à travers ces lignes exprimer notre reconnaissance à l'endroit des autorités de l'UPB, de toute l'équipe du Programme Santé du sol d'AGRA, de l'équipe d'encadrement de l'IDR et de ses partenaires, pour les multiples efforts consentis. Nous exprimons toute notre reconnaissance aux initiateurs de ce master, en particulier aux **Pr Sedogo P. Michel** et **Pr Nacro Hassan Bismarck** et au corps enseignant du Master en Science du Sol/GIFS venant du Burkina, du Niger, du Mali, du Bénin, de la Côte-d'Ivoire pour leur disponibilité et la qualité de la formation scientifique. Nous saluons les différents coordonnateurs de la formation en particulier **Dr Bacyé Bernard** et **Dr Traoré Mamadou** ainsi que le Directeur de l'IDR, **Pr Somda Irenée**, pour la facilitation et pour le sacrifice consenti durant cette formation. Qu'ils trouvent ici toute l'expression de notre gratitude.

Remerciements

Nous remercions très sincèrement les responsables administratifs de l'INERA de m'avoir accepté comme stagiaire. Il s'agit notamment du Directeur de l'INERA, **Pr LOMPO X.Francois** ; de **Dr BONZI Moussa**, Directeur de CREAM / Kamboinsé, lui qui nous a toujours encouragé dans la présente étude; du Chef de département GRN / SP **Pr COMPAORE Emmanuel** qui nous a sans cesse donné des conseils et du coordonnateur du Laboratoire SEP.

Nous remercions très singulièrement **Pr SEDOGO P. Michel** pour nous avoir guidé par ses conseils avisés, sa disponibilité permanente et sa facilitation durant la formation et pendant le stage.

Remerciements sincère au **Pr Nacro Hassan Bismarck**, notre directeur de mémoire pour son estimable rôle dans l'encadrement scientifique durant toute la formation et son appui dans l'évaluation du présent travail. Merci bien.

Nous remercions **Pr SAVADOGO W. Paul** qui est non seulement l'un de ceux qui nous ont toujours encouragé à aller de l'avant, mais aussi c'est sous son encadrement que le présent travail a pu voir le jour. Malgré ses nombreuses sollicitudes, il a su bien nous consacrer du temps dans le suivi du stage. Merci bien.

Nous remercions très sincèrement **Alice NARE doctorante au labo SEP** pour ses conseils, ses suggestions et l'appui constant dont elle a fait montre au quotidien pour l'aboutissement du présent travail. Elle m'a toujours encouragé et suivi durant tout le stage et dans l'évaluation du présent document. Grand merci.

Grand merci au **Dr Traoré Mamadou**, chargé de recherche à l'INERA, lui qui nous a aussi accompagné et suivi au quotidien depuis le début de ce stage et pour son appui inestimable dans la mise en place de l'essai, les prélèvements et l'identification de la faune du sol. Grand merci pour tout.

Merci à **Dr Belem Gêrôme** et **Dr Koussao André** et **M. Savadogo yirimian** pour l'accompagnement dans la mise en place de l'essai et pour leur disponibilité.

Nous demeurons reconnaissant à **Pr Clémentine Dabiré/Binso**, à **Dr Gnankambary Zacharia** pour l'intérêt accordé à l'aboutissement du présent travail.

Grand Merci à **Ramda Martin** à **Dr Kiba Innocent** et **Dr Lompo Désiré** et à tout le personnel du Laboratoire SEP en particulier **M. Zongo**, **M. Sanou**, **M. Ouandaogo Noufou**, **M. Kaboré Jean-Paul**, **M. Moyenga Momouni**, **M. Ouedraogo Alain**, **madame Ouedraogo Antoinette** et **M. Sakandé Ali**.

Merci aux personnels du laboratoire du BUNASOLS pour certaines de nos analyses.

Merci à **M. Ouédraogo Jean** doctorant, pour ses suggestions.

Merci à tous les autres stagiaires du laboratoire SEP: **M. Coulibaly Omar**, **Mlle Sanou Minata** et **Mlle Zébré Diane** et aux doctorants du laboratoire SEP : **Mme Kiba Mariam** , **M. Sermé** et **M. Pouya Mathias** pour la collaboration .

Nous ne saurions terminer sans dire Merci à tous mes camarades de classe en particulier **M. Belem Mahamadi** et **M. Ouédraogo Eric** avec qui, nous avons passé aussi de bons moments.

Merci à toute ma famille et à mes amis, plus spécifiquement grand merci à la famille **Boro Kouané** et **Zerbo Adama** pour tout leur soutien.

Sincères remerciements à tous !

Liste des tableaux

Tableau I: Caractéristiques physico-chimiques de l'horizon (0-20cm) du sol de départ.....	17
Tableau II: Caractéristiques chimiques moyennes des différents fumiers utilisés.....	18
Tableau III: Analyse de variance (ANOVA) de l'effet des différents traitements sur la densité de la macrofaune du sol au seuil de 5%.....	29
Tableau IV: Espèces, nombre, Indice de Shannon (IS) et Indice d'Équitabilité (IE) des vers de terre en fonction des traitements.....	30
Tableau V : Analyse de variance (ANOVA) de l'effet des différents traitements sur la densité des vers de terre au seuil de 5%.....	31
Tableau VI: Espèces, nombre, Indice de Shannon (IS) et Indice d'Équitabilité (IE) des termites en fonction des traitements.....	33
Tableau VII: Analyse de variance (ANOVA) de l'effet des différents traitements sur la densité des termites au seuil de 5%.....	34
Tableau VIII : Densité moyenne de la population de termites /traitement pesticide.....	35
Tableau IX : Répartition des autres groupes de macrofaune en fonction des traitements.....	36
Tableau X : Analyse de variance (ANOVA) de la densité des autres groupes de macrofaune.....	38
Tableau XI : Densités moyennes des autres groupes de matières organiques en fonction des source de matières organiques exogènes.....	38
Tableau XII: quantité de C-CO ₂ (mg/heure pour 10g de sol) dégagée par traitement.....	44
Tableau XIII: ANOVA (analyse de variance) de l'effet des différents traitements sur l'activité respiratoire de base du sol.....	45
Tableau XIV : Respiration induite par le substrat(SIR) en fonction des traitements.....	46
Tableau XV : Temps de latence et temps maximal en fonction du traitement pesticide.....	47
Tableau XVI : Quotient respiratoire et respiration maximale en fonction des types de Matières organiques.....	47
Tableau XVII : Rendement en Kg de fruits/pied de tomate par traitement.....	51
Tableau XVIII : Analyse de variance (ANOVA) de l'effet des traitements sur les rendements.....	52

Listes des figures

Figure 1: Carte de localisation de la zone d'étude (Kamboinsé).....	13
Figure 2 : Pluviométries comparées des années 2012 et 2013 de Janvier à Octobre.....	14
Figure 3 : pluviométries annuelles de 2001-2012.....	15
Figure 4 : Températures moyennes annuelles de 2002 à 2012.....	16
Figure 5 : Schéma du dispositif expérimental.....	20
Figure 6 : Modèle d'évolution de l'activité respiratoire (Source : Schnürer 2006).....	26
Figure 7 : densité de la population totale de macrofaune par traitement.....	28
Figure 8 : moyenne de densités de la macrofaune par traitement.....	29
Figure 9 : densité de la population des vers de terre par traitement.....	31
Figure 10 : densités moyennes des vers de terre en fonction des traitements.....	32
Figure 11 : densité de la population des termites par traitement.....	34
Figure 12 : densité des autres groupes de macrofaune en fonction des traitements.....	37
Figure 13 : densités moyennes des autres groupes de macrofaune en fonction du Traitement pesticide.....	37
Figure 14: moyennes des quantités de C-CO2 dégagé en mg/heure pour 10g de sol en fonction des traitements.....	45
Figure 15: moyennes des rendements (kg/pied) en fonction des sources de matières organiques.....	51
Figure 16: moyennes des rendements (kg/pied) en fonction des traitements.....	52

Sigles et abréviations

2,4-D : Acide 2,4-Dinitrophénol

ACTA : Association de Coordination Technique Agricole

AFNOR : Association Française de Normalisation

AGRA : Growing Africa's Agriculture (Alliance pour la Révolution Verte en Afrique)

BUNASOLS : Bureau National des Sols

CEC : Capacité d'Échange Cationique

CREAF : Centre de Recherches Environnementales, Agricoles et de Formation

DDD : Dichloro-Diphényl-Dichloroéthane

DDT : Dichloro-Diphényl-Trichloroéthane

EPA : US Environmental Protection Agency

GIFS : Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols

IDR : Institut du Développement Rural

IFDC : International Center for soil Fertility and Agricultural Development

IFEN : Institut Français de l'Environnement

INERA : Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles

ITAB : Institut tropical d'Agriculture Biologique

HCH : Hexachlorocyclohexane

MAHRH : Ministère de l'Agriculture de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques

MO : Matière organique

OMS : Organisation Mondiale de la santé

SEP : Sol Eau Plante

TSBF : Tropical Soil Biologie and Fertility

UCAD : Université Cheick Anta Diop

UPB : Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso

RESUMÉ

Les pesticides utilisés en culture maraîchère peuvent avoir des effets néfastes sur les microorganismes et la macrofaune du sol et affecté les rendements. Leurs impacts sont fonction de plusieurs facteurs dont la nature et la dose des pesticides, les pratiques culturales, les conditions climatiques, le type de sol. Au Burkina Faso, plusieurs études ont porté sur les effets des pesticides sur les microorganismes du sol cependant, il existe peu d'informations sur les effets combinés des pesticides et de différentes sources de matière organique sur les microorganismes, la macrofaune et la productivité des sols en milieu réel. Le travail entrepris a concerné cet aspect en vue d'étudier l'impact des pesticides sur l'activité respiratoire, la macrofaune et la productivité d'un sol sous culture pluviale de tomate (*Lycopersicon esculentum* Linné, 1753).

Pour atteindre cet objectif, un dispositif en Split-plot à trois répétitions a été installé à Kamboinsé, en zone Nord-soudanienne au Burkina Faso. Il comprend trois traitements principaux avec deux insecticides, la lambda-cyhalothrine et le chlorpyrifos-éthyl et un témoin, et quatre traitements secondaires comprenant du fumier de porc, du fumier de bovin, et du compost et un témoin. Des mesures de la densité de la macrofaune, de l'activité respiratoire ainsi que l'évaluation des rendements ont été faites.

Les résultats montrent que la densité de la macrofaune totale n'a pas été influencée significativement par l'usage des pesticides. Par contre, la matière organique a induit une augmentation de 69 % de la densité totale de la macrofaune du sol. Cependant, exceptée la population lombricienne, on observe que les pesticides ont eu des effets significatifs sur la densité des termites et des autres groupes de macrofaune. Ainsi une réduction de 62 % de la densité des termites en présence de lambda-cyhalothrine a été observée, tandis que le chlorpyrifos-éthyl a induit une réduction de 40 % de la densité totale des autres groupes de macrofaune. La respiration microbienne de base n'a pas été influencée par les pesticides. Par contre, les sources de matière organique ont eu un effet significatif. Ainsi, la forte activité respiratoire, a lieu en présence de fumier de bovin qui a induit aussi une forte densité de la population des vers de terre. Les temps de latence après induction de la respiration par le substrat ont été significativement influencés en présence de pesticides, traduisant ainsi une modification de la physiologie de la communauté microbienne du sol. Quant à la productivité du sol, ni les pesticides ni les différentes sources de matières organiques ni leur interaction n'ont eu d'effet statistiquement significatif sur les rendements de la tomate.

Mots clés : pesticides, matière organique, macrofaune, microorganismes, tomate, Burkina Faso

Abstract

Pesticides used in vegetable gardening can have adverse effects on microorganisms and soil macrofauna and affected yields. Their impacts are dependent on several factors including the nature and dose of pesticides, cultural practices, climatic conditions, soil type. In Burkina Faso, several studies have focused on the effects of pesticides on soil microorganisms; however, there is little information on the combined effects of pesticides and different sources of organic matter to microorganisms, macrofauna and soil productivity in real environment. The work undertaken has involved this aspect seen to study the impact of pesticides on the respiratory activity, macrofauna and soil productivity under tomato (*Lycopersicon esculentum* Linnaeus , 1753) production in rainy season. To achieve this goal, a split - plot device with three replications was installed in Kamboinsé, North- Sudanian zone in Burkina Faso. It includes three main treatments with two insecticides, lambda-cyhalothrin and chlorpyrifos -ethyl and a control, and four secondary treatments including pig manure, cattle manure and compost and a control. Measures of the macrofauna density, respiratory activity and yield assessments were made. The results show that the density of the total macrofauna was not influenced significantly by the use of pesticides. On the other side, the organic material induced an increase of 69 % of the total density Macrofaunal soil. However, except the earthworm population, we observed that the pesticides had significant effects on the density of termites and other groups of macrofauna. Thus a reduction of 62 % of the termites' density in presence of lambda-cyhalothrin was observed, while chlorpyrifos -ethyl induced a reduction of 40 % of the total density of other macrofaunal groups. Microbial basal respiration was not influenced by pesticides. Contrariwise, sources of organic matter had a significant effect. Thus, the high respiratory activity, takes place in the presence of cattle manure which also indicates a strong population density of earthworms. Lag-time after induction of respiration through the substrate was significantly affected in the presence of pesticides, reflecting a change in the physiology of the soil microbial community.

As for soil productivity, or pesticides, or different sources of organic matter, or their interaction did not have a statistically significant effect on yield of tomato.

Key words: pesticides, organic matter, macrofauna, microorganisms, tomato, Burkina Faso.

Introduction générale

Au Burkina Faso, pays essentiellement agricole, la culture maraîchère est une composante majeure du secteur de production. En effet, le secteur maraîcher génère annuellement en valeur ajoutée, plus de soixante (60) milliards de FCFA (MAHRH, 2007). Cependant, la filière maraîchère se trouve confrontée à de nombreuses causes de baisse de rendements dont les ennemis des cultures,. Ainsi, les pesticides sont utilisés en grande quantité au niveau de la production maraîchère pour lutter contre ces bio-agresseurs des cultures (champignons, insectes, bactéries, etc.) ou pour contrôler les adventices. La tomate, principale spéculation de la filière maraîchère est également celle qui est la plus vulnérable aux attaques des insectes (IFDC, 2007). Parmi les insectes agresseurs de la tomate on peut citer *Tetranychus urticae* (Koch) , *Helicoverpa armigera* (Hübner) , *Bemisia tabaci*. Cependant, si l'utilisation de ces substances actives apporte des bénéfices pour les systèmes de production agricole, il y a lieu de s'inquiéter au sujet de la pollution de l'environnement, de la santé humaine et animale. La pollution par les pesticides touche préférentiellement les sols mais aussi les eaux superficielles ou souterraines à partir des zones agricoles. En effet, après leur épandage, une importante quantité de pesticides se retrouve dans le sol et cela peut porter préjudice aux organismes vivants du sol (Savadogo & al.,2009). Or, l'activité biologique d'un sol au même titre que ses propriétés physiques et chimiques est déterminante pour sa productivité (Mäder & al., 2002). La plupart des avantages d'ordre physique et chimique du sol sont liés à l'activité biologique car ils résultent principalement de l'action des organismes vivants du sol sur la matière organique (Mäder & al., 2002). Le sol est donc un milieu vivant et une ressource capitale. Il est alors possible que la présence des pesticides puisse avoir un effet sur les populations présentes.

La plupart des études menées sur les effets des pesticides au Burkina Faso ont porté sur la santé humaine (Toé & al., 2000), sur les caractéristiques chimiques et les microorganismes du sol (Savadogo & al., 2009) et sur les effets des pesticides sur l'activité enzymatique et l'activité respiratoire des microorganismes (Naré & al., 2010). Son (2007) a investigué sur les effets des pesticides sur les insectes non ciblés, particulièrement sur les Chrysalides de *Cirina butyrospermi* dans la zone cotonnière de Pô au Burkina Faso. Quelques rares études se sont penchées sur les effets des pesticides sur la macrofaune du sol. De la plupart de ces études, on retiendra que les pesticides ont un impact négatif sur la faune du sol. Par contre, Schreck (2008) a montré que des pesticides n'avaient pas d'effet sur la population

lombricienne. Cortet & al., (2002) ont montré que le fipronil qui est un pesticide diminuait l'abondance de certains taxons de microarthropodes du sol. Les nématodes phytoparasites augmentent avec le traitement des sols avec différents pesticides comparé aux parcelles témoins (Yardim & Edwards, 1998). Et quant à l'effet de la matière organique en présence ou non de pesticides sur les composantes biologiques du sol ; des études ont révélé que l'activité microbienne est variable en fonction de la nature du substrat organique (Nacro, 1997) et que la matière organique facilement utilisable par les microorganismes stimulait la biodégradation des pesticides (Savadojo & al., 2006). Aussi Traore (2012) a montré que l'apport de matière organique exogène entraîne une augmentation du nombre d'individus de macrofaune par unité de surface. Enfin Chenu & Balabane. (2001) ont montré que les interactions entre matière organique et l'activité biologique affectent de nombreuses propriétés des sols, comme leur structure ou le devenir des polluants. C'est pour mieux appréhender l'effet des pesticides en présence d'apport organique de diverses sources que la présente étude a été initiée. L'objectif général du présent travail a été l'évaluation des effets des pesticides et de la matière organique sur la macrofaune et les microorganismes sous culture pluviale de tomate (*Lycopersicum esculentum* Linné). Plus spécifiquement, il s'est agi d'évaluer :

- l'effet de deux insecticides (le chlorpyrifos-éthyl et la lambda-cyhalothrine) et de trois types de matière organique (le fumier de bovin, le fumier de porc et le compost) sur la macrofaune du sol ;
- l'effet de ces deux insecticides et des ces différents types de matière organique sur la productivité du sol ;

Le présent mémoire qui rend compte des résultats est structuré en trois (3) chapitres : le premier chapitre est une revue bibliographique ; les matériels et méthodes de l'étude sont présentés dans le deuxième chapitre. Enfin, les résultats suivis de leur analyse et discussions sont donnés dans le troisième chapitre. Le mémoire se termine par la conclusion et les perspectives qui en découlent.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I. Généralités sur la biologie du sol

1.1. Faune du sol

La faune du sol représente l'ensemble des animaux qui passe une partie importante de leur cycle biologique dans le sol (Bachelier, 1978). Elle est estimée actuellement à plus de 23 % de la biodiversité animale décrite de nos jours (Lavelle & *al.*, 2006).

Selon sa localisation, la faune du sol est classée en **epiédaphon** comprenant la faune demeurant à la surface du sol ; en **héliédaphon** composé de la faune vivant dans la litière et l'horizon organique et enfin en **euédaphon** faune vivant dans le sous sol.

Selon la taille Bachelier (1963) a classé la faune du sol en (04) catégories :

- La mégafaune

Elle comprend les animaux qui mesurent plus de 80 mm de longueur. On trouve à la fois dans ce groupe des Crustacés, des Reptiles, des Batraciens, de nombreux insectivores (taupes, musaraignes) et des Rongeurs (rats, campagnols).

- La macrofaune

Elle est composée d'individus mesurant entre 4 et 80 mm. La macrofaune est constituée par les vers de terre, les termites, des arthropodes (crustacés isopodes, myriapodes, arachnides), les mollusques gastéropodes (limaces, escargots), quelques crustacés (isopodes ou amphipodes), les insectes (isoptères, orthoptères, coléoptères, diptères, hyménoptères) .

- La mésofaune

Elle est composée d'individus mesurant entre 0,2 et 4 mm de longueur et de diamètre compris entre 0,1 à 2 mm. Les microarthropodes que sont les collemboles et les acariens constituent l'essentiel de cette mésofaune avec d'autres insectes aptérygotes tels que les protozoaires, les diploures et les thysanoures , les enchytréides (petits vers oligochètes), les symphyles (myriapodes). Les plus petits insectes ou leurs larves appartiennent aussi à la mésofaune. La mésofaune encore appelée méiofaune est répartie, en fonction du comportement des individus vis-à-vis de l'humidité. On a ainsi, les édaphos hygrobiontes qui recherchent activement l'humidité, les édaphos xérophiles capables de supporter la sécheresse.

- La microfaune

Elle comprend les individus qui mesurent moins de 0,2 mm de longueur et de diamètre inférieur à 0,1 mm. L'essentiel de la microfaune est constitué par les protozoaires et les nématodes.

