

BURKINA FASO

UNITE-PROGRES-JUSTICE

MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE ET SUPERIEUR

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO (UPB)

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL (IDR)



THESE

**Présentée en vue de l'obtention du
DOCTORAT UNIQUE EN DEVELOPPEMENT RURAL**

Option : Systèmes de Production Végétale

Spécialité : Sciences du Sol

Par

Jean OUEDRAOGO
Ingénieur Agronome

THEME

**Impacts de la macrofaune et de modes de gestion de la fertilité des sols sur
quelques propriétés du sol et le rendement des cultures en zone semi-aride.**

Soutenue publiquement le 11 juillet 2015 devant le jury composé de :

Dr Michel P. SEDOGO, Directeur de recherche, CNRST/INERA, **Président**

Dr Badiori OUATTARA, Maître de recherche, CNRST/INERA, **Rapporteur**

Dr Hamidou TRAORE, Maître de recherche, CNRST/INERA, **Rapporteur**

Dr Elisée OUEDRAOGO, Agro-économiste, Banque Mondiale, Ouagadougou, **Co-directeur
de thèse**

Dr Hassan B. NACRO : Maître de conférences, Université Polytechnique de Bobo, **Directeur
de thèse**

SOMMAIRE

Sommaire	i
Dédicace.....	iii
Remerciements.....	iv
Liste des tableaux.....	vi
Liste des figures	viii
Liste des photographies	ix
Sigles et abréviations.....	x
Résumé	xi
Abstract.....	xii
Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : Généralités sur la gestion de la fertilité des sols et la biologie des sols.....	5
Chapitre 2 : Présentation du milieu d'étude et approche méthodologique.....	18
Chapitre 3 : Effet de l'interaction entre des modes de gestion de fertilité et la macrofaune sur la productivité du niébé et du sorgho en zone nord soudanienne du Burkina Faso	25
Chapitre 4 : Impact de l'urée et de la qualité de la matière organique sur la macrofaune et le ruissellement.	37
Chapitre 5 : Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur la teneur du sol en phosphore, azote, et potassium.....	64
Chapitre 6 : Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur les fractions et l'indice de gestion du carbone d'un lixisol en zone semi-aride.....	85
Chapitre 7 : Discussion générale.....	101
Conclusion générale et perspectives.....	105
Références bibliographiques.....	109
Table des matières	131
Annexes	138

"L'agronomie, en occultant totalement que le sol était un milieu dynamique et vivant, a réduit l'agriculture à de la « gestion de pathologie végétales » sur sol mort." (Dr Emmanuel BOURGUIGNON)

« Il va donc falloir apprendre à cultiver la terre sans la détruire en appliquant et en respectant les lois de la biologie du sol. » (Bourguignon Lydia & Claude, [http:// http://encyclopedie-dd.org/encyclopedie/](http://http://encyclopedie-dd.org/encyclopedie/))

DÉDICACE

✚ A mes parents

OUEDRAOGO Tiraogo et OUEDRAOGO Sibdou,

qui m'ont toujours soutenu et encouragé

✚ A mes *sœurs et frères*

pour leur amour fraternel

✚ A ma fiancée, **Sandrine Aminata OUEDRAOGO**
pour sa patience et ses sacrifices

✚ A ma fille, **Pengwendé Bernice Rina Anaïs**

✚ A **OUEDRAOGO Kipsa Jean-Paul**
pour son soutien

Je dédie cette thèse

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je ne saurais passer sous silence les diverses contributions émanant d'hommes ou d'institutions qui m'ont permis de conduire à bien les travaux de cette thèse. Avant tout propos, permettez-moi de témoigner ma reconnaissance à la Fondation International de la Science dont l'octroi d'une bourse a permis de conduire les travaux de recherche. Je remercie aussi les responsables du Centre International pour le Développement des Engrais (IFDC) du Burkina Faso et l'ensemble du personnel pour m'avoir offert un cadre convivial de travail et pour m'avoir soutenu. Au titre des institutions, je n'oublie pas le Centre Ecologique Albert Schweitzer (CEAS), où j'ai effectué mes premiers pas dans la recherche et qui a contribué financièrement et matériellement à la réalisation de cette thèse.

Mes particulières gratitudee vont tout d'abord au Docteur OUEDRAOGO Elisée, mon Co-directeur de thèse qui a cru en moi et n'a ménagé aucun effort pour me soutenir. Je ne saurais vous exprimer ma gratitude pour votre encadrement, vos conseils avisés, votre écoute constante en dépit de vos multiples occupations et votre soutien financier. Vous avez guidé non seulement mes premiers pas sur le chemin de la recherche en Science du Sol, mais surtout vous m'avez encouragé à persévérer. Trouvez ici, l'accomplissement de votre investissement.

J'exprime ma profonde gratitude à mon Directeur de thèse, Docteur NACRO Hassan Bismarck (Maître de Conférences en Ecologie/Pédologie), pour son sens élevé de la recherche de la perfection. Sous votre égide, j'ai appris la rigueur scientifique et l'amour du travail bien fait. Malgré vos nombreuses occupations, vous avez toujours été disponible à mes diverses sollicitations en me prodiguant des conseils et des encouragements tout au long de ce travail.

Mes remerciements vont également au Docteur YOUL Sansan, pour ses conseils et ses suggestions. Vous avez été l'artisan de ma formation en analyse de données. Je vous en suis reconnaissant.

Au Professeur SEDOGO P. Michel, je dis un grand merci, pour son soutien et ses conseils tout au long de mon travail. Je remercie aussi l'ensemble du personnel du laboratoire Sol-Eau-Plante pour sa contribution aux analyses de sol.

Je saisis ici l'opportunité de témoigner ma reconnaissance au Docteur Moussa OUEDRAOGO, chercheur au CNRST, admis récemment à la retraite et son équipe, pour

m'avoir accepté dans son laboratoire pour l'identification de la macrofaune du sol ; je remercie les Docteurs MANDO Abdoulaye, ZIDA Zacharie, GNANKAMBARY Zacharia, KIBA D. Innocent pour les conseils et les amendements apportés aux manuscrits.

Je n'oublie pas les membres du comité de thèse qui m'ont donné des orientations pertinentes pour l'aboutissement de cette thèse.

Je remercie les enseignants de l'Institut du Développement Rural (IDR), pour le partage de connaissances.

A mes amis, Monsieur TOUGMA Dominique Sid-Waya, Abbé OUEDRAOGO Z. Albert, Monsieur ZIDA W. Arnaud, Monsieur PURYILE MEDAH N.G.A. Benjamin, Monsieur KABORE K. Hilaire, Monsieur YAMEOGO P. Louis, Monsieur SANON Sogo Bassirou, Monsieur SAMA Karim, Monsieur BLAGNA Seydou, Docteur BANDAOGO A. Alimata, Docteur POUYA B. Mathias, Docteur SENOU Issaka et Monsieur SIRI Adama, je témoigne toute ma gratitude.

Je remercie tous les travailleurs du jardin agro-écologique du CEAS, en particulier Monsieur Etienne OUEDRAOGO pour son appui pendant la collecte des données.

Une mention très spéciale à mes parents pour leur patience et leur compréhension. Qu'ils trouvent dans l'aboutissement de ce travail, la pleine satisfaction. A tous mes frères et sœurs, que cela vous serve de modèle de détermination et de dévouement.

Vous tous qui avez contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail et dont malheureusement vos noms ne sont pas cités ; loin de l'oubli, je vous rassure de ma profonde reconnaissance pour tous vos efforts déployés en vue de m'assurer le succès.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.I : Caractéristiques physico-chimiques du sol du site d'étude.....	28
Tableau 3.II : Caractéristiques chimiques des tiges et du compost.....	29
Tableau 3.III : Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur le rendement grain et paille du sorgho.	31
Tableau 3.IV : Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur les rendements graines et fanes du niébé.	33
Tableau 4.I : Composition chimique des substrats organiques.....	41
Tableau 4.II : ANOVA de l'effet des pesticides sur la densité de la macrofaune du sol.	45
Tableau 4.III: Variation de la diversité et de l'abondance de la macrofaune en fonction du mode de gestion de la fertilité du sol (parcelles non traitées aux pesticides ; horizon 0–30 cm ; 2008).....	46
Tableau 4.IV: Variation de la diversité et de l'abondance de la macrofaune en fonction du mode de gestion de la fertilité du sol (parcelles traitées aux pesticides ; horizon 0–30 cm ; 2008).....	47
Tableau 4.V: Variation de la diversité et de l'abondance de la macrofaune en fonction du mode de gestion de la fertilité du sol (parcelles non traitées aux pesticides ; horizon 0–30 cm ; 2009).....	49
Tableau 4.VI: Variation de la diversité et de l'abondance de la macrofaune en fonction du mode de gestion de la fertilité du sol (parcelles traitées aux pesticides ; horizon 0–30 cm ; 2009.	50
Tableau 4.VII : Principales classes trophiques de la macrofaune du sol dans les parcelles non traitées aux pesticides.	54
Tableau 4.VIII. Effet de macrofaune sur le taux de ruissellement.....	58
Tableau 4.IX : Variation du taux de ruissellement en fonction des modes de gestion de la fertilité du sol.	59

Tableau 4.X : Effet de l'interaction entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité sur le taux de ruissellement.....	60
Tableau 5.I : Composition chimique des substrats organiques.....	68
Tableau 5.II : Effet de la macrofaune sur le phosphore total et assimilable du sol.	71
Tableau 5.III : Effet des modes de gestion de la fertilité sur le phosphore total et assimilable du sol.....	74
Tableau 5.IV : Effet de la macrofaune, des modes de gestion de la fertilité et de leur interaction sur l'azote total et le potassium disponible du sol.	79
Tableau 6.I : Caractéristiques chimiques des tiges et du compost.....	88
Tableau 6.II : Taux de récupération du carbone total après le fractionnement granulométrique.	90
Tableau 6.III : Bilan en masse du fractionnement granulométrique (g/50 g de sol).....	91
Tableau 6.IV : Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur le carbone total du sol (g.kg ⁻¹).	92
Tableau 6.V : Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur les teneurs en carbone total des fractions du sol (g.kg ⁻¹).	94

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1. Schéma conceptuel montrant que l'apport de matières organiques et la matière organique du sol (en gris) sont une indication de l'état du sol (Brussaard, 2012).	17
Figure 2.1: Localisation du site d'étude.	18
Figure 2.2 : Variabilité interannuelle de la pluviosité des dix dernières années sur le site expérimental de Gomtoaga.	19
Figure 2.3. Approche méthodologique.	23
Figure 3.1 : Interaction entre les modes de gestion de la fertilité et la macrofaune sur les rendements grain et paille du sorgho.	32
Figure 3.2 : Interaction entre les modes de gestion de la fertilité et la macrofaune sur les rendements grain et paille du niébé.	34
Photo 4.1 : Dispositif de collecte d'eau de ruissellement montrant la parcelle témoin et le témoin absolu.	40
Photo 4.2 : Prélèvement d'un monolithe.	42
Photo 4.3 : Fouille d'un monolithe.	42
Figure 4.1 : Effet des modes de gestion de la fertilité sur l'indice de diversité de la macrofaune du sol dans les parcelles non traitées aux pesticides.	52
Figure 4.2 : Effet des modes de gestion de la fertilité sur l'indice d'équitabilité de la macrofaune du sol dans les parcelles non traitées aux pesticides.	52
Figure 5.1a: Teneur en phosphore assimilable du sol sur les parcelles avec et sans macrofaune du sol en 2011.	76
Figure 5.1b: Teneur en phosphore assimilable du sol sur les parcelles avec et sans macrofaune du sol en 2012.	76
Figure 5.2a : Contribution de la macrofaune, des modes de gestion de la fertilité et de leur interaction sur le phosphore assimilable en 2011.	77
Figure 5.2b : Contribution de la macrofaune, des modes de gestion de la fertilité et de leur interaction sur le phosphore assimilable en 2012.	77
Figure 6.1 : Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur l'indice de gestion du carbone.	96

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photo 4.1 : Dispositif de collecte d'eau de ruissellement montrant la parcelle témoin et le témoin absolu.	40
Photo 4.2 : Prélèvement d'un monolithe.	42
Photo 4.3 : Fouille d'un monolithe.	42

SIGLES ET ABREVIATIONS

µm: micromètre

AFNOR : Association Française de Normalisation

ANOVA : Analysis Of Variance (Analyse de Variance)

BUNASOLS : Bureau National des Sols

C : Carbone

CEAS : Centre Ecologique Albert Schweitzer

CMK : Conseil Municipal de Koubri

CNRST : Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique

CPCS : Commission de Pédologie et de Classification des Sols

DGATDLR : Direction Générale de l'Aménagement du Territoire et du Développement Local et Régional.

DREPC : Direction Régionale de l'Economie et de la Planification du Centre

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

g : gramme

IFDC : International Fertilizer Development Center

INERA : Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles

INSD : Institut National de la Statistique et de la Démographie

JAS: Jours Après Semis

Kg : Kilogramme

MEF : Ministère de l'Economie et des Finances

mg : milligramme

mm : millimètre

MS : Matière Sèche

N : Azote

ONBAH : Office National des Barrages et des Aménagements Hydro-agricoles

O.R.S.T.O.M: Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

TSBF: Tropical Soil Biology and Fertility (Biologie et Fertilité des Sols Tropicaux)

WRB : World Reference Base for Soil Resources

RESUME

Les interactions entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité ont une répercussion sur les processus physico-chimiques du sol et, par conséquent, le rendement de des cultures. Pour appréhender les conséquences de ces interactions sur quelques caractéristiques du sol et le rendement du sorgho et du niébé, deux dispositifs distincts en split-plot ont été installés sur un lixisol en zone nord-soudanienne du Burkina Faso. Le carbone total, l'azote total, le potassium disponible, le phosphore total et assimilable, ont été mesurés respectivement par la méthode de Walkley-Black, de Kjeldahl et Bray I. L'inventaire de la macrofaune du sol a été réalisé par la méthode dite TSBF (*Tropical Soil Biology and Fertility*). Le ruissellement a été mesuré à l'aide d'une placette de ruissellement de 1,04 m² et enfin, les rendements des cultures ont été mesurés sur l'aire utile de la parcelle élémentaire. Un traitement biocide a été utilisé pour réguler la population de macrofaune afin d'évaluer son effet sur la dynamique des nutriments. L'interaction entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité a eu un effet significatif sur le ruissellement. La réduction du ruissellement a été plus élevée sur le traitement à base de tiges + urée (71% en 2008 et 79% en 2009) en présence de la macrofaune du sol. Concernant les paramètres chimiques mesurés, les résultats ont montré qu'il y a une interaction positive entre les modes de gestion de la fertilité et la macrofaune du sol. La macrofaune a augmenté le phosphore assimilable du sol de 68% et 28% respectivement en 2011 et 2012. Par contre, la suppression de la macrofaune n'a pas eu d'effet significatif sur le potassium disponible. L'usage combiné des tiges et de l'urée a donné la plus forte teneur en carbone (7,1 g.Kg⁻¹ en 2011 et 5,65 g.Kg⁻¹ en 2012) et l'indice de gestion du carbone, le plus élevé (145,9) en présence de la macrofaune du sol. La présence de la macrofaune a ainsi amélioré le rendement du sorgho de 158% avec l'apport de compost et 64% avec l'apport combiné de tiges + urée. Ces résultats démontrent clairement le rôle de la macrofaune dans l'amélioration des caractéristiques du sol et du rendement des cultures. Ces résultats suggèrent de repenser les stratégies de protection des cultures, en réduisant et en utilisant de façon judicieuse les pesticides chimiques de synthèse. Les producteurs doivent en effet, adopter les biopesticides et les pesticides naturels afin de préserver la diversité biologique des sols agricoles.

Mots clés : sol, macrofaune, modes de gestion de la fertilité, phosphore assimilable, indice de gestion du carbone, ruissellement, rendement, Burkina Faso.

ABSTRACT

Interactions between macrofauna and soil fertility management methods have an impact on the physical and chemical processes in the soil and, therefore, the crops yield. To understand the consequences of these interactions on some soil characteristics and yield of sorghum and cowpea, two separate split-plot designs were carried out on a lixisol in north sudanian zone of Burkina Faso. The total carbon, total nitrogen, available potassium, total and available phosphorus were measured respectively by the method of Walkley-Black, Kjeldahl and Bray I. The inventory of soil macrofauna was performed by Tropical Soil Biology and Fertility method. Runoff was measured using a runoff plot of 1.04 m² and finally, crop yields were measured on the effective area of the elementary plot. Biocide treatment was used to control the population of macrofauna to assess its effect on nutrient dynamics. The interaction between macrofauna and fertility management methods had a significant effect on the runoff. The reduction of runoff was higher on the sorghum straws + urea treatment (71% in 2008 and 79% in 2009) in the presence of soil macrofauna. Regarding chemical parameters measured, the results showed that there is a positive interaction between the methods of soil fertility management and macrofauna. Macrofauna increased soil available phosphorus by 68% and 28% respectively in 2011 and 2012. However, removing macrofauna had no significant effect on the available potassium. The combined use of sorghum straws and urea gave the highest carbon content (7.1 g.Kg⁻¹ in 2011 and 5.65 g.Kg⁻¹ in 2012) and the higher carbon management index (145.9) in the presence of soil macrofauna. The presence of macrofauna has improved by 158% sorghum yield with the addition of compost and 64% with the combined use of sorghum straws and urea. These results clearly demonstrate the role of macrofauna in improving soil characteristics and crop yield. These results suggest a rethink of crop protection, by reducing and judiciously using of chemical synthetic pesticides. Producers must indeed adopt biopesticides and natural pesticides to preserve the biodiversity of agricultural soils.

Keywords: soil, macrofauna, methods of soil fertility management, available phosphorus, carbon management index, runoff, yield, Burkina Faso.

INTRODUCTION GENERALE

La dégradation des ressources naturelles en général et des sols en particulier, est reconnue comme un grave problème planétaire (Oldeman, 1992). La dégradation des sols est particulièrement plus accentuée en Afrique Subsaharienne en raison des caractéristiques inhérentes des sols, des conditions climatiques hostiles et de la pratique d'une agriculture minière (Bationo *et al.*, 1998 ; Mafongoya *et al.*, 2006). Il en résulte une baisse de la fertilité des sols qui, couplée à la péjoration climatique, ont entraîné une chute drastique de la production agricole, posant un problème de sécurité alimentaire. Sanchez *et al.* (1997) avaient déjà montré que la baisse de la fertilité des sols est la fondamentale cause biophysique de la baisse de la production agricole par habitant dans les petites exploitations agricoles. Parallèlement, on assiste à une croissance rapide de la population qui reste supérieure à celle de la production agricole, entraînant une baisse de la production agricole par habitant (FAO, 2001). La nécessité d'accroître la production agricole pour satisfaire les besoins grandissants de la population s'est traduite par des modifications des systèmes de production dans les agrosystèmes (Masse, 2007). Au Burkina Faso, comme pour la plupart des pays de l'Afrique de l'Ouest, la productivité agricole reste faible avec une plus grande incidence de l'augmentation des superficies cultivées sur la production agricole. Cette situation a entraîné un raccourcissement ou une disparition de la jachère (Van Reuler et Prins, 1993 ; Berger, 1996). Aussi, a-t-on assisté à une mise en culture des terres marginales, accentuant le phénomène de l'érosion des sols. Tous ces facteurs ont aggravé le déficit en nutriments des sols (Bationo *et al.*, 1998).

Dans un tel contexte, l'intensification agricole semble être la seule voie pour améliorer la sécurité alimentaire et les conditions de vie des populations. Elle passe nécessairement par une fertilisation organo-minérale adaptée, base d'une gestion intégrée de la fertilité des sols (Zougmore, 2003 ; Ouédraogo *et al.*, 2007) et une utilisation raisonnée des pesticides pour combattre les ennemis des cultures. Plusieurs modes de gestion de la fertilité des sols incluant l'usage de la matière organique de diverses qualités, des engrais ou l'introduction des légumineuses dans les rotations, l'utilisation de mesures de conservation des eaux et des sols ont été promus (Sedogo, 1993 ; Bado, 2002 ; Zougmore, 2003 ; Ouédraogo, 2004 ; Bationo *et al.*, 2012).

Cependant, l'usage des pesticides réduit fortement la diversité et l'abondance de la macrofaune du sol (Ouédraogo, 1998 ; Van Straalen et Van Rijn, 1998 ; Nonguierma, 2006 ; Rashmi *et al.*, 2009). Il est pourtant reconnu que la vie du sol joue un rôle déterminant dans le recyclage des éléments nutritifs, l'amélioration des propriétés physiques des sols, la restauration des sols dégradés, la facilitation des processus chimiques et surtout dans la séquestration du carbone et la disponibilité du phosphore (Lavelle, 1996 ; Mando, 1997 ; Ouédraogo *et al.*, 2005 ; Lavelle *et al.*, 2006 ; Chapuis-Lardy *et al.*, 2009 ; Pey, 2010 ; Oberson *et al.*, 2006 ; Ouédraogo, 2011). En outre, la diversité des organismes du sol et la relation entre ces organismes permettent d'améliorer la résilience du sol. Par ailleurs, la macrofaune du sol reflète avec une grande précision les conditions du sol et peut être utilisée comme un indicateur de la qualité du sol (Ruiz *et al.*, 2011 ; Rousseau *et al.*, 2013). Par conséquent, dans les systèmes agricoles à faibles intrants, le maintien et la valorisation de la biodiversité du sol peuvent s'avérer particulièrement utiles (Giller *et al.*, 1997).

De nombreux travaux ont porté sur les effets des différentes pratiques de gestion de la fertilité des sols sur les propriétés chimiques et physiques des sols, et les rendements des cultures (Sedogo, 1993 ; Bonzi, 2002 ; Lompo, 2009 ; Diogo *et al.*, 2010 ; Kiba *et al.*, 2012). D'autres travaux ont concerné les effets des pratiques de gestion de la fertilité des sols sur les bilans des nutriments (Haileslassie *et al.*, 2006 ; Tittonell *et al.*, 2007). Par contre, très peu d'auteurs se sont intéressés à la macrofaune (Ouédraogo *et al.*, 2004 ; Ouédraogo *et al.*, 2006 ; Zida *et al.*, 2011 ; Traoré, 2012). Ces études se sont focalisées sur les effets directs des technologies de gestion de la fertilité des sols sur la macrofaune, mais pas aux interactions et surtout leurs conséquences sur la production agricole et les caractéristiques chimiques et microbiologiques des sols. Il est cependant reconnu qu'une utilisation efficiente des ressources organiques apportées au sol dépend en grande partie de l'action de la faune du sol, des microorganismes telluriques, et de leur interaction. Le développement des pratiques de gestion des sols agricoles favorisant les attributs bénéfiques des organismes des sols serait essentiel pour le maintien de la productivité et de l'intégrité environnementale de l'agriculture tropicale (Beare *et al.*, 1997). La macrofaune est alors un élément clé de l'intensification écologique des systèmes de production. L'évaluation de l'interaction entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité des sols pourrait être une étape importante pour repenser la gestion de la fertilité et les stratégies de protection des cultures, et conduire à la promotion d'une agriculture écologique et durable.

D'où notre question centrale de recherche : quelle est la contribution de la macrofaune dans l'intensification écologique de la production agricole ?

Cette étude vise donc à appréhender l'impact de l'interaction entre la macrofaune et divers modes de gestion de la fertilité des sols incluant l'usage de matière organique de qualité contrastée sur quelques caractéristiques chimiques du sol, le ruissellement et la production agricole. Elle a été bâtie autour des questions spécifiques de recherche suivantes :

1. quels sont les impacts de l'interaction entre les modes de gestion de la fertilité et la macrofaune du sol sur le ruissellement et la production agricole ?
2. les modes de gestion de la fertilité influencent-ils la dynamique de la macrofaune du sol ?
3. quels sont les impacts des modes de gestion de la fertilité et de la macrofaune du sol sur les caractéristiques chimiques du sol ?

L'objectif global de cette étude est de proposer à partir des modes de gestion des sols déjà vulgarisés, un ou des modes de gestion de la fertilité améliorant la qualité des sols et permettant d'assurer une production agricole durable dans le contexte de variabilité et de changement climatiques. Plus spécifiquement, il s'est agi au cours de cette thèse :

- d'évaluer l'impact de l'interaction entre les modes de gestion de la fertilité et la macrofaune du sol sur la production agricole ;
- d'évaluer l'impact des modes de gestion de la fertilité sur la macrofaune du sol ;
- d'évaluer l'impact de l'interaction entre la macrofaune du sol et les modes de gestion de la fertilité sur le ruissellement ;
- d'évaluer l'impact des modes de gestion de la fertilité et de la macrofaune du sol sur les caractéristiques chimiques du sol.

Notre démarche scientifique a été construite autour des hypothèses suivantes :

- (i) l'interaction entre les modes de gestion de la fertilité et la macrofaune améliore la productivité agricole ;
- (ii) les modes de gestion de la fertilité des sols qui combinent la matière organique et l'urée, augmentent la densité et la diversité de la macrofaune du sol ;

(iii) l'interaction entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité du sol réduit le ruissellement ;

(iv) en fonction des modes de gestion de la fertilité des sols, la présence de la macrofaune augmente la disponibilité du phosphore, les teneurs en azote et en potassium disponible ;

(v) en fonction des modes de gestion de la fertilité des sols, la présence de la macrofaune augmente la teneur en carbone et l'indice de gestion du carbone.

La présente thèse est structurée en sept (07) chapitres :

- ✓ le premier chapitre consacré à la revue bibliographique donne un aperçu sur la gestion de la fertilité, la macrofaune du sol et son interaction avec les propriétés chimiques et microbiennes du sol et la production agricole ;
- ✓ le deuxième chapitre décrit la zone d'étude et présente l'approche méthodologique ;
- ✓ le troisième chapitre présente et discute les effets de l'interaction entre des modes de gestion de fertilité et la macrofaune sur la productivité du sorgho et du niébé ;
- ✓ le quatrième présente et discute les effets des modes de gestion de la fertilité sur la macrofaune et les interactions entre la macrofaune et ces modes de gestion de la fertilité sur le ruissellement ;
- ✓ le cinquième chapitre traite des effets de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur les macronutriments (N, P et K) du sol ;
- ✓ le sixième chapitre présente et discute les effets de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur la teneur en carbone des différentes fractions granulométriques et l'indice de gestion du carbone du sol ;
- ✓ et le septième chapitre est consacré à la discussion générale.

La thèse se termine par une conclusion générale dans laquelle, à partir de l'analyse des principaux résultats, des recommandations sont formulées.

CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LA GESTION DE LA FERTILITE DES SOLS ET LA BIOLOGIE DES SOLS

I. LE SOL

I.1. Définition

Milieu complexe, le sol a connu une évolution dans sa définition au cours du temps. Le sol est la couche externe de l'écorce terrestre, vivante et dynamique qui résulte de l'altération de la roche mère sous l'effet conjugué de l'eau, de l'air, des températures et de l'action des êtres vivants (végétaux ou animaux). Il a été décrit comme un système compartimental entretenant de multiples transferts entre ses principaux compartiments d'une part et avec le milieu extérieur d'autre part (Morel, 1989). Pour Gobat *et al.* (2010), le sol est un carrefour multifonctionnel, présentant une organisation interne systématique et abritant une « exclusivité » terrestre.

En effet, le sol est un support pour les êtres vivants, un habitat à biodiversité très élevée, un réservoir de matières organiques et minérales et un lieu de transformation de ces matières. Outre ces rôles, le sol est un régulateur des échanges et flux dans l'écosystème et un système épurateur des substances toxiques.