1.2. Relations entre les êtres vivants du sol et les fonctions du sol

Le sol représente la couche superficielle, meuble, de la croûte terrestre, résultant de la transformation de la roche mère enrichie par des apports organiques. Le sol est différencié de la croûte terrestre par la présence de vie. Autrefois considéré comme un facteur abiotique, nous savons de nos jours que le sol n'existe que lorsque des organismes vivants et des matières organiques s'ajoutent aux minéraux issus de la décomposition de la roche (Fiche ITAB, 2003). Ainsi, il ressort que le sol est une ressource naturelle constituée d'une fraction organique et d'une fraction minérale, qui représente l'ensemble des produits de la dégradation physique puis de l'altération chimique de la roche mère. Les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol conditionnent donc le fonctionnement de tout l'écosystème (Deprince, 2003).

1.2.1. Effet de la faune du sol sur les caractéristiques du sol.

1.2.1.1. La macrofaune

En Afrique tropicale, la macrofaune comprend principalement les termites, les vers de terre et les fourmis. En raison de l'impact de leur activité sur les caractéristiques du milieu, ces organismes sont aussi appelés les *ingénieurs de l'écosystème* (Jones & al., 1994).

- Les vers de terre ou lombrics

Selon Bouché (1977), on distingue 3 grands groupes écologiques de lombricidés. Il existe en réalité de nombreux intermédiaires entre ces extrêmes. Les épigés présentent des cycles de vie courts (1 à 2 ans) et sont soumis à une forte prédation. Ils sont typiques des sols de litière et de forêts, petits, grêles et rougeâtres. Ils se nourrissent de litière (en surface du sol) et de microflore, mais ingèrent peu de sol. Les endogés creusent des galeries profondes et horizontales dans le sol. Ils sont de taille variable, dépigmentés, pourvus d'une musculature développée. De durée de vie moyenne, ils rentrent en diapause en cas de sécheresse. Ils se nourrissent essentiellement de feuilles en décomposition à la surface du sol et de la matière organique contenue dans le sol. Les anéciques ont un mode de vie mixte, ils creusent des galeries verticales. Ils sont longs et de couleur foncée et peuvent vivre pendant 10 ans

lorsqu'ils sont à l'abri dans leurs galeries. Ils se nourrissent de microflore et de sol contenant de la matière organique. Par leurs mouvements verticaux, ils agissent fortement sur la structure du sol. Les vers de terre sont abondants et constituent une biomasse importante dans les situations où la pluviométrie dépasse 1000 à 1500 mm. Dans les savanes de l'Afrique de l'Ouest, les vers de terre géophages, qui se nourrissent de la matière organique du sol, constituent souvent le groupe dominant, contrairement aux zones tempérées où les vers de terre épigés ou anéciques qui consomment essentiellement la litière, prédominent (Lavelle & *al.*, 1994). Dans les régions tropicales les déjections de vers endogés participent fortement à la macro agrégation du sol (Lavelle, 1997). Ainsi, les lombrics sont de bons indicateurs de l'état de vie d'un sol pour différentes raisons (Römbke & *al.*, 2006). L'activité des vers entraîne des conséquences physiques sur le sol (structure) et biochimiques (dynamique de la matière organique) (Blanchart & *al.*, 1997). Par leurs déplacements dans le sol et par les galeries qu'ils créent, les vers de terre induisent une augmentation de la macroporosité et de l'infiltration de l'eau; leurs déjections- les turricules déposés soit dans le sol, soit en surface, sont généralement plus riches en carbone organique, azote total et cations échangeables, que le sol environnant. Ainsi, les vers de terre modifient profondément les caractéristiques physiques, organiques et biologiques du sol en creusant des galeries, en ingérant du sol et des résidus organiques.

- Les termites et les fourmis

En milieu tropical, les termites constituent la pédofaune dominante (Wood & Sands, 1978). En raison des dégâts causés par certaines espèces sur les plantes vivantes (Agbogba & Roy-Noël, 1982), les termites sont perçus comme particulièrement nuisibles. Pourtant, ils participent activement à la structuration physique (aération, porosité, agrégation) Lobry et Conacher (1994) et au maintien des propriétés édaphiques du sol à travers la dégradation de la matière organique (cellulolyse, ligninolyse), la concentration et le stockage des nutriments (azote, phosphore). Cette capacité de dégradation a une influence prépondérante sur la dynamique de la matière organique dans certains écosystèmes. Ainsi, en savane subsaharienne, leur impact sur la décomposition des tissus végétaux est du même ordre que celui des herbivores (Lepage, 1981). L'action des termites et des fourmis est également importante parmi les organismes de la macrofaune à travers leur action de fouissage, de transport et d'accumulation dans leur nid. Au cours des activités de réparation des nids, les termites par apport de nouveaux matériaux, contribuent à renouveler, au même moment la fertilité des sols (Tano, 1993), améliorent la porosité et le drainage du sol (Konaté & *al.*, 1999). Les termites accumulent ainsi de fines particules, des cations, de fortes teneurs en carbone et

azote indispensables dans la productivité des plantes, de fortes quantités de matières organiques qui sont stockées dans de petits volumes de sol que constituent les termitières (Traoré, 2008).

1.2.1.2. La microfaune du sol

Ce groupe comprend une faune très diverse, essentiellement composée de micro- et de macro-arthropodes (myriapodes, isopodes) et de nématodes. Contrairement à la macrofaune, les structures qu'ils produisent sont uniquement organiques. Elles ont des durées de vie plus courtes que celles qui sont issues de l'activité des micro-organismes (Giller & *al.*, 1997).

- Les arthropodes

Les arthropodes vivent essentiellement dans la litière dont ils se nourrissent. Ces organismes fractionnent de façon active les matières végétales, Dans les structures qu'ils créent, une forte activité de la microflore se développe.

- Les nématodes

Les nématodes se nourrissent de matières organiques. De nombreuses espèces sont des parasites des plantes. Généralement, leur action parasitaire se manifeste par la présence de cellules nécrosées sur, et dans, les racines des plantes qu'ils attaquent (Duponnois & *al.*, 1997). Ces tissus nécrosés provoquent un dysfonctionnement du système racinaire se traduisant par une réduction de sa capacité d'assimilation des éléments nutritifs et de l'eau et donc par un mauvais développement de la plante. Ces organismes ubiquistes sont les principaux responsables des dégâts causés aux cultures (Luc & *al.*, 1990). Toutefois certaines espèces sont bénéfiques à la fertilité des sols. Les formes libres des nématodes se nourrissent de micro-organismes et de débris organiques. Des études conduites en milieu tempéré ont clairement établi l'impact des nématodes bactériophages et fongivores sur la minéralisation de l'azote: ils participent pour près de 25% à la minéralisation totale (Verhoef & Brussaard, 1990). Ferris & *al.*(1997) indiquent que le taux de prédation d'un nématode est estimé à $2,5.10^5$ cellules bactériennes par jour. En outre, cette activité est localisée de préférence dans la rhizosphère et participe à la couverture des besoins azotés des plantes dans des sols où l'activité de la microflore est réduite (Ingham & *al.*, 1985).

1.2.2. Effet des microorganismes sur les propriétés du sol

La microflore accroît le potentiel enzymatique des sols, assure plus ou moins complètement les cycles biogéochimiques de nombreux éléments minéraux (azote, carbone, soufre, phosphore...). Elle conditionne la synthèse et la dégradation de nombreuses substances (Sedogo, 1993). Elle intervient dans la dégradation de xénobiotiques d'origine anthropique ou de toxines d'origine animale, végétale ou microbienne. Les microorganismes interviennent dans des processus majeurs relatifs à la structure du sol, dans la décomposition de la matière organique et dans la croissance des végétaux (Brussaard & *al.*, 2004). Certains groupes microbiens établissent des associations symbiotiques avec les plantes. Parmi ceux-ci, les champignons mycorhizogènes ont un rôle majeur, puisque 92% des familles de plantes établissent une symbiose mycorhizienne à arbuscules avec des champignons appartenant au phylum des Glomérormycètes (Wang & Qiu, 2006). Cette symbiose exerce des fonctions écologiques essentielles pour le fonctionnement des écosystèmes terrestres.

II. Généralités sur les pesticides

2.1. Définition, historique et classification des pesticides

2.1.1. Définition

Selon FAO (1996) les pesticides sont définis comme : « toute substance ou associations de substances qui est destinée à repousser, détruire ou combattre les ravageurs, y compris les vecteurs de maladies humaine ou animales, et les espèces indésirables des plantes ou d'animaux causant des dommages ou se montrant autrement nuisibles ».

En fonction des objectifs visés à travers leur utilisation, les pesticides ont plusieurs appellations. Par exemple un insecticide est appelé produit phytosanitaire ou phytopharmaceutique dès qu'il est utilisé sur du blé mais un biocide dès lors qu'il est utilisé sur du bois de charpente (IFEN, 2002).

Selon Middlekauf (1986), un pesticide est toute substance naturelle ou synthétique utilisée pour prévenir, détruire, repousser ou inhiber les pestes, ou utilisé comme régulateur de plant, défoliant ou dessicatif.

2.1.2. Historique

Les pesticides étaient utilisés depuis l'antiquité dans la protection des cultures. Vers le 16^{ème} siècle, l'emploi de produits arsenicaux et le tabac connus pour ces propriétés insecticides étaient déjà recommandés en Chine (Sow, 2006). L'utilisation des pesticides va se généraliser vers le 19^{ème} siècle suivant les progrès de la chimie minérale. La lutte antifongique était des traitements à base de sulfate de cuivre (bouillie bordelaise) ou à base de mercure. Après la seconde guerre mondiale, l'intensification de l'agriculture a initié puis généralisé l'utilisation de produits phytosanitaires (Guimont, 2005). Ainsi, dans les années 50, des insecticides comme le DDD et le DDT sont utilisés en grandes quantités pour détruire les moustiques vecteurs de la malaria et en agriculture (Calvet & al., 2005).

2.1.3. Classification des pesticides

On distingue plusieurs types de classifications dont les plus rencontrées sont faites selon l'ennemi ciblé, la nature chimique, le mode d'action, la toxicité et la formulation.

2.1.3.1. Classification selon l'ennemi ciblé

Selon cette classification, on distingue :

- les Insecticides : produits de lutte contre les insectes ;
- les Acaricides souvent inclus dans les insecticides : produits de lutte contre les acariens ;
- les Fongicides : produits contre les maladies fongiques ;
- les Herbicides : produits de lutte contre les mauvaises herbes ;
- les Nématicides : produits de lutte contre les nématodes,
- les Rodenticides, Taupicides (contre les taupes), les Larvicides (contre les larves).

2.1.3.2. Classification selon la famille chimique

Cette classification est diversifiée et chaque famille regroupe une grande diversité de groupes. En ce qui concerne les insecticides qui présentent le plus de risque pour la santé humaine, animale et l'environnement, on distingue de nos jours plus d'une centaine de formulations moléculaires. Les plus grandes familles d'insecticides sont : les organophosphorés, les organochlorés, les pyréthrénoïdes et les carbamates.

2.1.3.3. Classification selon le mode d'action

On distingue des pesticides par contact, des pesticides par inhalation, des pesticides par ingestion et des pesticides systémiques.

2.1.3.4. Classification selon le degré de toxicité

Une substance est qualifiée de toxique lorsqu'elle cause de façon passagère ou permanente des dommages dans les fonctions et pouvant entraîner même la mort de l'individu après contact, inhalation, ingestion et pénétration dans l'organisme. On distingue la toxicité aiguë de la toxicité subaiguë et de la toxicité chronique. La DL_{50} (dose létale) constitue la valeur standard en toxicologie. Elle désigne la dose de substance active suffisante pour tuer 50% de la population d'un lot d'animaux d'expérience. Cette valeur est exprimée en milligramme de matière active par kilogramme du poids corporel de l'animal (OMS, 2005).

2.1.3.5. Classification selon le type de formulation

On distingue des concentrés émulsionnables, des poudres mouillables, des solutions aqueuses et des granulés.

2.2. Pesticides utilisés en culture maraîchère au Burkina Faso

Une enquête réalisée par IFDC (2007) dans les sites maraîchers périurbains de trois villes du Burkina Faso (Ouagadougou, Ouahigouya et Bobo-Dioulasso) rapporte que 22 insecticides sont utilisés en maraîchage. 60% de ces insecticides étaient destinés à la culture cotonnière. 43% des produits utilisés ne figurent pas sur la liste des produits homologués par le Comité Sahélien des Pesticides.

Selon le classement en termes de toxicité (OMS, 2005), 22% de ces insecticides utilisés sont de classe **Ib** c'est-à-dire très dangereux. Ce sont pour l'essentiel des organochlorés de première génération interdits depuis avant les années 30 dans plusieurs pays européens. Ils ont pour matière active l'endosulfan ou le carbofuran. Pour l'homme, ces produits sont très nocifs.

2.3. Effet des pesticides sur la microflore du sol

Si les microorganismes influencent le devenir du pesticide dans le sol, son application peut également affecter la population microbienne tellurique. Cet impact sur la microflore se réalise selon deux voies principales : soit directement à travers l'effet toxique de la molécule ou indirectement en favorisant la sélection d'une population spécifique dégradante capable d'utiliser la molécule comme source de carbone et par conséquent modifiant l'équilibre entre les communautés microbiennes du sol (Vieublé & *al.*, 2005). Les pesticides et certains produits de leur dégradation peuvent avoir plusieurs effets sur les activités biochimiques de la microflore du sol. Ces effets incluent une augmentation ou une diminution de la biomasse microbienne entraînant une inhibition ou une stimulation de la respiration, de l'ammonification ou de la nitrification (Katayama & *al.*, 2001). Les effets peuvent être entre autres, dus à une inhibition ou une stimulation qui affecte la population d'une espèce donnée ou appartenant à une panoplie d'espèces différentes. Lorsque les pesticides sont appliqués à doses recommandées, ils ne montrent pas en général d'effets significatifs sur la population endogène cultivable. Cependant, ils peuvent entraîner des effets temporaires sur certains composants de la microflore tellurique. De même, l'application répétée du même

pesticide peut entraîner des modifications de la biomasse microbienne et des activités biochimiques.

De nombreux travaux ont rapporté l'effet des pesticides sur la biomasse microbienne : c'est le cas par exemple des travaux de Camper (1991) qui a montré que le turbofos stimulait la population fongique. Des effets toxiques (inhibiteurs) de pesticides endosulfan, dichlorofurane, fosalone ont été observés par Sutherland & al. (2002) sur la croissance d'un champignon du genre *Hirsuella nodulosa*. Slaoui & al. (2001) ont montré une augmentation de la biomasse de la souche *Pseudomonas sp* (Fsv) sur un milieu contenant 200 g/ml de carbofuran. Ceci suggère que la souche F_{sv} présente une tendance à utiliser fortement le N-méthylcarbamate, produit de l'hydrolyse du carbamate comme source d'azote et faiblement comme source de carbone.

Des effets de stimulation ou d'inhibition des activités déhydrogénase arginine, sont observés après traitement d'insecticides : cyperméthrine, endosulfan, diméthoate, deltaméthrine, thiazofos, monotrocofos (Vig & al., 2001). Des études ont mis en évidence l'influence des pesticides, sur le fonctionnement, la structure et la diversité des populations microbiennes dégradantes (Martin-Laurent & al., 2004). Les travaux de Vieublé & al. (2005) révèlent une modification significative de la structure génétique des communautés microbiennes du sol en réponse à l'application du 2,4-D.

2.4. Effet des pesticides sur la faune du sol

L'utilisation des pesticides contribue à la réduction de la vie dans les sols (Kumar, 1991) et peuvent éliminer jusqu'à 90% de la population de la macrofaune (Lavelle, 2000). Les prédateurs à biomasse élevée se trouvent alors remplacés par des acariens (Bachelier, 1978). Ainsi, on assiste à un changement de la structure de la chaîne alimentaire au profit des niveaux trophiques les plus bas. Le corollaire est la détérioration des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol.

2.5. Interaction matière organique et pesticides dans le sol

Les matières organiques des sols conditionnent le devenir de la plupart des pesticides dans les sols (Calvet & al., 2005). Elles sont les agents les plus réactifs dans les phénomènes de rétention et interviennent directement ou indirectement dans les phénomènes de transformation. L'apport à un sol de matières organiques exogènes modifie la quantité et la qualité de la matière organique présent dans ce sol, ce qui influe sur son fonctionnement. De ce fait, il est susceptible de modifier le devenir des pesticides, soit indirectement par modification des propriétés des sols (Barriusso & al., 1996).

Une des résultantes majeures des modifications induites par les matières organiques exogènes est la modification du transfert des pesticides dans les sols. Zsolney (1992) a montré que l'augmentation de la teneur en carbone des sols provoque pour la plupart des pesticides, une augmentation de leur rétention se traduisant par une diminution de leur mobilité.

Par ailleurs, Stevenson (1976) a montré que les acides fulviques, par leur acidité et leur faible poids moléculaire, pouvaient jouer le rôle de transporteurs de pesticides qualifiés de non extractibles, dans les sols et les eaux, ou catalyser leur décomposition chimique.

Conclusion partielle

Cette synthèse Bibliographique montre que face à l'utilisation incontrôlée des pesticides susceptibles d'affecter durablement les écosystèmes et les ressources en terre de qualité, l'urgence impose de trouver des alternatives pour de nouvelles pratiques et des voies de remédiation pour les sols déjà pollués. Au centre de cette préoccupation se trouve la question d'une approche de production plus durable et respectueuse de l'environnement. Dans un contexte marqué par un double enjeu de la raréfaction des ressources en terre et la menace que constituent les changements climatiques sur la biodiversité, la matière organique en ce qu'elle conditionne la vie du sol, semble être une des pistes d'investigation de cette approche. En effet, par son pouvoir tampon, elle est au centre de tous les processus qui régissent la réactivité d'un sol face à toute modification de son fonctionnement normal. La matière organique stimule l'activité biologique, la macrofaune du sol et conditionne le devenir des pesticides dans le sol. La présente étude a donc pour ambition de voir l'impact des pesticides sur les êtres vivants du sol et cela en présence de différentes sources de matières organiques. Un des objectifs de la présente étude est aussi une ébauche de proposition d'alternative plus productive, respectueuse des écosystèmes et une voie de bioremédiation des sols déjà pollués par des pesticides.

Chapitre II : Matériels et Méthodes

1. Matériels

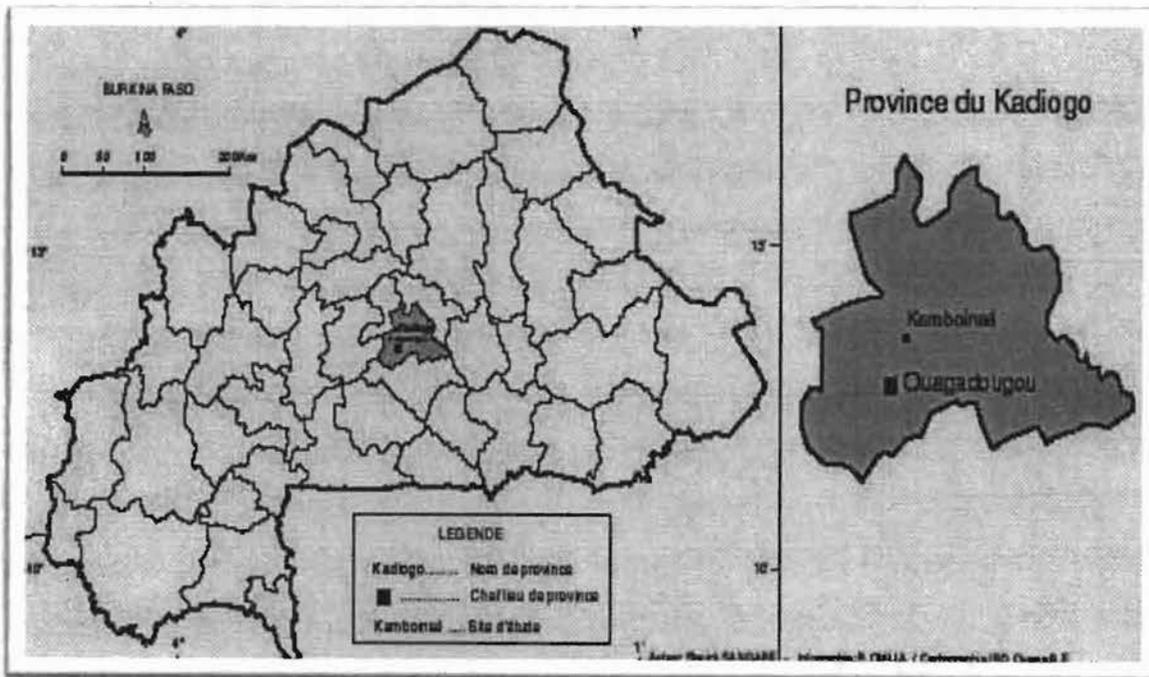
1.1. Situation géographique

Le Centre de Recherches Environnementales, Agricoles et de Formation de Kamboinsé (CREAF/Kamboinsé) a abrité notre expérimentation. Cette dernière a été réalisée sur le site maraîcher du dit centre. Le CREAF/ Kamboinsé est situé dans la province du Kadiogo à 12 km au nord de la ville de Ouagadougou (Figure 1) sur l'axe Ouagadougou-Kongoussi. Ses coordonnées géographiques sont les suivantes :

-Latitude : 12° 28 Nord ;

-Longitude : 1° 32 Ouest ;

-Altitude d'environ 296 mètres ;



Source : Auteurs Cheick Sangaré – H.P.Oulla Cartographie IRD/ Ouaga Burkina Faso

Figure 1: Carte de localisation de la zone d'étude (Kamboinsé)

1.2. Climat

Le CREAF de Kamboinsé est localisé dans la zone Nord Soudanienne (Fontès et Guinko, 1995). Deux saisons caractérisent cette zone : une saison pluvieuse de mai à octobre et une saison sèche de septembre à mars.

1.3.Pluviosité

En général les pluies commencent en avril ou en mai et s'arrêtent en septembre ou en octobre. Le pic pluviométrique se situe au mois d'Août. Mais cette année (2013), nous avons assisté à une installation très tardive de la campagne agricole due à de nombreuses poches de sécheresses aux mois de Juin et Juillet coïncidant avec la période des semis.

En effet, le cumul mensuel de Juillet 2013, a été de 153,9 mm à la station de Kamboinsé contre 248,5 mm relevés à la même période en 2012 (figure 2). Le cumul annuel au mois d'octobre 2013 est déficitaire (586,6 mm) par rapport à celui de 2012 (758,7 mm).

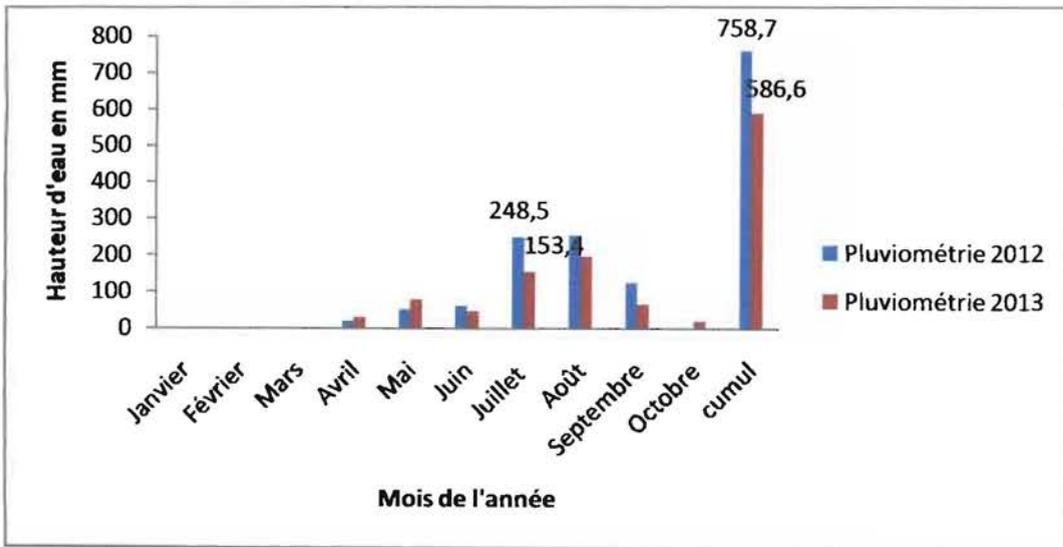
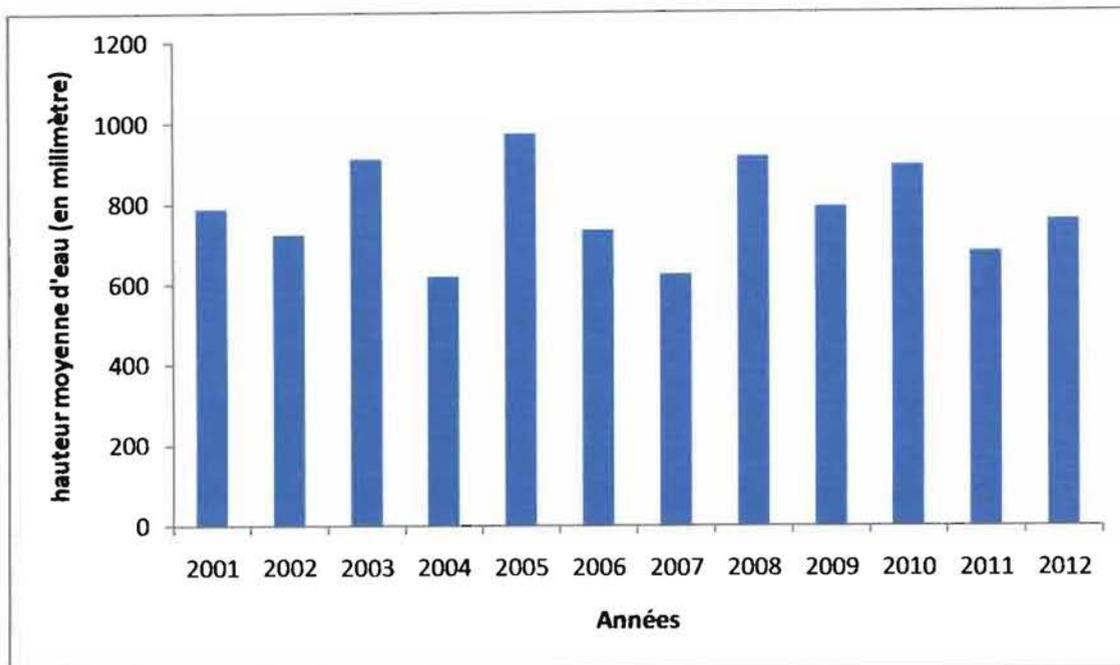


Figure 2 : Pluviométries comparées des années 2012 et 2013 de Janvier à Octobre.

La figure 3 montre l'évolution des pluviométries annuelles totales de Kamboinsé sur une période de 12 ans (2001-2012). L'observation fait ressortir une variation importante des quantités d'eau qui tombent chaque année. La moyenne annuelle d'eau recueillie de 2001 à 2012 est de 784 mm.

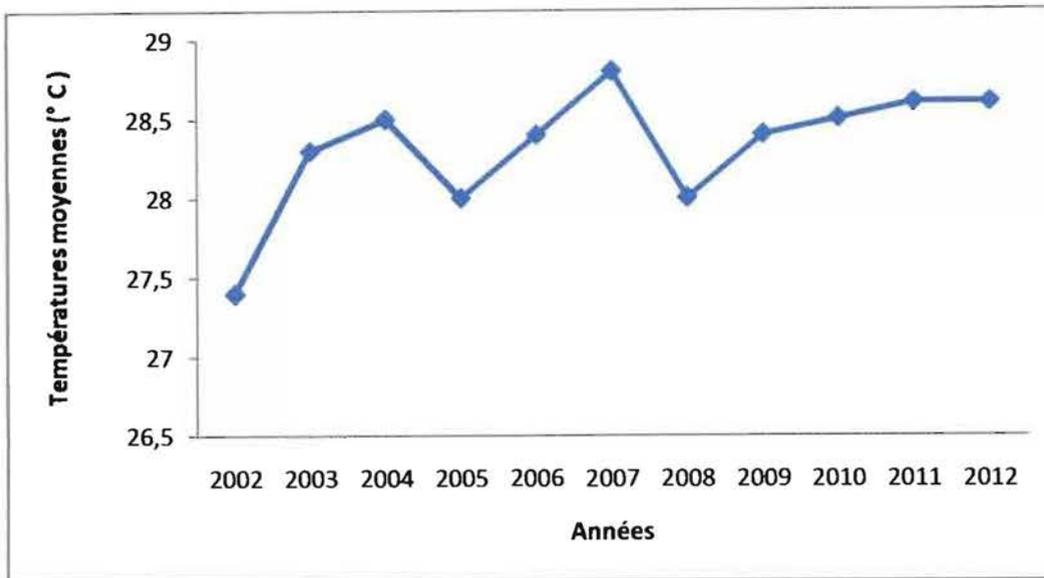


(Source : Station agro météorologique du CREAM/ Kamboinsé 2013).

Figure 3 : pluviométries annuelles de 2001-2012

1.4. Températures

Les températures moyennes annuelles varient selon les saisons. Pendant la période froide (octobre à février), la température moyenne est de 27 ° C variant entre une moyenne minimale de 19 ° C et une moyenne maximale de 35 ° C. Pendant la saison sèche les températures augmentent, la température moyenne atteint 31° C; la moyenne maximale est de 38 ° C et la moyenne minimale de 24 ° C. L'observation des températures moyennes annuelles fait ressortir une variabilité interannuelle de ces moyennes de température. Au cours de ces onze dernières années, l'année 2007 a été l'année la plus chaude au regard de la moyenne annuelle qui est de 28,8 ° C.



(Source : Station agro météorologique du CREAM/ Kamboinsé 2013).

Figure 4 : Températures moyennes annuelles de 2002 à 2012

1.5. Sols

Les sols de la région de Kamboinsé sont de types ferrugineux tropicaux lessivés reposant sur du matériau sableux plus profond ; des sols hydromorphes peu humifères à pseudogley hérités en association avec des lithosols sur cuirasse ferrugineuse (Kaloga, 1969). L'association est constituée de matériaux résiduels anciens qui forment la base des sols ferrugineux tropicaux. Ils peuvent être recouverts par endroit d'une couche sableuse d'épaisseur variable de 0 à 40 cm. Selon Boulet (1976), ces sols présentent une texture à dominance sablo argileuse en surface et argileuse en profondeur. La profondeur de la zone d'enracinement est très variable et peut être limitée par l'horizon induré (carapace ou cuirasse ferrugineuse). Le sol de notre site d'étude est caractérisé par une texture sablo-limoneux (Tableau I)

Tableau I: Caractéristiques physico-chimiques de l'horizon (0-20cm) du sol de départ

<i>Paramètres</i>	<i>Valeurs</i>
Argile (%)	14,42
Limons fins (%)	5,35
Limons grossiers(%)	19,41
Sables fins (%)	34,19
Sables grossiers (%)	26,63
	Sablo- limoneux
Texture	
Matière organique totale (%)	1,259
Carbone total (%)	0,730
Azote total (%)	0,045
C / N	16,22
Phosphore total (ppm)	132,50
Calcium (Ca ²⁺) (mEq / 100 g)	3,11
Magnésium (Mg ²⁺) (mEq / 100 g)	1,61
Potassium (K ⁺) (mEq / 100 g)	0,45
Sodium (Na ⁺) (mEq / 100 g)	0,41
Somme des bases (S) (mEq / 100 g)	5,31
Capacité d'échange (T) (mEq / 100 g)	6,77
Taux de saturation (S/T) %	78
pH – eau	6,18

1.6. Matériel végétal

La tomate (*Lycopersicon esculentum*, Linné 1753) a été utilisée comme matériel végétal pour notre expérimentation. Il s'agissait de la variété F1 Mongal en culture pluviale. C'est une variété dont le cycle est de 130 jours avec des rendements moyens variant entre 40 à 50 tonnes à l'hectare. Elle est tolérante, au virus de la tomate (TYLCV), au *Fusarium sp.*, au *Stemphylium sp.*, aux nématodes et aux *Pseudomonas sp.*, et rustique (Tropicasem, 2001). Elle est très recommandée et particulièrement cultivée en pluvial, en premier choix variétal, par la plupart des maraîchers au Burkina Faso.

1.7. Fertilisants

La fumure minérale utilisée sur toutes les parcelles élémentaires a consisté en un apport de NPK est (14-23-14) et d'urée à 46 % N aux doses respectives de 350 kg/ha et 150 kg/ha. Trois (3) types de matière organique ont été utilisés comme fertilisants organiques pour la tomate. Il s'agit du fumier de bovin, du fumier de porc, du compost composé d'un mélange originel de déchets verts (74%) + fumure de bovin (24%) + du Burkina phosphate (2%) produit au centre de traitement et valorisation des déchets de Ouagadougou. Ces différents

types de matières organiques exogènes constituent avec le témoin un facteur de notre étude. Les caractéristiques chimiques moyennes de ces différentes sources de matière organique sont résumées dans le tableau II.

Tableau II: Caractéristiques chimiques moyennes des différents fumiers utilisés.

	C total %	N total %	P total ppm	K total ppm	C/N	pH
<i>Fumier de Bovin</i>	41,12	2,485	8,21	10,25	16,54	7,96
<i>Compost</i>	21,77	1,326	5,91	6,20	16,41	8,32
<i>Fumier de porc</i>	23,78	1,160	3,29	6,20	20,5	7,37

1.8. Pesticides

Deux matières actives insecticides ont été utilisées pour la protection phytosanitaire de la culture : le chlorpyrifos-éthyl (un organophosphoré) et la lambda-cyhalothrine (un pyréthrenoïde). Le choix de ces deux pesticides se justifie par le fait, d'une part qu'ils sont utilisés en culture maraîchère au Burkina Faso pour lutter contre les principaux insectes ennemis de la tomate et d'autre part, qu'ils sont sur la liste des pesticides homologués par le Comité Sahélien des Pesticides en 2012.

- **Le chlorpyrifos-éthyl**

Le chlorpyrifos ($C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$ ou diethoxy-sulfanylidene-(3,5,6-trichloropyridin-2-yl)oxyphosphorane) est un insecticide de la famille chimique des organophosphorés.

Suite à l'usage agricole du chlorpyrifos-éthyl, l'essentiel des quantités de la substance non dirigée vers les plantes atteint, directement ou indirectement, le sol. De plus, une partie des traitements réalisés au chlorpyrifos est réalisée sous forme d'incorporation de granulés (ACTA, 2004). Sur la base des données disponibles (EPA, 2000), le chlorpyrifos semble se dégrader lentement dans les sols (conditions anaérobiques et/ou en aérobie). Son temps de demi-vie dans le sol est estimé à 35 jours (Gouzy & al. 2005).

- **La Lambda-cyhalothrine**

La Lambda-cyhalothrine est un insecticide appartenant à la famille des pyréthrinoides de formule moléculaire $C_{23}H_{19}ClF_3NO_3$.

2. Méthode d'étude

2.1. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental que nous avons mis en place est un dispositif en Split-plot en blocs à trois répétitions. Il a été installé sur un terrain plat à pente quasi-nulle. Il comprend trois (03) traitements principaux et quatre (04) traitements secondaires. Les traitements principaux correspondent aux traitements pesticides (2) et un témoin. Les traitements secondaires correspondent aux différentes sources de matière organique exogène et le témoin sans apport de matière organique.

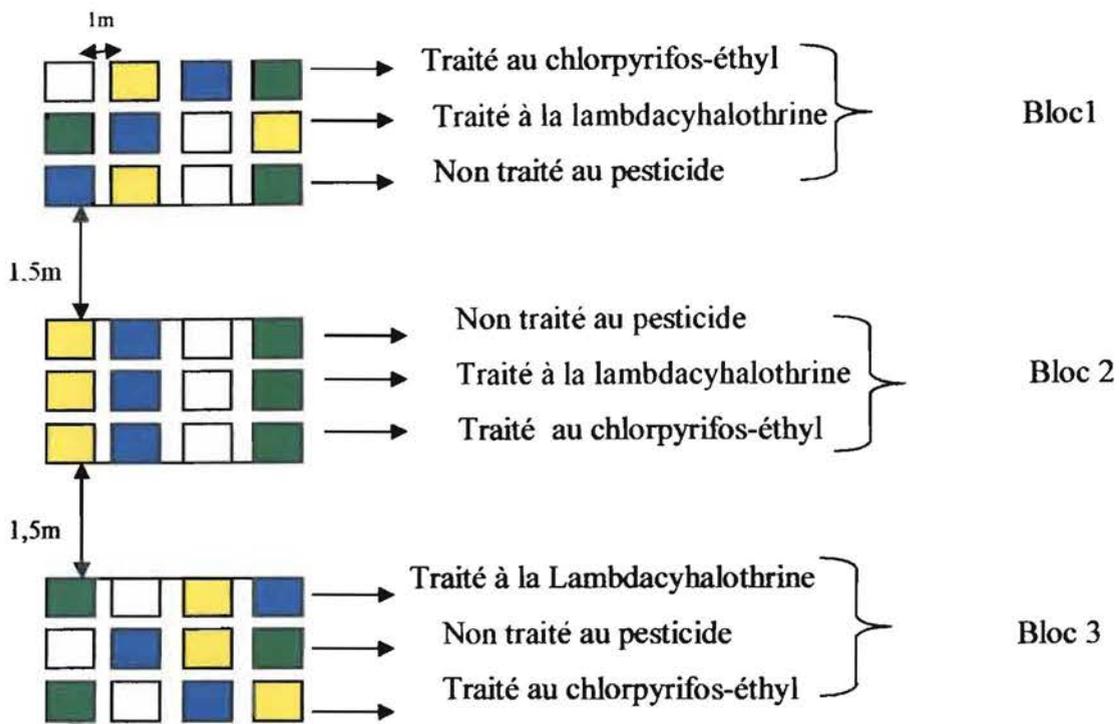
M0 : Témoin sans apport de fumure organique ;

M1 : compost

M2 : fumier de porc;

M3 : fumier de bovin;

Chaque type de fumier a été appliqué à la dose de 20 tonnes par hectare. Chaque traitement a été répété 3 fois. Le dispositif expérimental comprend au total 36 parcelles élémentaires de 9m². Par parcelle élémentaire de 9m², 4 billons de repiquage sur lesquels les plants de tomate sont repiqués avaient été dressés. L'écartement entre billons est de 0,70m et sur chaque billon, chaque pied est écarté du suivant de 0,5 m. L'allée entre deux blocs est de 1,5m et les parcelles élémentaires sont séparées entre elles par des allées de 1 m (Figure 5).



Légende :

- M2 : Parcelle amendée au fumier de porc
- M3 : Parcelle amendée au fumier de bovin
- M0 : Parcelle sans apport de Matière organique
- M1 : Parcelle amendée au compost

Figure 5 : Schéma du dispositif expérimental

2.2. Conduite de l'expérimentation

2.2.1. Mise en place de la pépinière

Le semis des semences de tomate s'est effectué dans des bacs de pépinières remplis de terre placés sous une serre. Après semis, les bacs ont été recouverts de paille afin de limiter l'évapotranspiration et l'assèchement précoce. Un arrosage tous les 3 jours a été effectué. Aucun traitement phytosanitaire n'a été appliqué durant la phase de pépinière. Au 21^{ème} jour après semi, nous avons procédé au repiquage sur le site de l'essai après la préparation du sol.

2.2.2. Implantation du site expérimental

Deux critères essentiels ont guidé le choix du site expérimental :

- L'accessibilité facile au site situé dans l'enceinte de la station de Kamboinsé ;
- La proximité d'une retenue d'eau pour des éventuelles irrigations de complément.

2.2.3. Techniques culturales appliquées

- La préparation du sol

Elle a d'abord consisté à un labour de toute la parcelle. Les fumures organiques ont été apportées à la dose de vingt (20) tonnes par hectare bien avant le repiquage puis enfoui à la daba lors du billonnage. Les différentes sources de matières organiques exogènes ont constitué le traitement secondaire dans notre étude. Par contre, toutes les 36 parcelles élémentaires ont été traitées avec le NPK et l'urée. Le NPK à la dose de 350 kg/ha et la première fraction d'urée à la dose de 150 kg/ha ont été apportés au 14^{ème} jour après repiquage. La deuxième fraction d'urée a été apportée au 28^{ème} jour après repiquage.