I.2. Concept de fertilité des sols

Le concept de fertilité des sols, qui paraît a priori clair, quand on se réfère à la productivité primaire des écosystèmes naturels, recouvre en réalité des notions variées dès lors que l'on se situe dans la perspective d'une utilisation agricole de ces écosystèmes (Pieri et Moreau, 1986). La fertilité du sol est alors un concept très complexe. Autrefois définie comme l'aptitude d'un sol à produire, la fertilité des sols a connu une évolution dans sa définition avec le temps (Pieri et Moreau, 1986 ; Pieri, 1989 ; Delville, 1996). Le concept de fertilité peut être défini comme étant l'aptitude d'un milieu à satisfaire durablement les besoins des populations rurales à travers les systèmes de production qu'elles mettent en œuvre. La fertilité d'un sol résulte donc de l'interaction entre les caractéristiques pédoclimatiques du milieu, les systèmes de production, les pratiques agricoles et le contexte socio-économique (Delville, 1996 ; Dugué *et al.*, 1998).

II. LES CAUSES DE LA BAISSSE DE LA FERTILITE DES SOLS

Les sols de l'Afrique subsaharienne sont caractérisés par leur faible fertilité inhérente et leur susceptibilité à l'érosion (Breman, 1998). En effet, l'érosion des sols est reconnue comme l'un des principaux facteurs de dégradation des sols. Elle entraîne des pertes de terre, de nutriments et de surface cultivable (Niang, 2006). Elle constitue selon Manu *et al.* (1998), un important facteur biophysique de la faible productivité des systèmes agro-pastoraux. Les sols de l'Afrique de l'Ouest font également face aux pertes de matière organique et d'éléments nutritifs liées à la mise en place de systèmes de culture inappropriés, et à l'impact des conditions climatiques (Sedogo, 1993 ; Taonda *et al.*, 1995 ; Nacro, 1997 ; Bationo *et al.*, 1998 ; Ouédraogo, 2004). La pratique de la culture continue sans restitution qualifiée d'agriculture minière par Bationo *et al.* (1998), accélère ainsi la baisse de la fertilité des sols. En plus, l'explosion démographique a entraîné une augmentation des besoins en terre cultivable, en zone de parcours et des besoins domestiques en produits végétaux. Cette pression foncière a eu pour conséquence, la suppression ou la réduction de la jachère (Van Reuler et Prins, 1993 ; Berger, 1996), et la mise en culture de terres marginales, empêchant ainsi le renouvellement de la fertilité des sols. Tous ces facteurs compromettent la base des systèmes traditionnels de production agricole. L'usage intensif et exclusif d'engrais minéraux notamment azotés entraîne également une acidification du sol à long terme (Pieri, 1989 ; Bationo et Mokwunye, 1991 ; Sedogo, 1993) et peut provoquer des dommages sur l'environnement par la pollution des nappes phréatiques (Dudal et Byrnes, 1993). La mise en culture des sols s'accompagne donc d'une baisse de leur fertilité.

III. LES STRATEGIE DE GESTION DE LA FERTILITE DES SOLS

La productivité des sols de l'Afrique de l'Ouest en général et du Burkina Faso en particulier est limitée par leur faible fertilité. Plusieurs actions furent alors entreprises pour tenter d'enrayer la dégradation des sols, et rétablir un niveau de production compatible avec la satisfaction des besoins des populations. Ces stratégies de gestion de la fertilité ont connu une évolution avec le temps.

Traditionnellement utilisée pour reconstituer les aptitudes culturales d'un sol, la jachère est de plus en plus abandonnée face à la pression démographique croissante (Van Reuler et Prins, 1993 ; Berger, 1996). L'utilisation d'engrais chimiques a dès lors été

présentée comme la solution pour la fertilisation des sols et l'amélioration des rendements. Les engrais minéraux solubles sont des substances immédiatement disponibles pour les plantes. Ils sont appliqués pour satisfaire les besoins des cultures. Cependant, plusieurs études montrent qu'une fertilisation exclusivement minérale ne peut pas assurer une production agricole durable.

L'apport exclusif d'urée contribue en effet, à une minéralisation rapide de la matière organique et à la baisse des rendements à long terme (Sedogo, 1981 ; Pieri, 1989 ; Sedogo, 1993). Ces auteurs ont par ailleurs démontré le rôle primordial de la matière organique dans la gestion de la fertilité des sols. En effet, la gestion durable de la fertilité des sols passe toujours par le maintien d'un horizon humifère (ou organique) en surface, le plus important possible. Selon Bationo et Mokwunye (1991), la nature des minéraux argileux des sols de l'Afrique Subsaharienne (kaolinite) rend la matière organique indispensable à l'utilisation efficace des nutriments.

Les substrats organiques utilisés dans la fertilisation des sols sont de nature et de formes variées. Ils sont composés du compost, de fumier, de résidus de cultures, de déchets et d'engrais verts, etc. Suivant leur stade d'évolution, on distingue: les matières organiques libres fraîches, les produits transitoires et l'humus (Delville, 1996). La décomposition de la matière organique fraîche dépend de sa qualité notamment de son rapport C/N, de sa teneur en lignine et en polyphénol (Tian *et al.*, 1997). Les substrats de bonne qualité (C/N bas) se décomposent plus rapidement. L'incorporation au sol de matière organique de faible qualité entraîne une minéralisation excessive de la matière organique du sol ou une "faim" d'azote pour les cultures (Janssen, 1993). Cependant, la faible disponibilité et la faible qualité des ressources organiques sont des contraintes à l'utilisation de la matière organique à grande échelle. En effet, les résidus de cultures font l'objet de plusieurs usages. La quantité de fumier produite est faible pour permettre son utilisation à grande échelle. Par ailleurs, il a été montré qu'il y a une complémentarité entre la matière organique et les engrais minéraux (Janssen, 1993). La gestion durable de la fertilité des sols implique donc l'utilisation de technologies appropriées aux conditions paysannes, basées sur l'utilisation équilibrée des engrais minéraux et des ressources organiques. En effet, les études de Pieri (1989), Van Reuler et Prins (1993), Ouédraogo *et al.* (2007) ont montré que l'usage combiné de la matière organique et des engrais minéraux augmente les rendements tout en préservant le stock de matière organique du sol à un niveau acceptable. La matière organique améliore les propriétés biologiques et

physico-chimiques du sol et constitue une source d'éléments nutritifs pour les cultures (Misra *et al.*, 2005). Elle constitue également une source d'énergie pour les décomposeurs et permet d'améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau et des nutriments par les cultures (Ouedraogo, 2004).

La durabilité des systèmes de production dépend fortement des systèmes de rotation des cultures notamment avec les légumineuses fixatrices d'azote (Bado, 2002). En effet, les légumineuses sont des plantes capables de fixer une partie de l'azote atmosphérique et de l'intégrer dans le sol. Au Burkina Faso, les légumineuses produites sont principalement le niébé (*Vigna unguiculata* L. (Walp)), l'arachide (*Arachis hypogaea* L.), le voandzou (*Vigna subterranea* L. (Verdc.)) et le Soja (*Glycine max* L. (Merill)). Les études de Bado (2002) ont montré que les quantités d'azote fixé par l'arachide et le niébé varient de 8 à 23 kg d'azote /ha pour l'arachide soit 27 à 34 % de ses besoins en azote et 50 à 115 kg d'azote /ha pour le niébé soit 52 à 56% de ses besoins en azote. Une partie de l'azote fixé est utilisée par la légumineuse et l'autre partie est rejetée dans le sol. L'arachide et le niébé augmentent l'azote minéral du sol respectivement de 13 à 40% et 20 à 25% (Bado, 2002). Ainsi, lorsque les légumineuses sont utilisées en rotation ou en association dans les systèmes de culture, elles contribuent à améliorer la teneur en azote du sol, mais aussi l'absorption de l'azote (Bado *et al.*, 2012). Les cultures succédant aux légumineuses, peuvent donc bénéficier de l'azote fixé, soit directement en absorbant la portion laissée dans le sol, soit indirectement par l'intermédiaire des résidus des légumineuses. En effet, Bado (2002) a montré que les rendements du sorgho avaient augmenté de 60 et 300% respectivement avec l'arachide et le niébé comme précédents culturaux. Samaké et Kodio (2004) ont montré que la rotation du niébé avec le mil améliore le rendement du mil la première année après la culture du niébé. Cette rotation a permis d'améliorer le niveau de l'azote total du sol et de réduire l'infestation des champs par le *Striga hermonthica* de 50% par rapport à la culture continue du mil. La rotation céréale / légumineuse permet également d'améliorer la nutrition phosphatée des cultures (Alvey *et al.*, 2001).

Outre le rôle que jouent les légumineuses dans la fixation de l'azote atmosphérique, les études de Alvey *et al.* (2001), Bado *et al.* (2011) et Traoré (2012) ont montré que l'arachide et le niébé contribue à la réduction des infestations par les nématodes dans les systèmes de rotations. Par contre, Bado *et al.* (2011) ont montré que le niébé augmentait

l'infestation par les nématodes dans les systèmes de rotation par rapport à la monoculture du sorgho sans pour autant réduire la production agricole.

IV. LES ROLES DES ORGANISMES VIVANTS DU SOL

IV.1. Définition et classification de la macrofaune du sol

IV.1.1. Définition de la macrofaune du sol

Plusieurs définitions ont été données à la macrofaune du sol. Ces définitions sont principalement basées sur la taille des organismes. Ainsi, selon Kevan (1968) cité par Brown *et al.* (2002), la macrofaune du sol représente l'ensemble des organismes du sol visible à l'œil nu ou ayant plus de 90% de leurs spécimens visibles à l'œil nu (Eggleton *et al.* 2000) cité par Brown *et al.* (2002). Pour Wallwork (1970) et Swift *et al.* (1979) cités par Brown *et al.* (2002), il s'agit d'organismes de taille supérieure à 1 cm ou 2 cm. Bachelier (1978) quant à lui, définit la macrofaune du sol comme l'ensemble des animaux mesurant entre 4 et 80 mm et qui passent une partie importante de leur cycle biologique dans le sol. On distingue la faune endogée qui vit dans les horizons du sol, et la faune épigée qui vit dans la litière. Elle est constituée par les vers de terre, les termites, les Myriapodes (Chilopodes et Diplopedes), de nombreux Arachnides, les Mollusques (Limaces, Escargots), quelques Crustacés (Isopodes ou Amphipodes), des larves d'insectes principalement de Diptères, de Coléoptères, mais aussi de Lépidoptères et d'Hémiptères et quelques autres groupes fauniques d'importance secondaire. Qualifiés "*d'ingénieurs*" de l'écosystème par Jones *et al.* (1994), les vers de terre, les termites et les fourmis sont des organismes capables d'assurer la disponibilité des ressources et de créer des habitats pour d'autres organismes, par des modifications physiques du sol. Ils jouent alors un rôle important dans les sols tropicaux.

IV.1.2. Classification fonctionnelle de la macrofaune sol

De par son activité, la macrofaune influence significativement le système sol-plante. Ainsi, Brown *et al.* (2002) distinguent la macrofaune bénéfique et la macrofaune nuisible. La macrofaune bénéfique regroupe des organismes dont l'activité conduit à une amélioration des propriétés physiques, chimiques, biologiques et de la santé du sol et des cultures. Dans ce groupe, on distingue les sarcophages, les géophages et les prédateurs. Les sarcophages se nourrissent de la matière organique morte. Ils contribuent à la restitution de la matière

organique dans le sol en accélérant par leur action, sa vitesse de décomposition et de minéralisation. Ainsi, ils augmentent la quantité d'éléments nutritifs disponibles pour les cultures. Ils contribuent également à la formation des complexes argilo-humiques, améliorant ainsi la structure du sol. Les géophages (agent de bioturbation) sont des organismes qui ingèrent le sol simultanément avec leur nourriture. Ils creusent d'importants réseaux de galeries dans le sol, ce qui améliore le régime hydrique et les échanges gazeux dans le sol. Les prédateurs se nourrissent d'autres organismes vivants, contrôlant de ce fait leur population. Ils sont un indicateur de l'équilibre biologique du système.

La macrofaune nuisible constituée essentiellement de phytophages, a quant à elle, un caractère défavorable pour l'état sanitaire de la culture. Certaines espèces comme les *Elateridae* et les *Iules* s'attaquent aux racines des plantes, alors que d'autres sont défoliatrices comme les Lépidoptères. Certaines espèces de termites provoquent des dommages aux cultures surtout en cas de sécheresse. En effet, Akpessé *et al.* (2008) ont montré que les ouvriers des termites champignonnistes, les xylophages et certains termites souterrains pouvaient provoquer la verse des plantes après sénescence, en endommageant leurs racines et leur tige.

IV.2. Macrofaune et propriétés des sols

IV.2.1. Macrofaune et propriétés chimiques

IV.2.1.1. Macrofaune du sol et matière organique

L'importance de la vie dans les sols dépend en tout premier lieu de leur richesse en carbone (Bachelier, 1971). La matière organique est un élément essentiel pour la macrofaune du sol. Elle améliore d'une part, les propriétés physico-chimiques du sol et d'autre part, elle constitue une source d'énergie et un réservoir d'azote pour la synthèse de leurs tissus. La qualité de la matière organique notamment son rapport C/N, sa teneur en lignine, en cellulose et en polyphénol (Tian *et al.*, 1997), peuvent influencer le déterminisme et l'activité de la macrofaune du sol. En utilisant l'indice de qualité biologique des sols, Santorufo *et al.* (2012) ont montré que l'abondance et la diversité de la macrofaune sont plus élevées quand la teneur en matière organique et en eau est élevée, et que la teneur en métaux lourds (Cuivre, Plomb et Zinc) est faible. Plusieurs études ont montré que les termites préféraient la matière organique récalcitrante, riche en cellulose (Ouédraogo *et al.*, 2004 ; Bagnian, 2006 ; Zida *et al.*, 2011 ;

Traoré, 2012 ; Diop *et al.*, 2013). Les vers de terre quant à eux préfèrent les herbes tendres, les fumiers ou les composts (Bachelier, 1971 ; Lapied *et al.*, 2009 ; Traoré, 2012). Aussi, Sileshi et Mafongoya (2006) ont montré que les vers de terre étaient plus abondants sous des espèces produisant plus de biomasse avec un faible ratio de (lignine + polyphénols) sur azote.

Pour utiliser l'énergie et l'azote de la matière organique, les micro-organismes et la macrofaune assurent la décomposition de la matière organique (Bachelier, 1971 ; Boyer, 1971 ; Bachelier, 1978). La macrofaune intervient directement ou indirectement dans ce processus de dégradation et de minéralisation.

La macrofaune intervient directement grâce à l'activité de nutrition, à la fragmentation de la litière ou du bois mort (Bachelier, 1971 ; Mando, 1991), amorçant ainsi le processus d'humification. Bachelier (1978) citant Meyer (1943) indique qu'une litière végétale de rapport C/N égal à 23 avait donné après digestion par les vers de terre, un terreau à rapport C/N de 11. Aussi, Ouédraogo *et al.* (2004), en utilisant la technique des sacs à litières, ont montré qu'en présence de faune du sol, seulement 19% de paille d'Andropogonées, 8% de bouse de vache et 5% de paille de maïs n'avaient pas été décomposées en trois (03) mois d'application, alors que ces taux étaient respectivement de 96%, 70% et 34% pour la paille d'Andropogonées, la bouse de vache et la paille de maïs en absence de faune. Cette fragmentation de la matière organique fraîche facilite l'activité des micro-organismes responsables de l'humification.

Indirectement, la macrofaune par l'amélioration des propriétés physico-chimiques des sols (aération, énergie, disponibilité en eau), stimule l'activité de la microfaune et assure la présence d'une microflore cellulolitique très active (Boyer, 1971). Elle crée ainsi les conditions favorables à la dégradation de la matière organique et à l'humification.

IV.2.1.2. Eléments nutritifs du sol, pH et macrofaune du sol

L'activité de la macrofaune du sol contribue généralement à l'enrichissement du sol en éléments nutritifs grâce à la minéralisation de la matière organique. Aussi, elle constitue elle-même une réserve d'azote mobilisable à sa mort. En effet, Satchell (1960) cité par Bachelier (1978) indique que la mortalité en saison sèche des vers de terre, pouvait apporter aux cultures jusqu'à la moitié de leur besoin en azote. Aussi, Raw (1961) cité par Bachelier (1971) pense que dans les vergers, les vers quand ils sont actifs, peuvent excréter chaque jour 28 à 42

mg d'azote/m². Les travaux de Ouédraogo (2004) en zone semi-aride, ont montré que les vers produisaient en présence de matière organique de bonne qualité (fumier de mouton), d'importantes quantités de turricules (74 tonnes par hectare) équivalant à 63 Kg.ha⁻¹ d'azote, 16 Kg.ha⁻¹ de phosphore et 46 Kg.ha⁻¹ de potassium. Selon Bachelier (1971), les rejets de vers de terre présentent une plus forte capacité d'échange de bases que les sols, et s'avèrent chimiquement plus riches. L'activité des vers de terre stimule la minéralisation de l'azote et réduit légèrement son immobilisation en cas d'apport de tiges (Potthoff *et al.*, 2001). Les vers de terre sont capables de rendre assimilables certains oligo-éléments tels que le molybdène. Les études de Ouédraogo *et al.* (2005), ont montré que les vers de terre pouvaient augmenter la disponibilité en phosphore assimilable du Burkina phosphate, surtout lorsqu'il est appliqué avec du compost ou du fumier riche. En effet, la teneur en phosphore assimilable dans les turricules peut être quatre (04) fois supérieure à celle du sol (Ouédraogo, 2004). Chapuis-Lardy *et al.* (2009) ont également montré que les turricules de vers de terre augmentent la disponibilité du phosphore. De même, les termites assurent l'augmentation des réserves minérales échangeables et totales du sol par les produits de leur métabolisme, les remontées à la surface d'éléments minéraux encore peu décomposés (Bachelier, 1971 ; Boyer, 1971 ; Duboisset et Seignobos, 2005). Les termites apportent également des éléments minéraux et des bases en solution, en récupérant les eaux de ruissellement et de lessivage oblique (Boyer, 1971). L'accroissement des bases échangeables est souvent supérieur à celui de la capacité de fixation liée à l'apport d'argile. Aussi, le taux de saturation en cations du complexe dans les termitières est généralement supérieur à celui des sols voisins (Bachelier, 1971).

Le pH est un facteur très sélectif de la macrofaune du sol. Les changements apportés par la faune sur la saturation du complexe colloïdal sont susceptibles de modifier le pH du sol (Bachelier, 1978). Les turricules de vers de terre, ainsi que le matériel des termitières sont généralement proches de la neutralité (Bachelier, 1971 ; 1978). Leur présence contribue alors à relever le pH sur les sols acides. Ainsi, Chan (2003) a observé à travers des expériences au laboratoire, une amélioration du pH de 1,1 unité en présence d'*Aporrectodea longa*. Ce fort pH dans les turricules s'explique par leur richesse chimique ou par l'altération des cristaux calcites excrétés par les glandes de morren (Bachelier, 1978).

IV.2.2. Macrofaune et propriétés physiques

IV.2.2.1. Macrofaune et porosité du sol

La macrofaune du sol est influencée par la porosité du sol. En effet, un sol très compact s'oppose aux déplacements verticaux d'animaux sensibles aux variations de la température et d'humidité notamment les vers de terre, et de ce fait en interdit l'existence. Par contre, il suffit d'une porosité très moyenne pour que le sol soit suffisamment aéré et le gaz carbonique ne s'y accumule pas (Bachelier, 1971 ; 1978).

Par ailleurs, plusieurs études ont montré que l'activité de la macrofaune joue un rôle important sur l'amélioration de la porosité du sol (Bachelier, 1978 ; Mando, 1997 ; Hallaire *et al.*, 2004 ; Lavelle *et al.*, 2006). En effet, les vers de terre augmentent la macroporosité du sol, qui de 30 à 40% peut passer de 60 à 70% grâce à leurs galeries et leurs turricules (Bachelier, 1978). Il en résulte une amélioration considérable de l'infiltration (Blanchard *et al.*, 2004 ; Jouquet *et al.*, 2011). Les galeries des vers de terre, véritable réseau de drainage, augmentent considérablement l'infiltration (Pieri, 1989). Ainsi, Casenave et Valentin (1989) ont montré que dans les milieux non cultivés couverts d'une végétation dense, le taux d'infiltration qui était de 40 à 75%, passait à 70 à 85%, lorsque l'activité des vers de terre entraîne un dépôt de turricules à la surface du sol puis 85 à 100%, lorsqu'il s'y ajoute une activité importante de termites sous forme de placages. Les études de Mando et Brussaard (1999), ont montré que l'activité des termites entraîne une ouverture des pores qui favorisent grandement l'infiltration. Ces auteurs ont ainsi observé une multiplication de la vitesse d'infiltration par trois sur des sols sablo - limoneux. Aussi, grâce à la formation d'agrégats stables, la macrofaune améliore la microporosité du sol. Par contre une activité excessive des vers de terre entraîne la formation d'une couche compacte et collante qui réduit le taux d'infiltration (Lavelle *et al.*, 1991). Aussi, les grosses termitières des *Macrotermitinae* sont pratiquement imperméables et une forte érosion peut souvent s'y manifester (Bachelier, 1971).

IV.2.2.2. Macrofaune et structure du sol

La macrofaune du sol, en stimulant l'activité biologique globale du sol, favorise indirectement sa structuration. Mais, la plupart des actions de la macrofaune peuvent aussi avoir une action directe sur cette structure (Bachelier, 1978). Les vers de terre et les autres macro-invertébrés, en ingérant la terre avec leur nourriture, contribuent à la formation des agrégats en mélangeant les débris végétaux en décomposition à la matière minérale dans leur tube digestif (Bachelier, 1971 ; Boyer, 1971 ; Lavelle *et al.*, 1991 ; Gobat *et al.*, 2010). La faune améliore également la structure et la stabilité du sol, en réduisant la taille de la matière

organique et en facilitant leur migration en profondeur au cours de la chaîne alimentaire. Aussi, contribue-t-elle à la formation d'agrégats ou de micro-agrégats stables favorables à l'amélioration de la structure du sol par les sécrétions intestinales de la macrofaune du sol et les colloïdes bactériens du tube digestif, par la fragmentation de la matière organique et le réseau d'hyphes des champignons et des fibres végétales issus des feuilles consommées (Edwards et Bohlen, 1996 cité par Gobat *et al.*, 2010).

IV.2.2.3. Macrofaune, humidité et capacité de rétention en eau du sol

L'eau demeure un facteur primordial pour la macrofaune du sol. Son excès ou son insuffisance peut être néfaste pour ces animaux (Bachelier, 1971 ; 1978). Le manque d'eau cause la dessiccation des animaux surtout au moment des mues alors que son excès détermine des pièges de tensions superficielles, le phénomène d'endosmose et de manque d'oxygène. Le degré de sensibilité à ces phénomènes est fonction de l'espèce. Suivant leur besoin en eau, Bachelier (1978) distingue la faune hydrophile ou avide d'eau, la faune hygrophile ou avide seulement d'humidité, et la faune xérophile capable de supporter la sécheresse. Par ailleurs, la macrofaune influence l'humidité et la capacité de rétention en eau du sol. Cependant, l'action de la macrofaune sur la capacité de rétention en eau est variable suivant les espèces (Bachelier, 1978). Cette amélioration de la capacité de rétention s'explique par la texture plus fine des structures biogéniques de la macrofaune et par leur impact sur les processus d'humification de la matière organique.

IV.2.2.4. Macrofaune et texture du sol

La macrofaune du sol de par son activité entraîne la remontée de l'argile des horizons de profondeur, déterminant ainsi une texture fine des horizons de surface. Bachelier (1978) a montré que les rejets de vers de terre sont habituellement d'une texture plus fine que celle des sols et donc plus limoneuse ou plus argileuse. Nyé (1955) cité par Bachelier (1978) étudiant les rejets d'*Hippopera nigeriae* dans les sols du Ghana, a montré que les rejets de ce ver ne renfermaient pas de grains plus gros que 0,5 millimètre (mm) et il ne s'y trouvait qu'une faible proportion de grains dont la taille varie entre 0,2 et 0,5 mm alors que le sol environnant était constitué de sables grossiers. Cependant, une profondeur suffisante du sol et une texture assez fine sont favorables à leur activité. L'abondance de certains groupes de macrofaune notamment les vers de terre, qui ingèrent la terre est déterminée par une texture fine du sol (Bachelier, 1978 ; Lapied *et al.*, 2009).

V. LES EFFETS DES PESTICIDES AGRICOLES SUR LA MACROFAUNE DU SOL

L'amélioration et l'augmentation de la production agricole passe en partie par un contrôle des ennemis des cultures par l'usage de pesticides de synthèse (Ouédraogo, 1998). Les pesticides sont des produits qui par leurs propriétés chimiques contribuent à la protection des végétaux. Ils sont destinés à détruire, limiter ou repousser les organismes nuisibles à la croissance des plantes (insectes, pathogènes et adventices). Au Burkina Faso, ce sont essentiellement les insecticides organochlorés et organophosphorés qui sont utilisés pour les productions cotonnières et maraîchères (Toé, 1997). Dans la zone cotonnière, les travaux de Savadogo *et al.* (2006) ont montré une contamination du sol par l'endosulfan qui variait de 1 à 22 µg / Kg. Ces pesticides organochlorés sont caractérisés par une grande rémanence et une toxicité aiguë (Kumar, 1991 ; Ouédraogo, 1998 ; Savadogo *et al.*, 2006). Utilisés directement sur le sol ou sur les cultures, les pesticides s'accumulent dans les sols riches en argile et en humus, ou sont entraînés dans la nappe phréatique (Kumar, 1991 ; Nonguierma, 2006 ; Savadogo *et al.*, 2006). Ils contribuent alors à la réduction de la vie dans les sols (Kumar, 1991 ; Van Straalen et Van Rijn, 1998 ; Ouédraogo, 1998 ; Rashmi *et al.*, 2009). Les prédateurs à grosse biomasse 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. Les pesticides induisent également une augmentation des populations d'organismes nuisibles par la suppression de leurs auxiliaires, et créent des phénomènes de résistance (Kumar, 1991). Van Straalen et Van Rijn (1998) ont également rapporté les effets néfastes des pesticides sur la macrofaune du sol. Ils ont montré que des pesticides comme le Diméthoate, le Parathion, le Chlorpyrifos réduisent l'abondance des collemboles, des carabidés et des vers de terre.

VI. LES EFFETS DE LA MACROFAUNE DU SOL SUR LA PRODUCTION AGRICOLE

La production primaire est grandement affectée par les activités d'invertébrés du sol, directement et indirectement (Lavelle *et al.*, 2006). De nombreuses expériences ont montré des améliorations significatives de la production végétale en présence de la macrofaune du sol (Ouédraogo, 2004 ; Blouin *et al.*, 2005 ; Lavelle *et al.*, 2006). Plusieurs paramètres impliquant

la nutrition minérale des plantes et leur protection phytosanitaire, ont été évoqués par ces auteurs pour expliquer l'augmentation des rendements. En effet, l'activité de la macrofaune entraîne une amélioration de la libération des nutriments dans la rhizosphère, la stimulation des micro-organismes incluant les sécrétions d'hormones de croissance, les mycorhizes et les micro-organismes fixateurs d'azote. Aussi, l'amélioration de la vigueur de la plante et la protection contre les ravageurs et les maladies dans et au-dessus du sol, et les effets positifs de l'activité de la macrofaune sur la structure physique du sol, favorisent une meilleure croissance et une production des plantes. Ainsi, Ouédraogo (2004) a observé une augmentation de rendement du sorgho de 50% liée à la présence de la macrofaune du sol.