- Les traitements phytosanitaires

L'application de chaque type d'insecticide constitue avec le témoin (sans application) les traitements primaires du deuxième facteur de notre étude. Deux insecticides ont été utilisés dans le cadre de cette étude :

La Lambda super 2,5 EC est l'un des deux (2) insecticides utilisés pour le traitement phytosanitaire. Il contient 25g de lambdacyhalothrine (matière active) par litre du produit. La dose de 600ml/ha, recommandée par le fabricant, est celle utilisée dans le cadre de notre étude. Elle a été appliquée dès le 21^{ème} jour après repiquage. Douze (12) parcelles élémentaires ont été traitées avec cet insecticide. Le temps entre traitements a été de 10 jours. Trois applications ont été effectuées.

Le Dursban 4E est le deuxième insecticide utilisé pour le traitement des douze autres parcelles élémentaires. Il contient 480g de chlorpyrifos-éthyl (matière active) par litre de la formulation. La dose recommandée par le fabricant et appliquée dans le cadre de notre étude était de 1,25l/ha. L'application a débuté dès le 21^{ème} jour après repiquage. L'intervalle de temps entre deux (2) traitements a été de 10 jours. Au total trois applications ont été nécessaires pour boucler tout le cycle.

2.2.4. Echantillonnage des sols

Les prélèvements de sols ont été effectués à 0-20cm de profondeur à l'aide d'une tarière et en trois (3) points sur la diagonale de chaque parcelle élémentaire. Le mélange des échantillons issus des 3 points de prélèvement d'une parcelle élémentaire constitue l'échantillon de cette parcelle. Ces échantillons ont été séchés à l'ombre, tamisés à 2 mm puis conservés à température ambiante.

3. Méthodes d'analyses

3.1. Détermination des paramètres chimiques

3.1.1. Mesure du pH

Le pH_{eau} a été mesuré au pH-mètre par la méthode électrométrique. Le rapport sol/eau était de 1/ 2,5 selon les normes AFNOR (1981).

la mesure des pH_{eau} des différents types de fumures, a été effectuée par mesure électrométrique dans un rapport fumure /Eau de 1/5.

3.1.2. Détermination du carbone total

Elle a été faite par la méthode Walkley-Black ((Walkley et Black, 1934) qui consiste en une oxydation à froid du carbone du sol avec du bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) 1N en présence de H_2SO_4 concentré. L'excès du bichromate est dosé par du sel de Mohr $Fe(SO_4)_2(NH)_2$ en présence d'indicateur coloré.

Le carbone des fumures est obtenu par calcination dans un four à moufle CARBOLITE à $550^\circ C$ pendant 2 heures. Les taux de matière organique (MO) et de carbone (C) ont été calculés par les formules suivantes :

$$MO(\%) = 100 \times (p_i - p_f) / P_i \quad \text{et} \quad C(\%) = MO(\%) / 1,724$$

avec

P_i , le poids initial de la prise d'essai

P_f , le poids final de la prise d'essai après calcination.

3.1.3. Dosage de l'azote total

Le dosage de l'azote a été fait selon la méthode de Kjeldhal par attaque acide (Hillebrand & *al.*, 1953). H_2SO_4 concentré en présence de catalyseur au sélénium et de H_2O_2 , ce qui convertit l'azote organique en sulfate d'ammonium $(NH_4)_2SO_4$. L'ion (NH_4^+) ainsi formé est dosé par colorimétrie automatique au SKALAR dont le principe est fondé sur la réaction modifiée de Berthelot : l'ammonium est chloré en chlorure d'ammonium qui réagit avec le salicylate pour former le 5-amminosalicilate. Après oxydation par couplage il se forme un complexe vert dont l'absorbance est mesurée à 660 nm.

3.1.4. Dosage du phosphore total

Le dosage du phosphore a été fait selon une méthode identique à celle de l'azote total (Hillebrand & *al.*, 1953). Le dosage est fait par colorimétrie automatique au SKALAR. Le

molybdate d'ammonium et le potassium antimoine tartrate réagissent en milieu acide avec l'acide ascorbique en formant un complexe coloré en bleu en présence de P dont l'absorbance est mesurée à 880 nm. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de P dans le milieu.

3.1.5. Dosage du potassium total

La méthode de minéralisation est identique à celle décrite précédemment. Le potassium est dosé par un spectrophotomètre à émission de flamme Jencons.

3.1.6. Dosage des bases échangeables

Les bases échangeables telles que Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} et la CEC ont été quantifiées en utilisant le mélange de nitrate d'argent (AgNO_3) et le Thio-urée (H_2NCSNH_2) à 0,01 M. Selon BUNASOLS (1987), l'échantillon de sol est ajouté à la solution d'argent thio-urée et agité pendant 2 heures. Le mélange est filtré et Ca^{2+} et Mg^{2+} ont été obtenues après passage du filtrat au Spectromètre d'Absorption Atomique (ASS) tandis que K^+ est déterminée à l'aide d'un photomètre à flamme. La CEC correspond à la quantité d'argent dosé dans le filtrat.

3.2. Détermination des paramètres biologiques

3.2.1. Echantillonnage de la macrofaune

L'échantillonnage de la macrofaune a été effectué huit semaines après les semis, par la méthode des monolithes, méthode standard TSBF (Anderson & Ingram, 1993). Le monolithe est un bloc du sol de 25 cm x 25 cm sur 30 cm de profondeur, prélevé dans chaque parcelle. Pour les termites, une fouille complémentaire est réalisée dans un transect de 5 x 2 m réalisé autour du monolithe (Jones & Eggleton, 2000). Le transect a été fouillé en surface et à une profondeur de 5 cm à la daba, puis les termites sont collectés dans des flacons de conservation contenant de l'alcool à 75%. Pour chaque traitement, trois (03) monolithes ont été pris. La macrofaune a été recueillie par tri à la main à l'aide de pincettes sur un plateau en aluminium.

Les vers de terre ont été introduits dans des bocaux contenant de l'alcool à 75%, puis fixés dans du formaldéhyde 4%. Les termites et les autres groupes de macrofaune ont été conservés dans des flacons contenant de l'alcool à 75% et acheminés au laboratoire pour l'identification. L'identification de la macrofaune a été réalisée au Laboratoire d'Histoire

Naturelle du Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique au Burkina Faso.

3.2.2. L'expression des résultats de la macrofaune

La diversité spécifique est un paramètre qui a été utilisé pour la description des peuplements de la macrofaune. Elle exprime la richesse spécifique d'un peuplement donné, c'est-à-dire, le nombre plus ou moins grand d'espèces qui le composent (Frontier & Pichod-Viale, 1998).

La diversité spécifique peut-être exprimée par plusieurs indices de diversité. Celui que nous avons choisi dans la présente analyse est l'indice de Shannon H' :

$H' = - \sum (p_i \ln p_i)$, où H' : indice de biodiversité de Shannon, i : une espèce du milieu d'étude, p_i : proportion d'une espèce i par rapport au nombre total d'espèces (S) dans le milieu d'étude (ou richesse spécifique du milieu), qui se calcule de la façon suivante: $p(i) = n_i / N$ où n_i est le nombre d'individus pour l'espèce i et N est l'effectif total (les individus de toutes les espèces).

L'équitabilité est l'abondance relative de différentes espèces au sein d'un peuplement.

L'équitabilité (E) est encore appelée régularité. L'indice d'équitabilité IE est:

$IE = H' / \ln S$, où S est la richesse spécifique du peuplement (Magurran, 2006).

3.2.3. Respirométrie

Elle a été évaluée après la récolte selon la méthode décrite dans les travaux de Schnürer (2006), de Gnankambary & al. (2008) et de Naré (2010).

L'activité des microorganismes du sol a été déterminée par mesure de la respiration du sol (dégagements de gaz carbonique, CO_2). Une prise d'essai de dix grammes (10 g) de sol humidifié au 2/3 de la capacité maximale de la rétention d'eau du sol a été placée dans un bocal d'un RESPICOND VI contenant un piège à CO_2 , constitué de 10 ml de KOH 0,1 N. Le RESPICOND VI mesure l'évolution des dégagements de CO_2 en le piégeant dans le KOH. Il en résulte une diminution de la conductance de la solution d'hydroxyde, qui est mesurée à l'aide d'électrodes de platine dans chaque bocal d'incubation. Chaque bocal d'incubation est relié à un ordinateur qui enregistre par heure la quantité de CO_2 dégagée, le cumul de CO_2 et la conductance. C'est un système automatisé pouvant mesurer le taux de respiration du sol simultanément de 1 à 48 échantillons placés dans différents bocaux selon

la durée souhaitée par l'expérimentateur. La quantité de CO₂ dégagée est exprimée en mg pour 10g de sol.

Le quotient respiratoire est un rapport de la respiration de la biomasse totale sur la respiration de base

- La respiration induite par le substrat (SIR) :

Au 5^{ème} jour de l'incubation, la vitesse de respiration des microorganismes est devenue stable. La moyenne horaire des quantités de C-CO₂ dégagées pendant ces 5 jours d'incubation est calculée ; elle représente la respiration de base (RB) de chaque échantillon. Après ces 5 jours d'incubation, il a été procédé à l'apport de substrat composé d'un mélange en quantité non limitant de 0,15 g de glucose (source de carbone) ; de 24,5 mg de (NH₄)₂SO₄ (source d'azote); de 3,75 mg de KH₂PO₄ (source de phosphore et de potassium). Le dosage du C-CO₂ dégagé a été effectué par heure pendant 72 heures, puis la respiration induite par le substrat (SIR), le temps de latence et le maximum de respiration (R_{max}) sont déduits.

L'activité respiratoire évolue suivant le modèle de Schnürer (2006) (Figure 6).

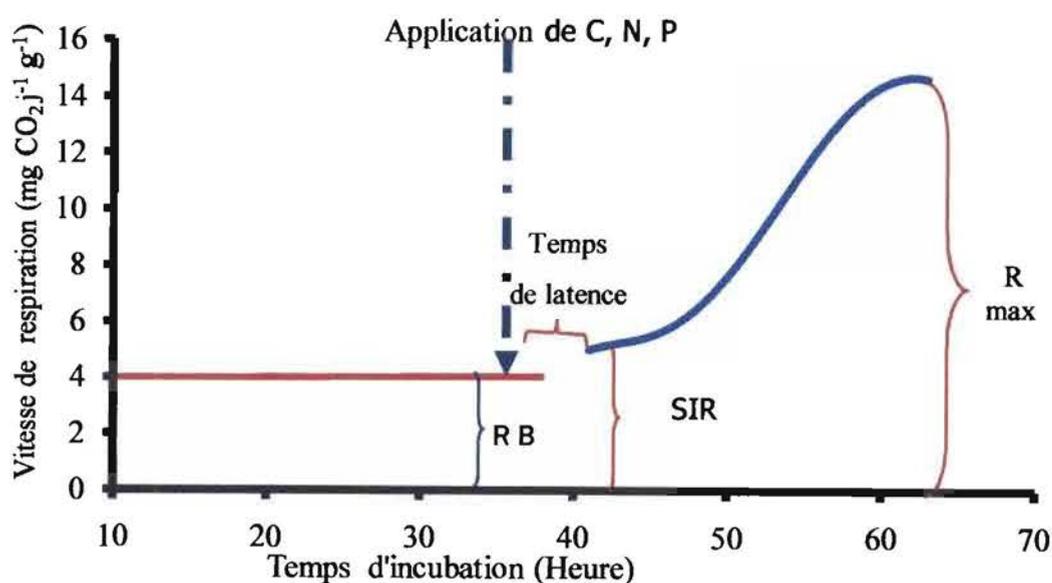


Figure 6 : Modèle d'évolution de l'activité respiratoire (Source : Schnürer 2006).

3.3.Expression des rendements

Trois récoltes à intervalle de 5 jours ont été effectuées au total. La pesée de l'ensemble des fruits de chaque parcelle élémentaire à l'aide d'un peson a permis de déterminer les poids.

Les rendements ont été exprimés en kg de fruits par pieds de tomate, cela pour prendre en compte l'effet pesticide.

3.4.Traitements et analyses statistiques des données

Les données ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA). Le logiciel Genstat Discovery Edition 4 a été utilisé à cet effet. La séparation des moyennes a été effectuée par le test de Student-Newman-Keuls (la plus petite différence significative) au seuil de 5%.

Chapitre III : Résultats et discussions

1. Effet des pesticides et des sources de matière organique sur la macrofaune du sol

1.1. Résultats

1.1.1. Effet des pesticides et des sources de matière organique sur la densité de la population totale de macrofaune.

Sur un total de 1707 individus dénombrés, il a été recensé 23% des individus dans les parcelles traitées à la lambdacyhalothrine contre 32% dans les parcelles n'ayant reçu aucun traitement pesticide et enfin 47% des individus dans les parcelles traitées au chlorpyrifos-éthyl. Par ailleurs, la densité des individus dans les parcelles sans aucun amendement organique (témoin) est inférieure à celle des parcelles amendées, quel que soit le traitement pesticide appliqué (Figure 7).

En effet, de façon générale, la matière organique (toute source confondue) a induit une augmentation de 69, 66% de la densité de la macrofaune par rapport au témoin (sans apport de matière organique). Le peuplement le plus dominant a été obtenu avec le traitement au fumier de porc (34% de la densité totale).

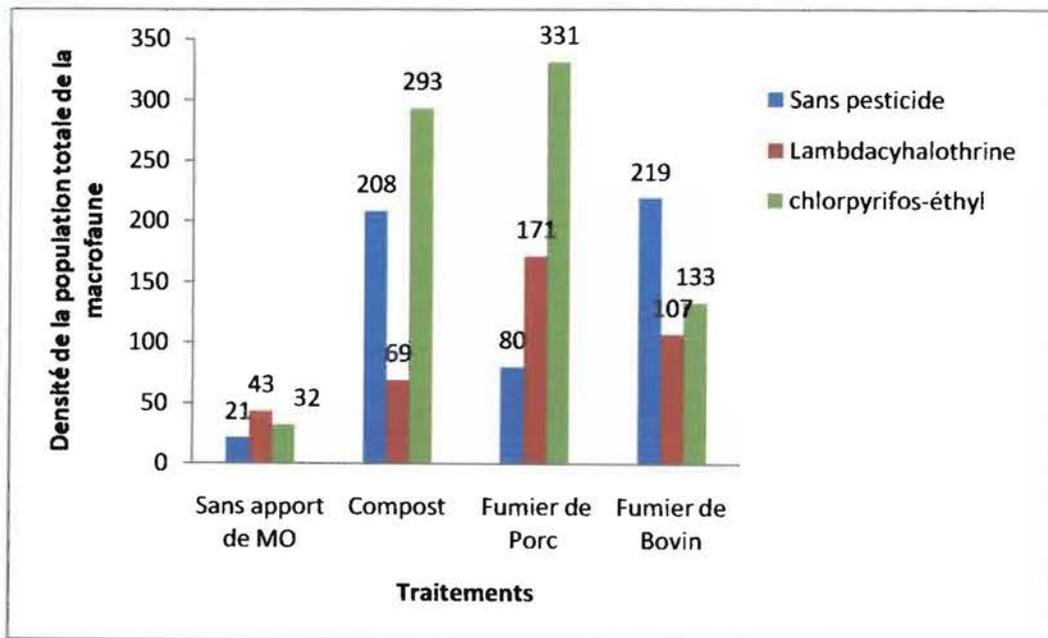


Figure 7 : Densité de la population totale de macrofaune par traitement

Les résultats de l'analyse de variance montrent que les pesticides n'ont pas eu d'effet significatif sur la densité de la macrofaune. Par contre, les différentes sources de matières

organiques ont eu un effet significatif ($P= 0,033$ au seuil de 5%) sur la densité de la macrofaune du sol (Tableau III).

Tableau III: Analyse de variance (ANOVA) de l'effet des différents traitements sur la densité de la macrofaune du sol au seuil de 5%.

Traitements	ddl	Valeur de F	Probabilité (P)	Signification
Pesticides	2	2,06	0,149	NS
Sources de MO	3	3,45	0,033	S
Sources de MO x Pesticides	6	1,47	0,229	NS

ddl : Degré de liberté; NS : Non significatif; S : Significatif; MO : Matière Organique

Enfin, la comparaison des moyennes en fonction des différentes sources de matières organiques montre que le témoin sans apport de matière organique a la densité la plus faible (Figure 8).

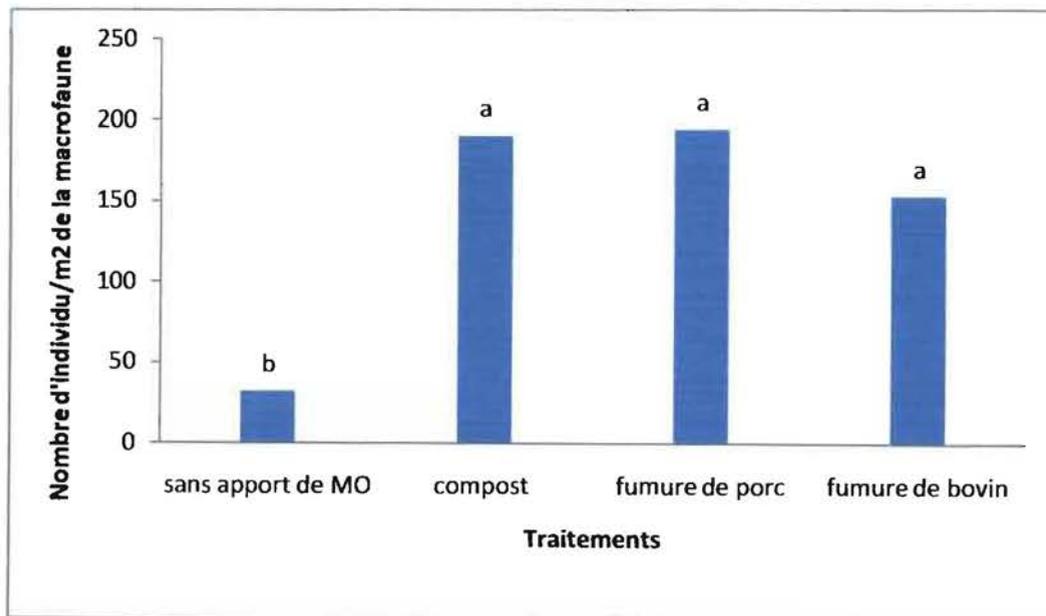


Figure 8 : Densités moyennes de la macrofaune par traitement

1.1.1.2. Effet des pesticides et des sources de matière organique sur la densité de la population des vers de terre

La collecte a permis de dénombrer 267 individus de la population de vers de terre par m², appartenant à deux espèces identifiées. Il s'agit de *Millsonia inermis* Beddard, 1894 et

Dichogaster affinis Michaelsen, 1890. L'espèce *Dichogaster affinis* est majoritaire (82% de la densité totale).

L'indice d'équitabilité (Tableau IV) montre que le traitement M1P2 (compost+ chlorpyrifos-éthyl) est celui dont les espèces ont la meilleure répartition **IE=0,99**.

Tableau IV: Espèces, nombre, Indice de Shannon (IS) et Indice d'Équitabilité (IE) des vers de terre en fonction des traitements.

Traitements	Espèces	Nombre /m ²	IS	IE
M0P0	<i>Dichogaster affinis</i>	5	0	0
M0P1	-	0	0	
M0P2	<i>Dichogaster affinis</i>	5	0	0
M1P0	<i>Dichogaster affinis</i>	21	0	0
M1P1	<i>Dichogaster affinis</i>	37	0,364	0,52
	<i>Millsonia inermis</i>	5		
M1P2	<i>Dichogaster affinis</i>	5	0,689	0,99
	<i>Millsonia inermis</i>	6		
M2P0	<i>Dichogaster affinis</i>	5	0	0
M2P1	<i>Dichogaster affinis</i>	11	0	0
M2P2	<i>Dichogaster affinis</i>	37	0	0
M3P0	<i>Dichogaster affinis</i>	11	0	0
M3P1	<i>Dichogaster affinis</i>	27	0	0
M3P2	<i>Dichogaster affinis</i>	80	0,368	0,53
	<i>Millsonia affinis</i>	11		

Par ailleurs, le traitement pesticide n'a pas révélé d'effet significatif ($P=0,133$ au seuil de 5%) sur la densité de la population des vers de terre (Tableau V). Par contre les types de

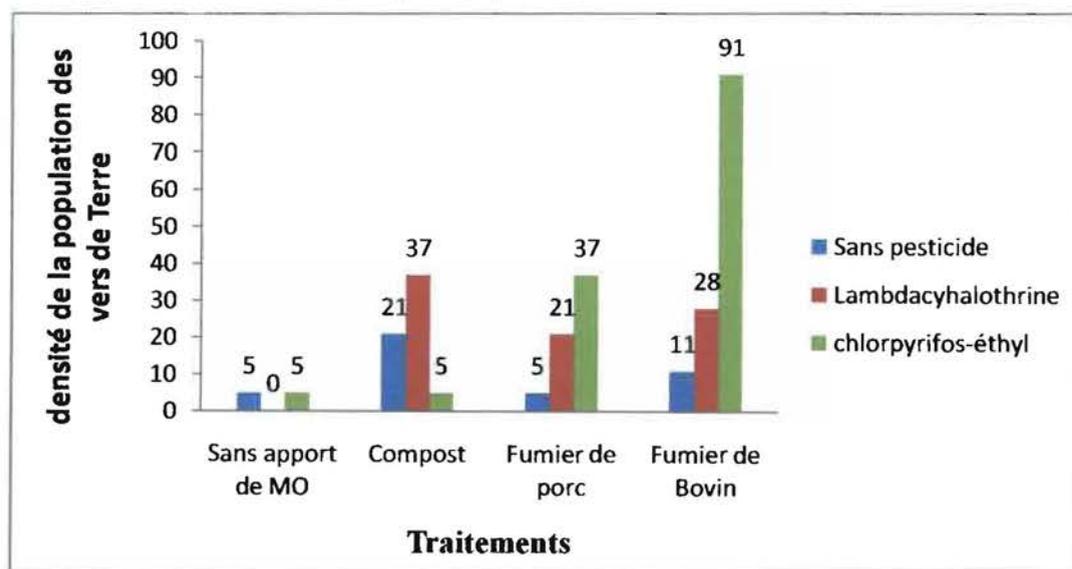
matière organique ont induit un effet très hautement significatif ($P < 0,001$) sur la densité de la population des vers de terre. L'interaction sources de matière organique x pesticides a également révélé un effet très hautement significatif ($P < 0,001$) sur le peuplement au m^2 des vers de terre.

Tableau V : Analyse de variance (ANOVA) de l'effet des différents traitements sur la densité des vers de terre au seuil de 5%.

Traitements	ddl	Valeur de F	Probabilité (P)	Signification
Pesticides	2	3,49	0,133	NS
Fumures organiques	3	11,71	<0,001	THS
Fumures organiques x Pesticides	6	8,82	<0,001	THS

ddl : degré de liberté, NS : Non significatif, THS : Très hautement significatif, MO : Matière Organique

La densité de la population est nulle en présence de la Lambdacyhalothrine en absence de tout apport de matière organique (Figure 9)



MO : Matière Organique

Figure 9 : densité de la population des vers de terre par traitement

Le traitement avec le fumier de bovin a révélé la densité la plus forte de la population de vers de terre (42% du peuplement total). Ceci est aussi prouvé par la comparaison des moyennes de densité en fonction des différentes sources de matières organiques (Figure 10).

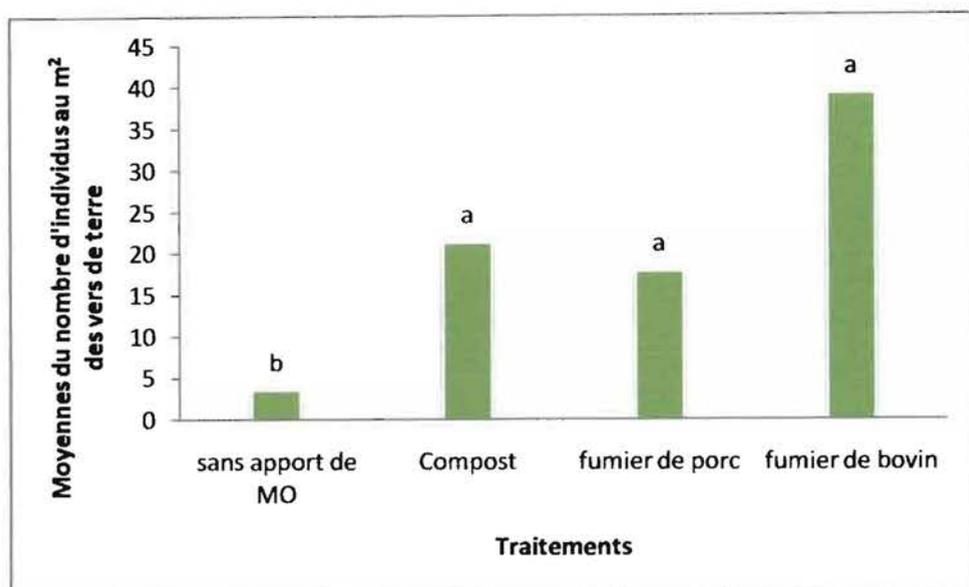


Figure 10 : densités moyennes des vers de terre en fonction des traitements.

1.1.1.3. Effet des pesticides et des sources de matière organique sur la densité de la population des termites

La collecte a permis de recenser 939 individus de termites repartis en deux (2) espèces de termites (Tableau VI). Il s'agit de *Odontotermes sp.* Holmgren 1912 et *Trinervitermes sp.* Holmgren 1912. La meilleure répartition des individus est obtenue en présence du traitement chlorpyrifos et avec le compost (IE=0,96). Le groupe des termites constitue la population dominante au sein de la macrofaune recensée. En effet, il représente à lui seul plus de 55% du nombre d'individus de macrofaune au m². L'espèce *Odontotermes sp.* est la plus abondante.

Tableau VI : Espèces, nombre, Indice de Shannon (IS) et Indice d'Équitabilité (IE) des termites en fonction des traitements.

Traitements	Espèces	Nombre /m ²	IS	IE
M0P0		0		
M0P1	<i>Odontotermes sp.</i>	16	0	
M0P2	<i>Trinervitermes sp.</i>	21	0	
M1P0	<i>Trinervitermes sp.</i>	139	0	
M1P1		0		
M1P2	<i>Trinervitermes sp.</i>	101	0,670	0,96
	<i>Odontotermes sp.</i>	155		
M2P0		0		
M2P1	<i>Trinervitermes sp.</i>	85	0	
M2P2	<i>Odontotermes sp.</i>	213	0,357	0,515
	<i>Trinervitermes sp.</i>	85		
M3P0	<i>Odontotermes sp.</i>	75	0,354	0,510
	<i>Trinervitermes sp.</i>	28		
M3P1	<i>Odontotermes sp.</i>	11	0	0
M3P2	<i>Trinervitermes sp.</i>	11	0	0

Le compost est le type de matière organique où la densité de la population des termites enregistrée est la plus forte (42% du nombre total d'individu/m²). Aussi sans apport de matière organique et sans pesticide (témoin absolu), la densité de la population de termites est nulle (figure 11).

Le comportement des individus diffère selon le type de pesticide en présence. En effet, tandis que la lambda-cyhalothrine a entraîné une perte de 62,5% des individus/m² par rapport au témoin sans pesticide (figure 11), le chlorpyrifos-éthyl a induit un accroissement de la densité de 76% par rapport au témoin sans pesticide.

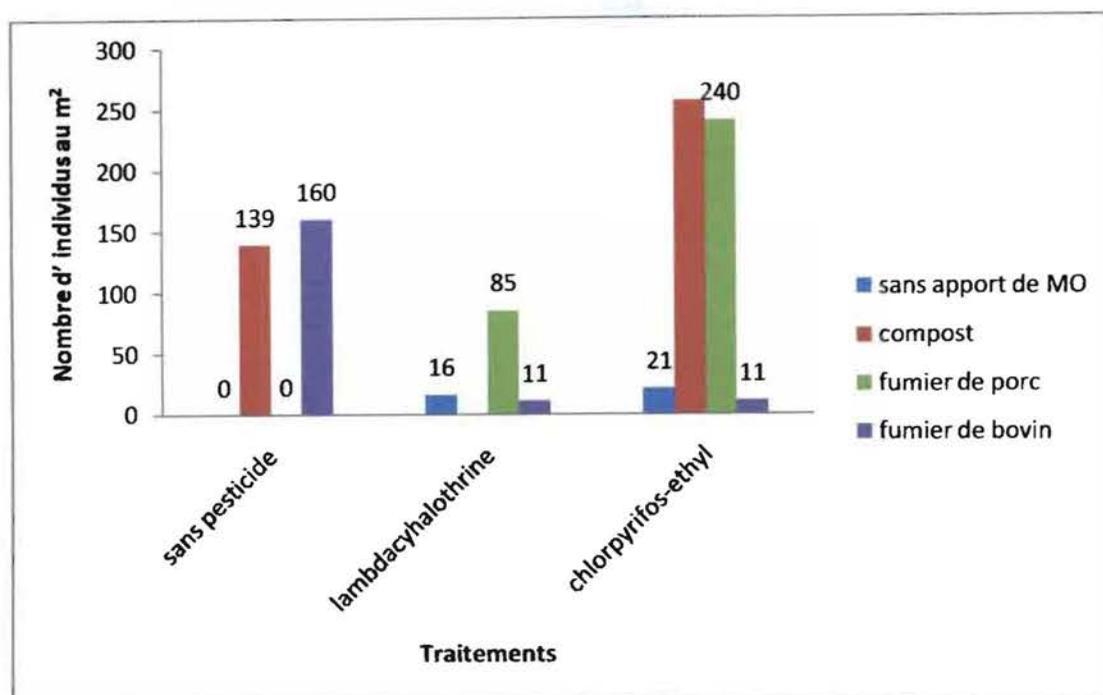


Figure 11 : densité de la population des termites par traitement.

L'analyse de variance montre que les traitements pesticides ont eu un effet significatif ($P=0,043$ au seuil de 5%) sur la densité des termites (Tableau VII). Par contre, les différentes sources de matière organique et l'interaction sources de matière organique et pesticides n'ont pas eu d'effet significatif sur la densité des termites.

Tableau VII: Analyse de variance (ANOVA) de l'effet des différents traitements sur la densité des termites au seuil de 5%.

Traitements	ddl	Valeur de F	Probabilité (P)	Signification
Pesticides	2	7,60	0,043	S
Sources de MO	3	1,23	0,327	NS
Sources de MO x Pesticides	6	1,36	0,281	NS

ddl : degré de liberté; NS : Non significatif; THS : Très hautement significatif; MO : Matière Organique.

Un effet dépressif des pesticides sur le peuplement des termites est obtenu en présence de la lambdacyhalothrine (Tableau IIX).

Tableau IIX : Densité moyenne de la population de termites /traitement pesticide.

Traitements pesticide	Moyennes des nombres d'individus/m ²
Lambdacyhalothrine	28 ^b
Sans pesticides	75 ^{ab}
Chlorpyrifos-éthyl	132 ^a

Les moyennes non suivies de la même lettre dans la même colonne diffèrent significativement.

1.1.1.4. Effet des pesticides et des sources de matière organique sur la densité des autres groupes de macrofaune

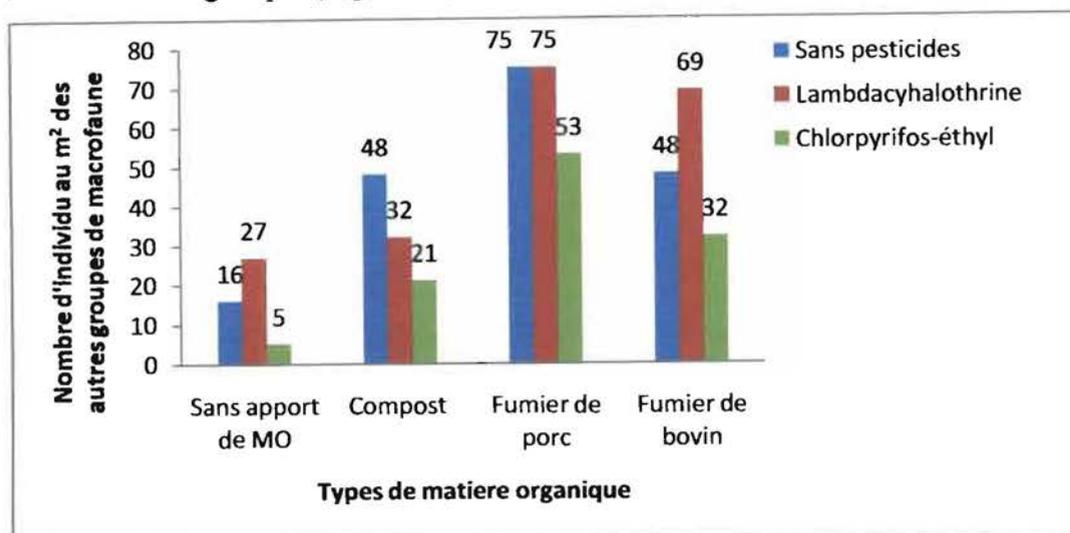
L'inventaire a permis de collecter 501 individus autres que les termites et les vers de terre appelés autres groupes de macrofaune. Ils sont estimés à 30% de la densité totale de la macrofaune (Tableau IX).

Tableau IX : Répartition des autres groupes de macrofaune en fonction des traitements.

Traitements	Types de macrofaune	Nombre /m ²	Nombre total /traitement
Sans Pesticide + sans amendement	Fourmis	11	16
	Coléoptères	5	
Sans pesticide + compost	Coléoptères	32	47
	Hémiptères	5	
	Fourmis	5	
	Collemboles	5	
Sans pesticide + fumier de porc	Coléoptères	38	75
	Myriapodes	5	
	Fourmis	32	
Sans pesticide + fumier de bovin	Fourmis	32	48
	Coléoptères	11	
	Myriapodes	5	
Lambdacyhalothrine + sans amendement	Coléoptères	11	27
	Arachnides	5	
	Fourmis	11	
Lambdacyhalothrine + compost	Coléoptères	27	32
	Arachnides	5	
Lambdacyhalothrine + fumier de porc	Coléoptères	27	75
	Fourmis	32	
	Arachnides	11	
	Collemboles	5	
Lambdacyhalothrine + fumier de bovin	Coléoptères	43	70
	Fourmis	27	
Chlorpyrifos-éthyl + sans amendement	Coléoptères	5	5
Chlorpyrifos-éthyl + compost	Fourmis	17	22
	Diptères	5	
Chlorpyrifos-éthyl + fumier de porc	Coléoptères	42	52
	Arachnides	5	
	Fourmis	5	
Chlorpyrifos-éthyl + fumier de bovin	Arachnides	5	32
	Fourmis	11	
	Coléoptères	11	
	Collemboles	5	

La répartition des types de macrofaune diffère d'un traitement à l'autre et d'un groupe de macrofaune à un autre. En effet, les densités les plus fortes sont observées en présence de

fumier de porc tandis que les plus faibles sont observées sur les parcelles n'ayant reçu aucun amendement organique (Figure 12).



MO : Matière Organique

Figure 12 : Densité des autres groupes de macrofaune en fonction des traitements.

L'analyse des moyennes de densité, en fonction du traitement pesticide, montre que le chlorpyrifos-éthyl a un effet dépressif sur la densité de population des autres groupes de macrofaune (Figure 13).

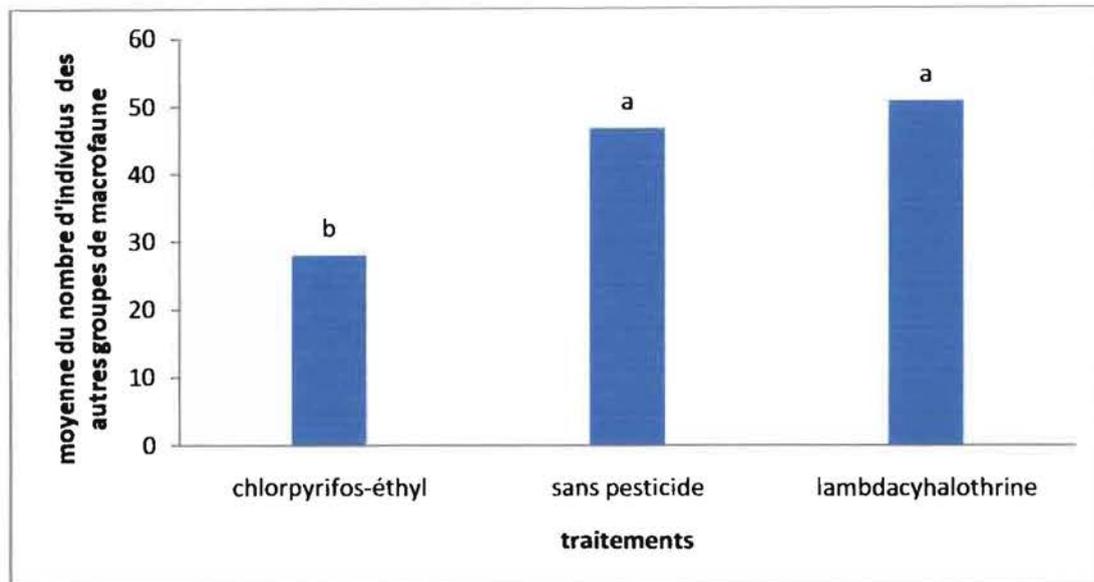


Figure 13 : densités moyennes des autres groupes de macrofaune en fonction du traitement pesticide.

Les moyennes comparées en fonction des sources de matières organiques exogènes montrent que le fumier de porc présente la meilleure amélioration de la densité de population des autres groupes de macrofaune. Elle représente 40% du total des moyennes et est 61% supérieur au témoin sans apport de matière de matière organique (Tableau X).

Tableau X : Densités moyennes des autres groupes de matières organiques en fonction des sources de matières organiques exogènes.

Sources de matières organiques	Densité moyennes (nombre d'individus/m ²)
Sans apport de MO	16 ^c
Compost	34 ^{bc}
Fumier de bovin	50 ^{ab}
Fumier de porc	68 ^a

Lsd=22.51

MO : Matière organique

Les moyennes non suivies de la même lettre dans la même colonne diffèrent significativement au seuil de 5% ; Lsd : la plus petite différence significative.

Les pesticides ont eu un effet significatif sur la densité ($P=0,020 < 5\%$) de la population des autres groupes de macrofaune. Quant aux différentes sources de fumure organique, elles ont eu un effet hautement significatif ($P=0,001$ au seuil de 5%) sur la répartition au m² (densité), des autres groupes de macrofaune (Tableau XI).

Tableau XI : Analyse de variance (ANOVA) de la densité des autres groupes de macrofaune.

Traitements	ddl	Valeur de F	Probabilité (P)	Signification
Pesticides	2	12,05	0,020	S
Types de MO	3	8,46	0,001	HS
Types de MO x Pesticides	6	0,41	0,864	NS

ddl : degré de liberté; NS : Non significatif; HS : hautement significatif; MO : Matière Organique.

1.2. Discussion

1.2.1. Effet des pesticides et des sources de matière organique sur la densité de la population totale de la macrofaune.

Les résultats de l'analyse de variance ont montré que les pesticides n'ont pas eu d'effet significatif ($P=0,168$ au seuil de 5%) sur la densité de la population totale de la macrofaune.

Aussi l'analyse de la Figure 7 a montré une densité de macrofaune plus élevée en présence de pesticides par rapport aux traitements sans pesticide, en absence de tout apport de matière

organique (Témoin absolu). La macrofaune s'est comportée comme si elle était stimulée par les traitements pesticides. Ce résultat corrobore les travaux de Menhinick (1962) qui a montré qu'après application des pesticides, la faune du sol tend à devenir plus abondante, par suite d'une diminution des gros organismes au profit des petits beaucoup plus tolérants aux pesticides; cependant la diversité et la biomasse totale diminuaient.

De plus, les sources de matière organique, en présence de pesticides, ont induit des augmentations de densité de la macrofaune totale par rapport au témoin. Cela signifie que les matières organiques exogènes ont permis d'atténuer l'impact des pesticides sur la macrofaune totale du sol. En effet, Tejada & *al.* (2011) ont montré que le chlorpyrifos-éthyl était adsorbé par la matière organique préférentiellement sur les acides humiques, ce qui les rend moins toxiques en présence de matière organique.