VII. CONCLUSION PARTIELLE

Cette synthèse bibliographique montre que face au problème de la baisse généralisée du niveau de fertilité des sols, de nombreuses technologies de gestion des cultures incluant l'usage de matière organique de qualité diverse, des engrais minéraux et l'introduction de légumineuses ont été mises au point. La macrofaune du sol interagit avec la qualité de la matière organique du sol et améliore ainsi les propriétés physico-chimiques du sol et la production agricole. La macrofaune, notamment les "*ingénieurs*" de l'écosystème occupent une position clé au sein de l'écosystème en influençant la diversité et l'activité des autres groupes fonctionnels et des microorganismes, et donc le recyclage des nutriments. La complexité des interactions entre la macrofaune et la matière organique et leur conséquence sur les propriétés physico-chimiques et biologiques et la production agricole, a été conceptualisée par Brussaard (2012) (Figure 1.1). Les interactions entre les organismes du sol, la matière organique et la matière organique apportée au sol ont un impact sur le carbone, l'eau et les cycles des nutriments et la structure du sol. Ces interactions ont une répercussion sur l'utilisation efficace de l'eau et des éléments nutritifs et, par conséquent, le rendement des cultures. Cependant, l'utilisation généralisée des pesticides chimiques de synthèse (herbicides, insecticides) menace la diversité et l'abondance de la macrofaune du sol. Cette situation peut avoir des impacts sur la séquestration du carbone qui est pourtant importante dans un contexte de variabilité et de changement climatiques, où le stockage du carbone dans le sol est une bonne alternative pour réduire les teneurs du gaz carbonique dans l'atmosphère et augmenter la capacité de rétention en eau des sols. Aussi, à la limite de nos connaissances, très peu d'études ont été faites sur la macrofaune du sol notamment les conséquences des interactions entre elle et diverses modes de gestion de la fertilité des sols sur les

caractéristiques chimiques et physiques du sol et sur la production agricole en Afrique Subsaharienne. Ainsi, la macrofaune n'est pas convenablement prise en compte dans les stratégies de gestion de la fertilité des sols et de protection des cultures. La présente étude s'inscrit dans ce cadre. Il s'agit d'évaluer l'impact de l'interaction entre la macrofaune du sol et des modes de gestion de la fertilité sur (i) les rendements du sorgho et du niébé, (ii) quelques caractéristiques chimiques du sol, et (iii) le ruissellement, (iv) proposer à partir des options de gestion des sols déjà vulgarisées, une ou plusieurs options permettant d'améliorer la qualité des sols et la production agricole.

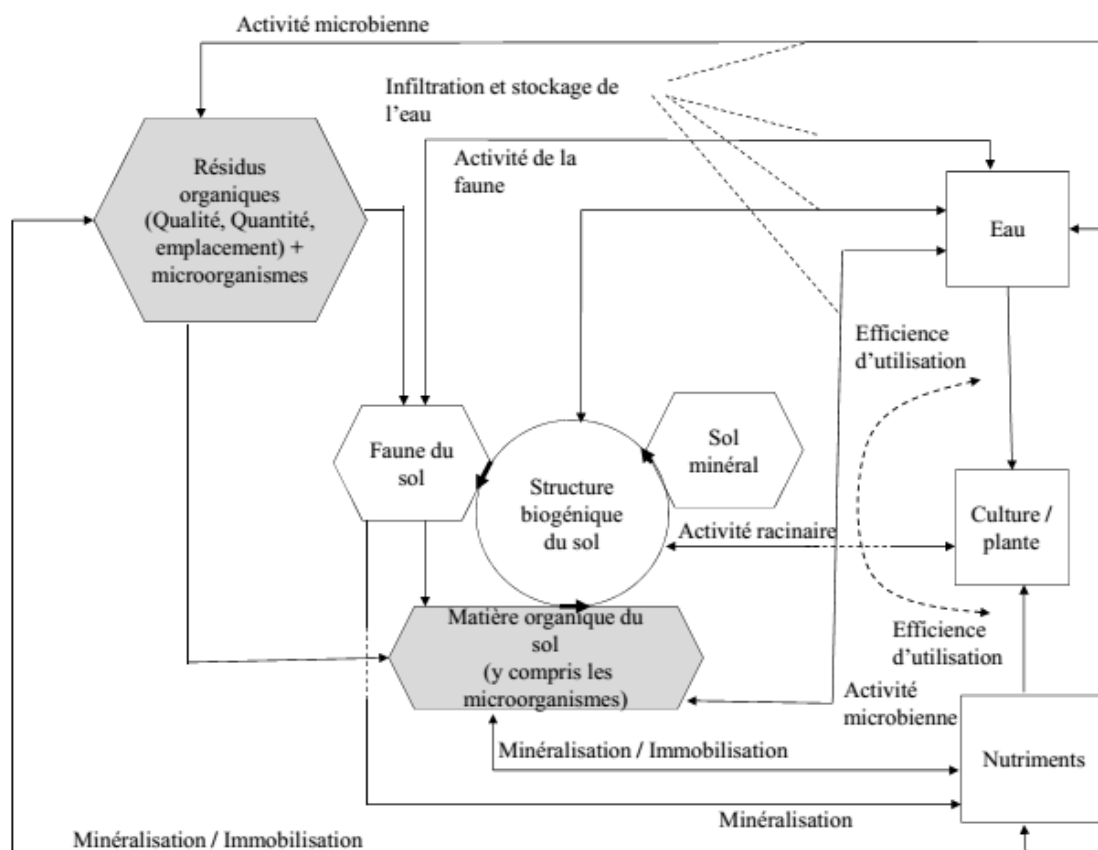


Figure 1.1. Schéma conceptuel montrant que l'apport de matières organiques et la matière organique du sol (en gris) sont une indication de l'état du sol (Brussaard, 2012).

CHAPITRE 2 : PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE ET APPROCHE METHODOLOGIQUE

I. PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE

I.1. Situation géographique du site d'étude

L'étude a été conduite dans le village de Gomtoaga, qui appartient à la commune rurale de Koubri, une des communes rurales de la province du Kadiogo (Région du Centre). Il est situé sur l'axe Ouagadougou - Kombissiri à 35 km au Sud-est de Ouagadougou. Ses coordonnées géographiques sont : 12° 08' 02'' de latitude Nord et 1° 24' 54'' de longitude Ouest. Il est limité au Nord par Koubri et Poedogo, à l'Est par le village de Pissy, au Sud par Wantenga et à l'Ouest et au Sud-Ouest par Sologo et Diépo (Figure 2.1).

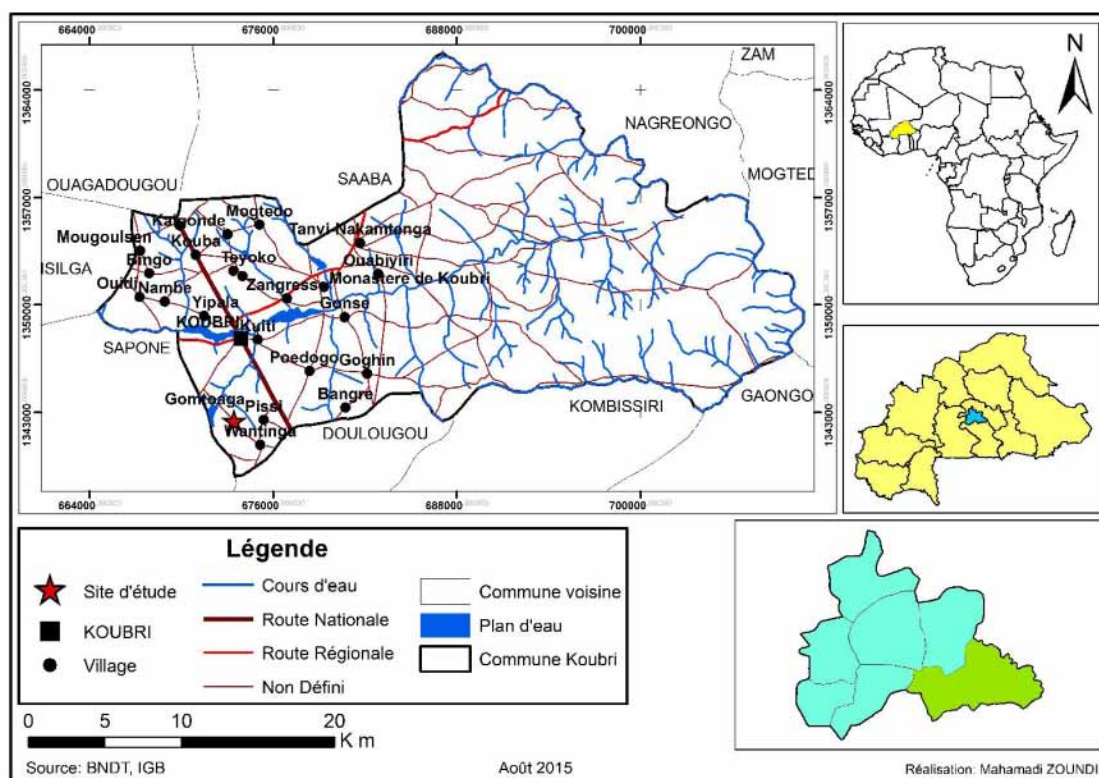


Figure 2.1: Localisation du site d'étude.

I.2. Climat de la zone

Le climat de la zone est de type nord soudanien (Guinko, 1984) caractérisé par deux (02) saisons contrastées : une saison sèche allant de mi-novembre à mi-avril fortement influencée par les vents d'harmattan et une saison pluvieuse de mai à octobre sous l'influence des vents de mousson. La pluviosité moyenne annuelle des dix dernières années (2003-2012) sur le site expérimental est de 749 mm. Les données pluviométriques des dix dernières années montrent une faible variabilité interannuelle de la pluviosité de la zone (Figure 2.2). La plus faible hauteur d'eau tombée a été enregistrée en 2003 avec 584,2 mm et la plus forte en 2010 avec 891,5 mm.

Des températures maximales se situant entre 34°C et 41°C et des valeurs extrêmes de l'évapotranspiration potentielle soit 208 mm en mai et 128 mm en septembre (Données de la Direction Générale de l'Aviation Civile et de la Météorologie, 2008), combinées aux irrégularités pluviométriques, offrent des conditions d'un déficit hydrique pour les besoins de la culture comme le sorgho, le niébé.

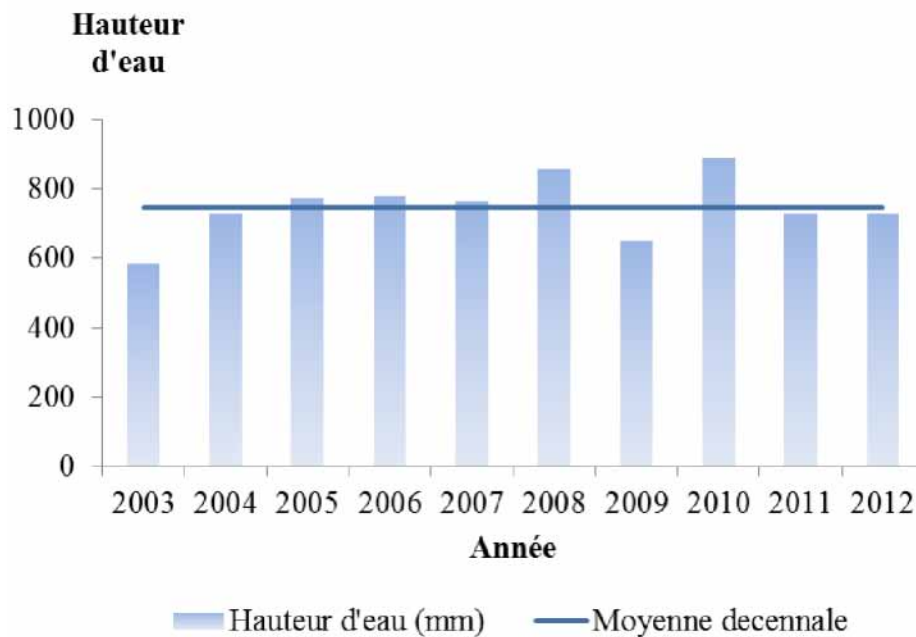


Figure 2.2 : Variabilité interannuelle de la pluviosité des dix dernières années sur le site expérimental de Gomtoaga.

Source : Données CEAS-BF

I.3. Hydrographie

La commune de Koubri est parcourue d'Est en Ouest et du Nord au Sud par plusieurs plans d'eau artificiels, des cours et des voies d'eau temporaires sur une superficie estimée à 1863,34 ha. La commune compte six barrages et près de quarante retenues d'eau de capacité variable et relativement bien répartis sur l'espace de la commune (CMK, 2008).

Les principaux plans d'eau de la commune sont localisés dans les villages de Didri, Kouba, Koubri, Mogtédo, Moincé, Tanvi-Nakamtenga, Nougou, Péelé, Sinsinguéné, Tansablogo et Wedbila (CMK, 2008). Le site d'étude est situé dans le bassin versant d'un affluent du Nariarlé lui-même affluent du Nakambé. Un barrage agro - pastoral et piscicole (Barrage de Wedbila) d'une capacité de 2 000 000 m³ y a été construit en 1962 avec une superficie aménageable de 25 ha en aval (ONBAH, 1987) cité par (CEAS, 2004).

I.4 Géologie et sols

La commune de Koubri est couverte par cinq types de sols. Il s'agit des lithosols sur cuirasse ferrugineuse (102 km²), des sols bruns eutrophes riches (95 km²), des sols ferrugineux tropicaux lessivés, appauvris (336 km²), des sols sodiques hydromorphes, riches (13 km²), des vertisols à drainage externe possible, riches (89 km²) (MEF/DGATDLR, 2005) cité par (DREPC, 2009). Le village de Gomtoaga fait partie du socle précambrien à migmatites et granites indifférenciés avec par endroits des filons de roches diverses. Selon les études du BUNASOLS (1990 ; 1991) citées par CEAS (2004), les sols de la zone appartiennent en général au groupe des sols ferrugineux tropicaux lessivés. Ces sols sont en majorité pauvres en calcium, en potassium, en phosphore et en matière organique (CEAS, 2004).

I.5 Végétation

La végétation est caractéristique de celle de la zone nord soudanienne. Elle est constituée de savane arborée et arbustive ainsi que des parcs à *Vitellaria paradoxa* Gaertn. (CEAS, 2004). Deux types de formations végétales se distinguent dans la zone :

- une formation végétale primaire aux abords du barrage plus dense où les essences dominantes sont : *Acacia* spp., *Vitellaria paradoxa* Gaertn., *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth., *Pteleopsis suberosa* Engl. et Diels.

- et une formation végétale secondaire sujette à la dégradation anthropique. Elle est beaucoup plus clairsemée avec des rejets dominés par : *Combretum* spp., *Anogeissus leiocarpus* (DC.) G. et Perr., *Lannea microcarpa* Engl. et Kr., *Zyziphus mauritiana* Lam., *Piliostigma thonningii* (Sch.) Miln. – Redch. et *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst.

Des herbacées telles que *Andropogon gayanus* Kunth., *Andropogon ascinodis* C.B.C.I., *Loudetia togoensis* Hubb., *Pennissetum pedicelatum* Trin. et *Pennissetum polystachyon* Schult. y sont également très répandues.

I.6. Population et principales activités

La commune rurale de Koubri a une population de 43928 habitants, selon le dernier Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2006 (INSD, 2008). Cette population est jeune (48,26 %) et en majorité constituée de femmes soit 50,98% de la population totale de la commune. La population active représente 54,32% de l'ensemble de la population de la commune. Le village de Gomtoaga où est localisé le site de l'étude, a une population de 387 habitants. Au plan ethnique, les mossis constituent la population majoritaire de la commune de Koubri. Les peulhs, les bissas et les autres groupes ethniques que l'on rencontre dans la commune sont minoritaires.

L'agriculture et l'élevage constituent la base des activités socio-économiques de la population de la zone. Au plan de la production agricole, les cultures vivrières (sorgho, mil, maïs, riz, niébé et voandzou), les cultures de rente (arachide et sésame) ainsi que les cultures maraîchères et fruitières constituent le socle de la production agricole de la commune (CMK, 2008). La production maraîchère est pratiquée sur sept (07) plaines aménagées. La superficie emblavée est passée de 172 ha en 2005 à 536 ha en 2008 (CMK, 2008). Les différentes productions notamment le niébé, le sésame, les légumes et les fruits sont commercialisées et génèrent des revenus aux producteurs. Cependant, cette agriculture fait face à la dégradation des sols liée à la surexploitation et aux mauvaises pratiques agricoles. Le faible accès au crédit agricole, la faible disponibilité des intrants agricoles (engrais, semences améliorées,

produits phytosanitaires) et l'absence d'équipement de transformation et de conservation sont des contraintes au développement des activités agricoles.

Quatre principaux types d'élevage sont pratiqués : le type transhumant, le type sédentaire extensif, le type sédentaire semi-intensif et le type intensif (CMK, 2008). Le cheptel est essentiellement composé de volaille (très répandue à l'échelle de la commune), de bovins, de caprins et d'ovins. Pour ce qui est des infrastructures d'élevage, on y dénote un parc à vaccination et environ seize (16) fermes d'élevage dont quatre (04) fermes avicoles et douze (12) fermes laitières avec une production mensuelle de 12 000 litres de lait en 2008 (CMK, 2008).

La production halieutique est relativement importante mais souffre cependant de problèmes d'organisation du secteur. Les productions annuelles contrôlées sont estimées à environ 10 tonnes, constituant ainsi des sources de revenus monétaires importantes. Les principales espèces halieutiques sont les carpes, les silures et les crevettes. Les crevettes constituent la principale ressource halieutique qui génère d'importants revenus aux femmes ; d'où l'initiation d'une journée de crevettes en 2008 (CMK, 2008).

L'activité commerciale s'organise principalement autour du marché de Koubri. Elle se résume aux échanges des produits maraîchers, de la pêche, de petits ruminants, de la volaille et au commerce d'articles vestimentaires, de pièces de rechange pour cycles et cyclomoteurs.

D'autres activités de moindre importance sont pratiquées à l'échelle de la commune. Il s'agit de : la couture, la mécanique, la menuiserie, la forge, la poterie et la sculpture de bois (mortier, balafon), la transformation et le commerce des produits de cueillette (beurre de karité, jus, soubala etc.).

Le secteur industriel est encore naissant. Il est représenté par l'existence de petites unités industrielles (unité de production de lait frais, de yaourt, de fromage et de confiture).

II. APPROCHE METHODOLOGIQUE

Pour évaluer l'impact de la macrofaune, des modes de gestion de la fertilité et leur interaction sur les paramètres étudiés, il a d'abord été procédé à une régulation de la population et de l'activité de la macrofaune du sol. Cette régulation a été faite grâce à des pesticides chimiques de synthèse. Dans chaque chapitre, une description des pesticides et des

périodes d'application a été faite. Ces pesticides ont permis d'établir des parcelles sans macrofaune du sol. Ensuite, des modes de gestion de la fertilité ont été testés en présence et en absence de la macrofaune du sol. Cette approche a permis d'évaluer aussi bien l'impact de la macrofaune et des modes gestion de la fertilité que leur interaction sur les rendements des cultures, le ruissellement et les paramètres chimiques du sol. La figure 2.3 présente l'approche méthodologique.

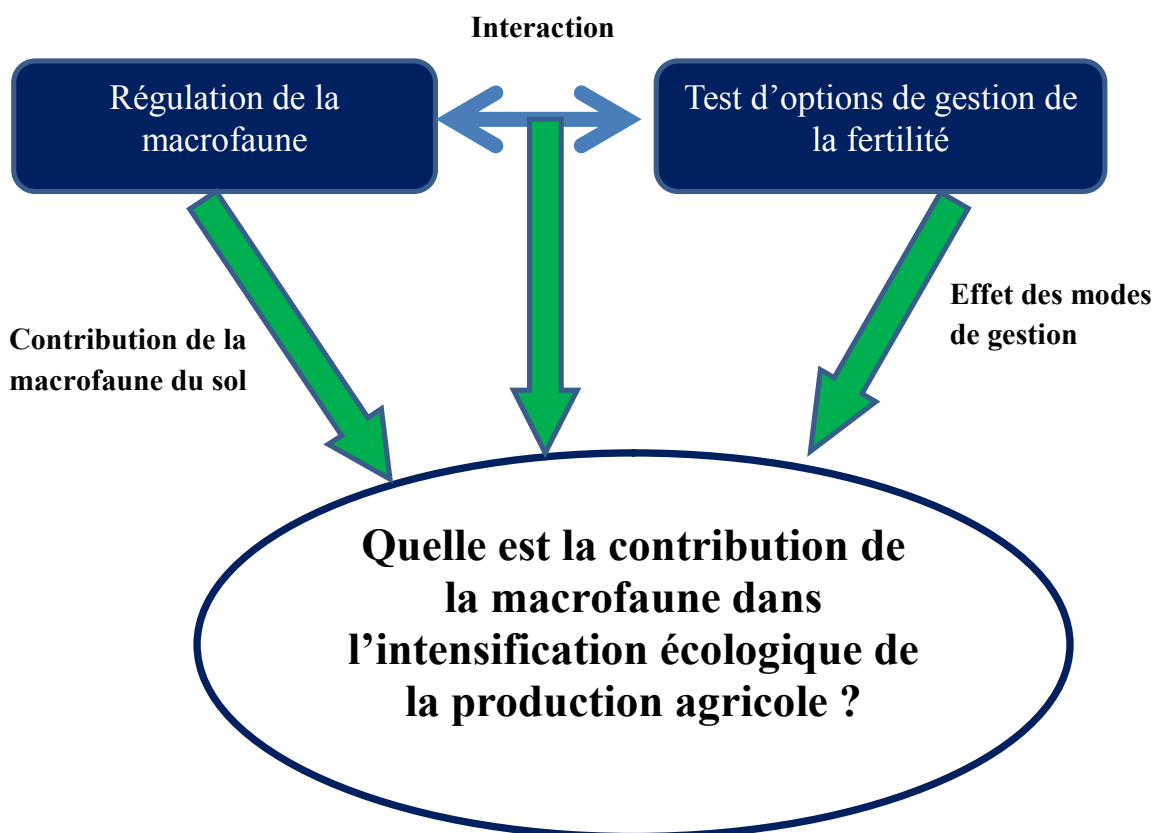


Figure 2.3. Approche méthodologique.

Les réponses à cette question sont présentées dans quatre chapitres permettant de répondre aux quatre objectifs spécifiques.

- ☞ Le chapitre intitulé, impact de l'urée et de la qualité de la matière organique sur la macrofaune et le ruissellement a traité de l'objectif spécifique 1 (Evaluer l'impact des modes de gestion de la fertilité sur la macrofaune du sol) et de l'objectif spécifique 2 (Evaluer l'impact de l'interaction entre la macrofaune du sol et les modes de gestion de la fertilité sur le ruissellement) ;

- ☞ L'objectif spécifique 3 à savoir, évaluer l'impact des modes de gestion de la fertilité et de la macrofaune du sol sur les caractéristiques chimiques du sol a été traité dans deux chapitres intitulés : Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur la teneur du sol en phosphore, azote, et potassium et Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur les fractions et l'indice de gestion du carbone d'un lixisol en zone semi-aride ;
- ☞ L'objectif spécifique 4 intitulé, évaluer l'impact de l'interaction entre les modes de gestion de la fertilité et la macrofaune du sol sur la production agricole a été traité dans le chapitre Effet de l'interaction entre des modes de gestion de fertilité et la macrofaune sur la productivité du niébé et du sorgho en zone nord soudanienne du Burkina Faso.

CHAPITRE 3 : EFFET DE L'INTERACTION ENTRE DES MODES DE GESTION DE FERTILITE ET LA MACROFAUNE SUR LA PRODUCTIVITE DU NIEBE ET DU SORGHO EN ZONE NORD SOUDANIENNE DU BURKINA FASO¹

RESUME

L'intensification des systèmes de production agricole se traduit par l'utilisation de plus en plus importante des pesticides chimiques de synthèse. La macrofaune du sol est menacée par l'usage de ces pesticides qui réduisent fortement sa diversité et son abondance. Cette étude a été conduite pour évaluer l'impact de l'interaction entre la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité des sols sur la productivité du sorgho et du niébé en zone nord soudanienne du Burkina Faso. Le dispositif expérimental comprend deux traitements principaux (parcelles avec et sans macrofaune) et quatre traitements secondaires qui sont de différents modes de gestion de la fertilité du sol. En présence de la macrofaune, le compost a entraîné une augmentation de rendement grain du sorgho de 385%, contre 78% en absence de la macrofaune. Ce résultat montre clairement l'importance de la macrofaune dans le processus de mise à disposition des nutriments pour les cultures. L'usage exclusif de compost ou la combinaison des matières organiques à C/N élevé à l'urée peuvent être vulgarisés dans les systèmes de culture à faible intrants externes. La quantité d'urée à associer au compost pourrait être diminuée et apportée au moment où la plante en a vraiment besoin.

Mots clés : rendement, compost, urée, systèmes de production, légumineuses, céréales.

¹ Ce chapitre a été publié dans une revue indexée : Ouédraogo J., Ouédraogo E., et Nacro H.B., 2014. Effet de l'interaction entre des modes de gestion de fertilité et la macrofaune sur la productivité du niébé et du sorgho en zone nord soudanienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 8(1) :104-114.

INTRODUCTION

La croissance de la population en Afrique sub-saharienne est plus rapide que celle de la production agricole. Il en résulte une baisse de la production agricole par personne (FAO, 2001), accentuée par la péjoration climatique. Cette baisse de la production n'est pas seulement une résultante de la croissance démographique et de la péjoration climatique. Elle est aussi une conséquence de la faible fertilité initiale des sols et des mauvaises pratiques agricoles (FAO, 2001 ; Bationo *et al.*, 2012). Ainsi, la nécessité d'accroître la production agricole pour satisfaire les besoins grandissants de la population s'est traduite par des modifications des systèmes de production dans les agrosystèmes (Masse, 2007). Au Burkina Faso, comme dans la plupart des pays de l'Afrique de l'Ouest, plusieurs modes de gestion de la fertilité incluant l'usage de la matière organique de diverses qualités, des engrais ou l'introduction des légumineuses dans les rotations ont été adoptés (Bado, 2002 ; Ouédraogo, 2004 ; Bationo *et al.*, 2012). On assiste aussi à une utilisation de plus en plus importante des pesticides chimiques de synthèse, qui est l'un des facteurs de l'intensification agricole. Ces modes de gestion de la fertilité affectent les caractéristiques physico-chimiques et biologiques du sol et, par conséquent, la productivité agricole. De nombreux travaux ont porté sur les effets des différentes pratiques de gestion de la fertilité des sols sur les propriétés chimiques et physiques des sols, et les rendements des cultures (Bonzi, 2002 ; Lompo, 2009 ; Diogo *et al.*, 2010 ; Kiba *et al.*, 2012). La plupart de ces études a surtout porté sur les effets des pratiques de gestion de la fertilité des sols sur les bilans des nutriments (Hailelassie *et al.*, 2006 ; Tittonell *et al.*, 2007). Il est cependant reconnu qu'une utilisation efficiente des ressources organiques apportées au sol dépend en grande partie de la compréhension du rôle de la faune du sol. En effet, plusieurs études ont montré que le fonctionnement des écosystèmes tropicaux et sub-tropicaux est influencé par la macrofaune du sol (Six *et al.*, 2002 ; Lavelle *et al.*, 2006). Celle-ci constitue une ressource indispensable à la conservation des sols et à l'amélioration des caractéristiques chimiques et hydrodynamiques (Ouédraogo, 2004 ; Oberson *et al.*, 2006 ; Pey, 2010), et de la production agricole (Blouin *et al.*, 2005). Cependant, la macrofaune est menacée car la plupart des interventions humaines, en particulier l'usage des pesticides de synthèse et le labour, réduisent fortement sa diversité et son abondance (Nonguierma, 2006). Cette étude a été conduite pour évaluer l'effet de l'interaction de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité du sol sur les rendements du sorgho et du niébé. L'évaluation de cette interaction pourrait être une étape importante pour repenser la gestion de la fertilité et les

stratégies de protection des cultures, et conduire à la promotion d'une agriculture écologique et durable. L'hypothèse de recherche est que l'usage de la matière organique en présence de la macrofaune augmente la productivité des cultures.