D'une façon générale, toutes les sources de matières organiques ont induit des augmentations de la macrofaune totale du sol. Ces observations ont aussi été faites par Traoré (2012) qui, en étudiant la macrofaune du sol sous culture de sorgho avec incorporation de diverses matières organiques exogènes constituées de paille et de fumier. L'auteur a montré que les matières organiques avaient un effet bénéfique sur l'installation de la macrofaune du sol.

1.2.2. Effet des pesticides et des sources de matière organique sur la densité de la population des vers de terre

L'analyse des résultats montre que les traitements pesticides n'ont pas eu d'effet significatif ($P=0,133 > 5\%$) sur la densité de la population des vers de terre.

Ces résultats corroborent les travaux de Tarrant & *al.* (1997) qui font remarquer qu'après 4 ans, la réduction de l'utilisation de pesticides au champ (au moins de 50 % et pas d'application de Nématicides, ni d'insecticides) n'a pas entraîné de différences écologiques significatives entre les populations de lombriciens. Bachelier (1978) a fait remarquer que les vers de terre contribuent significativement à la dégradation initiale du D.D.T. dans les sols. Aussi Schreck (2008), en étudiant l'effet de la lambdacyhalothrine, du chlorpyrifos et des fongicides sur des vers de terre, a montré que l'analyse chimique des lombriciens a révélé une très faible voire inexistante bioaccumulation de pesticides dans les organismes, même pour les individus exposés aux plus fortes teneurs environnementales durant les plus longues périodes. Il n'est pas exclu de penser à un potentiel rôle des vers de terre dans la détoxification des milieux par la métabolisation directe des molécules mères (Schreck, 2008). Par ailleurs, cette hypothèse émise par Schreck (2008) était antérieurement admise par Binet et *al.*,

(1998) qui ont montré qu'à court terme la présence de vers (toutes espèces confondues) contribue à augmenter la minéralisation du carbone. Ceci est dû au métabolisme propre des vers et à la stimulation microbienne par l'activité lombricienne. Cette stimulation microbienne, en plus du métabolisme propre aux vers de terre pourraient-être à l'origine de la biodégradation des pesticides avec pour conséquence l'atténuation de leur effet sur les vers de terre.

Les matières organiques exogènes ainsi que l'interaction fumier-pesticides ont eu des effets très hautement significatifs ($P < 0,001$) sur la densité des vers de terre (Tableau III). L'analyse de la Figure 9 montre qu'en présence de matières organiques exogènes, la densité de la population des vers de terre est plus forte par rapport au témoin sans apport de matières organiques. Aussi la majorité des parcelles traitées à la fois aux pesticides et aux différentes sources de matières organiques, présentent les plus fortes densités de vers de terre par rapport au témoin sans pesticide. Le fumier de bovin qui est le plus riche en éléments majeurs totaux dans la présente étude montre aussi la plus forte densité de vers de terre. Ceci nous amène à conclure que les vers de terre abondent dans les milieux où la matière organique est riche en éléments fertilisants. Ainsi, le fumier de porc qui a des teneurs moins élevées par rapport à celui du bovin et plus élevées en Azote (N), phosphore (P) et potassium (K) comparé au compost présente la deuxième densité la plus forte après celle du bovin. Aussi, leur abondance dans les parcelles traitées aux pesticides et amendées aux fumiers permet de dire que les matières organiques exogènes induiraient donc des augmentations de densité de la population des vers de terre malgré les traitements pesticides. Ce constat est en accord avec les travaux de Pnsyazhnyuk (1950) cité par Bachelier (1978) qui a montré que les vers résisteraient à des doses de 20 g de H.C.H. (Hexachlorocyclohexane) gamma au m². Jusqu'à des doses de 1 à 3 g au m², et pour des sols suffisamment organiques, le H.C.H. peut même déterminer une augmentation des vers de terre en permettant une plus grande disponibilité de nourriture. La toxicité du H.C.H. (Hexachlorocyclohexane) est d'autant plus forte dans les sols que les matières organiques y sont déficientes (Bachelier,1978). Cela s'explique par le fait que d'une part que la matière organique constituerait une source d'énergie pour les vers de terre pour réaliser leur métabolisme. D'autre part, Zsolney (1992) a montré que l'augmentation de la teneur en carbone des sols provoque pour la plupart des pesticides, une augmentation de leur rétention se traduisant par une diminution de leur mobilité. Ce qui rendrait leur biodégradation plus ou moins aisée. Enfin, Stevenson (1976) a montré que les acides fulviques, par leur acidité pouvaient catalyser la décomposition chimique des pesticides.

1.2.3. Effet des pesticides et des sources de matière organique sur la densité totale des termites

Les termites sont le groupe qui présente la plus forte densité au sein de la macrofaune étudiée. Les termites constituent de ce fait, le groupe majoritaire (55%) de la densité de la macrofaune totale de la présente étude. La même observation a été faite par Ouédraogo (2011) au Burkina Faso, et corroborent les travaux de Lavelle *et al.* (1991). La forte densité de termites s'explique par la faible pluviosité de la zone. En effet, Lavelle *et al.* (1991) ont montré que dans les zones où la pluviosité est inférieure à 1000 mm, les termites dominent la population de la macrofaune du sol.

L'analyse de variance a permis de montrer que les traitements pesticides ont eu un effet significatif ($P=0,043$ au seuil de 5%) sur la densité des termites. Cependant le comportement des individus diffère selon le type de pesticide en présence. En effet, la lambdacyhalothrine a réduit de 62,54% la densité de la population des termites par rapport au témoin sans pesticide. Par contre, le chlorpyrifos-éthyl semble avoir eu un effet bénéfique ; une augmentation (76,58%) sur la densité de cette population par rapport au témoin sans pesticide a été constatée (figure 11). Ce constat s'explique par le fait que le mode d'action et la toxicité des pesticides sont non seulement fonction de la nature du produit et de sa dose utilisée, mais aussi du groupe d'individus ciblés ou non, de leur stade de développement et de l'espèce en présence. En effet, la lambdacyhalothrine a un effet plus dépressif que le chlorpyrifos-éthyl sur la population de termites. Par ailleurs, Parvathi & *al.* (2005) ont montré que la fonction de locomotion et l'activité acétylcholinestérase d'une même espèce de termites (*Odontotermes obesus*) traités au chlorpyrifos et au monocrotophos (tous des organophosphorés) ne sont pas perturbés de la même façon. Ils ont mis en évidence une forte sensibilité des termites au chlorpyrifos par rapport au monocrotophos. Mostafa & *al.* (1982) ont par ailleurs montré que les différents castes d'une même espèce de termites *Psammotermes hubostoma* n'ont pas le même degré d'inhibition des activités enzymatiques selon qu'on est en présence des soldats ou des ouvriers. Les ouvriers ont une activité acétylcholinestérase plus élevée que les soldats et de ce fait étaient moins sensibles que les soldats aux traitements à base d'organophosphorés inhibiteurs de l'acétylcholinestérase. Les différents types de matière organique n'ont pas eu d'effet statistiquement significatif sur la densité de la population des termites. Cependant, les résultats ont montré que les densités les plus faibles ont été observées en absence de toute matière organique exogène (4% des traitements «sources de matières organiques»). Cela signifie que la matière organique a

contribué à l'installation des termites. La plus forte densité est observée en présence du compost. Cela s'explique par la composition originelle du présent compost. En effet, issu d'un mélange originel de 74% de déchets verts (feuilles mortes, morceaux de branches d'arbustes difficilement décomposables) + 24% de fumier de bovin + 2% de Burkina phosphate, le compost contenait toujours quelques matériaux composés de lignine et de cellulose non encore bien décomposés, toute chose que les termites préfèrent. Cette observation est confirmée par les résultats d'analyse post-récoltes des caractéristiques chimiques du sol. Ceux-ci montrent que le sol amendé au compost, présente le taux le plus élevé en carbone total.

1.2.4. Effet des pesticides et des sources de matière organique sur les autres groupes de macrofaune.

L'analyse des résultats a montré que les pesticides ont eu un effet significatif ($P < 5\%$) sur les autres groupes de macrofaune recensés. En rappel, les autres groupes de macrofaune regroupent tout individu de la macrofaune du sol en dehors des vers de terre et des termites.

Ces résultats sont en accord avec ceux de Clausen (1995) qui ont conclu à des effets significatifs des substances actives les plus couramment utilisées au Danemark, sur de très nombreux animaux (les protozoaires, enchytréides, collemboles, acariens, carabes, staphylins, syrphes, microhyménoptères parasitoïdes, etc.).

Par ailleurs en présence de toute matière organique exogène, la densité de la population est plus forte, comparée au traitement témoin sans aucun apport de matière organique. De plus, l'analyse de la variance a révélé un effet hautement significatif ($P = 0,001$) des matières organiques exogènes sur la densité des autres groupes de macrofaune. On peut donc conclure à un effet bénéfique de la matière organique sur ces groupes de macrofaune. Les sources de matières organiques ont favorisé l'abondance relative de la macrofaune. En outre, les différentes sources de matières organiques ont permis d'atténuer l'impact des pesticides sur ces groupes de macrofaune du sol.

- Conclusion partielle

D'une façon générale, les différentes sources de matière organique ont induit une augmentation de la macrofaune totale du sol. Cette augmentation est fonction de la nature de la source de matière organique exogène et aussi du groupe de macrofaune en présence. Quant aux pesticides, ils n'ont pas induit d'effet dépressif sur la densité globale de la macrofaune. Toutefois, ce constat est général, mais ne sied pas lorsqu'on s'intéresse aux différents groupes composant la macrofaune du sol et à la nature de la matière active en présence.

Dans tous les cas l'interaction fumure organique exogène et pesticides s'est révélée être le plus bénéfique à la macrofaune totale du sol par rapport au témoin absolu (sans matière organique exogène et sans pesticides).

2. Effet des pesticides et des matières organiques exogènes sur la respiration de base et la respiration induite par le substrat (SIR) de la microflore du sol.

2.1. Résultats

2.1.1. Respiration de base

La respirométrie de base est la moyenne des dégagements de CO₂ enregistrés par heure par le respicond au cours des 5 jours d'incubation avant l'induction de la respiration par les substrats. Les résultats montrent qu'en présence de fumure organique, la quantité de CO₂ dégagée est supérieure au témoin. Le fumier de bovin en présence de Lambdacyhalothrine présente la plus forte respiration de base (Tableau XII).

Tableau XII : Moyennes des quantités de C-CO₂ (mg/heure pour 10g de sol) dégagée par traitement.

Traitements	Quantité de C-CO ₂ (mg/heure pour 10g de sol)
Compost+chlorpyriphos-éthyl	0,35 ^{ab} ± 0,02
Fumier de bovin+chlorpyriphos-éthyl	0,38^a ± 0,012
Fumier de porc+chlorpyriphos-éthyl	0,37 ^{ab} ± 0,03
Sans amendement organique+ chlorpyriphos-éthyl	0,32 ^b ± 0,014
Compost +lambdacyhalothrine	0,33 ^b ± 0,01
Fumier de bovin +lambdacyhalothrine	0,41^a ± 0,024
Fumier de porc + lambdacyhalothrine	0,34 ^b ± 0,020
Sans amendement organique +lambdacyhalothrine	0,28 ^c ± 0,009
Sans amendement+ sans pesticide	0,29 ^{bc} ± 0,012
Compost + sans pesticide	0,30 ^{bc} ± 0,08
Fumier de bovin + sans pesticide	0,39^a ± 0,019
Fumier de porc + sans pesticide	0,37 ^{ab} ± 0,08

Lsd = 0.03018 (5%)

Les moyennes non suivies de la même lettre sur la même ligne diffèrent significativement au seuil de 5% ; Lsd : la plus petite différence significative.

L'analyse statistique montre que les pesticides n'ont pas eu d'effet significatif ($P=0,120 > 5\%$) sur l'activité respiratoire des microorganismes du sol. Par contre les sources de matières organiques ont eu un effet très hautement significatif ($P < 1\%$ au seuil de 5%) sur l'activité respiratoire de base de la microflore (Tableau XIII).

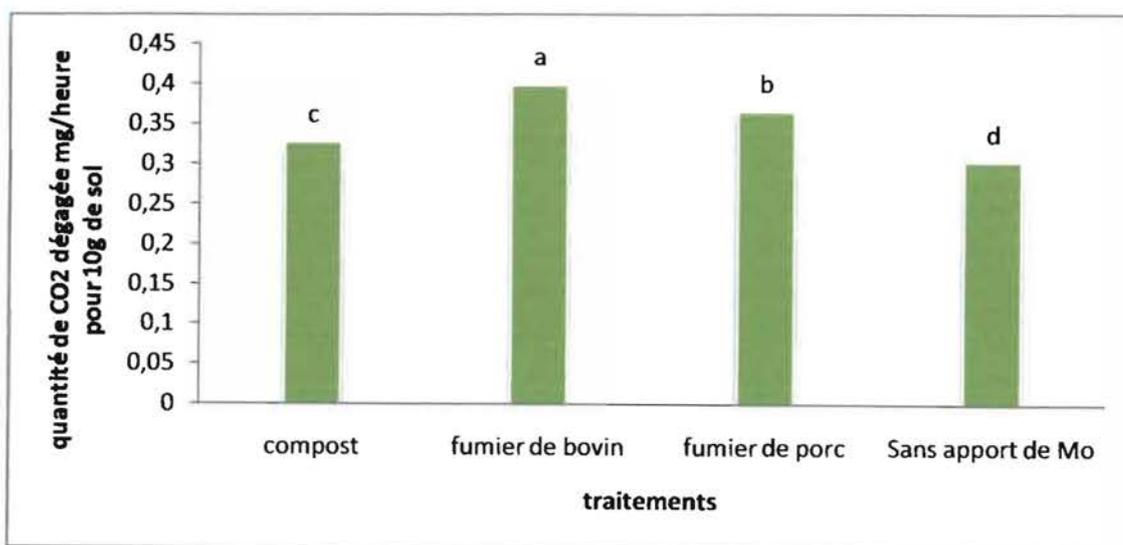
De même, l'interaction entre traitements «sources de matières organiques et pesticides » a eu un effet hautement significatif ($P=0,011$ au seuil de 5%) sur la respiration basale des microorganismes.

Tableau XIII: ANOVA (analyse de variance) de l'effet des différents traitements sur l'activité respiratoire de base du sol.

Traitements	ddl	Valeur de F	Probabilité	Signification
Pesticides	2	3,76	0,120	NS
Sources de MO	3	49,47	<0,001	THS
Sources de MO x Pesticides	6	3,92	0,011	HS

ddl : degré de liberté; MO : Matière organique, NS : Non significatif; THS : Très hautement significatif; HS : Hautement Significatif.

La comparaison des moyennes de respiration de base pour 10g de sol révèle une différence des quantités de CO₂ dégagées, en présence des différentes sources de matière organique (figure 14).



a, b, c et d représentent des groupes de moyennes statistiquement différents, avec la plus petite différence significative (lsd= 0,01764) au seuil de 5%.

Figure 14: moyennes des quantités de C-CO₂ dégagé en mg/heure pour 10g de sol en fonction des traitements.

2.1.2. Respiration induite par le substrat (SIR).

Les résultats de la respiration induite par le substrat (SIR) ont montré que la plus forte quantité de CO₂ dégagée est obtenue en présence de fumier de bovin sans pesticide.

La respiration induite par le substrat (SIR) est proportionnelle à la biomasse microbienne. Cela signifie que la biomasse microbienne la plus importante est obtenue en présence de fumier de bovin sans pesticide. La plus faible biomasse est obtenue en absence de tout apport de matière organique et de tout pesticide (Témoin absolu). Cependant les résultats montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre les différentes moyennes de quantités de C-CO₂ dégagé par traitement (Tableau XIV)

Tableau XIV : Respiration induite par le substrat(SIR) en fonction des traitements.

Traitements	SIR (C-CO ₂ en mg /g de sol)
Compost+chlorpyriphos éthyl	0,04 ^a ±0,005
Fumier de bovin+chlorpyriphos éthyl	0,043 ^a ±0,003
Fumier de porc+chlorpyriphos éthyl	0,041 ^a ±0,005
Sans amendement organique+ chlorpyriphos éthyl	0,036 ^a ±0,003
Compost + lambdacyhalothrine	0,045 ^a ±0,003
Fumier de bovin +lambdacyhalothrine	0,045 ^a ±0,005
Fumier de porc +lambdacyhalothrine	0,036 ^a ±0,004
Sans amendement organique +lambdacyhalothrine	0,045 ^a ±0,012
Sans amendement+ sans pesticide	0,034 ^a ±0,001
Compost sans pesticide	0,04 ^a ±0,001
Fumier de bovin sans pesticide	0,047 ^a ±0,011
Fumier de porc sans pesticide	0,040 ^a ±0,003

L'analyse statistique a montré que les sources de matière organique n'ont pas eu d'effet sur le temps de latence mais les effets sont significatifs en présence de pesticides (Tableau XV). Le temps de latence observé avec le sol traité aux pesticides a été significativement augmenté (29,25 et 30,33 h respectivement pour la lambdacyhalothrine et le chlorpyrifos-éthyl) comparativement à celui observé avec le sol témoin sans pesticides (27 h).

Le temps maximal de respiration maximale est significativement faible (moins de 7,33 h et de 7,92 respectivement pour la lambdacyhalothrine et le chlorpyrifos-éthyl) par rapport au sol témoin sans pesticide (67,25 h) (Tableau XV).

Tableau XV : Temps de latence et temps maximal en fonction du traitement pesticide

Pesticides	Temps maximal(h)	Temps de latence (h)
Chlorpyrifos-éthyl	59,33 ^b ±8,9	30,33 ^a ±1,30
lambdacyhalothrine	59,92 ^b ± 8,71	29,25 ^b ±4,71
Témoin	67,25 ^a ±6,16	27,50 ^c ±3,68

Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%.

Les résultats de la respiration maximale montre qu'il existe des différences significatives entre les moyennes obtenues en fonction des sources exogènes de matière organique. La plus importante respiration maximale est obtenue en présence de compost et le fumier de bovin présente la respiration maximale la plus faible. Quant au quotient respiratoire les moyennes présentent aussi des différences significatives en fonction des sources de matière organique. Ainsi, la moyenne du quotient respiratoire le plus élevé est obtenu en présence du fumier de porc (Tableau XVI).

Tableau XVI : Quotient respiratoire et respiration maximale en fonction des types de fumier

Sources de matière organique	Respiration maximale (mg C-CO ₂ g ⁻¹ de sol)	Qr (Quotient Respiratoire)
Compost	0,606 ^a ±0,191	0,7539 ^a ±0,04
Fumier de bovin	0,351 ^b ±0,041	0,8965 ^b ±0,11
Fumier de porc	0,568 ^a ±0,188	0,9321 ^b ±0,07
Sans apport de MO	0,602^a ±0,030	0,8056 ^{ab} ±0,14

MO : Matière organique

Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%.

2.2. Discussion

2.2.1. Effet des pesticides et des sources de matière organique sur la respiration de base.

Les résultats ont révélé un effet très hautement significatif ($P < 1\%$ au seuil de 5%) des sources de matières organiques sur la respirométrie basale de la microflore du sol. La figure 14 montre qu'en présence de matières organiques exogènes l'activité respiratoire est plus accrue. Le témoin sans apport de matières organiques présente les taux de dégagement, les plus bas.

Cela s'explique par le fait que les microorganismes ont une activité de dégradation plus accrue en présence de matières organiques exogènes. La microflore utilise la matière organique comme source d'énergie pour son métabolisme (Soulas, 2004).

Le fait que les différentes sources de matières organiques n'ont pas la même teneur en matière organique explique donc cette disparité des taux de CO_2 dégagés. L'activité respiratoire la plus intense, a lieu en présence de fumier de bovin. Le fumier de bovin est aussi la source de matière organique la plus riche en terme d'éléments majeurs totaux (C, N, P, K; Tableau II). Si nous rapportons l'activité respiratoire à celle de la biodégradation des pesticides, il peut être conclu que la matière organique accélère le processus de biodégradation des pesticides. Ces résultats sont en accord avec les travaux de Savadogo & *al.* (2008) qui ont montré que des apports de matière organique induisent une dégradation plus rapide de l'endosulfan. Il y a globalement une corrélation positive entre la teneur en matière organique des sols et le taux de dégradation des pesticides (Soulas, 2004). Par ailleurs, la forte densité de la population des vers de terre a aussi été observée en présence du fumier de bovin. Cela révèle une corrélation positive entre la population macro faunique lombricienne et les microorganismes du sol. En effet, l'activité de la macrofaune lombricienne conduit à un rajeunissement des populations microbiennes, à une plus forte mobilisation des nutriments microbiens et donc à une stimulation de l'activité microbienne (Coleman & *al.*, 1983). Les turricules et galeries sont enrichis en carbone (Binet, 1993; Zhang & *al.*, 2003).

2.2.2. Effet des pesticides et des sources de matières organiques sur la respiration induite par le substrat (SIR).

La respiration induite par le substrat (SIR) est la mesure de la biomasse microbienne du sol physiologiquement active (Anderson & Domsch, 1978). Nos résultats montrent qu'elle n'a pas été influencée significativement ni par les pesticides ni par les amendements organiques. Le temps de latence et la respiration maximale traduisent la modification ou non de la physiologie de la population microbienne. Les résultats obtenus montrent que les pesticides appliqués ont un effet sur la physiologie des microorganismes du sol se traduisant par un temps de latence plus long par rapport au témoin. Cependant le chlorpyrifos-éthyl a eu plus d'effet dépressif que le lambdacyhalothrine. Des études réalisées par Martins & *al.* (2003), Schnurer (2006), Naré & *al.*, (2010) ont montré que le temps de latence augmente avec la quantité de résidus et la toxicité des pesticides. Ce qui laisse penser que les pesticides utilisés sont toxiques pour les microorganismes du sol avec le chlorpyrifos-éthyl plus toxique que la lambdacyhalothrine. En effet, Tejada & *al.* (2011) ont montré que le chlorpyrifos-éthyl réduit l'activité de la déshydrogenase qui est corrélée avec l'activité biologique de la population microbienne du sol (García & *al.*, 2000).

La respiration maximale est influencée par les amendements organiques ; par contre les pesticides n'ont pas révélé d'effet significatif sur la respiration maximale. Ainsi le fumier de bovin est le seul amendement qui entraîne une baisse significative de la respiration maximale comparativement aux sols témoins sans amendement organique. Cela pourrait s'expliquer par une différence dans la vitesse de décomposition des amendements organiques utilisés. Le fumier de bovin s'étant décomposé plus vite que les autres sources de matières organiques exogènes. Tejada & *al.* (2011) ont montré que le chlorpyrifos-éthyl diminuait l'activité enzymatique dans le sol, le poids des vers de terres et l'activité glutathion-S-transférase des vers de terre. Cependant ce pourcentage d'inhibition baisse en présence d'amendement organique.

En effet, Tejada & *al.* (2011) ont montré que les pesticides sont adsorbés par les substances humiques de la matière organiques qui contiennent des groupes fonctionnels tel que les carboxyles, les phenoliques, alcool et carbonyle.

L'analyse statistique du quotient respiratoire montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les sols non amendés et les sols amendés quel que soit le type de fumier. Cependant, la différence est significative entre le compost et les deux autres amendements

organiques.

D'après Insam & Domsch (1988), le quotient respiratoire est proportionnel au degré de pollution d'un sol. Hund & Schenk (1994) ont trouvé une forte corrélation entre le quotient respiratoire et le taux de dégradation des hydrocarbures dans le suivi de la bioremediation des sols contaminés.

Nous pouvons donc dire que ni l'application des pesticides, ni les amendements organiques n'ont eu d'effet significatif sur le degré de pollution des sols. Cela s'expliquerait par le fait que les pesticides ont été rapidement dégradés. Aussi l'application des pesticides à la dose recommandée ainsi que le type de sol, de climat conditionnent une dégradation plus accélérée des pesticides. En effet, Richardson & Gangolli (1993) ont montré que le chlorpyrifos éthyl a un temps de demi vie qui se situe entre 30 h et 33 jours mais pourrait persister jusqu'à un an en fonction des types de sol, du climat, et d'autres conditions du milieu.

Conclusion partielle

Les pesticides sont dégradés plus rapidement en présence de matière organique exogène apportée au sol en témoigne les valeurs élevées de C-CO₂ dégagées en présence de matière organique, ce qui les rendrait moins toxiques pour les composantes biologiques du sol. Par ailleurs, il existe une corrélation positive entre la population lombricienne et les microorganismes du sol, ce qui explique le fait que les parcelles à forte densité lombricienne sont les mêmes qui ont des activités respiratoires microbiennes, les plus fortes. Aussi, ces résultats révèlent une toxicité plus poussée du chlorpyrifos-éthyl sur la microflore du sol comparée à la lambdacyhalothrine.

3. Effet sur les rendements de la tomate.

3.1. Résultats

L'analyse de l'interaction sources de matières organiques et pesticides bien que n'ayant révélé aucune différence statistiquement significative entre les rendements, montre néanmoins que l'action combinée de fumure organique et pesticide, donne de meilleurs rendements. En effet, les meilleurs rendements sont obtenus en présence de fumier de bovin et de chlorpyrifos-éthyl, et les plus faibles en absence de tout apport de matière organique et en présence du chlorpyrifos-éthyl (Tableau XVII).

Tableau XVII : Production en Kg de fruits/pied de tomate par traitement

Sources de MO	Compost	Fumier de bovin	Fumier de porc	Sans apport de MO
Pesticides				
Chlorpyrifos-éthyl	0,667 ± 0,115	1,090 ± 0,408	1,070 ± 0,266	0,514 ± 0,273
Lambdacyhalothrine	1,057 ± 0,446	0,818 ± 0,494	0,705 ± 0,415	0,659 ± 0,287
Sans pesticide	1,025 ± 0,295	0,535 ± 0,293	0,692 ± 0,406	0,593 ± 0,211

La comparaison des différentes moyennes de rendements obtenus en fonction des apports de matière organique montre qu'en absence de tout apport de matière organique, les rendements sont faibles. Les rendements les plus élevés ont été obtenus en présence de compost.

(Figure 15).

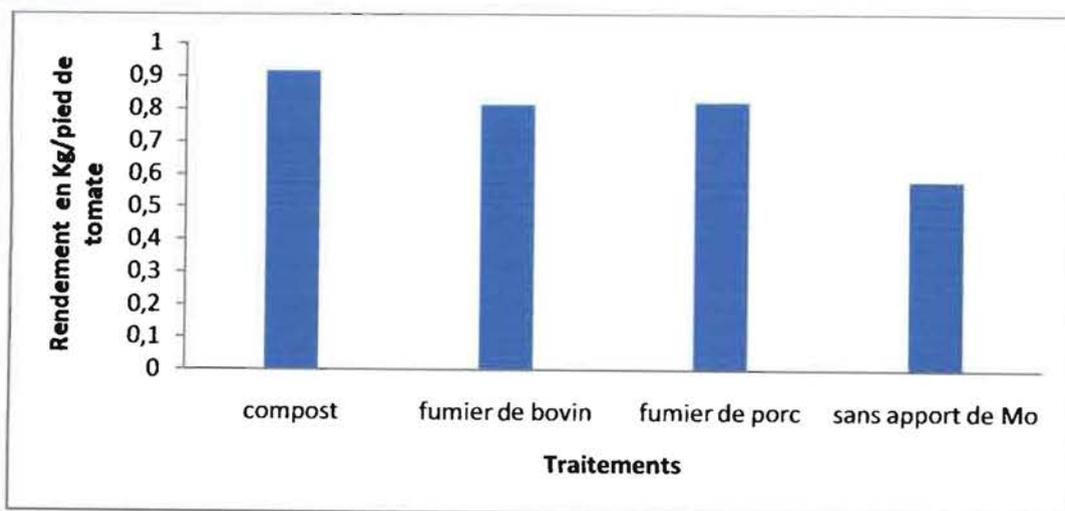


Figure 15: productions moyennes (kg/pied) en fonction des sources de matières organiques.

La comparaison des moyennes de production obtenue en présence des pesticides montre que les pesticide ont eu un effet positif sur les rendements. En effet, en absence de tout traitement pesticide, la production est faible comparée aux moyennes de productions en présence de pesticides (Figure 16).

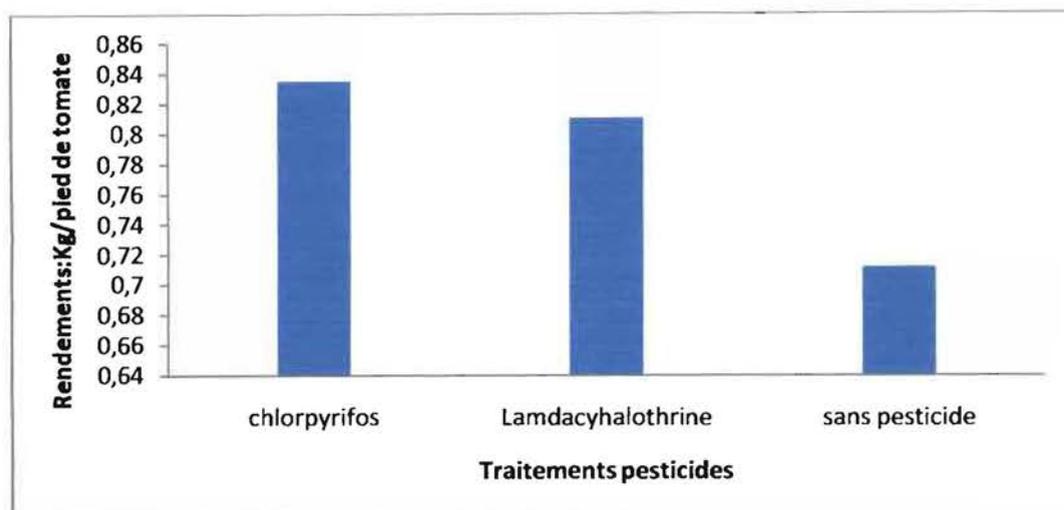


Figure 16: Moyennes des productions (kg/pied) en fonction des traitements pesticides.

L'analyse de variance de l'effet des différents traitements montre que les pesticides et les sources de matières organiques n'ont eu aucun effet statistiquement significatif (respectivement $P= 0,198$ et $0,279$ au seuil de 5%) sur la production de la tomate (Tableau XVIII).

Tableau XVIII : Analyse de variance (ANOVA) de l'effet des traitements sur la production.

Traitements	ddl	Valeur de F	Probabilité (P)	Signification
Pesticides	2	2,49	0,198	NS
Sources de MO	3	1,39	0,279	NS
Sources de MO x Pesticides	6	1,26	0,323	NS

ddl : degré de liberté; NS : Non significatif; MO : Matière organique

3.2. Discussion

L'analyse des résultats a révélé que les pesticides et les apports de matières organiques n'induisent pas d'effet statistiquement significatif sur les productions. Cela s'explique par les doses de matière organique apportées. En effet, pour mieux apprécier cet effet de la matière organique sur les rendements, une connaissance préalable des besoins réels de la variété de tomate (F1 Mongal) était nécessaire. Par la suite, se basant sur les teneurs en éléments fertilisants de chaque type de fumier et des apports de la fumure minérale, les doses à apporter pour chaque fumier peuvent être déterminées. En ce moment, les quantités à apporter pour chaque type de matière organique ne seront plus identiques, or dans la présente étude, les doses étaient les mêmes pour chaque type de matière organique.

Toutefois, les résultats ont montré une activité biologique plus forte et une population macrofaunique plus dense en présence de matière organique exogène. Cela signifie que les composantes biologiques ont permis d'améliorer la fertilité du sol. Cette fertilité est donc biologique et permet de ce fait, d'expliquer que les rendements en présence de source exogène de matière organique soient supérieurs au témoin. Cette performance biologique a permis une plus grande biodisponibilité des éléments minéraux pour la nutrition des plantes. En effet, la microflore tout comme la microfaune par leurs activités, améliorent la structure du sol et la circulation de l'eau favorisant ainsi la disponibilité de cette dernière pour les plantes (Bossuyt & al., 2001). Les microorganismes impliqués dans les étapes des cycles biogéochimiques, assurent la mise à disposition du carbone, de l'azote, et d'une manière générale, le recyclage des nutriments et leur minéralisation pour la croissance des plantes (Bardgett & al., 2005). Par ailleurs, la symbiose endomycorhizienne permet la libération des éléments moins mobiles comme le phosphate, fortement liés aux particules rendant difficile son absorption par la plante (Roose & Fowler, 2004). Grâce à cette symbiose, ces éléments sont mis à la disposition des plantes. Aussi, les travaux de Bradford & al. (2002) ont montré que la décomposition de la matière organique est forte en présence simultanée de microfaune, de mésofaune et de macrofaune du sol.

En effet, la matière organique améliore les propriétés biologiques et physico-chimiques du sol (Misra & al., 2005). Elle représente le paramètre fondamental de la fertilité des sols à court et long terme (Nacro, 1997).

L'absence d'effet significatif des pesticides sur les rendements de la culture signifie que la protection phytosanitaire n'a pas influencé les rendements de la tomate. L'efficacité des

produits phytosanitaires est fonction de plusieurs facteurs dont la nature et la dose des pesticides, les conditions climatiques et le type de sol. En effet dans la présente expérience, nous nous sommes strictement conformés aux doses recommandées par le fabricant. Les conditions pédoclimatiques des essais conduits par le fabricant pour formuler ces recommandations n'étant pas identiques à celles de notre milieu d'étude, cela peut expliquer nos résultats.

Conclusion partielle

Les sources exogènes de matière organique et les pesticides n'ont pas eu d'effet significatif sur la production de la tomate. Cela est expliqué par la dose des différentes sources de matière organiques apportés. Les pesticides n'ont pas eu d'effet significatif sur les rendements de la tomate. Ceci est expliqué par les différents facteurs qui peuvent influencer l'efficacité des produits phytosanitaires contre les bioagresseurs et à fortiori sur les individus non ciblés.

Conclusion générale et perspectives

L'objectif de la présente étude était de voir l'effet des pesticides et de différentes sources de matières organiques sur la macrofaune et la microflore du sol, et d'évaluer la productivité de ce sol. A la lumière des résultats obtenus, il peut être affirmé que les pesticides d'une manière générale, n'ont pas eu d'effet sur la densité de la macrofaune totale du sol. Par contre, les différentes sources de matière organique ont induit des augmentations de densité de peuplement. Par ailleurs, le fumier de bovin s'est révélé être le plus favorable à l'abondance des vers de terre.

L'activité respiratoire des microorganismes n'a pas été influencée par les pesticides. Par contre les apports organiques ont eu un effet hautement significatif sur la respiration basale des microorganismes. Aussi, l'activité respiratoire la plus forte a été observée en présence de fumier de bovin. Par ailleurs la respiration induite par les substrats a montré que les pesticides ont induit une modification de la physiologie des microorganismes.

Les résultats de la productivité du sol ont montré que la matière organique n'a pas eu d'effet significatif sur la production de la tomate.

De ces résultats, nous pouvons retenir que :

- la matière organique stimule l'activité microbienne et la macrofaune du sol. Par conséquent, elle atténue l'effet des pesticides sur les composantes biologiques du sol et est de ce fait susceptible d'améliorer la productivité du sol ;

En guise de recommandation nous pouvons formuler que :

Etant donné que l'usage des pesticides peut entraîner la diminution voire la disparition de certaines populations vivantes non ciblées du sol, ce qui est préjudiciable à une production durable, il serait judicieux d'amender les sols en fumure organique afin d'atténuer l'effet de ces pesticides. En outre, l'utilisation des pesticides aux doses et aux périodes recommandées, doivent être de rigueur pour minimiser les effets néfastes à la vie du sol. Des solutions alternatives à l'usage des pesticides de synthèse tels que l'utilisation de biopesticides facilement biodégradables, la lutte intégrée et la gestion intégrée des prédateurs et des déprédateurs doivent être fortement encouragées.

Enfin, en perspectives il s'avère nécessaire de poursuivre l'étude à travers:

- l'extraction des résidus de pesticides en vue d'établir la part d'action des facteurs concourant à la dégradation des pesticides en présence de matière organique.
- Le dosage des activités enzymatiques et de la biomasse des principaux groupes de macrofaune en présence de matière organique exogène afin de mieux cerner l'effet de ces pesticides sur la macrofaune du sol en général et sur les lombrics en particulier.
- Conduire l'expérience en laboratoire sur une population lombricienne en présence de matière organique pour mieux comprendre le rôle des vers de terre dans le processus de biodégradation des pesticides.
- Une étude plus poussée comparant l'effet des pesticides en fonction des types d'argile du sol du site de l'étude et des différents acides organiques (acides humiques, acides fulviques) issus des types de fumier. Ces différents éléments, étant très déterminants dans la rétention et la biodégradation des pesticides permettront de mieux apprécier la part d'action de chaque composante dans le devenir des pesticides dans le sol et leur impact sur la faune.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

ACTA, 2004. Index phytosanitaire, 40ème édition, 804p.

AFNOR., 1981. Détermination du pH. NF ISO 103 90. In : AFNOR (Association Française de Normalisation). Qualité des sols, Paris, France 339-348.

Agbogba C. & Roy-Noël M., 1982. L'attaque des arbres par les termites dans la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal) III. Cas du parc forestier de Dakar-Hann sur sables ogoliens . Bulletin de l'Ifan, n°44 : pp. 342-364

Anderson J. M. & Ingram J. S. I., 1993. Tropical Soil Biology and Fertility. A handbook of methods. CAB International, Wallingford, UK., second edition, 221 p.

Anderson ,J.P.E & Domsch K.H., 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomasse in soil. Soil Biol.Biochem.,10:215-221

Awasthi N., Ahuja R., Kumar A., 2000. Factors influencing the degradation of soil-applied endosulfan isomers, Soil Biol.and Bioch. (32):pp 1697-1705.

Awasthi N., Singh A.K., Jain R.K., Khangorot B.S., Kumar A., 2003. Degradation and detoxification of endosulfan isomers by a defined co-culture of two bacillus strains, Appl.Microbiol Biotechnol (62): pp 279-283.

Bachelier G., 1963. La vie animale dans les sols. Initiations - Documentations techniques, O.R.S.T.O.M., Paris, France, 279 p.

Bachelier G., 1978. La faune des sols. Son écologie et son action. Initiations – Documentations techniques N° 38, O.R.S.T.O.M., Paris, France, 391 p.

Bardgett R.D., Bowman W.D., Kaufmann R., Schmidt S.K., 2005. A temporal approach to linking aboveground and belowground ecology. *Trends in Ecology & Evolution* 20(11): 634-641.

Barriuso E., Calvet R. et Houet S., 1995. Field study of the effect of sewage Sludge application on atrazine behaviour in soil. Intern. J. Environ. Anal. Chem. 59,107-121.

Barriuso E., Calvet R., Schiavon M., Soulas G., 1996. Les pesticides et les polluants organiques des sols. Transformation et dissipation. Etude Gestion Sols, 3, 279-296.

Blauchart E., Lavelle P., Braudeau E., Le Bissonnais Y., Valentin C., 1997. Regulation of soil structure by geophagous earthworm activities in humid savannas of Ivory Cost. Soil Biol. Biochem. 29(3/4): 431-439.

Binet F., 1993. Dynamique des peuplements et fonctions des lombriciens en sols cultivés tempérés. Thèse de doctorat, Université de Rennes 1, 299p.

Binet F., Fayolle L. & Pussard M., 1998. Significance of earthworms in stimulating soil microbial activity. Biology and Fertility of Soils, 27: 79-84.

Bossuyt H., Deneff K., Six J., Frey S.D., Merckx R., Paustian K., 2001. Influence of microbial populations and residue quality on aggregate stability. *Applied Soil Ecology* 16(3): 195-208.

Bouché MB, 1977. Strategies lombriciennes. *Ecology Bulletin* 25, 122-132.

Boulet R., 1976. Notice des cartes de ressources en sols de la Haute-volta, ORSTOM, 97p.

Bradford M.A., Tardiff G.M., Eggers T., Jones T.H., Newington J.E., 2002. Microbiota, fauna, and mesh size interactions in litter decomposition. *Oikos* 99(2): 317-323.

Brussaard L., Kuiper T.W., Didden W.A.M., de Goede R.G.M., Bloem J., 2004. Biological soil quality from biomass to biodiversity -importance and resilience to management stress and disturbance. In *Managing soil quality: challenges in modern agriculture*, (Schjonning P. et al., eds.), CABI:pp 139-161.

BUNASOLS, 1987. Méthodes d'analyse physique et chimique des sols, eaux et plantes. Document technique n°3. 159 p.