I. MATERIEL ET METHODES

I.1. Description du site

Le dispositif expérimental a été installé sur un sol ferrugineux tropical lessivé profond (CPCS, 1967 ; Lixisol (WRB, 2006)) en zone nord soudanienne du Burkina Faso (12° 08' 02'' de latitude Nord et 1° 24' 54'' de longitude Ouest). La saison des pluies couvre les mois de juin à septembre avec une pluviosité moyenne annuelle de 749 mm pour les dix dernières années (2003-2012). Les paramètres physico-chimiques de l'horizon de surface (0-20 cm) sont résumés dans le Tableau 3.I. Il s'agit d'un sol à texture limono-sableuse en surface, acide et pauvre en matière organique (moins de 1%). Le taux de saturation du complexe absorbant est moyen. . Les détails sur le site d'étude sont donnés dans le chapitre 2.

Tableau 3.I : Caractéristiques physico-chimiques du sol du site d'étude.

Paramètres mesurés	Valeurs
Argile (%)	8,67
Limons (%)	31,91
Sables (%)	59,42
Matière organique totale (%)	0,84
Azote total (%)	0,04
Phosphore total (ppm)	85,00
Potassium total (ppm)	465,67
Potassium disponible (ppm)	82,27
Somme des bases (S) (mEq / 100 g)	1,52
Capacité d'échange (T) (mEq / 100 g)	2,36
Taux de saturation (S / T) (%)	64,00
pH – eau	6,06

(Source : CEAS, 2008)

I.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental installé au cours de la campagne 2007-2008, est un dispositif en split-plot en blocs complètement randomisés à trois répétitions. Il comprend deux (02) traitements principaux (parcelles avec macrofaune et parcelles sans macrofaune), quatre (04) traitements secondaires qui sont les différents modes de gestion de la fertilité du sol (Compost (**Co**) ; Compost + Urée (**CU**) ; Urée (**U**) ; Tiges + Urée (**TU**)), et une parcelle Témoin (**To**). La destruction de la macrofaune a été réalisée par application au sol de pesticides chimiques de synthèse : un organophosphoré (Chlorpyrifos-éthyl, connu sous le nom commercial de DADYRSBAN 4 E ou DURSBN 4E) appliqué à la dose de 240 g.ha⁻¹, et un organochloré (Endosulfan commercialisé sous le nom de CALLIFAN 500 EC ou ENDOCOTON 500 EC) à la dose de 250 g.ha⁻¹. L'Endosulfan et le Chlorpyrifos-éthyl ont été appliqués à la dose de 1,25 g d'Endosulfan et 1,2 g de Chlorpyrifos-éthyl par parcelle élémentaire. Pour ce faire, un mélange contenant 2,5 ml des pesticides a alors été dilué dans 15 litres d'eau, puis appliqué sur chaque parcelle élémentaire à l'aide d'un pulvérisateur à dos et à pression soutenue. Les applications des pesticides au sol ont été faites au semis, à 35 jours

après semis (JAS) et à 80 JAS en 2008-2009. En 2010-2011, les pesticides ont été appliqués au semis, à 23 JAS et à 54 JAS.

La matière organique (compost et tiges de sorgho) dont les caractéristiques sont présentées dans le Tableau 3.II a été appliquée à la dose de 4 tonnes de matières sèches/ha trois jours avant le semis, et l'urée à la dose de 30 kg N/ha au semis. Les parcelles élémentaires ont une superficie de 50 m² (5 m x 10 m). Une allée principale de 10 m sépare deux blocs consécutifs. Dans chaque bloc, les traitements principaux sont séparés par des allées secondaires de 5 m, et les traitements secondaires par des allées de 3 m. Toutes les parcelles ont été aménagées en bas de pente par la technique des cordons pierreux.

Tableau 3.II : Caractéristiques chimiques des tiges et du compost.

Paramètres mesurés	Compost	Tiges	Compost	Tiges
	2008		2010	
Carbone totale (g kg ⁻¹)	126,6 ± 7,0	546,0 ± 2,0	114,9 ± 2,9	558,0 ± 2,0
Azote total (g kg ⁻¹)	15,0 ± 5,0	12,7 ± 2,0	5,4 ± 0,3	2,0 ± 0,5
C/N	8,4	43,0	21,28	279,0
Phosphore total (g kg ⁻¹ P ₂ O ₅)	4,0 ± 1,0	2,9 ± 0,0	3,9 ± 0,3	0,1 ± 0,0
Potassium total % (g kg ⁻¹ K ₂ O)	8,0 ± 3,0	22,0 ± 0,5	3,2 ± 0,2	6,8 ± 1,5
pH eau	7,5 ± 0,0	-	7,26 ± 0,18	

± : écart type

(Source : CEAS, 2008 et 2010)

I.3. Conduite de l'expérimentation et évaluation de la production

Le semis a été précédé d'un labour à la charrue bovine qui a permis d'enfouir les substrats organiques et minéraux dans toutes les parcelles, sauf dans la parcelle témoin où un désherbage très superficiel a été fait. La variété de sorgho SARIASO 14 avec un rendement potentiel de 5 t/ha a été semée en 2008-2009 et la variété de niébé K VX 61-1 avec un potentiel de 1500 kg/ha a été semée en 2010-2011. Ce sont des variétés très bien adaptées à la zone nord soudanienne. Le sorgho et le niébé constituent les principales cultures en rotation dans la zone nord – soudanienne du Burkina Faso.

Le semis du sorgho et du niébé a été fait suivant des écartements de 80 cm entre les lignes et 40 cm sur les lignes. Trois à quatre grains ont été semés par poquet. Un démariage a été réalisé pour ajuster le nombre de plants à deux par poquet. Les sarclages ont été faits 21 JAS, 34 JAS et 70 JAS en 2008, et en 2010, ils ont été réalisés à 19 JAS et à 44 JAS.

L'évaluation de la production du sorgho et du niébé a été faite sur une parcelle utile de 31,28 m² délimitée à l'intérieur de chaque parcelle élémentaire. Elle a concerné le rendement grains et la biomasse végétale.

I.4. Analyses statistiques

Les rendements grains et biomasse végétale ont été soumis à une analyse de variance (ANOVA), avec le logiciel Genstat 9. La séparation des moyennes a été effectuée par le test de Student Newman Keuls au seuil de 5%.

L'interaction entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité sur le rendement des cultures a été calculée en utilisant la formule utilisée par Ouédraogo *et al.*, 2007 :

$$\Delta Rdt_{int} = (RdtF (i) - RdtNF (i)) - (RdtF To - RdtNF To)$$

ΔRdt_{int} est le l'interaction entre la macrofaune du sol et le mode de gestion de la fertilité ;

$RdtF (i)$ est le rendement dans la parcelle i en présence de la macrofaune du sol;

$RdtNF (i)$ est le rendement dans la parcelle i sans macrofaune du sol;

$RdtF To$, est le rendement de la parcelle témoin avec macrofaune du sol ;

$RdtNF To$ est le rendement de la parcelle témoin sans macrofaune du sol.

II. RESULTATS

II.1. Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur la production du sorgho

Les variations du rendement en fonction du mode de gestion de la fertilité du sol et en présence ou non de la macrofaune du sol sont présentées dans le Tableau 3.III. Les rendements varient de 514 kg/ha (témoin) à 2494 kg/ha (sol amendé avec du compost) en présence de macrofaune, et de 544 kg/ha (témoin) à 2233 kg/ha (sol amendé avec de l'urée)

en absence de macrofaune. La plus forte production en grain a été obtenue sur le traitement compost en présence de la macrofaune du sol avec 2494 kg/ha. Ce traitement diffère significativement du traitement compost en absence de la macrofaune du sol. Les traitements tiges + urée et compost + urée ne diffèrent pas significativement. En présence de la macrofaune du sol, l'usage du compost seul a donné un rendement significativement supérieur à sa combinaison avec l'urée ou à l'urée seul. En effet, une baisse respective de 80% et 150% du rendement grain du sorgho a été obtenue en combinant l'urée au compost, ou en l'utilisant exclusivement. Par contre, en absence de la macrofaune du sol, c'est l'inverse qui est observée. Ainsi, la plus forte production a été observée sur le traitement urée (2233 kg/ha). Ce traitement est suivi de la combinaison compost + urée (1849 kg/ha). Ces deux traitements sont statistiquement similaires au traitement Compost en présence de la macrofaune du sol. La même tendance a été observée concernant le rendement paille.

En présence de la macrofaune du sol, la combinaison des tiges de sorgho (à C/N élevé) à l'urée, a donné de meilleurs rendements grain et paille par rapport à la combinaison compost + urée (C/N faible). Cependant, l'effet contraire a été observé en l'absence de la macrofaune du sol.

Tableau 3.III : Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur le rendement grain et paille du sorgho.

Traitements	Rendement grain (kg/ha)		Rendement paille (kg/ha)	
	Avec macrofaune	Sans macrofaune	Avec macrofaune	Sans macrofaune
Compost	2494 ^a	967 ^{cd}	9540 ^a	7157 ^{bcd}
Compost + Urée	1383 ^{bcd}	1849 ^{abc}	6353 ^d	8672 ^{abc}
Tiges + Urée	2401 ^{ab}	1464 ^{abcd}	8899 ^{ab}	7828 ^{abcd}
Urée	997 ^{cd}	2233 ^{ab}	6693 ^{cd}	7751 ^{abcd}
Témoin	514 ^d	544 ^d	5727 ^d	6445 ^d
Probabilité	0,016		0,044	
Signification	S		S	

Dans chaque groupe (rendement grain et rendement paille), les moyennes suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% ; S : significatif.

L'évaluation de l'interaction entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité sur le rendement des cultures, montre qu'il y a une interaction positive d'une part, entre la macrofaune et le traitement compost, et d'autre part, entre la macrofaune et le traitement tiges + urée (Figure 3.1). Par contre, une interaction négative entre l'urée seul ou sa combinaison avec le compost et la macrofaune, a été observée. Le rendement grains est élevé lorsque le compost est apporté en présence de la macrofaune du sol (1557 kg / ha).

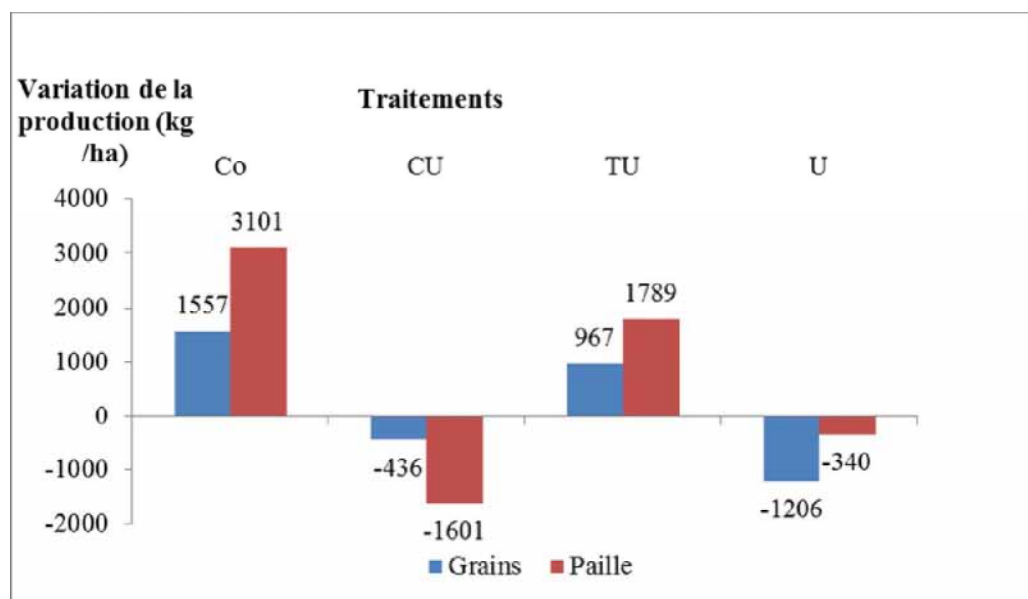


Figure 3.1 : Interaction entre les modes de gestion de la fertilité et la macrofaune sur les rendements grain et paille du sorgho.

Co : Compost ; CU : Compost + Urée ; TU : Tiges + Urée ; U : Urée To : Témoin

II.2. Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur la production du niébé

Les résultats ont montré que les meilleurs rendements graines et fanes ont été obtenus sur les traitements compost (Co) et tiges + urée (TU) et ce, en présence et en absence de la macrofaune du sol (Tableau 3.IV). Les rendements sont de 835,8 kg/ha et 827,4 kg/ha respectivement pour le sol amendé avec Co et TU en présence de la macrofaune, et de 792,7 kg/ha et 785 kg/ha pour les mêmes traitements en absence de macrofaune. Ces traitements diffèrent significativement des autres traitements. En présence comme en absence de la macrofaune du sol, la combinaison du compost à l'urée a eu un effet dépressif

(comparativement aux autres traitements) sur la productivité du niébé. L'application de l'urée seule en présence comme en absence de la macrofaune a donné des rendements comparables à ceux des témoins. Le meilleur rendement en fanes a été obtenu avec le traitement compost.

Tableau 3.IV : Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur les rendements graines et fanes du niébé.

Traitements	Rendement grain (kg/ha)		Rendement fanes (kg/ha)	
	Avec macrofaune	Sans macrofaune	Avec macrofaune	Sans macrofaune
Compost	835,8 ^a	792,7 ^a	1842 ^a	1719 ^{ab}
Compost + Urée	448,1 ^c	577,6 ^b	914 ^c	1431 ^b
Tiges + Urée	827,4 ^a	785 ^a	1727 ^{ab}	1459 ^{ab}
Urée	435,6 ^c	382,8 ^{cd}	969 ^c	742 ^c
Témoin	397,7 ^{cd}	361,3 ^d	868 ^c	969 ^c
Probabilité	0,008		0,047	
Signification	HS		S	

Dans chaque groupe (rendement grain et rendement paille), les moyennes suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% ; S : significatif ; HS : hautement significatif.

L'analyse de l'interaction entre les modes de gestion de la fertilité des sols et la macrofaune du sol, a révélé une interaction positive mais faible entre la macrofaune et les traitements compost, tiges + urée, et urée (Figure 3.2). Seul le traitement compost + urée a donné une forte interaction négative.

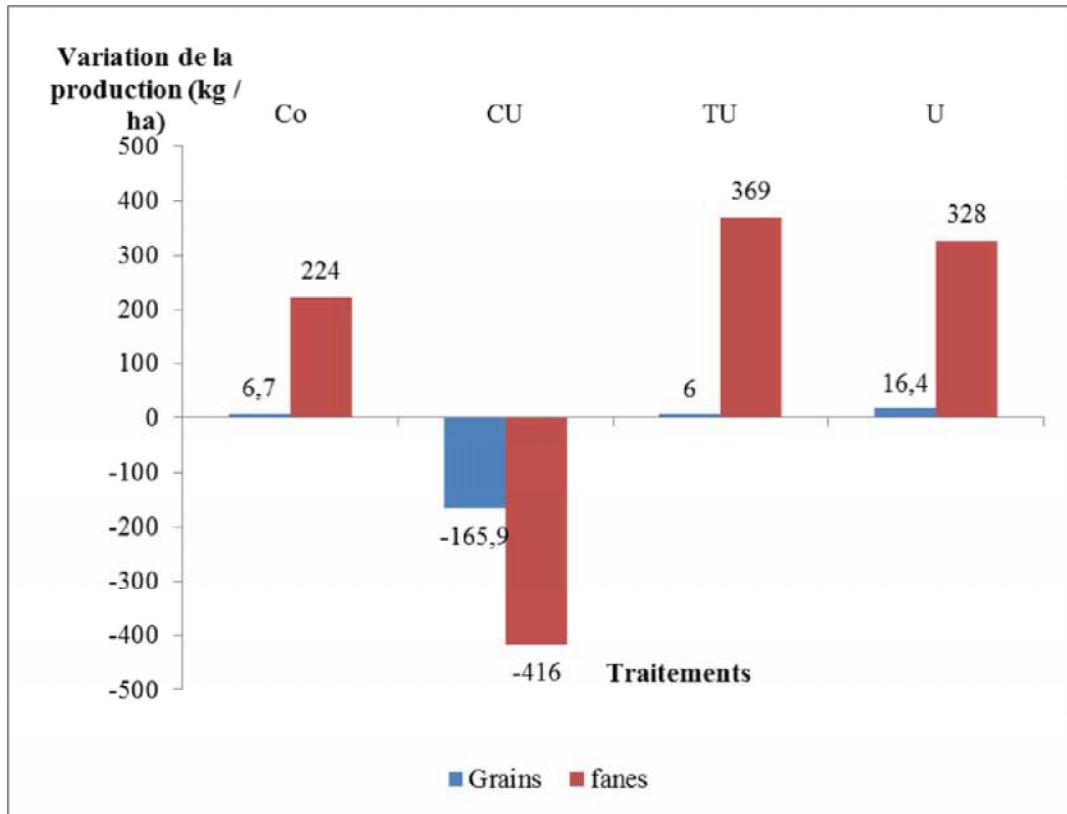


Figure 3.2 : Interaction entre les modes de gestion de la fertilité et la macrofaune sur les rendements grain et paille du niébé.

Co : Compost ; CU : Compost + Urée ; TU : Tiges + Urée ; U : Urée To : Témoin

III. DISCUSSION : INTERACTION ENTRE LES MODES DE GESTION DE LA FERTILITE ET LA MACROFAUNE SUR LA PRODUCTIVITE DU SORGHO ET DU NIEBE

Les résultats ont révélé un faible niveau de productivité du sorgho et du niébé dans le témoin et le traitement avec usage exclusif de l'urée. Ces résultats s'expliquent par le faible niveau de fertilité initiale des sols. En effet, plusieurs études réalisées en Afrique de l'Ouest, ont incriminé ce facteur comme l'une des causes majeures de la faible productivité agricole (Cattan *et al.*, 2001 ; Ouattara *et al.*, 2006 ; Koulibaly *et al.*, 2010). L'usage exclusif d'urée, ou la pratique d'agriculture extensive sans apport de fertilisant, conduit à une dégradation des caractéristiques chimiques, physiques et biologiques des sols. C'est pourquoi une interaction négative entre la macrofaune et l'usage exclusif d'urée a été observée sur la production du sorgho. En augmentant la vitesse de minéralisation de la matière organique (Ouédraogo *et al.*, 2007), l'urée réduit d'une part la quantité d'énergie disponible pour la macrofaune et d'autre

part, entraîne des pertes de nutriments (lessivage consécutif à la surminéralisation), impactant négativement la production du sorgho.

Une interaction positive sur la productivité du sorgho et du niébé a été obtenue entre la macrofaune et le compost, et entre la macrofaune et la combinaison des tiges de sorgho à l'urée. L'apport de la matière organique, support de la vie du sol, permet d'augmenter la productivité du sorgho et du niébé en présence de la macrofaune. Ces résultats sont en accord avec les observations de Lavelle *et al.* (2006), qui indiquent que la présence de la macrofaune entraîne une augmentation de la production agricole grâce à son rôle dans l'amélioration des propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol. Ouédraogo *et al.* (2014b) ont en effet montré que la présence de la macrofaune améliore la disponibilité du phosphore dans le sol, surtout en cas d'apport combiné de tiges et d'urée. Par contre, une interaction négative a été obtenue entre la macrofaune et la combinaison du compost à l'urée sur la productivité du sorgho et du niébé. L'usage combiné de la matière organique de bonne qualité à l'urée, a entraîné une baisse de la productivité du sorgho et du niébé. Ces résultats corroborent ceux obtenus par Mando *et al.* (2005). L'ajout d'urée en présence de la macrofaune, accélère la vitesse de minéralisation du compost (Ménard, 2005 ; Ouédraogo *et al.*, 2007). La baisse constatée des rendements du sorgho et du niébé consécutive à l'usage combiné de la matière organique et de l'urée, pourrait s'expliquer par la mauvaise synchronisation entre la minéralisation de la matière organique et les besoins des cultures.

Par contre, un effet positif de la combinaison de la matière organique à l'urée a été observé sur le traitement TU, corroborant les résultats obtenus par Bababe (1998), Mando *et al.* (2005) et Niang (2006). Les travaux de Ouédraogo *et al.* (2006) ont également montré que la combinaison de matière organique de pauvre qualité (C/N élevé) à l'urée, permet d'accroître l'efficacité de l'utilisation de l'eau et des nutriments par le sorgho. L'enfouissement des pailles stimule le développement racinaire (Bababe, 1998), accroissant ainsi le volume de sol exploré par les racines. Les rendements sont toujours plus élevés en cas de fertilisation organique (compost) ou organo-minérale (tiges + urée) en présence de la macrofaune du sol. Ceci montre clairement que la présence de la macrofaune est nécessaire pour la décomposition rapide de la matière organique (Ouédraogo *et al.*, 2004) et donc, pour la mise à disposition des nutriments pour les cultures. Selon Marhan (2004), la digestion de la litière par les vers de terre entraîne une augmentation de la biomasse et du nombre des champignons. C'est ce qui explique sans doute, l'accroissement du rendement grain en

présence de la macrofaune, bien que la source organique (tige) soit connue pour son faible potentiel de minéralisation.

CONCLUSION PARTIELLE

L'usage du compost et la combinaison des tiges à l'urée, ont été les deux meilleurs modes de gestion de la fertilité des sols. Un effet positif de l'interaction de ces modes de gestion de la fertilité des sols avec la macrofaune a été observé. En effet, avec les traitements compost, et tiges + urée, une augmentation de rendement grain du sorgho de 385% et 367%, et du niébé de 110% et 108% a été observée par rapport au témoin en présence la macrofaune du sol. Par ailleurs, la combinaison de l'urée au compost interagit négativement avec la macrofaune sur le rendement grain du niébé et du sorgho. Ces résultats mettent en exergue la nécessité d'une combinaison judicieuse de la matière organique et l'urée. Les producteurs devraient utiliser de la matière organique à rapport C/N bas (matière organique de bonne qualité) ou combiner la matière organique de faible qualité (C/N élevé) à l'urée pour améliorer les rendements. Dans les systèmes de culture à faibles intrants externes, la réduction de l'usage des pesticides par la promotion de pratiques agro-écologiques permettra de préserver la macrofaune du sol et de ce fait, d'améliorer la productivité des cultures. L'augmentation du rendement paille permet de disposer de plus de matière organique pour la campagne agricole suivante.

CHAPITRE 4 : IMPACT DE L'UREE ET DE LA QUALITE DE LA MATIERE ORGANIQUE SUR LA MACROFAUNE ET LE RUISSELLEMENT.

RESUME

Le ruissellement, principal agent de l'érosion hydrique, entraîne une dégradation des sols avec comme corollaire, la baisse de leur productivité. Les technologies de gestion de la fertilité des sols adoptées afin de lutter contre le ruissellement, affectent la macrofaune du sol, qui joue également un rôle important dans l'amélioration des caractéristiques physico-chimiques des sols tropicaux. Dans un contexte de variabilité et de changement climatiques où la gestion rationnelle de l'eau et des éléments nutritifs est une priorité pour assurer une production agricole durable, cette étude avait pour but d'évaluer l'effet de modes de gestion de la fertilité sur la macrofaune et l'impact de l'interaction entre la macrofaune du sol et ces modes de gestion de la fertilité sur le ruissellement. Ainsi, un dispositif en split-plot avec trois répétitions a été utilisé en zone nord soudanienne du Burkina Faso sur un lixisol avec une pente moyenne de 1,5%. Il se compose de deux principaux traitements dont les parcelles avec et sans macrofaune du sol. Les traitements secondaires sont quatre modes de gestion de la fertilité, un témoin et un témoin absolu. L'inventaire de la macrofaune du sol a été réalisée par la méthode dite TSBF. Les résultats ont montré que sur les parcelles avec macrofaune du sol, la macrofaune du sol était plus abondante sur le mode de gestion de la fertilité basé sur l'apport des tiges + urée. Les termites sont le groupe dominant de la macrofaune du sol et représentent 49% à 79% des individus. Les détritivores et les prédateurs dominent la population de la macrofaune du sol. Les mesures du ruissellement montrent qu'excepté l'urée, la présence de la macrofaune a été favorable à la réduction du ruissellement sur les autres modes de gestion de la fertilité. La contribution absolue de la macrofaune à la réduction du ruissellement a varié entre 24% et 31%. La réduction du ruissellement a été plus élevée sur le traitement tiges + urée (71% en 2008 et 79% en 2009) en présence de la macrofaune du sol. Dans les systèmes de culture à faibles intrants externes, la stimulation de l'activité de la macrofaune par des apports de matières organiques telles la paille de sorgho ou le compost, permet de réduire le ruissellement et donc de préserver le potentiel agricole de ces terres.

Mots clés : ruissellement, gestion de la fertilité des sols, macrofaune du sol, Burkina Faso.

INTRODUCTION

Le développement agricole en Afrique de l'Ouest a entraîné une expansion des superficies cultivées sans mesures appropriées de conservation des sols. Aussi, sous les effets des mauvaises pratiques agricoles, assiste-t-on à une dégradation accélérée de la fertilité physique, chimique et biologique des sols (Pieri, 1989). En outre, l'agressivité des pluies associée aux caractéristiques du sol et aux facteurs anthropiques (Le Prun *et al.*, 1986) ont accéléré le ruissellement, principal agent de l'érosion hydrique des sols. En plus, les changements climatiques vont augmenter la variabilité pluviométrique et fragiliser les écosystèmes, posant ainsi un risque potentiel de sécurité alimentaire au Sahel (Badolo, 2008). Il devient alors urgent de développer des technologies appropriées pour une gestion adéquate de l'eau et des nutriments, afin d'assurer une production agricole durable. Dans une telle situation, la mise en place de mesures de conservation des eaux et des sols comme les cordons pierreux sont nécessaires pour atténuer le ruissellement et améliorer l'approvisionnement en eau des cultures. Cependant, la maximisation de l'utilisation des eaux pluviales n'est que peu bénéfique si la déficience du sol en nutriments n'est pas simultanément corrigée (Zougmoré, 2003). A ce sujet, Yaméogo *et al.* (2013) ont montré que l'apport de matière organique dans des dispositifs de conservation des eaux et des sols (zaï et zaï + cordons pierreux) a amélioré les propriétés chimiques, la porosité du sol et les rendements du sorgho. Les substrats organiques sont en effet une source naturelle majeure de nutriments et jouent un rôle clé dans la reconstitution de matière organique du sol, en particulier dans les systèmes agricoles à faibles intrants (Delville, 1996; Ouédraogo *et al.*, 2004). Leur décomposition est influencée par différents paramètres tels que la nature biochimique de la matière organique, les conditions environnementales abiotiques (température, pH, humidité, aération) et les organismes du sol (Ouédraogo *et al.*, 2004 ; Sileshi et Mafongoya, 2006 ; Diop *et al.*, 2013). Les organismes du sol sont responsables des processus biochimiques de décomposition. La macrofaune, notamment les termites et les vers de terre, joue un rôle clé dans la fragmentation de la matière organique et le recyclage des éléments nutritifs (Lavelle *et al.*, 2006 ; Oberson *et al.*, 2006 ; Schon *et al.*, 2012). Ces organismes offrent un large éventail de services essentiels à la durabilité des écosystèmes et en particulier de l'agro-écosystème (Bachelier, 1972). Mais, les modes de gestion de la fertilité des sols peuvent affecter la macrofaune du sol (Ouédraogo *et al.*, 2004 ; Baggian, 2006 ; Sileshi et Mafongoya, 2006 ; Doamba, 2007 ; Doamba *et al.*, 2011 ; Zida *et al.*, 2011 ; Traoré, 2012). En effet, l'utilisation des pesticides pour lutter contre

les ravageurs et les maladies des cultures réduit l'abondance et la diversité de la macrofaune du sol (Van Straalen et Van Rijn, 1998 ; Nonguierma, 2006). Dans le contexte du changement climatique, où la gestion rationnelle de l'eau et des éléments nutritifs est une priorité pour assurer une production agricole durable, la gestion efficace de la macrofaune pourrait être une opportunité pour accroître la production agricole et restaurer les terres dégradées. Cette étude a été conduite pour évaluer l'impact de l'interaction entre la macrofaune du sol et des modes de gestion de la fertilité du sol sur le ruissellement.