Calvet R., Barriuso E., Bedos C., Benoit P., Charney M.-P., Coquet Y., 2005. Les pesticides dans le sol. Conséquences agronomiques et environnementales. Éditions France Agricole, France 637 p.

Camper N.D., 1991. Effects of pesticide degradation products on soil microflora. In *Pesticide Transformation products « Fate and significance in the Environment »* Somasundaram, L., Coats J.R., Eds. ACS Symposium series 459. American Chemical Society, Washington, DC. (Oxford University Press) pp, 205-216.

Celetti M.J., 2006. Échantillonnage du sol et des racines visant le dénombrement des nématodes phytoparasites. Fiche Technique, Edition la Reine pour l'Ontario, Canada, 9 p.

Chaussod R., 2002. La qualité biologique des sols : Des concepts aux applications <http://www.academicagriculture.fr/mediathe/quefiles/seances/2002/numero2/20020306.com> consulté le 14/08/2013 à 14h20.

Chenu C. et Balabane M., 2001. – Une approche des matières organiques par leurs fonctions. *Perspectives Agricoles*, 272, 42-45.

Clausen I.H.S., 1995. Review of results from the Danish EPA's Pesticide Research Programme concerning effects on flora and fauna. SP Rapport - Statens Planteavlfsorsog (3): 27-37.

Coloma, 1977. Les herbicides et le sol, ACTA, 143 pages.

Coleman D.C., Reid C.P.P. & Cole C.V., 1983. Biological strategies of nutrient cycling in soil systems. In: Macfadyen, A. and Ford, E. D. (eds). *Advances in ecological research* n°13. Academic Press, New York, pp. 1-55.

Cortet J., Gillon D., Joffre R., Ourcival J.-M. and Poinsot-Balaguer, N., 2002. Effects of pesticides on organic matter recycling and microarthropods in a maize field: use and

discussion of the litterbag methodology. *European Journal of Soil Biology*, 38(3–4): 261-265.

Coulibaly K., 2006. Contribution à l'étude des effets de l'Endosulfan sur les paramètres biologiques de trois types de sol en zone cotonnière du Burkina Faso. Mémoire d'Ingénieur Développement Rural, Option Agronomie. Université Polytechnique de Bobo, Burkina Faso. 53 p.

Deprince A., 2003. La faune du sol: diversité, méthodes d'étude, fonctions et perspectives. *Le Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 49 : 19- 42.

Dommergues Y., 1960. La notion de coefficient de minéralisation du carbone dans les sols. *L'agronomie Tropicale* 15 (1) : 54 – 60.

Duponnois R., Cadet P., Senghor K. & Sougoufara B. 1997. Étude de la sensibilité de plusieurs acacias australiens au nématode à galles *Meloidogyne javanica* , *Annales des Sciences forestières*, n°54: 181-190.

EPA, 2000. Reregistration eligibility science chapter for chlorpyrifos: Fate and environmental risk assessment chapter, **US Environmental Protection Agency** 94p.

F.A.O., 1996. Élimination de grandes quantités de pesticides périmés dans les pays en voie de développement, Collection F.A.O :46 p.

Ferris H., Venette RC. & Lau S.S., 1997. Population energetics of bacterial-feeding nematodes : carbon and nitrogen budgets , *Soil. Biol. Biochem.*, n°29 : 1183-1194.

Fiche ITAB, 2003. L'activité biologique des sols, Méthodes d'évaluation en viticulture, http://www.itab.asso.fr/downloads/Fiches-techniquesviti/viti_activite_bio_sols.pdf consulté le 14/06/2013 à 12h41.

Fontès J., Guinko S., 1995. Carte de la végétation et du sol du Burkina Faso. Notice explicative. Ministère de la coopération française. Projet campus. Burkina Faso, 67p.

Frontier S. & Pichod-Viale D., 1998. Ecosystèmes : structure, fonctionnement, Evolution. Édition Dunod, Paris, France. 445 p.

García C., Hernández T., Pascual J.A., Moreno J. L., Ros M., 2000. Microbial activity in soils of Spain exposed to degradation and desertification processes. Strategies for their rehabilitation. In: García C.,Hernández, M.T.(Eds.) *Research and Perspectives of Soil Enzymology in Spain*. CEBAS-CSIC, Spain. pp. 93–143.

Giller K.E., Beare M.H., Lavelle P., Izac A.M.N. & Swift M.J.,1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied Soil Ecology*, 6 : . 3-16.

Gnankambary., Hlyedey U., Nyberg G., Hien V. & Malme A., 2008. Nitrogen and phosphorus limitation of soil microbial respiration in two tropical agroforestry parklands in

the south-sudanese zone of Burkina Faso: the effect of tree canopy and fertilization. *Soil Biol Biochem.*,40:350-359.

Gouzy, A., Farret, R. and Le Gall, A.C., 2005. Détermination des pesticides à surveiller dans le compartiment aérien : approche par hiérarchisation, Rapport INERIS n° DRC – 05 – 45936 – 95 – AGo.

Guimont S., 2005. Devenir des pesticides dans les sols en fonction de l'état d'humidité et du mode de circulation de l'eau dans le sol. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, France, 223 p.

Hillebrand W. F., Lundell G. E. F, Bright H. A. & Hoffman J. I., 1953. Applied inorganic analysis, 2nd ed. John Wiled and Sons, Inc.,New York, USA. 1034 p.

Hund, K., Schenk, B., 1994. The microbial respiration quotient as indicator for bioremediation processes. *Chemosphere* 28, 477–490.

IFDC, 2007. Problématique de l'utilisation des produits phytosanitaires en conservation des denrées alimentaires et en maraîchage urbain et péri urbain au Burkina Faso : cas de Bobo Dioulasso, Ouahigouya et Ouagadougou. 51p.

IFEN, 2002. Les pesticides dans les eaux, bilan annuel. Jacques Le seigneur V. (Ed.). Etudes et travaux IFEN Orléans. Données 2001.

Ingham E.R., Trofimow J.A., Ingham E.R. & Coleman D.C. 1985. Interactions of bacteria, fungi and their nematodes grazers : Effects on nutrient cycling and plant growth , *Ecol. Monogr.*, n° 55 : 119-140.

Iusan H. And Domsch K.H.,1988. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronoséquences of reclamation sites. *Microb.Ecol.*, 15:177-188.

Jones C. G., Lawton J. H. & Shachak M., 1994. Organisms as ecosystem engineers. *OIKOS* 69 (3): 373-386.

Jones D.T., Eggleton P., 2000. Sampling termite assemblages in tropical forests: testing a rapid biodiversity assessment protocol. *Journal of Applied Ecology*, 37: 191-203.

Kaloga B., 1969. Etude pédologique de la Haute-Volta, région Centre-sud, rapport ORSTOM, 247p.

Katayama,A., Funasaka,K., Fujie,K., 2001. Changes in the respiratory quinone profile of a soil treated with pesticides.*Biol.fertil. Soils*, 33:454-459

Konaté S., Le Roux X., Tessier D., Lepage M., 1999. Influence of large termitaria on soil characteristics, soil water regime and tree leaf shedding pattern in a West African savanna. *Plant and Soil* 206: 47-60.

Kumar R., 1991. La lutte contre les insectes ravageurs. L'agriculture en régions tropicales. Collection Economie et Développement, CTA, Karthala, 310 p.

Lavelle P., Martin A., Blanchart E., Gilot C., Melendez G. & Pashanasi B., 1991. Conservation de la fertilité des sols de savane par la gestion de l'activité de la macrofaune du sol. *In* : Savanes d'Afrique, terres fertiles ? Actes des rencontres internationales . Montpellier 10-14 décembre 1990. Ministère de la Coopération et du Développement, CIRAD, France, pp. 371-397.

Lavelle P., Dangelfield M., Fragoso C., Eschenbrenner V., Lopez-Hernandez D., Pashanasi B., Brussaard. L., 1994. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. *In*:The Biological Management of Tropical Soil Fertility, Ch 6. Woormer P.L. and Swift M.J., pp.137-169.

Lavelle P., 1997. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology*, 33: 159-193.

Lavelle P., 2000. La macrofaune du sol, une ressource en danger. Séminaire international sur la macrofaune du sol. Institut de Recherche pour le Développement Bondy, 19-23 juin 2000, 3 p. www.ird.fr/fr/actualites/communiqués/2000/macrofaune.htm,

Lavelle P., Decaëns T., Aubert M., Barot S., Blouin M., Bureau F., Margerie P., Mora P. & Rossi J.-P., 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology* 42, S3-S15.

Lepage M., 1981. L'impact des populations récoltantes de *Macrotermes miichaelseni* (Sjöstedt) (Isoptera, Macrotermitinae) dans un écosystème semi aride (Kajiado, Kenya), 1. L'activité de récolte et son déterminisme. n° 28: 297-308.

Lobry de Bruyn L.A. & Conacher A .J. 1994. The bioturbation activity of ants in agricultural and naturally vegetated habitats in semi-arid environments . *Aust. J. Soil Res.*, n° 32 : 555-570.

Lue M., Sikora RA. & Bridge J., 1990. Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture, Wallingford (RU.), CAB International, 629 p.

Lompo D. J-P., 2007. Impact des résidus de pesticides sur les microorganismes des sols dans les agrosystèmes cotonniers du Burkina Faso. Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies, en Gestion Intégrée des Ressources Naturelles. Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, Institut du Développement Rural, Burkina Faso. 46 p.

Mäder P., Peng S. et Fliessbach A., 2002. Effets des produits phytosanitaires sur les microorganismes du sol. *VBB-Bulletin*, 6 : 6-7.

Magurran A.E., 2006. Measuring biological diversity. Molden: Blackwell Publishing. 256 p.

MAHRH, 2007 : **Analyse de la filière maraîchère au Burkina Faso. Ressources complémentaires. Module EASYP 107.** Réalisée par des cadres du Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques et des représentants des Chambres Régionales d'Agriculture et des Organisations Paysannes. **Burkina Faso. 112p.**

Martin-Laurent F., Cornet L., Ranjard L., Lopez-Gutierrez J.L., Schwartz C., Chaussod R., Catroux G., Soulas G., 2004. Estimation of atrazine-degrading genetic potential and activity in three French agricultural soil. *FEMS Microbiology Ecology*, 48: 425-435.

Martins J.D., Madeira-A M.C., Jurado A.S, Madeira V.M.C., 2003. Use of the microorganism *Bacillus stearothermophilus* as a model to evaluate toxicity of the lipophilic environmental pollutant Endosulfan. *Toxicology in vitro*. 17:595-601.

Merny G., Luc M., 1969. Les techniques d'échantillonnages des peuplements de nématodes dans le sol. In *Problèmes d'Écologie : l'échantillonnage des peuplements d'animaux des milieux terrestres.* Lamotte M et Bourlière F,- Paris, Masson & Cie, pp. 236-272.

Menhinick E.F., 1962. Comparison of invertebrate populations of soil and litter of mowed grassland in areas treated and untreated with pesticides. *Ecology*, 43, 556-561.

Middlekauf, R., D., 1986. Pesticides residue in food: Legal and scientific issues. *Food drug cosmet. Law J.* 42 :251-264.

Mirsa R. V., Roy R. N. & Hiraoka H., 2005. Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation. Documents de travail sur les terres et les eaux 2. Organisation des nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Italie, Rome, 35 p.

Mostafa S.A.S., Badawi A., Dabbour A. and Faragalla A., 1982. Levels of esterase enzymes in different castes of termite *Pseudotermes hubostoma* Desneux and their inhibition by some pesticides. *Sociobiology* 7:129-133.

Nacro H.B., 1997. Hétérogénéité de la matière organique dans un sol de savane humide (Lamto, Côte d'Ivoire): caractérisation chimique et étude, *in vitro*, des activités microbiennes de minéralisation du carbone et de l'azote. Thèse de doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, Paris, France: 302 p.

Naré W.A., 2010. Étude de l'impact des pesticides sur l'activité biologique des sols dans un agro-système maraîcher au Burkina Faso. Mémoire de Diplôme d'Études Approfondies en Sciences Appliquées de la Terre, de l'Eau et des Sols. Option: Science du sol. Université de Ouagadougou. Ouagadougou, Burkina Faso. 45 p.

Naré W.A., Savadogo P.W., Gnankambary Z. et Sedogo P.M., 2010. Effect of endosulfan, deltamethrin and profenofos on soil microbial respiration characteristics in two land use systems in Burkina Faso. *Research Journal of environmental science* 4 (3):261-270

OMS, 2005. The WHO (World Health organization) recommended classification of pesticide by hazard and guidelines to classification 2004/2005. 60pp.

Ouedraogo J., 2011. Étude de l'impact de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité du sol sur quelques caractéristiques chimiques et microbiennes d'un sol ferrugineux tropical lessivé sous climat semi-aride au Burkina Faso. Mémoire de Diplôme d'Études Approfondies (DEA) en Gestion Intégrée des Ressources Naturelles. Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 75 p.

Parvathi K., Venkateswara J. R., Kavitha P., Jakka N.M. and Pallela R., 2005. Effect of chlorpyrifos and monocrotophos on locomotor behaviour and acetylcholinesterase activity of subterranean termites, *Odontotermes obesus*. Pest Management Science, 61:417– 421.

Rossi J-P. 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. European Journal of Soil Biology, 42(1): S3-S15.

Rombke J., Sousa J.P., Schouten T., Rieper T.F., 2006. Monitoring of soil organisms: a set of standardized field methods proposed by ISO. European Journal of Soil Biology, 42(1): S61-S63.

Roose T., Fowler A.C., 2004. A mathematical model for water and nutrient uptake by plant root systems. *Journal of Theoretical Biology* 228: 173-184.

Savadogo P.W., Traoré O., Topan M., Tapsoba H.K., Sedogo P.M. et Bonzi-Coulibaly Y.L., 2006. Variation de la teneur en résidus de pesticides dans les sols de la zone cotonnière au Burkina Faso. *J. Afr. Sci. Environ.*, 11 :29-39

Savadogo P. W., Lompo F., Bonzi-Coulibaly Y.L., Traoré A. S. et Sedogo P. M., 2008. Influence de la Température et des Apports de Matière Organique sur la dégradation de l'Endosulfan dans trois types de Sols de la Zone Cotonnière du Burkina Faso. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.* (2008) 026 ; 79 – 87

Savadogo P. W., Lompo F., Coulibaly K., Traoré O., Traoré A. S. et Sedogo P. M., 2009. Microscop study of endosulfan degradation and its short-term effect on pH and biological parameters of cotton zones soils of Burkina Faso. *Journal of environmental science and technology*, 2(1):12-21.

Schnürer Y., 2006. Influence of soil properties and organic pesticides on soil microbial metabolism. PhD Thesis. Acta Universitatis Agriculture Sueciae. Doctoral thesis n°2006 :118. Department of Forest Ecology and Management, Umea, Swenden.

Schreck E., 2008. Influence des modes d'entretien du sol en milieu viticole sur le transfert des pesticides vers les eaux d'infiltration – Impact sur les lombriciens. Thèse de Doctorat de l'Université Toulouse III-Paul Sabatier. France 300p.

Sedogo P.M., 1993. Évolution des sols ferrugineux lessivés sous culture: incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de Doctorat ès Sciences, Université Nationale de Côte d'Ivoire, Abidjan, République de Côte d'Ivoire, 330 p

Slaoui M., Ouhssine M., El M'Rabet M., Massoui M., El Yachioui M., 2001. Dégradation du carbofuran par une bactérie du genre *Pseudomonas sp.* isolée à partir du sol. *Science letters*, Vol.3,n°3 :8

Stevenson F. J., 1972. Organic matter reactions involving herbicides in soil. *J. Environ. quality*, 1(4), 333-343.

Sow T.M.B., 2006. Impact de la décomposition des pesticides sur l'activité microbienne du sol : Cas des Niayes de Pikine . Mémoire de DEA,UCAD/ Dakar,Sénégal.80p.

Soulas G., 2004. Biodégradabilité des pesticides dans le sol : concepts de base pour la bioremédiation.http://www.academieagriculture.fr/mediatheque/seances/2004/20041124communication3_integral.pdf . consulté le 12/07/ 2013

Sutherland T.D., Horne I., Russell R.J., Oakeshott J.G., 2002. Gene cloning and molecular characterization of a two enzyme system catalyzing the oxidative detoxification of β endosulfan. *Applied and Environmental Microbiology*, 68 : 6237-6245.

Tano Y., 1993. Les termitières épigées d'un bassin versant en savane soudanienne: Répartition et dynamique des nids, rôle sur les sols et la végétation. Thèse de PhD. Université Nationale d'Abidjan, Côte d'Ivoire. 239 p.

Tapsoba H. K. et Bonzi-Coulibaly Y. L., 2006. Production cotonnière et pollution des eaux par les pesticides au Burkina Faso. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.* 21, 2006 : 87-93.

Tarrant K. A., Field S. A., Langton S. D. & Hart A. D. M. 1997 - Effects of earthworm populations of reducing pesticide use in arable crop rotations. *Soil Biol. Biochem.* 29:657-661.

Tejada A. W., Bayot R. G., Quintana B. B., Austria L. M., Bobiles S. C. & Villanueva A. G. R., 2001. Impact of continued use of profenofos on soil as a consequence of cotton crop protection. In: "Impact of long term pesticides usage on soil properties using radiotracer techniques". Proceeding of final research coordination meeting. Organized by the Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture and held in Hangzhou, Zhejiang, China, 24-28 May 1999: pp 165-172.

Tejada M., Isidoro Gómez, DelToro M. 2011. Use of organic amendments as a bioremediation strategy to reduce the bioavailability of chlorpyrifos insecticide in soils. Effects on soil biology. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 74, 2075–2081.

Toé A. M., Domo Y., Hema S. A. O., Guissou I. P., 2000. Epidémiologie des intoxications aux pesticides et activité cholinestérasique chez les producteurs de coton de la zone cotonnière de la boucle du Mouhoun. *Etudes et Recherches* 4 -5, 2000 : 39-48.

Traoré S., 2008. Impact des termitières épigées sur la régénération et la dynamique des écosystèmes de savanes : cas de la forêt classée de Tiogo, Burkina Faso. Thèse de Doctorat, Université de Ouagadougou, 162 p.

Traoré M., 2012. Impact des pratiques agricoles (rotation, fertilisation et labour) sur la dynamique de la microfaune et la macrofaune du sol sous culture de sorgho et de niébé au Centre Ouest du Burkina Faso. Thèse de Doctorat en Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina-Faso. 147 pages.

Tropicasem, 2001. Guide mensuel, variétés recommandées pour les semis. 2p.

Verma K., Agrawal N., Farooq M., Misra R.B., Hans R., K., 2005. Endosulfan degradation by *Rhodococcus* strain isolated from earthworm gut, ecotoxicology and environmental safety.

Verhoef H.A. & Brussaard L., 1990. Decomposition and nitrogen mineralization in natural and agro-ecosystems : the contribution of soil animals. *Biogeochemistry*, n°II : . 175-211.

Vicuble G.L., Martin-L.F., Chenu C., 2005. Evolution of the activity and of the genetic potential of 2,4-D degrading communities in aggregates of a silty cultivated soil in response to 2,4-D treatment. *FEMS Microbiology Ecology*, 0162:26.

Vig k., Dileep K.S., Agarwal H.C., Dhawan A.K., Dureja P., 2001. Effect of repeated pesticide applications on soil properties in cotton fields. In: insecticide residues in cotton crop soil. *Journal of environmental Science and Health part B: pesticides, food contaminants, and Agricultural Wastes*, 36:421-434.

Yardirn E.N. & Edwards C.A., 1998. The effects of chemical pest, disease and Weed management practices on the trophic structure of nematode populations in tomato agroecosystems. *Applied Soil Ecology*, 7(2): 137-147.

Walkley A. & Black I.A., 1934. An examination method of the detjareff and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.

Wang B., Qiu Y.L., 2006. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza*, 16(5): 299-363.

Woods T.G. & Sands W.A., 1978. The role of termites in ecosystems. In Brian éd., 1978 : pp. 245-292.

Zhung X., Wang J., Xie H., Wang J. & Zech W., 2003. Comparison of organic compounds in the particle-size fractions of earthworm casts and surrounding soil in humid Laos. *Appl. Soil Ecol.*, 23: 147-153.

Zsolney A., 1992. Effect of an organic fertilizer on the transport of the herbicide atrazine. In soil. *Chemosphere*, 24:663-669.