Plus spécifiquement, il s'est agi d'évaluer l'impact (i) des modes de gestion de la fertilité des sols sur la macrofaune du sol, et (ii) celui de l'interaction entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité des sols sur le ruissellement.

I. MATÉRIEL ET MÉTHODES

I.1. Description du site

L'étude a été menée en 2008 et 2009 dans le village Gomtoaga (entre 12 ° 08 '02 " latitude Nord et 1 ° 24 '54" longitude Ouest), situé dans la zone nord soudanienne du Burkina Faso. La saison des pluies couvre les mois de juin à septembre avec une pluviosité moyenne annuelle de 749 mm pour les dix dernières années (2003-2012). Le dispositif expérimental a été installé sur un sol ferrugineux tropical lessivé profond (CPCS, 1967 ; Lixisol (WRB, 2006)) dont la pente est de 1,5%. Les analyses physico-chimiques de l'horizon 0-20 cm (caractérisation du site d'étude), montrent qu'il s'agit d'un sol à texture limono – sableuse en surface (9% d'argiles, 32% de limons et 59% de sables), acide (pH-eau = 6,06) et pauvre en matière organique (0,84%). Le site d'étude a été décrit avec plus de détails dans le chapitre 2.

I.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est un split-plot en blocs complètement randomisés à trois répétitions. Il comprend deux (02) traitements principaux, cinq (05) traitements secondaires, et un témoin absolu placé à l'intérieur de la parcelle témoin. Les traitements principaux consistent en la destruction de la macrofaune par l'application des pesticides (parcelles sans macrofaune du sol) et en la non application des pesticides (parcelles avec macrofaune du sol). Les traitements secondaires sont constitués de différentes modes de gestion de la fertilité du sol qui sont : Urée (enfouissement de l'urée à la dose de 30 kg N / ha), Compost

(enfouissement de 4 t MS / ha de compost) ; Compost + urée (enfouissement de 4 t MS / ha de compost + de l'urée à la dose de 30 kg N / ha) ; Tiges + urée (enfouissement de 4 t MS / ha de tiges de sorgho + de l'urée à la dose de 30 kg N / ha) ; le Témoin. A l'intérieur de la parcelle témoin, une placette de ruissellement a été installée sans cordons pierreux (parcelle non aménagée en cordons pierreux). La photo 4.1 présente les deux parcelles témoins. Les parcelles élémentaires ont une superficie de 50 m² (10 m x 5 m). Une allée principale de 10 m sépare deux blocs consécutifs. Dans chaque bloc, les traitements principaux sont séparés entre eux par des allées secondaires de 5 m et les traitements secondaires par des allées de 3 m. Toutes les parcelles ont été aménagées en bas de pente par des cordons pierreux de type pierres alignées.



Photo 4.1 : Dispositif de collecte d'eau de ruissellement montrant la parcelle témoin et le témoin absolu.

Source : Ouédraogo J. (2009)

Le compost a été produit à l'aide de litière et de tiges de maïs par la technique du compostage aérobie en fosse, avec un retournement périodique de 15 jours pendant 3 mois ; il s'agit d'une matière de bonne qualité (C/N faible). Les tiges de sorgho (matière organique de faible qualité à C/N élevé) de la campagne agricole précédente, ont été utilisées pour la campagne en cours. Le tableau 4.I présente la composition chimique des substrats organiques apportés au sol.

Tableau 4.I : Composition chimique des substrats organiques.

Paramètres mesurés	Compost	Tiges	Compost	Tiges
	2008		2009	
Carbone totale (g kg ⁻¹)	126,6 ± 7,0	546,0 ± 2,0	115,9 ± 2,92	548,3 ± 2,1
Azote total (g kg ⁻¹)	15,0 ± 5,0	12,7 ± 2,0	7,4 ± 0,1	2,0 ± 0,5
C/N	8,4	43,0	15,7	274,2
Phosphore total (g kg ⁻¹ P ₂ O ₅)	4,0 ± 1,0	2,9 ± 0,0	4,0 ± 0,3	0,2 ± 0,5
Potassium total % (g kg ⁻¹ K ₂ O)	8,0 ± 3,0	22,0 ± 0,5	3,4 ± 0,2	6,8 ± 1,1
pH eau	7,5 ± 0,0	-	7,1 ± 0,01	-

I.3. Pesticides utilisés et destruction de la macrofaune du sol

En 2008, l'endosulfan et le chlorpyrifos-éthyl ont été appliqués à la dose de 1,25 g d'endosulfan et 1,2 g de chlorpyrifos-éthyl par parcelle élémentaire. Pour se faire, les pesticides, ENDOCOTON 500 EC et DURSBAN 4 E ont été appliqués sur le sol au semis et à 35 jours après semis (JAS). Une quantité de 2,5 ml de chacun des deux pesticides a été diluée dans 15 litres d'eau et appliquée au sol dans chaque parcelle élémentaire, à l'aide d'un pulvérisateur à dos et à pression soutenue. Le troisième traitement pesticide a été réalisé à 80 JAS, et les pesticides CALLIFAN 50 EC et DURSBAN 4 E ont été utilisés à la même dose.

En 2009, la destruction de la macrofaune du sol a été faite à l'aide de trois matières actives. Les trois matières actives (endosulfan, chlorpyrifos-éthyl et alphacyperméthrine) ont été appliquées au semis et à 33 JAS. Ainsi, un mélange contenant 2,5 ml de chacun des deux pesticides (CAIMAN SUPER EC et DADYRSBAN 48 EC) a été dilué dans 15 litres d'eau, puis appliqué au sol dans chaque parcelle élémentaire, à l'aide d'un pulvérisateur à dos et à pression soutenue. A 89 JAS, ce sont les pesticides ROCKY 386 EC et DURSBAN 4E qui ont été utilisés à la même dose. Au cours de ces deux campagnes, la variété de sorgho SARIASO 14 a été produit.

I.4. Estimation de la population de la macrofaune du sol

Pour étudier l'impact des modes de gestion de la fertilité sur la macrofaune du sol, la méthode *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF) préconisée par Anderson et Ingram

(1993), a été utilisée. L'échantillonnage a été fait à 74 JAS en 2008 et à 79 JAS en 2009. Il s'est déroulé le matin à partir de 7h jusqu'à 10 h. Ainsi, un cadre métallique de dimensions 25 cm x 25 cm x 30 cm est rapidement enfoncé dans le sol. Puis, une tranchée est creusée pour dégager la terre afin de prélever les monolithes (Photo 4.2). Ils sont fractionnés et émiétés à la main selon les horizons 0–10 cm et 10–30 cm. Un monolithe par parcelle élémentaire a été fouillé (Photo 4.3). La macrofaune récoltée est conservée dans des bocaux contenant de l'alcool à 70%.

La macrofaune soigneusement récoltée est identifiée au laboratoire à l'aide d'une loupe binoculaire. La détermination du groupe, de la famille ou du genre s'effectue à l'aide de clés de détermination (Bland et Jaques, 1947; Bachelier, 1978 ; Villiers, 1979 ; Grassé, 1986 ; Delware et Aberlenc, 1989). Après cette identification, le nombre d'individus de chaque groupe a été déterminé.



Photo 4.2 : Prélèvement d'un monolithe.

Source : Ouédraogo J. (2009)



Photo 4.3 : Fouille d'un monolithe.

Source : Ouédraogo J. (2009)

I.5. Pluviosité et quantité d'eau ruisselée

La hauteur d'eau tombée à chaque pluie a été mesurée à l'aide d'un pluviomètre à lecture directe installé sur le site d'expérimentation.

La quantité d'eau ruisselée a été mesurée pour chaque pluie ayant causé du ruissellement à l'aide du dispositif de collecte d'eau de ruissellement (Photo 4.1). Dans chaque parcelle élémentaire, une placette de ruissellement de dimension 1,30 m x 0,80 m (1,04 m²) a été installée. Elle est connectée par un tuyau à un tonnelet implanté dans le sol à

l'extérieur de la parcelle élémentaire et servant de conteneur. Une deuxième placette de ruissellement a été placée sans cordons pierreux (témoin absolu) dans les parcelles témoins. L'eau recueillie dans le conteneur est vidée à l'aide d'un seau et d'une éponge. Cette eau est ensuite quantifiée à l'aide d'une éprouvette graduée de 500 ml et d'un seau gradué de 15 litres.

Pour le calcul du ruissellement cumulé, la quantité d'eau ruisselée (mm) a été déterminée en prenant un millimètre d'eau tombée correspondant à un litre d'eau par mètre carré. Le taux de ruissellement a été calculé en faisant le rapport entre la quantité d'eau ruisselée cumulée (mm) par traitement, et la quantité totale d'eau tombée pour les pluies ayant causé du ruissellement. Le taux de réduction du ruissellement d'un traitement par rapport au témoin absolu a été calculé en utilisant la formule (Ouédraogo, 2009) :

$$\text{Taux de réduction (\%)} = \left[\frac{\text{Quantité d'eau ruisselée de Ta} - \text{Quantité d'eau ruisselée de Tx}}{\text{Quantité d'eau ruisselée de Ta}} \right] * 100$$

Où Ta désigne le témoin absolu et Tx, le traitement considéré

I.6. Analyse des données

Les données sur la densité de macrofaune et le ruissellement ont été soumises à une analyse de variance. La séparation des moyennes a été faite à l'aide du test de Student-Newman-Keuls au seuil de 5%. Le logiciel Genstat 9 a été utilisé.

Les données sur la macrofaune ont été utilisées pour calculer la densité (nombre d'individus / m² moyenne). La diversité a été évaluée en utilisant l'indice de Shannon -Weaver (H'), qui prend en compte le nombre de groupes rencontrés (s). La valeur calculée est obtenue par l'équation (1) (Shannon et Weaver, 1949).

$$H' = - \sum_{i=1}^s pi * \log_2(pi) \quad (1)$$

pi = probabilité de rencontrer un taxon i dans une parcelle (nombre d'individus du taxon / nombre total d'individus prélevés dans la parcelle) ;

s = nombre total de taxons rencontrés sur le terrain.

Cet indice est égal à zéro quand il y a un taxon et sa valeur est maximale lorsque tous les taxons ont la même abondance (Frontier et Pichod–Viale, 1998).

L'indice d'équitabilité (E) également appelé régularité mesure la répartition équitable des taxons. Il permet de comparer des traitements avec des nombres différents de taxons dans le but d'observer l'équilibre des populations. Il est égal au rapport de la diversité réelle calculée et la diversité maximale théorique (2) (Barbault, 1981).

$$E = H' / \log_2 (s) \quad (2)$$

E tend vers 0 quand un taxon domine la population et est égale à 1 lorsque tous les taxons ont la même abondance.

II. RESULTATS ET DISCUSSION

II.1. Effet de l'application des pesticides et des modes de gestion de la fertilité sur la macrofaune du sol

II.1.1. Résultats

II.1.1.1. Effet de l'application des pesticides sur la macrofaune

En 2008, les résultats ont montré qu'un total de 2598 individus / m² ont été inventoriés sur les parcelles non traitées aux pesticides contre un total de 123 individus / m² collectés sur les parcelles traitées aux pesticides. Les traitements pesticides ont permis d'éliminer 95% de la macrofaune du sol. L'analyse de variance révèle des différences très hautement significatives ($p < 0,001$) entre les parcelles traitées et les parcelles non traitées aux pesticides (Tableau 4.II). Les parcelles non traitées aux pesticides peuvent être alors assimilées à des parcelles avec macrofaune du sol et les parcelles traitées aux pesticides comme des parcelles sans macrofaune du sol.

En 2009, un total de 3185 individus/m² a été inventorié sur les parcelles non traitées aux pesticides contre un total de 32 individus/m² qui a été collecté sur les parcelles traitées aux pesticides. Les traitements pesticides ont alors permis d'éliminer 99% de la macrofaune du sol. L'analyse de variance révèle des différences significatives ($p = 0,022$) entre les parcelles traitées et les parcelles non traitées aux pesticides (Tableau 4.II). Là aussi, les

parcelles non traitées aux pesticides peuvent être assimilées à des parcelles avec macrofaune du sol et les parcelles traitées aux pesticides comme des parcelles sans macrofaune du sol.

Tableau 4.II : ANOVA de l'effet des pesticides sur la densité de la macrofaune du sol.

Pesticides	2008	2009
Degré de liberté	1	1
Valeur de F	18,58	6,28
Probabilité	<0,001	0,022
Signification	THS	S

THS : Très Hautement Significative ; S : Significative.

II.1.1.2. Effet des modes de gestion de la fertilité des sols sur la composition et l'abondance de la macrofaune du sol

En 2008, un total de 2598 individus / m² ont été identifiés dans les parcelles non traitées aux pesticides (parcelles avec macrofaune). La macrofaune du sol est plus abondante sur le traitement tiges + urée qui renferme 35,68% des individus. Ce mode de gestion de la fertilité est suivi du témoin (32,22%). L'apport d'urée seule a enregistré la plus faible densité de la macrofaune du sol avec 4,70% des individus. Les espèces inventoriées appartiennent à deux embranchements, regroupant quatre classes et neuf ordres de macrofaune (Tableau 4.III). L'embranchement des Arthropodes représente 95,25% des individus. Au sein de cet embranchement, la classe des Insectes est majoritaire (92,45%) et regroupe l'ordre des Isoptères (78,63%) représenté par les genres *Amitermes* et *Microtermes* ; l'ordre des Hyménoptères (7,97%) représenté par les fourmis (*Myrmicinae* et *Ponerinae*) ; l'ordre des Coléoptères (5,47%) composé de *Staphilinidae*, d'*Elateridae*, de *Carabidae* et de *Scarabeidae* et les larves de *Tipulidae* (Diptères) qui représentant 0,38% des individus. La classe des Arachnides (1%) regroupe les Solifuges (0,19%) et les Araignées (0,81%) ; la classe des Myriapodes (1,8%) est constituée de Chilopodes (0,38%) représentés par les Scolopendres et de Diplopodes (1,42%) dont la famille des *Iulidae*. L'embranchement des Annélides est représenté par la classe des Annélides Oligochètes (vers de terre) et renferme 4,54% des individus. Les termites sont plus abondantes sur le mode de gestion de la fertilité basé sur l'apport combiné des tiges et de l'urée. Les vers de terres sont plus abondants sur le mode de gestion de la fertilité à base de compost.

Tableau 4.III: Variation de la diversité et de l'abondance de la macrofaune en fonction du mode de gestion de la fertilité du sol (parcelles non traitées aux pesticides ; horizon 0–30 cm ; 2008).

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Sous-famille ou groupe	Mode de gestion de la fertilité du sol					Pourcentage de chaque groupe	
					Urée	Compost	Compost + Urée	Tiges + Urée	Témoin		
Arthropodes	Insectes	Isoptères	<i>Termitidae</i>	<i>Amitermes</i>	75	5	123	576	0	29,98%	
				<i>Microtermes</i>	0	272	133	272	587	48,65%	
			<i>Staphylinidae</i>	<i>Staphylinidae</i>	16	21	5	0	11	2,04%	
		Coléoptères	<i>Carabidae</i>	<i>Carabidae</i>	5	5	11	11	11	1,66%	
			<i>Scarabeidae</i>	<i>Scarabeidae</i>	0	5	5	5	21	1,39%	
			<i>Elateridae</i>	<i>Elateridae</i>	0	5	0	5	0	0,38%	
		Diptères	<i>Tipiludae</i>	<i>Tipiludae</i> (larve)	0	0	5	5	0	0,38%	
		Arachnides	Hyménoptères	<i>Formicidae</i>	<i>Myrmicinae</i>	5	32	5	0	160	7,78%
					<i>Ponerinae</i>	0	5	0	0	0	0,19%
			Solifugae	<i>Solifugae</i>	<i>Solifugae</i>	0	0	0	5	0	0,19%
Araneae	<i>Agelenidae</i>		<i>Agelenidae</i>	0	5	0	11	5	0,81%		
Myriapodes	Chilopodes	<i>Scolopendrellidae</i>	<i>Scolopendrellidae</i>	5	0	0	0	5	0,38%		
	Diplopodes	<i>Iulidae</i>	<i>Iulidae</i>	5	0	11	0	21	1,42%		
Annélides	Annélides Oligochètes	Haplotaxida	<i>Acanthodrilidae</i>	<i>Benhamiinae</i>	11	59	0	37	11	4,54%	
Autres					0	0	0	0	5	0,19%	
Total par traitement (individus / m ²)					122	414	298	927	837		
Pourcentage de chaque traitement					4,70%	15,94%	11,47%	35,68%	32,22%	100%	

Tableau 4.IV: Variation de la diversité et de l'abondance de la macrofaune en fonction du mode de gestion de la fertilité du sol (parcelles traitées aux pesticides ; horizon 0–30 cm ; 2008).

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Sous famille ou groupe	Mode de gestion de la fertilité du sol				
					Urée	Compost	Compost + Urée	Tiges + Urée	Témoin
Arthropodes	Insectes	Isoptères	<i>Termitidae</i>	<i>Amitermes</i>	27	0	0	0	0
				<i>Microtermes</i>	0	0	0	80	0
	Myriapodes	Diplopodes	<i>Scarabeidae</i>	<i>Scarabeidae</i>	0	0	0	16	0
				<i>Iulidae</i>	0	0	0	0	0
Total par traitement (individus / m ²)					27	0	0	96	

Dans les parcelles traitées avec des pesticides, seulement 123 individus / m² ont été dénombrés sur l'ensemble des parcelles (Tableau 4.IV). Les groupes rencontrés sont : les Isoptères sur les modes de gestion de la fertilité à base d'urée et de tiges + urée, et les Coléoptères sur le traitement tiges + urée.

En 2009, un total de 3185 individus / m² ont été identifiés dans les parcelles non traitées aux pesticides (Tableau 4.V). Le traitement compost + urée (44,87% des individus) a enregistré la plus forte densité de la macrofaune. Il est suivi de tiges + urée (37,11% des individus). La plus faible densité de la macrofaune a été observée sur le mode de gestion de la fertilité basé sur l'application de l'urée seule (2,01% des individus). L'embranchement des Arthropodes représente 99,53% des individus. Au sein de cet embranchement, la classe des Insectes est majoritaire (98,43%) et regroupe l'ordre des Isoptères (49,23%) représenté par les genres *Ondototermes* et *Trinervitermes* ; l'ordre des Hyménoptères (47,75%) représenté par les fourmis (*Formicinae*, *Myrmicinae* et *Ponerinae*) ; l'ordre des Coléoptères (0,82%) composés de *Staphilinidae*, d'*Elateridae* et de *Scarabeidae*, et l'ordre des Diptères (0,63%) composé de larves de *Tipulidae* et de *Cecidomyiidae*. Les araignées (classe des Arachnides) regroupent 0,47% des individus. La classe des Myriapodes (0,63%) est constituée de Diplopodes appartenant à la famille des *Iulidae*. L'embranchement des Annélides est représenté par la classe des Annélides Oligochètes (vers de terre) et renferme 0,47% des individus. Les termites sont plus abondantes sur le mode de gestion de la fertilité basé sur l'apport combiné des tiges et de l'urée. Les vers de terres quant à eux ont été absents sur le mode de gestion de la fertilité à base d'Urée et sur le témoin.

Dans les parcelles traitées aux pesticides (Tableau 4.VI), un total de 32 individus / m² a été inventorié. Il s'agit de *Termitidae*, de *Formicidae* et de Polydesmides présentent sur les modes de gestion de la fertilité à base de Tiges + Urée, et de *Tenebroidae* observé sur le témoin.

Tableau 4.V: Variation de la diversité et de l'abondance de la macrofaune en fonction du mode de gestion de la fertilité du sol (parcelles non traitées aux pesticides ; horizon 0–30 cm ; 2009).

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Sous-famille ou groupe	Mode de gestion de la fertilité du sol					Pourcentage de chaque groupe
					Urée	Compost	Compost + Urée	Tiges + Urée	Témoin	
Arthropodes	Insectes	Isoptères	<i>Termitidae</i>	<i>Odontotermes</i>	0	0	171	533	256	30,14%
				<i>Trinervitermes</i>	27	0	0	581	0	19,09%
				<i>Staphylinidae</i>	<i>Staphylinidae</i>	0	0	0	5	0
		Coléoptères	<i>Scarabeidae</i>	<i>Scarabeidae</i>	0	5	0	0	0	0,16%
				<i>Elateridae</i>	<i>Elateridae</i>	0	16	0	0	0
		Diptères	<i>Tipulidae</i>	<i>Tipulidae</i> (larve)	5	0	0	5	5	0,47%
				<i>Cecidomyiidae</i>	<i>Cecidomyiidae</i>	0	5	0	0	0
		Hyménoptères	<i>Formicidae</i>	<i>Myrmicinae</i>	27	16	1232	48	160	46,55%
				<i>Ponerinae</i>	0	11	16	0	0	0,85%
				<i>Formicinae</i>	0	0	0	0	11	0,35%
		Myriapodes	Diplopodes	<i>Iulidae</i>	<i>Iulidae</i>	0	5	5	5	5
Arachnides	Araneae	<i>Agelenidae</i>	<i>Agelenidae</i>	5	5	0	0	5	0,47%	
Annélides	Annélides Oligochètes	Haplotaxida	<i>Acanthodrilidae</i>	<i>Benhamiinae</i>	0	5	5	5	0	0,47%
Total par traitement (individus / m ²)					64	68	1429	1182	442	
Pourcentage de chaque traitement					2,01%	2,13%	44,87%	37,11%	13,88%	100%

Tableau 4.VI: Variation de la diversité et de l'abondance de la macrofaune en fonction du mode de gestion de la fertilité du sol (parcelles traitées aux pesticides ; horizon 0–30 cm ; 2009).

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Sous-famille ou groupe	Mode de gestion de la fertilité du sol				
					Urée	Compost	Compost + Urée	Tiges + Urée	Témoin
Arthropodes	Insectes	Isoptères	<i>Termitidae</i>	<i>Microtermes</i>	0	0	0	11	0
		Hyménoptères	<i>Formicidae</i>	<i>Myrmicinae</i>	0	0	0	5	0
		Coléoptères	<i>Tenebroïdae</i>	<i>Tenebroïdae</i>	0	0	0	0	5
	Myriapodes	Diplopedes	<i>Polydesmides</i>	<i>Polydesmides</i>	0	0	0	11	0
Total par traitement (individus / m ²)					0	0	0	27	5

II.1.1.3 Diversité de la macrofaune du sol dans les parcelles non traitées aux pesticides

La sous-famille ou le groupe a été le niveau de classification utilisé pour calculer l'indice de diversité de Shannon -Weaver et l'indice d'équitabilité. Au cours de deux années d'étude, le meilleur indice de diversité a été observé avec le compost (1,34 et 1,44, respectivement pour 2008 et 2009), suivi par l'urée (Figure 4.1). L'indice le plus faible a été observé avec l'apport combiné du compost et de l'urée. De 2008 à 2009, une diminution de l'indice de diversité a été notée dans tous les modes de gestion de la fertilité sauf pour le compost. En effet, au cours de cette période, une réduction de 54% de l'indice de diversité a été observée avec l'urée. Dans le traitement de compost, une augmentation de 7% de la diversité macrofaune du sol a été notée.

Le plus fort indice d'équitabilité (0,75) a été observé en 2008 sur le mode de gestion de la fertilité basé sur l'apport d'urée seul. Ce traitement est suivi du compost (0,67). Le plus faible indice d'équitabilité a été observé sur le témoin (0,32). En 2009, le plus fort indice d'équitabilité a été observé sur le compost (0,95), suivi de l'urée seul (0,57). L'indice d'équitabilité est en baisse dans toutes les parcelles de la première à la deuxième année, sauf sur le compost et la parcelle témoin. (Figure 4.2). Avec le compost, on note une augmentation de l'indice d'équitabilité de 37% de 2008 à 2009. Au cours de la même période, une baisse de cet indice de 92% a été observée sur le traitement tiges + urée. La combinaison des tiges de sorgho à l'urée a donné lieu à un développement sélectif de la macrofaune, induisant de faible indice d'équitabilité.

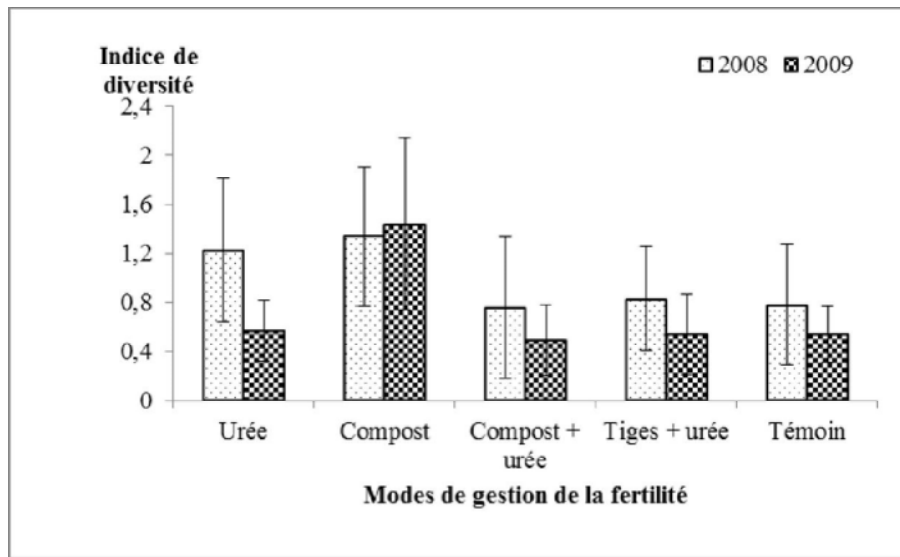


Figure 4.1 : Effet des modes de gestion de la fertilité sur l'indice de diversité de la macrofaune du sol dans les parcelles non traitées aux pesticides.

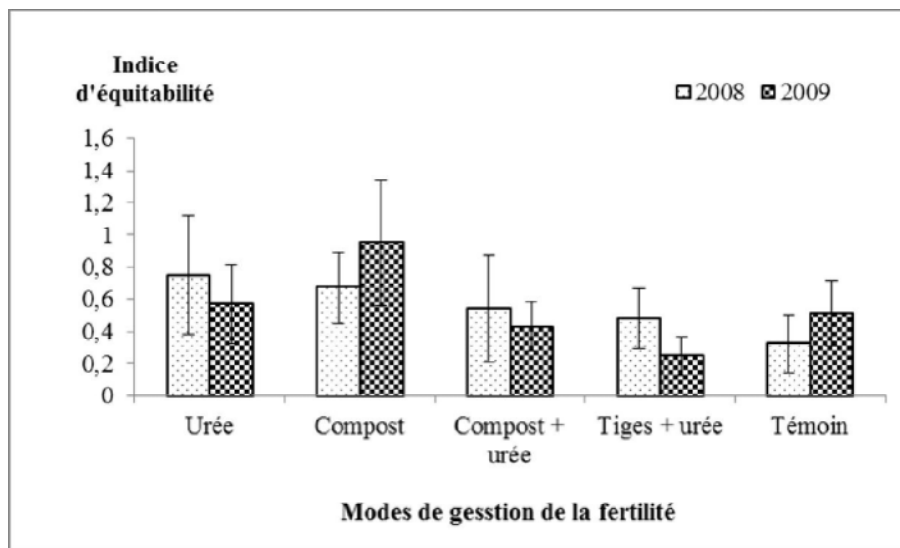


Figure 4.2 : Effet des modes de gestion de la fertilité sur l'indice d'équitabilité de la macrofaune du sol dans les parcelles non traitées aux pesticides.

II.1.1.4. Classes trophiques de la macrofaune

Les groupes représentés dans les parcelles non traitées aux pesticides ont été classés sur la base de leur fonction trophique dans l'écosystème. Cette classification est

approximative dans la mesure où l'alimentation ou l'activité peut être très différente entre les stades de développement ou de l'état physiologique d'une espèce. Cependant, il permet de connaître les types d'organismes qui se développent dans les différents modes de gestion de la fertilité. Cette classification a permis d'obtenir trois classes : les détritivores, les prédateurs et les phytophages (Tableau 4.VII).

Les résultats de l'inventaire ont montré que les détritivores et les prédateurs qui sont bénéfiques pour le fonctionnement de l'agro- écosystème, représentent 98 et 99% de la population totale, respectivement en 2008 et 2009. Les phytophages ne représentaient alors que 2 et 1% en 2008 et 2009. Les détritivores comprennent les termites, les vers de terre, certaines fourmis, les larves de diptères et les coléoptères. Les termites avec les fourmis constituent le groupe principal de détritivores et sont les plus abondants sur le traitement tiges + urée. Ils sont plus abondants que les prédateurs qui appartiennent tous à l'embranchement des Arthropodes. Les prédateurs sont représentés par les coléoptères (*Carabidae*, *Staphylinidae*), certaines fourmis, les diptères (*Cecidomyiidae*), les araignées et les myriapodes (*Scolopendrellidae*, *Solifugae*). Les *Scolopendrellidae* dominent la population de prédateurs. Les phytophages dominées par des *Iulidae* représente une minorité de la macrofaune inventoriée. Le témoin contient la majorité des phytophages.

Tableau 4.VII : Principales classes trophiques de la macrofaune du sol dans les parcelles non traitées aux pesticides.

Action	Groupe fonctionnel	Embranchement	Classe	Ordre	Année 2008	Année 2009
					Famille	
Bénéfique	Détritivores	Arthropodes	Insectes	Hyménoptères	<i>Formicidae</i>	<i>Formicidae</i>
				Coléoptères	<i>Scarabeidae</i>	<i>Scarabeidae</i>
				Isoptères	<i>Termitidae</i>	<i>Termitidae</i>
				Diptères	<i>Tipulidae</i>	<i>Tipulidae</i>
				Diploptides	<i>Iulidae</i>	<i>Iulidae</i>
	Annélides	Annélides	Oligochètes	Haplotaxida	<i>Acanthodrilidae</i>	<i>Acanthodrilidae</i>
				Coléoptères	<i>Staphylinidae</i>	<i>Staphylinidae</i>
					<i>Carabidae</i>	<i>Carabidae</i>
				Insectes	<i>Formicidae</i>	<i>Formicidae</i>
				Prédateurs	Arthropodes	Arachnides
<i>Araneae</i>	<i>Agelenidae</i>	<i>Agelenidae</i>				
<i>Solifugae</i>	<i>Solifugae</i>	-				
Myriapodes	<i>Scolopendrellidae</i>	-				
Chilopodes	<i>Scolopendrellidae</i>	-				
Nuisibles	Phytophages	Arthropodes	Insectes	Coléoptères	<i>Elateridae</i>	<i>Elateridae</i>

II.1.2. Discussion

II.1.2.1. Impact des modes de gestion de la fertilité des sols sur la densité de la macrofaune du sol

Les résultats ont montré que la densité de la macrofaune varie selon les modes de gestion de la fertilité du sol, ce qui confirme que la qualité de la matière organique est un des facteurs contrôlant la macrofaune (Ouédraogo *et al.*, 2004 ; Sileshi et Mafongoya, 2006; Ben Leroy *et al.*, 2008 ; Zida *et al.*, 2011 ; Traoré, 2012). L'utilisation de la matière organique a entraîné une augmentation de la population de la macrofaune, tandis que l'utilisation de l'urée induit un effet inverse. Ce résultat s'explique par le fait que la matière organique est une source d'énergie pour la macrofaune du sol. Le traitement tiges + urée a enregistré la plus forte densité de termites. Ces résultats corroborent ceux de Ouédraogo *et al.* (2004), qui ont montré que la densité de termites a été corrélée à la nature de la matière organique apportée. Aussi, Bagnian (2006); Ouédraogo (2009), Zida *et al.* (2011) et Traoré (2012), ont montré que les termites étaient plus abondantes sur le traitement à base des pailles que celui à base de compost ou de l'urée. Diop *et al.* (2013) expliquent la prédominance des termites par la teneur en cellulose. En effet, l'action des microorganismes entraîne la dégradation de la matière organique, libérant ainsi la cellulose (Zaremski *et al.*, 2009) ; ce qui explique l'attraction des termites pour ce traitement. La plus forte densité de vers de terre a été observée avec le compost, ce qui confirme les observations (Bachelier, 1978 ; Ben Leroy *et al.*, 2008) qui ont montré que les vers de terre préféraient les litières tendres, le compost ou les fumiers. Lapiéd *et al.* (2009) et Traoré (2012) ont également montré que la densité des vers de terre était plus élevée dans les parcelles ayant reçu du compost par rapport aux parcelles traitées avec de l'urée. Sileshi et Mafongoya (2006) ont montré que les vers de terre et les coléoptères étaient abondants dans les légumineuses qui produisent de grandes quantités de biomasse à faible rapport en lignine + polyphénol sur azote.

Les termites sont le groupe dominant de la macrofaune du sol. Ces résultats corroborent ceux de Lavelle *et al.* (1991), Bagnian (2006) et Ouédraogo (2009). La forte densité de termites est aussi due aux faibles précipitations de la zone. En effet, Lavelle *et al.* (1991) ont rapporté que dans les zones où la pluviosité est inférieure à 1000 mm, les termites dominent la population de la macrofaune du sol. Les faibles densités de vers de terre qui ont

été observées sont liées d'une part à la faible pluviosité de la zone (Lavelle *et al.*, 1991), et d'autre part, à la texture limono sableuse de la couche arable (0-20 cm) (Bachelier, 1978 ; Lapied *et al.*, 2009).

II.1.2.2. Effet des modes de gestion de la fertilité des sols sur la diversité de la macrofaune du sol

Au cours des deux années, le meilleur indice de la diversité a été observé avec le compost. L'indice d'équitabilité a été également élevé avec le compost. Par contre, la combinaison de l'urée à la matière organique a donné de faibles indices de diversité et d'équitabilité. Une diminution des deux indices a été observée dans le traitement compost + urée par rapport au compost. Ces observations montrent que le mode de gestion de la fertilisation du sol influence la diversité de la macrofaune du sol. L'apport de compost est plus favorable à la macrofaune du sol par rapport à la combinaison de l'urée au compost ou à la paille de sorgho. L'apport unique du compost est favorable à un développement plus équilibré de la macrofaune du sol. En favorisant la minéralisation de la matière organique, l'urée réduit le stock de matière organique du sol et donc l'énergie disponible pour la macrofaune du sol. Ce qui impacte donc sa diversité. Nos résultats montrent en effet une diminution importante de la diversité de la macrofaune du sol dans la parcelle de l'urée. Ces résultats sont en accord avec ceux de (Mboukou-Kimbatsa, 1997) qui a montré que le travail du sol et la fertilisation minérale réduisent la diversité de la macrofaune du sol. L'évolution du bilan énergétique de l'environnement et des propriétés chimiques affecte la diversité et la régularité de la macrofaune du sol. Ces résultats sont en accord avec les observations de Wolters (2000) qui avait indiqué que le climat, les conditions du sol, la végétation et l'intervention humaine sont des facteurs déterminant la composition de la communauté édaphique.

II.1.2.3. Effet des modes de gestion de la fertilité des sols sur les classes trophiques de la macrofaune

La classification des macro-invertébrés sur la base de leur régime alimentaire, révèle l'influence du mode de gestion de la fertilité du sol sur la répartition des différents groupes trophiques. Brown *et al.* (2002) distinguent la macrofaune bénéfique (les détritivores et les prédateurs), et les ravageurs (phytophages). Dans notre classification, les détritivores contribuent à la restauration de la matière organique dans le sol. Ils fragmentent la matière

organique fraîche, facilitant ainsi sa décomposition (Bachelier, 1978 ; Lavelle et Spain, 2001). En outre, ils contribuent à la formation de complexes argilo-humiques, améliorant ainsi la structure du sol. Les prédateurs peuvent être un indicateur de l'équilibre biologique du système. L'action de ces deux classes trophiques est potentiellement bénéfique pour le fonctionnement de l'agro- écosystème. Les phytophages ont un caractère défavorable aux cultures. En effet, certaines espèces comme les *Elateridae* s'attaquent aux racines des plantes (Wurst et van der Putten, 2007). Les résultats montrent que la majorité de la macrofaune enregistrée dans les différents modes de gestion de la fertilité des sols (98% à 99%) ont des actions bénéfiques au fonctionnement de l'agro- écosystème. Au sein de la macrofaune bénéfique, les détritviores sont le groupe trophique dominant. L'application de la matière organique augmente la densité de détritviores par rapport à l'urée. Ce résultat peut s'expliquer par la disponibilité de la matière organique dans les modes de gestion de la fertilité basés sur des tiges ou du compost. La proportion élevée de détritviores dans le traitement tiges + urée est liée à la nature de la matière organique disponible. En effet, les pailles provoquent la prolifération de nombreux macro-invertébrés notamment les termites (Ouédraogo *et al.*, 2004). Les détritviores contribuent à différentes échelles dans la dynamique de la matière en stimulant les processus de minéralisation et humification dans les parcelles recevant la matière organique. La fertilisation organique ou organo-minérale, en favorisant le développement des communautés de détritviores et les prédateurs permettrait de réduire la proportion des phytophages dans le sol.

II.2. Effet de la macrofaune, des modes de gestion de la fertilité et de leur interaction sur le ruissellement

II.2.1. Résultats

II.2.1.1. Effet de la macrofaune sur le ruissellement

Les résultats (Tableau 4.VIII) montrent que le ruissellement a été plus important en absence de la macrofaune du sol. Sur une quantité de pluie ruisselante de 512,25 mm en 2008, le taux de ruissellement a été de 18,04% sur les parcelles avec macrofaune du sol contre 21,33% en absence de la macrofaune du sol. En 2009, une quantité totale d'eau de pluie de 505,4 mm a provoqué du ruissellement. Sur les parcelles avec macrofaune du sol, le taux de ruissellement a été de 8,55% contre 10,66% en absence de la macrofaune du sol. La

suppression de la macrofaune par l'application des pesticides a augmenté le ruissellement respectivement de 18,24% et 24,68% en 2008 et en 2009. L'analyse de variance a montré que la macrofaune du sol a eu une influence significative sur le ruissellement.

Tableau 4.VIII. Effet de macrofaune sur le taux de ruissellement.

Facteurs	Traitements	Taux de ruissellement (%)	
		Année 2008	Année 2009
Macrofaune	Parcelles avec macrofaune	18,04 ^a	8,55 ^a
	Parcelles sans macrofaune	21,33 ^b	10,66 ^b
	Probabilité	0,049	0,038
	Signification	S	S
	Coefficient de variation (%)	17,3	24,3

S : Significatif ; les moyennes suivis de la même lettre dans la même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%.

II.2.1.1. Effet des modes de gestion de la fertilité sur le ruissellement

Les résultats de l'impact des modes de gestion de la fertilité sur le ruissellement (Tableau 4.IX) montrent qu'en 2008, le plus faible taux de ruissellement a été obtenu avec le traitement tiges + urée (12,93%). Ce mode de gestion de la fertilité est suivi respectivement des traitements : urée (14,32%), compost + urée (15,46%) et compost (16,93%). Aucune différence significative n'a été révélée entre ces modes de gestion de la fertilité ; mais, ils diffèrent du témoin (cordons pierreux seul) et du témoin absolu. Le fort taux de ruissellement a été obtenu sur le témoin absolu (36,39%) qui diffère significativement du témoin (23,32%). La mise en place exclusive de mesure de conservation des eaux et des sols a réduit le ruissellement de 36,25%. Lorsqu'on associe aux cordons pierreux, une fertilisation organique et/ou minérale, ces modes de gestion de la fertilité réduisent le ruissellement respectivement de 64,33% pour le traitement tiges + urée. Il est suivi respectivement des traitements urée, compost + urée, et compost qui ont réduit le ruissellement de 60,65%, 57,52% et 53,48% par rapport au témoin absolu.

Tableau 4.IX : Variation du taux de ruissellement en fonction des modes de gestion de la fertilité du sol.

Facteurs	Traitements	Taux de ruissellement (%)	
		Année 2008	Année 2009
Modes de gestion de la fertilité du sol	Urée	14,32 ^a	8 ^{ab}
	Compost	16,93 ^a	4,90 ^a
	Compost + urée	15,46 ^a	5,46 ^a
	Tiges + urée	12,98 ^a	4,80 ^a
	Témoin	23,2 ^b	11,52 ^b
	Témoin absolue	36,39 ^c	22,93 ^c
	Probabilité	<0,001	<0,001
Signification	THS	THS	
Coefficient de variation (%)	22,4	24,2	
Interaction	Macrofaune* modes de gestion de la fertilité	S (p=0,021)	S (p=0,045)

THS : Très Hautement Significatif ; S : Significatif ; les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%.

En 2009, les taux de ruissellement enregistrés sont relativement faibles (Tableau 4.IX). Le plus faible taux de ruissellement a été obtenu avec le traitement tiges + urée (4,80%). Il est suivi des traitements : compost (4,90%), compost + urée (5,46%) et urée (8%). Aucune différence significative n'a été révélée entre ces modes de gestion de la fertilité. Excepté l'urée, les autres modes de gestion de la fertilité diffèrent du témoin (11,52%). Le plus fort taux de ruissellement a été obtenu sur le témoin absolu (22,93%), qui diffère significativement de tous les modes de gestion de la fertilité et du témoin. Le témoin (cordons pierreux seul) a réduit le ruissellement de 49,76% par rapport au témoin absolu. L'apport de fertilisant associé aux cordons pierreux a augmenté le taux de réduction du ruissellement. En effet, comparées au témoin absolu, les taux de réduction du ruissellement par les différents modes de gestion de la fertilité sont de 79,07% (tiges + urée), 78,63% (compost), 76,19% (compost + urée) et 65,11% (urée).

II.2.1.2. Effet de l'interaction entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité sur le ruissellement

L'analyse de variance a révélé une interaction significative entre les modes de gestion de la fertilité et la macrofaune sur le ruissellement au cours des deux années d'études (Tableau 4.IX). En 2008, excepté le traitement Urée, tous les autres modes de gestion de la fertilité ont enregistré de faible taux de ruissellement en présence de la macrofaune du sol comparativement à leurs homologues sans macrofaune du sol (Tableau 4.X). Le plus faible taux de ruissellement a été obtenu sur le traitement tiges + urée en présence de la macrofaune du sol (9%). La contribution absolue de la macrofaune à la réduction du ruissellement est de 24,58%. En 2009, les taux de ruissellement ont été plus faibles sur tous les modes de gestion de la fertilité en présence de la macrofaune du sol, exception faite de l'urée (Tableau 4.X). Le compost a enregistré le plus faible taux de ruissellement en présence de la macrofaune du sol. La contribution absolue de la macrofaune à la réduction du ruissellement est de 30,74%.

Tableau 4.X : Effet de l'interaction entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité sur le taux de ruissellement.

Année	Modes de gestion de la fertilité	Parcelle sans macrofaune	Parcelle avec macrofaune
Année 2008	Urée	10,07 ^{abc}	18,58 ^{abc}
	Compost	18,24 ^{abc}	15,62 ^{ab}
	Compost + urée	16,57 ^{ab}	14,34 ^{ab}
	Tiges + urée	16,97 ^{abc}	9 ^a
	Témoin	26,94 ^{bc}	19,45 ^{abc}
	Témoin absolu	41,49 ^d	31,29 ^{cd}
Année 2009	Urée	5,23 ^{ab}	10,78 ^c
	Compost	5,89 ^{ab}	3,92 ^a
	Compost + urée	6,6 ^{ab}	4,32 ^{ab}
	Tiges + urée	5,63 ^{ab}	3,98 ^{ab}
	Témoin	13,49 ^{cd}	9,54 ^{bc}
	Témoin absolu	27,1 ^e	18,77 ^d

Les moyennes suivies de la même lettre pour chaque année ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%.

II.2.2. Discussion

II.2.2.1. Impact de la macrofaune sur le ruissellement

Les résultats montrent des différences significatives concernant l'impact de la macrofaune sur le ruissellement. Ils révèlent que la présence de la macrofaune du sol réduit le ruissellement. Ces résultats confirment plusieurs études antérieures qui avaient montré que la présence de la macrofaune était favorable à la réduction du ruissellement (Casenave et Valentin, 1989 ; Mando, 1991 ; Mando, 1997 ; Léonard et Rajot, 1998 ; Blanchart *et al.*, 2004 ; Larsen *et al.*, 2012). Les travaux de Larsen *et al.* (2012) ont en effet montré que la suppression des vers de terre a entraîné un doublement du ruissellement. La réduction du ruissellement par la macrofaune s'explique d'une part, par le fait que les structures biogéniques produites par ces macro-invertébrés augmentent la rugosité du sol et constituent des obstacles à l'écoulement de l'eau. D'autre part, le forage de pores et de galeries par ces macro-invertébrés favorise l'infiltration de l'eau et par conséquent, réduit le ruissellement. En effet, Hallaire *et al.* (2004) et Blouin *et al.* (2013) ont montré que l'activité de la macrofaune conduit à la formation d'agrégats fins avec une importante porosité d'assemblage. Aussi, les termites creusent un important réseau de galeries à la recherche de particules fines de sol (argiles), de nourriture et d'humidités (Lamoureux et O'Kane, 2012).

II.2.2.2. Impact des modes de gestion de la fertilité sur le ruissellement

La parcelle témoin aménagée en cordons pierreux a réduit significativement le ruissellement par rapport au témoin absolu. Ces résultats corroborent ceux obtenus par Zougmore *et al.* (2004a ; 2004b ; 2004c) qui ont montré que l'aménagement des parcelles en cordons pierreux était très favorable à la réduction du ruissellement. Les cordons pierreux qui constituent des barrières physiques, réduisent la vitesse de l'eau de ruissellement et facilitent son infiltration. Le taux de réduction du ruissellement est amélioré lorsqu'on combine les fertilisants aux cordons pierreux. Ces résultats corroborent ceux de Zougmore *et al.* (2004c). En effet, l'apport de fertilisant organique améliore les caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et hydrodynamiques des sols (Pieri, 1989 ; Ouattara *et al.*, 1998 ; Ouédraogo *et al.*, 2001) ; il en résulte une amélioration de l'infiltration. L'apport combiné de tiges et d'urée a été le traitement le plus efficace contre le ruissellement. L'efficacité de ce traitement confirme les observations de Nahal (1975) qui indiquent que l'enfouissement de pailles est favorable à l'infiltration. L'apport de matière organique et la macrofaune améliorent

l'humidité du sol et la capacité de rétention en eau (Bachelier, 1971 ; Nahal, 1975 ; Rawls *et al.*, 2003 ; Zemánek, 2011).

II.2.2.3. Impact de l'interaction entre la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur le ruissellement

Les modes de gestion de la fertilité basés sur la fertilisation organique ont été efficaces dans la réduction du ruissellement en présence de macrofaune. Ces résultats corroborent ceux de Shuster *et al.* (2002), qui ont montré que le ruissellement était faible avec une source organique d'azote, comparativement à la source minérale d'azote (NH₄NO₃). Le traitement tiges + urée a été la plus performante. Les résultats montrent en outre une densité plus élevée de macrofaune surtout de termites sur ce mode de gestion de la fertilité. En effet, l'apport de matière organique stimule la macrofaune dont l'activité conduit à une augmentation de la macroporosité du sol (Bachelier, 1978 ; Mando, 1997 ; Hallaire *et al.*, 2004 ; Lavelle *et al.*, 2006). Les structures biogéniques produites par la macrofaune constituent par ailleurs des obstacles au ruissellement. Il en résulte une amélioration considérable de l'infiltration (Pieri, 1989 ; Blanchard *et al.*, 2004 ; Jouquet *et al.*, 2011).

L'apport d'urée s'est révélé efficace contre le ruissellement dans les parcelles sans macrofaune du sol. Sur le traitement à base d'urée seule, la présence de la macrofaune a entraîné une augmentation du ruissellement de 84,51% et 106,12% respectivement en 2008 et 2009. En effet, sans apport de substrat organique, la macrofaune et les micro-organismes stimulés par l'apport d'urée entraînent une minéralisation rapide de la matière organique du sol (Brussaard, 2012 ; Blouin *et al.*, 2013). La baisse du taux de la matière organique du sol peut conduire à une dégradation structurale pouvant entraîner la formation d'une pellicule de battance sous "l'effet splash" des gouttes d'eau. Eimberck (1990) avait montré que la naissance du ruissellement était liée à la diminution de la capacité d'infiltration du sol due à la saturation et à la diminution de la détention superficielle, toutes liées à la dégradation structurale des surfaces.

CONCLUSION PARTIELLE

La macrofaune du sol est un maillon essentiel dans la chaîne trophique et joue un rôle clé dans la décomposition de la matière organique. Cette étude a montré que l'apport de matière organique de qualité contrastée, associée ou non à l'urée, influence l'abondance, la

diversité, et les classes trophiques de la macrofaune du sol. L'utilisation de la matière organique conduit à la prolifération d'une grande communauté de détritivores qui joue un rôle très important dans l'amélioration des propriétés physico-chimiques et biologiques du sol. Ainsi, les résultats ont montré que la macrofaune du sol a une influence significative sur le ruissellement : sa suppression a en effet augmenté le ruissellement de 18 à 25%. L'enfouissement de tiges combiné à l'apport d'urée a été la méthode, la plus efficace contre le ruissellement. L'utilisation de compost conduit à une forte diversité de la macrofaune du sol. Par contre, la combinaison de tiges avec de l'urée qui a induit une faible diversité de la macrofaune stimule les termites. Ainsi, l'enfouissement de tiges associé à l'urée pourrait être recommandé pour améliorer les caractéristiques hydrodynamiques des sols, grâce à l'activité des termites. Cette technique qui consomme moins de matière organique fraîche par rapport au compost stimule les termites, ce qui améliore l'infiltration. Cependant, elle repose sur une stratégie de gestion des résidus de culture par le producteur, qui sont sujets à divers usages (élevage, énergie, vannerie, ...). Par ailleurs, les producteurs disposant de peu de moyen financier devront utiliser le compost qui permet d'améliorer le fonctionnement biologique du sol. Toutefois, les producteurs doivent utiliser prioritairement les pesticides naturels ou à défaut, utiliser judicieusement les pesticides chimiques de synthèse homologués par le comité sahélien des pesticides afin de préserver la macrofaune du sol.

CHAPITRE 5 : EFFET DE LA MACROFAUNE ET DES MODES DE GESTION DE LA FERTILITE SUR LA TENEUR DU SOL EN PHOSPHORE, AZOTE, ET POTASSIUM².

RESUME

Les carences des sols de l'Afrique de l'Ouest en éléments nutritifs constituent une contrainte majeure à l'intensification des systèmes de production agricole. Une étude a été conduite pour évaluer les effets de l'interaction entre la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité des sols sur la disponibilité du phosphore, de l'azote total et du potassium disponible d'un Lixisol en zone semi-aride du Burkina Faso. Pour ce faire, un dispositif expérimental en split-plot à trois répétitions comprenant deux traitements principaux (parcelles avec et sans macrofaune) et cinq traitements secondaires qui sont des modes de gestion de la fertilité des sols (combinaison de deux substrats organiques de qualité contrastée, avec l'urée) a été mis en place. Les teneurs du sol en azote total, en potassium disponible et en phosphore total ont été mesurées après une minéralisation suivant la méthode de Kjeldahl et le phosphore assimilable a été mesuré par la Bray I. La macrofaune du sol a été inventoriée en utilisant la méthode TSBF. Les résultats montrent qu'il y a une interaction positive entre les modes de gestion de la fertilité et la macrofaune du sol. La macrofaune a augmenté significativement le phosphore assimilable du sol. Aussi, l'apport de compost seul ou combiné à l'urée augmente significativement la teneur en phosphore assimilable du sol. La suppression de la macrofaune a entraîné une augmentation de la teneur en azote total du sol. Par contre, elle n'a pas eu d'effet significatif sur le potassium disponible. Par ailleurs, l'apport de tiges seul, ou combiné à l'urée, a amélioré la teneur en potassium disponible du sol. Cette étude révèle donc l'importance de la macrofaune dans la gestion de la fertilité des sols. Ainsi, le maintien et l'amélioration de diversité de la macrofaune du sol s'avèrent utiles. Dans les systèmes de culture à faibles intrants, où les sols sont pauvres en phosphore, la stimulation de l'activité de la macrofaune par des apports organiques est nécessaire pour la préservation des

² Une partie des résultats présentés ici a été publiée dans une revue indexée : Ouédraogo J., Nacro H.B., Ouédraogo E., Youl S., et Sedogo M.P., 2014. Amélioration de la disponibilité du phosphore par la gestion de la macrofaune du sol : cas d'un lixisol en zone semi-aride du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 8 (4) : 1838 – 1846.

potentialités des terres agricoles. Ces résultats suggèrent de repenser les stratégies de protection des cultures, en réduisant et en utilisant de façon judicieuse les pesticides chimiques de synthèse. Les producteurs doivent en effet, adopter les biopesticides et les pesticides naturels afin de préserver la diversité biologique des sols agricoles.

Mots clés : macrofaune, qualité de la matière organique, phosphore assimilable, azote, potassium disponible, interaction, Burkina Faso.

INTRODUCTION

Le phosphore, à l'instar de l'azote et du potassium, est un élément essentiel pour le règne végétal. Or, les sols de l'Afrique de l'Ouest en général sont carencés en ces éléments notamment en azote et phosphore (Pieri, 1989). Cette déficience des sols est une contrainte majeure à l'intensification de la productivité agricole des sols (Sedogo, 1993 ; Sinaj *et al.*, 2001 ; Lompo *et al.*, 2009 ; Soma, 2010), d'autant plus que ces éléments déterminent la productivité des sols. Pour corriger cette déficience en éléments nutritifs, plusieurs modes de gestion de la fertilité combinant l'usage de la matière organique et des engrais minéraux ou de phosphate naturel ont alors été adoptés (Zougmoré, 2003 ; Ouédraogo, 2004, Lompo, 2009). Toutefois, les rendements des cultures restent faibles. Ainsi, face aux baisses continues de la fertilité des sols, de la productivité des cultures, et face à la raréfaction des terres et à l'augmentation du prix des facteurs de production, l'Afrique de l'Ouest doit concevoir une agriculture plus productive et plus durable (Petit, 2011 ; Vall *et al.*, 2012). Pieri (1989) soulignait que l'intensification agricole nécessaire dans les pays en développement, nécessite des techniques qui valorisent au mieux le potentiel biotique de ces sols, qui assurent à un coût nul, la stabilité de ces fragiles écosystèmes. Par conséquent, l'intensification écologique constitue une alternative pour améliorer durablement les rendements. Elle met l'accent sur l'utilisation de la régulation biologique dans la gestion des agroécosystèmes (Doré *et al.*, 2011). Dans ce contexte, la macrofaune du sol, qui joue un rôle déterminant dans les divers processus physico-chimiques et biologiques des sols (Ouédraogo *et al.*, 2005 ; Lavelle *et al.*, 2006 ; Li *et al.*, 2006 ; Oberson *et al.*, 2006 ; Ouédraogo, 2011) pourrait occuper une place centrale.

Des études ont déjà été faites sur les effets de la matière organique sur la macrofaune du sol (Zida *et al.*, 2011 ; Traoré, 2012), les caractéristiques physico-chimiques du sol et les rendements des cultures (Lompo, 2009 ; Kiba *et al.*, 2012). Des auteurs se sont aussi intéressés aux effets de la macrofaune du sol sur la fertilité chimique des sols. La plupart de ces études ont montré que les structures biogéniques de la macrofaune du sol étaient plus riches que les sols voisins (Bachelier, 1978 ; Ouédraogo *et al.*, 2005 ; Lavelle *et al.*, 2006 ; Chapuis-Lardy *et al.*, 2009 et 2011, Oberson *et al.*, 2006). En effet, en réalisant une analyse chimique comparée des turricules de vers de terre et du sol, Ouédraogo *et al.* (2005) ont montré que les vers de terre amélioraient la disponibilité du phosphore du Burkina phosphate en présence de compost ou de fumier riche. Chapuis-Lardy *et al.* (2009 et 2011) ont

également montré que les turricules de vers de terre augmentaient la disponibilité du phosphore. Les interactions entre les modes de gestion de la fertilité et la macrofaune, pourraient être la clé pour améliorer la disponibilité des nutriments notamment l'azote, le phosphore et le potassium dans le sol. Il apparaît alors important d'évaluer l'effet de l'interaction et des modes de gestion des sols utilisées en milieu paysan, sur la disponibilité de ces trois éléments nutritifs. Les résultats permettraient à la fois aux chercheurs, aux organismes de développement et aux décideurs, de mieux prendre en compte la composante macrofaune du sol dans la définition des stratégies de fertilisation et de protection phytosanitaire des cultures.

I. MATERIEL ET METHODES

I.1. Description du site

Le dispositif expérimental a été installé au cours de la campagne agricole 2011/2012 sur un sol ferrugineux tropical lessivé profond (CPCS, 1967 ; Lixisol (WRB, 2006)) en jachère depuis une quinzaine d'année, en zone nord soudanienne du Burkina Faso (12° 08' 02'' de latitude Nord et 1° 24' 54'' de longitude Ouest). Les caractéristiques physico-chimiques de l'horizon 0-20 cm montrent qu'il s'agit d'un sol à texture limono – sableuse en surface (12% d'argiles, 24% de limons et 65% de sables), acide (pH-eau = 6,16) et pauvre en matière organique (0,97%). La teneur en phosphore assimilable du sol était de 1,3 mg P. kg⁻¹ et celle du potassium disponible était de 47,09 ppm. La saison des pluies couvre les mois de juin à septembre avec une pluviosité moyenne annuelle de 749 mm pour les dix dernières années (2003 – 2012). Le site d'étude été décrit avec plus de détail dans le chapitre 2.

I.2. Dispositif expérimental

L'étude a été conduite au cours de deux campagnes successives en 2011 et 2012 dans un dispositif expérimental en split-plot à trois répétitions. Le dispositif comprend deux (02) traitements principaux (parcelles avec macrofaune et parcelles sans macrofaune), cinq (05) traitements secondaires qui sont les différents modes de gestion de la fertilité du sol. Il s'agit de la combinaison de deux substrats organiques de qualité contrastée avec l'urée et une parcelle témoin. Les traitements secondaires sont : Compost (enfouissement de 4 t MS / ha de compost) ; Compost + urée (enfouissement de 4 t MS / ha de compost + de l'urée à la dose de

30 kg N / ha) ; Tiges + urée (enfouissement de 4 t MS / ha de tiges de sorgho + de l'urée à la dose de 30 kg N / ha) ; Tiges (enfouissement de 4 t MS / ha de tiges de sorgho) et le Témoin. Les parcelles élémentaires ont une superficie de 25 m² (5 m x 5 m). Une allée principale de 3m sépare deux blocs consécutifs. Dans chaque bloc, les traitements principaux sont séparés par des allées secondaires de 2 m, et les traitements secondaires par des allées de 1 m.

Le compost a été produit à l'aide de litière et de tiges de maïs par la technique du compostage aérobie en fosse avec un retournement périodique de 15 jours pendant 3 mois. Les tiges de sorgho issues de la campagne agricole 2010/2011 ont été utilisées en 2011 (campagne 2011/2012) et celles de la campagne 2011/2012 ont été utilisées en 2012 (campagne 2012/2013). Le tableau 5.I présente les caractéristiques chimiques des substrats utilisés.

Tableau 5.I : Composition chimique des substrats organiques.

Paramètres mesurés	Compost	Tiges	Compost	Tiges
	2011		2012	
Carbone (g kg ⁻¹)	108,2 ± 6,0	553,2 ± 15,2	118,0 ± 4	661,2 ± 6
Azote total (g kg ⁻¹)	5,33 ± 1,1	2,0 ± 0,5	5,1 ± 0,1	2,3 ± 0,2
C/N	20,3	276,6	23,14	287,48
Phosphore total (g kg ⁻¹ P ₂ O ₅)	39,4 ± 3,2	1,4 ± 0,9	3,97 ± 0,1	1,2 ± 0,1
Potassium total (g kg ⁻¹ K ₂ O)	32,3 ± 2,1	66,6 ± 3,0	3,22 ± 0,12	68,2 ± 2,4
pH-eau	7,2 ± 0,0		7,3 ± 0,1	

La destruction de la macrofaune a été réalisée par application au sol de pesticides chimiques de synthèse : le Chlorpyrifos-éthyl, (DADYRSBAN 4 E) à la dose de 240 g.ha⁻¹, et le friponil (HERCULES 50 SC) à la dose de 0,125 g.ha⁻¹ ont été appliqués au semis, à 18 jours après semis (JAS), 32 JAS et à 55 JAS en 2011 et au semis 16 JAS et 42 JAS en 2012. Pour se faire, un mélange contenant 2,5 ml des pesticides HERCULES 50 SC et DADYRSBAN 4 E a alors été dilué dans 15 litres d'eau, puis appliqué sur chaque parcelle élémentaire à l'aide d'un pulvérisateur à dos et à pression soutenue.

I.3. Conduite de l'expérimentation

Le semis a été précédé d'un labour à la charrue bovine qui a permis d'enfouir les substrats organiques dans toutes les parcelles sauf le témoin à trois jours avant le semis.

L'urée a été appliquée au semis. La variété de niébé K VX 61-1 avec un potentiel de 1500 kg / ha a été semée. C'est une variété très bien adaptée à la zone nord soudanienne. Le semis du niébé a été fait suivant des écartements de 80 cm entre les lignes et 40 cm sur les lignes. Trois graines ont été semées par poquet. Un démariage a été réalisé pour ajuster le nombre de plants à deux par poquet. Deux désherbages ont été réalisés à 17 JAS et 35 JAS en 2011, 17 JAS et 40 JAS en 2012.

I.4. Prélèvement des échantillons de sol

Les échantillons ont été prélevés à 48 JAS, au moment de l'inventaire de la macrofaune du sol qui correspond à la période de formation des gousses de niébé au cours des deux années. Dans l'aire utile de chaque parcelle élémentaire, un échantillon composite a été constitué à partir de cinq (05) prélèvements élémentaires dans l'horizon 0–20 cm à l'aide d'une tarière. Les échantillons ont d'abord été séchés à l'ombre puis tamisés à l'aide d'un tamis de 2 mm.

I.5. Analyses chimiques

Les analyses chimiques ont concerné les teneurs en azote, en phosphore total et assimilable et en potassium disponible des échantillons de sol. Les analyses ont été faites au laboratoire Sol / Eau / Plante de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA, Kamboinsé).

- **L'azote total** a été déterminé après une minéralisation préalable de l'échantillon selon la méthode Kjeldahl (Hillebrand *et al.*, 1953). L'azote total est déterminé à l'auto-analyseur (SKALAR) en utilisant le nessler comme indicateur.
- **Le phosphore total** a été évalué après une minéralisation identique à celle de l'azote total. Le dosage a été fait par colorimétrie automatique au SKALAR. Le molybdate d'ammonium a été utilisé en présence d'acide ascorbique.
- **Le phosphore assimilable** a été déterminé selon la méthode Bray I (Bray et Kurtz, 1945). Cette méthode consiste à extraire à un pH= 3,5, les formes de phosphore solubles dans les acides, en grande partie celle liée au calcium et une portion liée à l'aluminium et au fer par l'acide chlorhydrique (HCl) en présence de fluorure

d'ammonium (NH₄F). Le rapport prise d'essai de sol/ solution d'extraction de 1/7 a été utilisé et le mélange est agité durant 05 minutes. Les filtrats obtenus sont alors dosés au colorimètre à 880 nm en présence d'indicateur du Phosphore (molybdate d'ammonium + acide ascorbique).

- La détermination du **potassium disponible** s'est faite selon le même procédé que celui de l'azote et du phosphore total. Mais le potassium a été déterminé au photomètre à flamme CORNING 400.

I.6. Analyses statistiques

Les données (phosphore total et assimilable, azote et potassium disponible du sol) ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA), avec le logiciel Genstat 9. La séparation des moyennes a été effectuée par le test de Student-Newman-Keuls au seuil de 5%.

L'interaction entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité sur le phosphore assimilable a été calculée en utilisant la formule utilisée par Ouédraogo *et al.* (2007) :

$$\Delta P_{ass FM} (i) = \Delta P_{ass F} + \Delta P_{ass M} (i) + \Delta P_{ass int} ; \text{Où:}$$

$\Delta P_{ass FM} (i)$ est l'effet de la macrofaune du sol et des modes de gestion de la fertilité sur le phosphore assimilable du sol

$\Delta P_{ass F}$ est la contribution absolue de la macrofaune du sol ;

$\Delta P_{ass M} (i)$ est la contribution absolue des modes de gestion de la fertilité des sols ;

$\Delta P_{ass int}$ est la contribution de l'interaction entre la macrofaune du sol et les modes de gestion de la fertilité.

$$\Delta P_{ass F} = P_{ass F T_0} - P_{ass NF T_0}$$

$$\Delta P_{ass M} (i) = P_{ass NF} (i) - P_{ass NF T_0}$$

$$\Delta P_{ass int} = (P_{ass F} (i) - P_{ass NF} (i)) - (P_{ass F T_0} - P_{ass NF T_0})$$

$P_{ass F} (i)$ est le phosphore assimilable dans la parcelle i avec macrofaune du sol;

PassNF (i) est le phosphore assimilable dans la parcelle i sans macrofaune du sol;

PassNF To est le phosphore assimilable dans le témoin sans macrofaune du sol;

et PassF To, est le phosphore assimilable dans le témoin avec macrofaune du sol.

II. RESULTAT

II.1. Effet de la macrofaune sur le phosphore total du sol

En 2011, les résultats montrent qu'en présence de la macrofaune du sol, la teneur moyenne en phosphore total (Ptotal) est 69,1 mg P. kg⁻¹ et contre 67,3 mg P. kg⁻¹ en absence de la macrofaune du sol (Tableau 5.II). En 2012, elle est de 73,6 mg P. kg⁻¹ en présence de la macrofaune du sol et 75,9 mg P. kg⁻¹ en absence de la macrofaune. L'analyse de variance n'a pas révélé d'effet significatif de la macrofaune sur le Ptotal du sol (Tableau 5.II).

Tableau 5.II : Effet de la macrofaune sur le phosphore total et assimilable du sol.

Année	Paramètres mesurés	Parcelles avec macrofaune	Parcelles sans macrofaune	CV (%)	Probabilité	Signification
Année 2011	Phosphore total (mg.kg ⁻¹)	69,1	67,3	6,5	0,675	NS
	Phosphore assimilable (mg.kg ⁻¹)	6,52	3,89	4,6	0,006	HS
Année 2012	Phosphore total (mg.kg ⁻¹)	73,6	75,9	12,7	0,799	NS
	Phosphore assimilable (mg.kg ⁻¹)	6,84	5,36	4,6	0,386	NS

CV : Coefficient de Variation ; *NS* : Non Significatif ; *HS* : Hautement Significatif.

II.2. Effet de la macrofaune sur le phosphore assimilable du sol

En 2011, la teneur en phosphore assimilable a été de 6,52 mg P. kg⁻¹ en présence de macrofaune, et de 3,89 mg P. kg⁻¹ en absence de la macrofaune du sol. La suppression de la macrofaune du sol a entraîné alors une baisse de la teneur en phosphore assimilable de 40,34%. L'analyse de variance a montré que la macrofaune a influencé significativement le phosphore assimilable du sol (Tableau 5.II).

En 2012, la teneur en phosphore assimilable a été de 6,84 mg P. kg⁻¹ en présence de la macrofaune du sol, et de 5,36 mg P. kg⁻¹ en absence de la macrofaune du sol. La suppression de la macrofaune du sol a entraîné alors une baisse de la teneur en phosphore assimilable de 21,64%. L'analyse de variance (Tableau 5.II) a montré que la macrofaune du sol n'a pas eu d'influence significative sur le phosphore assimilable du sol en 2012.

II.3. Effet des modes de gestion de la fertilité des sols sur le phosphore total et assimilable du sol

II.3.1. Effet des modes de gestion de la fertilité des sols sur le phosphore total

En 2011, la plus forte teneur en phosphore total (75,9 mg P. kg⁻¹) a été obtenue avec le mode de gestion de la fertilité à base de compost seul, suivi du témoin (70,2 mg P. kg⁻¹). La plus faible teneur a été obtenue avec le mode de gestion de la fertilité à base de tiges. Toutefois, l'analyse de variance ne révèle aucune différence significative entre la teneur en phosphore total des différents modes de gestion de la fertilité des sols (Tableau 5.III).

En 2012, la plus forte teneur en phosphore total (79,2 mg P.kg⁻¹) a été obtenue avec le mode de gestion de la fertilité à base de compost + urée, suivi du compost (76,1 mgP.kg⁻¹). La plus faible teneur a été obtenue avec le mode à base de tiges + urée. Là également, l'analyse de variance ne révèle aucune différence significative entre la teneur en phosphore total des différents modes de gestion de la fertilité des sols (Tableau 5.III).

II.3.2. Effet des modes de gestion de la fertilité des sols sur le phosphore assimilable du sol

En 2011, les teneurs en phosphore assimilable (Bray I) ont varié significativement en fonction des modes de gestion de la fertilité des sols (Tableau 5.III). La plus forte teneur en phosphore assimilable a été obtenue avec le compost seul (6,22 mg P. kg⁻¹), qui diffère de tous les autres excepté le mode de gestion de la fertilité combinant le compost et l'urée. Aucune différence n'a été révélée entre les modes de gestion qui combinent le compost ou les tiges de sorgho à l'urée. Le mode compost + urée diffère des tiges et du témoin. Par contre, celui combinant tiges + urée ne diffère pas des tiges seules et du témoin. L'apport de tiges seules et la combinaison des tiges et de l'urée ont eu un effet dépressif sur le phosphore assimilable du sol. Par contre, l'apport de compost a eu un effet positif.

En 2012, les résultats ont montré que la plus forte teneur en phosphore assimilable a été observée avec le compost seul (8,19 mg P. kg⁻¹). La plus faible teneur a été enregistrée avec le mode compost + urée (5,29 mg P. kg⁻¹). Toutefois, l'analyse de variance a révélé que les modes de gestion de la fertilité n'ont pas eu d'effet significatif sur le phosphore assimilable en 2012.

Tableau 5.III : Effet des modes de gestion de la fertilité sur le phosphore total et assimilable du sol.

Facteurs	Traitements	Année 2011		Année 2012	
		Phosphore total (mg.kg ⁻¹)	Phosphore assimilable (mg.kg ⁻¹)	Phosphore total (mg.kg ⁻¹)	Phosphore assimilable (mg.kg ⁻¹)
Modes de gestion de la fertilité du sol	Compost	75,9	6,22 ^a	76,1	8,19
	Compost + urée	64,4	5,74 ^{ab}	79,2	5,29
	Tiges + urée	68,8	4,92 ^{bc}	69,4	5,61
	Tiges	61,6	4,39 ^c	75,9	5,52
	Témoin	70,2	4,77 ^c	73,3	5,9
	Probabilité	0,46	0,003	0,701	0,345
	Signification	NS	HS	NS	NS
	CV (%)	20,4	13,9	16,1	13,9

CV : Coefficient de Variation ; *NS* : Non Significatif ; *HS* : Hautement Significatif.

II.4. Effet de l'interaction entre la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur le phosphore assimilable du sol

En 2011, les résultats ont montré que dans les parcelles non traitées aux pesticides (présence de la macrofaune du sol), les plus fortes teneurs en phosphore assimilable ont été observées avec les modes à base de compost et de compost + urée avec respectivement 7,68 mg P.kg⁻¹ et 7,3 mg P.kg⁻¹. La plus faible teneur a été observée sur le témoin avec 5,37 mg P.kg⁻¹. Ces modes de gestion de la fertilité ont respectivement augmenté la teneur en phosphore assimilable de 30% et 26% par rapport au témoin. L'ajout d'urée aux tiges a entraîné une amélioration de la teneur en phosphore assimilable. Dans les parcelles traitées aux pesticides (Figure 5.1a), une faible variation de la teneur en phosphore assimilable a été observée entre les différents modes de gestion de la fertilité des sols. La plus forte teneur (4,76 mg P.kg⁻¹) a été observée avec le mode à base de compost seul, tandis que la plus faible teneur a été observée avec les tiges (3,03 mg P.kg⁻¹). La comparaison de la teneur en phosphore assimilable pour l'année 2011, montre que la suppression de la macrofaune du sol entraîne une baisse de 22,35% (témoin) à 49,08% (tige + urée).

En 2012, les résultats ont montré que la teneur en phosphore assimilable est plus élevée sur les parcelles avec macrofaune du sol, comparativement à leurs homologues sans macrofaune du sol sauf avec les tiges appliquées seules (Figure 5.1b). La plus forte teneur en phosphore assimilable a été obtenue sur le traitement tiges + urée en présence de la macrofaune du sol, avec 14,60 mg P.kg⁻¹. La plus faible teneur a été obtenue sur le traitement tiges + urée (4,25 mg P.kg⁻¹) en absence de la macrofaune du sol. La comparaison de la teneur en phosphore assimilable pour l'année 2012, montre que la suppression de la macrofaune du sol entraîne une baisse de 26,22% (témoin) à 70,89% (tige + urée). Par contre avec les tiges, on observe une augmentation de 26,23%.

Une interaction positive entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité des sols sur le phosphore assimilable a été observée (Figure 5.2a et 5.2b) sur tous les traitements, sauf le traitement avec les tiges appliquées seules en deuxième année d'étude. Ce résultat montre la synergie entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité testés, dans l'amélioration de la teneur en phosphore assimilable du sol. En 2012 comme en 2011, la plus forte interaction a été observée avec le mode qui combine les tiges de sorgho et l'urée, avec respectivement 8,57 mg P.kg⁻¹ et 2 mg P.kg⁻¹. Il est suivi du mode qui combine compost et

l'urée, avec 1,92 mg P.kg⁻¹ en 2011 et 5,03 mg P.kg⁻¹ en 2012. La plus faible interaction a été observée avec les tiges seules (1,53 mg P.kg⁻¹). Malgré ces interactions positives observées, l'analyse de variance n'a pas révélée d'effet significatif de l'interaction entre les modes de gestion de la fertilité et la macrofaune, sur le phosphore assimilable au cours des deux années d'étude.

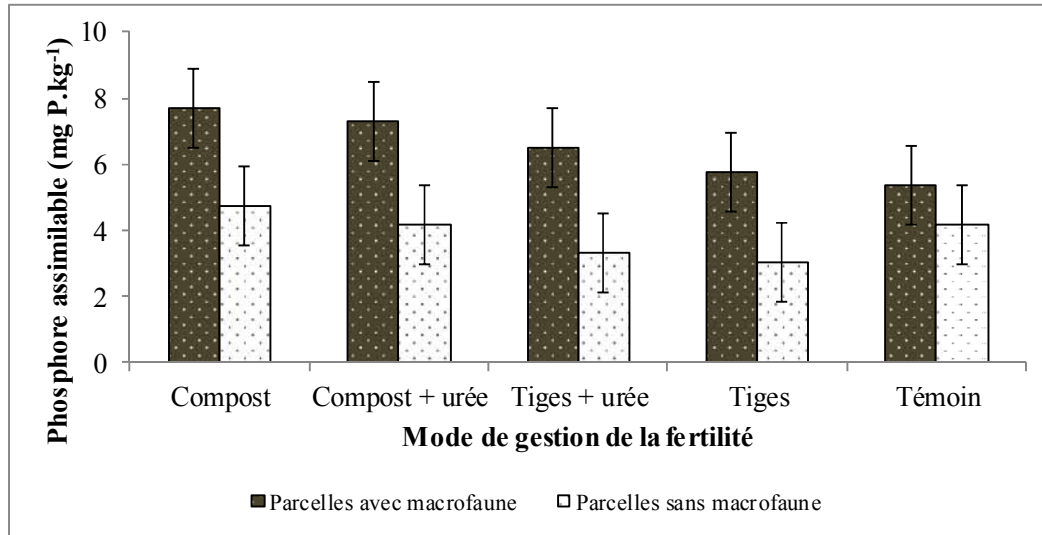


Figure 5.1a : Teneur en phosphore assimilable du sol sur les parcelles avec et sans macrofaune du sol en 2011.

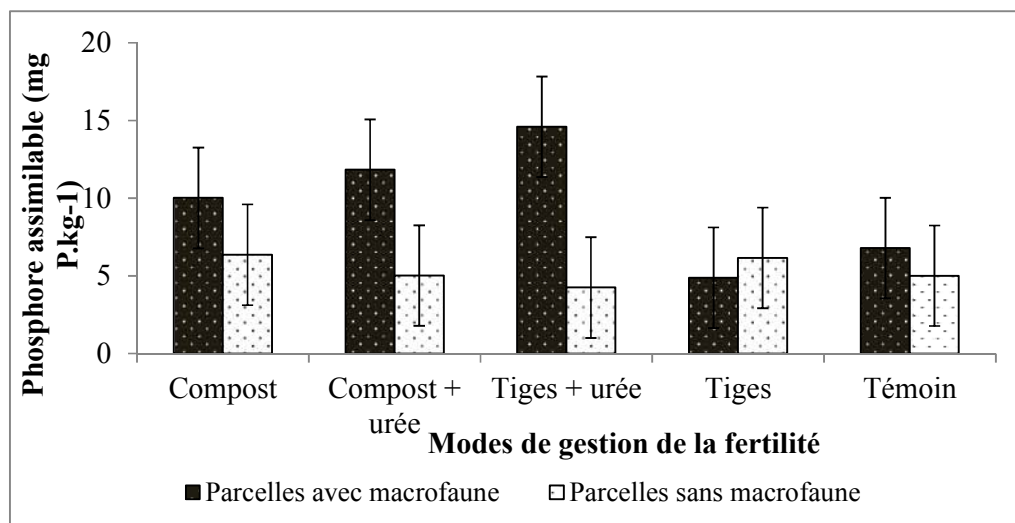


Figure 5.1b : Teneur en phosphore assimilable du sol sur les parcelles avec et sans macrofaune du sol en 2012.

Les barres représentent la plus petite différence significative comparant les modes de gestion de la fertilité

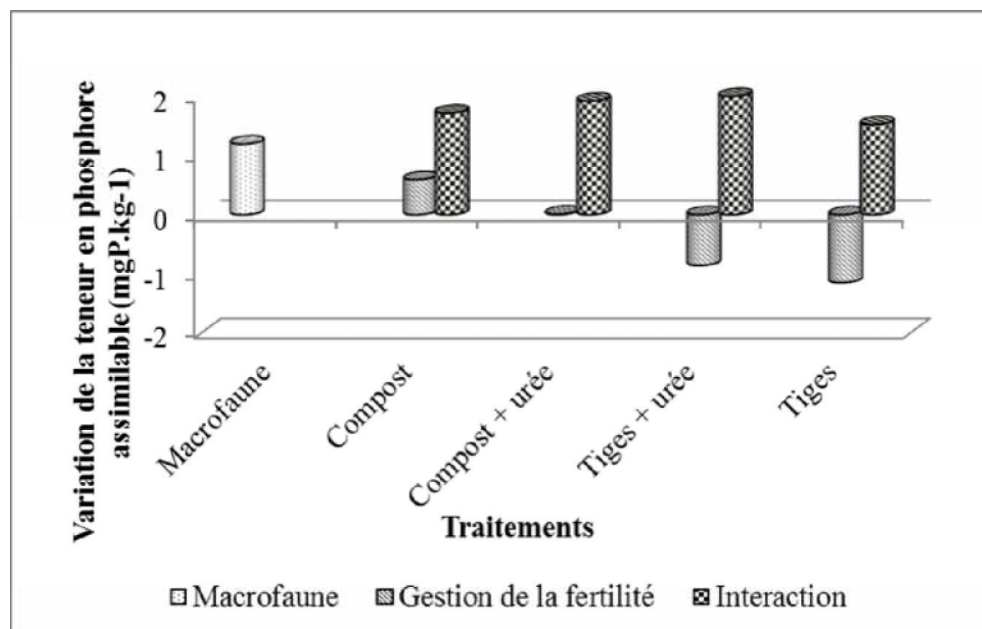


Figure 5.2a : Contribution de la macrofaune, des modes de gestion de la fertilité et de leur interaction sur le phosphore assimilable en 2011.

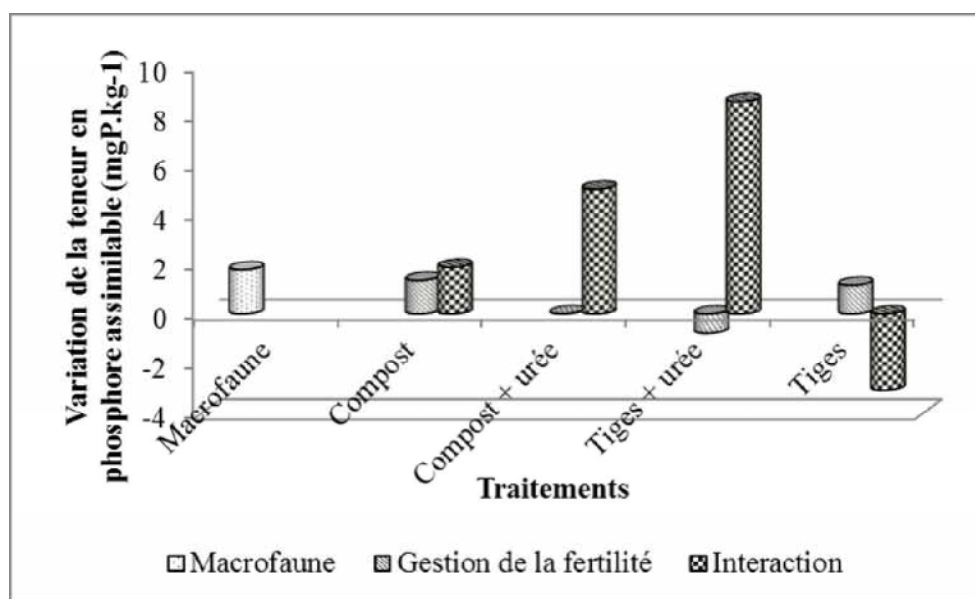


Figure 5.2b : Contribution de la macrofaune, des modes de gestion de la fertilité et de leur interaction sur le phosphore assimilable en 2012.

II.5. Effet de la macrofaune, des modes de gestion de la fertilité et de leur interaction sur l'azote du sol

Les résultats (Tableau 5.IV) montrent que la plus forte teneur du sol en azote a été obtenue en absence de la macrofaune en 2011 et en 2012 avec respectivement $0,241 \text{ g N.kg}^{-1}$ et $0,226 \text{ g N.kg}^{-1}$. La suppression de la macrofaune a induit une augmentation de la teneur en azote total de 31,69% en 2011 et 1,35% en 2012. L'analyse de variance a révélé des différences significatives entre les parcelles avec macrofaune et les parcelles sans macrofaune du sol en 2011. Par contre, en 2012, aucune différence significative n'a été révélée.

Concernant l'effet des modes de gestion de la fertilité des sols, les résultats ont montré qu'il y a une faible variation de la teneur en azote suivant les modes de gestion de la fertilité des sols. En 2011, la plus forte teneur en azote a été obtenue sur le témoin ($0,219 \text{ g N.kg}^{-1}$), et la plus faible teneur avec le compost ($0,202 \text{ g N.kg}^{-1}$). En 2012, les résultats ont montré que la plus forte teneur en azote a été obtenue avec le mode tiges + urée ($0,237 \text{ g N.kg}^{-1}$) et la plus faible teneur avec le compost ($0,205 \text{ g N.kg}^{-1}$). L'ANOVA n'a pas révélé de différence significative entre les modes de gestion de la fertilité au cours des deux années d'étude. De même, elle n'a pas révélé d'interaction significative entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité sur l'azote total du sol (Tableau 5.IV).

Tableau 5.IV : Effet de la macrofaune, des modes de gestion de la fertilité et de leur interaction sur l'azote total et le potassium disponible du sol.

Facteurs	Traitements	Azote total (g.kg ⁻¹)		Potassium disponible (mg.kg ⁻¹)	
		Année 2011	Année 2012	Année 2011	Année 2012
Macrofaune	Parcelles avec macrofaune	0,183 ^b	0,223	53,6	56,6
	Parcelles sans macrofaune	0,241 ^a	0,226	48,5	55,8
	Probabilité	0,047	0,917	0,377	0,816
	Signification	S	NS	NS	NS
	CV (%)	7,5	11,1	11	6,4
Modes de gestion de la fertilité du sol	Compost	0,202	0,205	44,4	47,4 ^b
	Compost + urée	0,211	0,236	53,4	56,2 ^{ab}
	Tiges + urée	0,213	0,237	60,3	63,4 ^a
	Tiges	0,216	0,23	49,4	69,9 ^a
	Témoin	0,219	0,214	47,8	41,4 ^b
	Probabilité	0,998	0,627	0,39	0,005
	Signification	NS	NS	NS	HS
	Coefficient de variation (%)	40,1	19	27,8	22,30
Interaction	Macrofaune*modes de gestion de la fertilité	NS (p=0,223)	NS (p=0,853)	NS (p=0,866)	NS (p=0,884)

NS : Non Significatif ; S : Significatif ; HS : Hautement Significatif ; les moyennes suivis de la même lettre dans la même colonne pour chaque facteur ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%.

II.6. Effet de la macrofaune, des modes de gestion de la fertilité et de leur interaction sur le potassium disponible du sol

Les résultats ont montré qu'en 2011 comme en 2012, la teneur en potassium disponible est plus élevée en présence de la macrofaune du sol. En effet, la teneur en potassium disponible a été de 53,6 mg.kg⁻¹ en 2011, et de 56,6 mg.kg⁻¹ en 2012. La suppression de la macrofaune a entraîné une diminution de la teneur en potassium disponible de 9,51% en 2011 et 1,41% en 2012. Toutefois, l'analyse de variance n'a pas montré un effet significatif de la macrofaune sur le potassium disponible au cours des deux années (Tableau 5.IV).

Concernant l'effet des modes de gestion de la fertilité des sols, les résultats ont montré qu'en 2011, la plus forte teneur en potassium disponible a été obtenue avec le traitement tiges + urée (60,3 mg K.kg⁻¹), suivi de compost + urée (53,4 mg K.kg⁻¹). La plus faible teneur en potassium disponible a été obtenue avec le compost. Toutefois, l'analyse de variance n'a pas révélé de différence significative entre les modes de gestion de la fertilité des sols.

Par contre en 2012, l'analyse de variance a révélé des différences significatives entre les modes de gestion de la fertilité des sols (Tableau 5.IV). Les plus fortes teneurs en potassium disponible ont été obtenues sur les modes tiges seules et tiges + urée avec respectivement 69,9 mg K.kg⁻¹ et 63, 4 mg K.kg⁻¹. Ces deux modes diffèrent significativement du témoin et du compost seul, mais ne diffèrent pas du mode de gestion compost + urée. Le mode de gestion avec le compost et le témoin ont enregistré les plus faibles teneurs en potassium, et ne diffèrent pas significativement.

Au cours des deux années, l'analyse de variance n'a pas révélé d'interaction significative entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité des sols sur le potassium disponible (Tableau 5.IV).

III. DISCUSSION

III.1. Effet de la macrofaune du sol sur le phosphore assimilable du sol

Les résultats ont montré une augmentation significative de la teneur en phosphore assimilable sur les parcelles non traitées aux pesticides (parcelles avec macrofaune), comparativement aux parcelles traitées aux pesticides (parcelles sans macrofaune). Sans apport de fertilisant, la contribution absolue de la macrofaune à la teneur en phosphore assimilable a été de 1,2 mg P.kg⁻¹ en 2011, et 1,78 mg P.kg⁻¹ en 2012. Les interactions entre les organismes dans le sol influencent la fertilité des sols (Le Bayon et Milleret, 2009). L'amélioration de la teneur en phosphore assimilable par la macrofaune, pourrait s'expliquer d'une part, par les structures biogéniques produites par la macrofaune du sol et par leur effet sur la minéralisation de la matière organique, et d'autre part, par la dispersion et la stimulation des microorganismes dans le sol par la macrofaune. En effet, une analyse comparée des turricules de vers et du sol environnant avait montré des teneurs en phosphore plus élevées dans les turricules (Ouédraogo *et al.*, 2005 ; Kuczak *et al.*, 2006 ; Bhadauria et Saxena, 2010). Ce même constat a été fait par Chapuis-Lardy *et al.* (2009). Ouédraogo (2004) avait montré que les turricules pouvaient apporter au sol 16 Kg.ha⁻¹ de phosphore. Selon plusieurs auteurs cités par Kuczak *et al.* (2006), l'augmentation de la teneur en phosphore assimilable dans les turricules s'expliquerait par : (i) le pH élevé dans le tube digestif des vers de terre (Barois et Lavelle, 1986), (ii) la sécrétion de mucus riche en composés glucidiques qui contiennent des groupes carboxyle. Ces groupes carboxyles peuvent bloquer les lieux de fixation des orthophosphates, entraînant de ce fait une augmentation de la teneur en phosphore soluble (Lopez-Hernandez *et al.*, 1993), et (iii) l'augmentation de l'activité biologique (Lopez-Hernandez *et al.*, 1993). En outre, la macrofaune du sol régule l'activité et l'abondance des microorganismes, la transformation et le recyclage de la matière organique et des nutriments. Une augmentation de la biomasse des bactéries a été observée par Kumari et Sinha (2012) suite à l'ingestion d'un sol par les vers de terre. Selon Marhan (2004), la digestion de la litière par les vers de terre entraîne une augmentation de la biomasse et du nombre des champignons. Cette stimulation de l'activité des microorganismes par la macrofaune améliore la disponibilité du phosphore. Ainsi, les microorganismes interviennent dans la disponibilité du phosphore à travers l'accumulation et le turnover du phosphore de la biomasse microbienne, la minéralisation du phosphore organique et la solubilisation du phosphore inorganique

(Richardson et Simpson, 2011). Aussi, l'activité des termites entraîne-t-elle un enrichissement du sol en éléments nutritifs notamment en phosphore. Cette amélioration de la teneur en phosphore est liée à la remontée d'éléments fins, à la collecte et à la minéralisation de débris végétaux (López-Hernández *et al.*, 2006) et l'amélioration de la teneur en matière organique.

III.2. Effet des modes de gestion de la fertilité sur le phosphore assimilable du sol

Les modes de gestion de la fertilité ont eu un impact hautement significatif sur le phosphore assimilable du sol. Les plus fortes teneurs ont été observées avec le compost seul ou combiné à l'urée. Le compost seul a augmenté le phosphore assimilable de 23% à 28% par rapport au témoin. Ces résultats corroborent ceux de Soma (2010) qui ont révélé que contrairement aux pailles, l'apport de compost augmentait de façon significative la disponibilité du phosphore dans le sol. L'effet du compost sur le phosphore assimilable peut s'expliquer par le fait que le compost contient du phosphore minéral (Traoré *et al.*, 2001) qui augmente la teneur en phosphore assimilable à court terme, et du phosphore organique qui augmente les teneurs en phosphore assimilable après minéralisation par les microorganismes. Par contre, la minéralisation des tiges ayant un rapport C/N élevé a sans doute été faible ; aussi, la teneur en phosphore soluble dans les tiges est faible, d'où les effets non significatifs sur le phosphore assimilable du sol. Le calcul de la contribution absolue des modes de gestion de la fertilité confirme ces résultats. En effet, l'apport de compost contribue positivement au phosphore assimilable du sol, alors que l'apport de tiges de sorgho a un effet négatif. Palm *et al.* (1997) indiquaient que l'apport de matière organique de bonne qualité réduisait la sorption du phosphore augmentant de ce fait la disponibilité du phosphore, alors que l'apport de matière organique de faible qualité n'améliore pas la disponibilité du phosphore. L'ajout d'urée aux tiges qui contribue à la minéralisation de la matière, réduit l'effet négatif de l'enfouissement des tiges.

III.3. Effet de l'interaction entre les modes de gestion de la fertilité et la macrofaune sur le phosphore assimilable du sol

Une interaction positive entre les modes de gestion de la fertilité et la macrofaune sur le phosphore, a été observée. Ce résultat montre la synergie entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité des sols dans l'amélioration de la teneur en phosphore assimilable du

sol. En effet, du fait de leur association par coprophagie, la faune augmente le potentiel enzymatique du sol (Bachelier, 1978), favorable à l'amélioration de la teneur en phosphore assimilable du sol. La plus forte interaction avec les tiges en présence d'urée révèle l'importance et le rôle de la macrofaune et l'urée dans la décomposition et la minéralisation de substrats organiques à rapport C/N élevé (Ouedraogo *et al.*, 2004). L'apport d'urée permet de prévenir l'immobilisation de l'azote et de stimuler l'activité des microorganismes qui contribuent à la minéralisation de la matière organique.

III.4. Effet de la macrofaune, des modes de gestion de la fertilité et de leur interaction sur l'azote total du sol

Les teneurs en azote total déterminées 48 jours après semis n'ont pas varié significativement en fonction des modes de gestion de la fertilité des sols. Ce résultat montre que ces modes ne permettent pas d'améliorer la teneur en azote à court terme.

Les résultats ont montré qu'en 2011, la macrofaune a eu une influence significative sur l'azote total du sol. Par contre, en 2012, aucune différence significative n'a été révélée concernant l'impact de la macrofaune sur l'azote total du sol. Toutefois, la teneur en azote du sol est plus élevée en absence de macrofaune du sol. La présence de la macrofaune est donc un déterminant de la minéralisation de l'azote. En effet, Araujo *et al.* (2004) ont montré que l'activité de la macrofaune notamment des vers de terre, augmente la teneur en azote minéral du sol. Les observations similaires ont été rapportées par Blouin *et al.* (2013). Par ailleurs, Ouedraogo *et al.* (2014a) ont observé une amélioration du rendement en présence de la macrofaune du sol (Chapitre 6); ce qui pourrait se traduire par une exportation plus importante d'azote par les cultures. Ce qui pourrait expliquer la faible teneur en azote total mesurée en présence de la macrofaune du sol.

III.5. Effet de la macrofaune, des modes de gestion de la fertilité et de leur interaction sur le potassium disponible du sol

La macrofaune n'a pas eu d'effet significatif sur le potassium disponible au cours des deux années d'études. Ces résultats sont en accord avec ceux de Basker *et al.* (1992), qui avaient montré que l'activité des vers de terre n'entraînait pas une augmentation de la teneur du potassium extrait à l'acide nitrique.

Les modes de gestion de la fertilité ont quant à eux influencé significativement la teneur en potassium disponible en 2012. Les plus fortes teneurs en potassium disponible ont été obtenues sur les parcelles ayant reçu les tiges de sorgho. Les analyses chimiques des substrats organiques avaient montré que les tiges de sorgho sont plus riches en potassium que le compost. Ainsi, l'apport de tiges a permis d'augmenter la teneur en potassium disponible du sol. Ces résultats corroborent ceux de Liu *et al.* (2010), qui avaient montré à travers une expérimentation à long-terme que, l'apport de tiges ou de fumier améliorait la teneur en potassium disponible du sol. Les travaux de Kaur et Benipal (2006) ont aussi révélé une amélioration plus importante de la teneur en potassium disponible des sols amendés avec l'aide de tiges de riz par rapport au compost.

CONCLUSION PARTIELLE

La macrofaune du sol joue au sein de l'écosystème des rôles essentiels pour le maintien de la qualité des sols. Les résultats montrent que la présence de la macrofaune du sol a augmenté la teneur en phosphore assimilable du sol sans augmenter de façon significative la teneur en phosphore total. Concernant les modes de gestion de la fertilité des sols, l'apport de compost seul ou combiné à l'urée améliore la disponibilité du phosphore. Une interaction positive entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité des sols a été mise en évidence. L'interaction a été plus forte avec le mode combinant les tiges de sorgho et l'urée, révélant ainsi l'importance de la macrofaune dominée par les termites dans la minéralisation de la matière organique à rapport C/N élevé. La macrofaune et les modes de gestion de la fertilité n'ont pas influencé significativement la teneur en azote total du sol. Quant au potassium disponible, l'apport de tiges de sorgho permet d'augmenter sa teneur dans le sol. La préservation de la diversité de la macrofaune du sol est alors une clé pour une gestion durable des sols pauvres en phosphore.

CHAPITRE 6 : EFFET DE LA MACROFAUNE ET DES MODES DE GESTION DE LA FERTILITE SUR LES FRACTIONS ET L'INDICE DE GESTION DU CARBONE D'UN LIXISOL EN ZONE SEMI-ARIDE

RESUME

Le carbone du sol est un indicateur de la durabilité des systèmes de production agricole. Une étude a été conduite pour évaluer les effets de l'interaction entre la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité des sols sur les teneurs en carbone des fractions granulométriques et l'indice de gestion du carbone d'un lixisol en zone semi-aride du Burkina Faso. Pour ce faire, un dispositif expérimental en split-plot à trois répétitions comprenant deux traitements principaux (parcelles avec et sans macrofaune) et quatre (04) modes de gestion de la fertilité qui sont (compost, compost + urée, tiges + urée et témoin) a été mis en place. Les particules organo-minérales ont été isolées par tamisage sous eau, et leur teneur en carbone total par la méthode de Walkley-Black. Les résultats montrent que la macrofaune, les modes de gestion de la fertilité et leur interaction n'ont pas d'effet significatif sur le carbone total et l'indice de gestion du carbone. Toutefois, l'usage combiné des tiges et de l'urée a donné la plus forte teneur en carbone et l'indice de gestion du carbone, le plus élevé. Aussi, la présence de la macrofaune a donc été favorable à l'amélioration de l'indice de gestion du carbone. Dans le contexte du changement climatique, une préservation de la macrofaune par un usage raisonné des pesticides chimiques de synthèse et/ou une utilisation des pesticides naturels, et un apport de matière organique pourraient améliorer à long terme, la séquestration du carbone et assurer la durabilité des systèmes de production agricole.

Mots clés : macrofaune, indice de gestion du carbone, fertilité des sols, Burkina Faso.

INTRODUCTION

La dégradation des sols est une réalité, en particulier en Afrique Subsaharienne (Bai *et al.*, 2008). Elle est particulièrement plus accentuée en raison des caractéristiques inhérentes des sols, des conditions climatiques hostiles et de la pratique d'une agriculture minière (Bationo *et al.*, 2007 ; Mafongoya *et al.*, 2006 ; Powlson *et al.*, 2011). Cette dégradation des sols entraîne une baisse de la fertilité du sol et notamment de sa teneur en matière organique. Or, le carbone du sol est à la fois une source et un réservoir de nutriments, et joue un rôle vital dans le maintien de la fertilité des sols (Bationo *et al.*, 2007). Un appauvrissement du sol en matière organique réduit donc les rendements et l'efficacité d'utilisation des intrants (Lal, 2011). Les stratégies de gestion de la fertilité favorisant l'augmentation ou le maintien des teneurs en carbone du sol, doivent alors être adoptées. En effet, parmi les nombreuses options, celle basée sur l'amélioration de la qualité des sols et la productivité agronomique par unité de surface grâce à l'amélioration de la teneur en carbone organique dans le sol, présente de nombreux avantages (Lal, 2006). En outre, le stockage du carbone dans le sol est considéré comme une mesure d'atténuation du changement climatique. Les apports organiques peuvent réduire de manière significative la dégradation des sols, en particulier, améliorer la rétention des nutriments et la structure du sol (Moebius-Clune *et al.*, 2011). Ainsi, plusieurs modes de gestion de la fertilité incluant l'usage de la matière organique de diverses qualités, des engrais associés ou non à l'utilisation de mesures de conservation des eaux et des sols, ont été adoptés (Zougmore, 2003 ; Ouédraogo, 2004 ; Bationo *et al.*, 2012). La matière organique du sol est un élément déterminant de l'activité biologique du sol. Par ailleurs, la macrofaune du sol est un élément clé de plusieurs processus dans le sol notamment la dynamique de la matière. Cependant, l'usage des pesticides réduit fortement la diversité et l'abondance de la macrofaune du sol (Van Straalen et Van Rijn, 1998 ; Nonguierma, 2006 ; Rashmi *et al.*, 2009). Selon Ruiz *et al.* (2008), l'utilisation croissante des pesticides a bouleversé l'équilibre de la vie des sols, alors que la présence d'une faune diversifiée dans le sol est essentielle pour le maintien de sa fertilité.

Les fertilisants, la macrofaune du sol ainsi que leur interaction pourraient influencer le stock de carbone dans le sol. Toutefois, les changements dans le stock de carbone du sol à la suite de pratiques de gestion sont difficiles à quantifier (Lou *et al.*, 2011). L'indice de gestion du Carbone (CMI) a été largement utilisé comme un indicateur sensible de la variation du carbone organique du sol en réponse aux changements de gestion des sols (Blair *et al.*, 1995 ;

Vieira *et al.*, 2007 ; De Bona *et al.*, 2008 ; Sodhi *et al.*, 2009 ; Lou *et al.*, 2011 ; Xu *et al.*, 2011). Ainsi, cet indice a été utilisé pour déterminer l'impact des modes de gestion de la fertilité et de la macrofaune sur le carbone du sol.

Cette étude vise donc à appréhender l'impact de la macrofaune, des modes de gestion de la fertilité du sol incluant l'usage de matière organique de qualité contrastée, de l'urée et leur l'interaction, sur les teneurs en carbone des fractions granulométriques et l'indice de gestion du carbone du sol.

I. MATERIEL ET METHODES

I.1. Description du site

Le dispositif expérimental a été installé au cours de la campagne agricole 2011/2012 sur un sol ferrugineux tropical lessivé profond (CPCS, 1967 ; Lixisol (WRB, 2006)) en jachère depuis une quinzaine d'année, en zone nord soudanienne du Burkina Faso (12° 08' 02'' de latitude Nord et 1° 24' 54'' de longitude Ouest). Les caractéristiques physico-chimiques de l'horizon 0-20 cm montrent qu'il s'agit d'un sol à texture limono – sableuse en surface (12% d'argiles, 24% de limons et 65% de sables), acide (pH-eau = 6,16) et pauvre en matière organique (0,97%). La teneur en phosphore assimilable du sol était de 1,3 mg P. kg⁻¹. La saison des pluies couvre les mois de juin à septembre avec une pluviosité moyenne annuelle de 749 mm pour les dix dernières années (2003 – 2012). Les détails sur le site d'étude ont été donnés dans le chapitre 2.

I.2. Dispositif expérimental

L'étude a été conduite au cours de deux campagnes successives en 2011/2012 et 2012/2013 dans un dispositif expérimental en split-plot à trois répétitions. Le dispositif comprend deux (02) traitements principaux (parcelles avec macrofaune et parcelles sans macrofaune), trois (03) traitements secondaires qui sont les différents modes de gestion de la fertilité du sol et un témoin. Les traitements secondaires sont : compost (enfouissement de 4 t MS / ha de compost) ; compost + urée (enfouissement de 4 t MS / ha de compost + de l'urée à la dose de 30 kg N / ha) ; tiges + urée (enfouissement de 4 t MS / ha de tiges de sorgho + de l'urée à la dose de 30 kg N / ha) et le témoin. Les parcelles élémentaires ont une superficie de 25 m² (5 m x 5 m). Une allée principale de 3 m sépare deux blocs consécutifs. Dans chaque

bloc, les traitements principaux sont séparés par des allées secondaires de 2 m, et les traitements secondaires par des allées de 1 m.

Le compost a été produit à l'aide de litière et de tiges de maïs par la technique du compostage aérobie en fosse avec un retournement périodique de 15 jours pendant 3 mois. Les tiges de sorgho sont issues pour chaque campagne agricole, de la campagne précédente. Le tableau 6.I présente les caractéristiques chimiques des substrats organiques utilisés.

Tableau 6.I : Caractéristiques chimiques des tiges et du compost.

Paramètres mesurés	Compost	Tiges	Compost	Tiges
	2011		2012	
Carbone (g kg ⁻¹)	108,2 ± 6,0	553,2 ± 15,2	118,0 ± 4	661,2 ± 6
Azote total (g kg ⁻¹)	5,33 ± 1,1	2,0 ± 0,5	5,1 ± 0,1	2,3 ± 0,2
C/N	20,3	276,6	23,14	287,48
Phosphore total (g kg ⁻¹ P ₂ O ₅)	39,4 ± 3,2	1,4 ± 0,9	3,97 ± 0,1	1,2 ± 0,1
Potassium total (g kg ⁻¹ K ₂ O)	32,3 ± 2,1	66,6 ± 3,0	3,22 ± 0,12	68,2 ± 2,4
pH-eau	7,2 ± 0,0		7,3 ± 0,1	

La destruction de la macrofaune a été réalisée par application au sol de pesticides chimiques de synthèse : le Chlorpyrifos-éthyl, (DADYRSBAN 4 E) à la dose de 240 g.ha⁻¹, et le friponil (HERCULES 50 SC) à la dose de 0,125 g.ha⁻¹ ont été appliqués au semis, à 18 JAS, 32 JAS et à 55 JAS en 2011 et au semis, 16 JAS et 42 JAS en 2012. Pour ce faire, un mélange contenant 2,5 ml des pesticides HERCULES 50 SC et DADYRSBAN 4 E a alors été dilué dans 15 litres d'eau, puis appliqué sur chaque parcelle élémentaire à l'aide d'un pulvérisateur à dos et à pression soutenue.

I.3. Echantillonnage de sol

Le prélèvement des échantillons de sols a été fait 48 Jours Après Semis (JAS) en 2011 et en 2012, au moment de la floraison du niébé. Un échantillon composite a été constitué à partir de cinq (05) prélèvements élémentaires dans l'horizon 0-20 cm en cinq endroits différents dans l'aire utile de chaque parcelle élémentaire. Ces échantillons ont été séchés à l'ombre puis tamisés à 2 mm.

I.4. Analyse de sol

Le fractionnement granulométrique de la matière organique a concerné les échantillons de l'année 2012 et aussi, les échantillons de la parcelle témoin en présence de la macrofaune de l'année 2011, utilisés comme sol de référence pour le calcul de l'indice de gestion du carbone. La méthode de fractionnement utilisée dérive de celle de Feller (1979), adaptée par Sedogo *et al.* (1994). Le fractionnement granulométrique a consisté à agiter à l'aide d'un agitateur va et vient pendant deux heures, 50 g de sol dans 150 ml d'eau distillée, en présence de trois billes de verre de 1,5 cm de diamètre. La suspension ainsi obtenue a été répartie, par tamisage sous l'eau, successivement en trois fractions granulométriques (2 mm – 200 µm, 200 µm – 50 µm et <50 µm). Les trois fractions sont recueillies dans des récipients et sont séchées jusqu'à l'obtention d'un poids constant à l'étuve à 60°C. Après séchage des échantillons, la masse de sol des différentes fractions a été mesurée.

La teneur en carbone a été déterminée dans les trois fractions suivant la méthode Walkley–Black (Walkley et Black, 1934). C'est une méthode par voie humide qui consiste en une oxydation à froid de l'échantillon du sol par une solution de bichromate de potassium en présence d'acide sulfurique. L'excès de bichromate est dosé en retour avec une solution standard de Fe²⁺ dans du sulfate d'ammonium ferreux, et mesuré au spectrophotomètre à 650 nm.

I.5. Analyses de données

Le calcul de l'indice de gestion du carbone pour l'année 2012 a été fait suivant la méthode Blair *et al.* (1995). La parcelle Témoin en présence de macrofaune de l'année 2011 a été utilisée comme sol de référence pour évaluer l'effet des modes de gestion de la fertilité et de la macrofaune sur le carbone du sol.

$$CMI = CPI \times LI \times 100$$

Où CMI est l'indice de gestion du carbone ;

$$CPI \text{ est l'indice de pool de carbone avec } CPI = \frac{\text{Carbone total du traitement}}{\text{Carbone total du témoin avec macrofaune}}$$

$$LI \text{ est l'indice de labilité du carbone avec } LI = \frac{\text{Labilité du carbone du traitement}}{\text{Labilité du carbone du témoin avec macrofaune}}$$

Et labilité du carbone (L) : $L = \frac{\text{Carbone total des fractions } 2\text{mm} - 50\mu\text{m}}{\text{Carbone total de la fraction } <50\mu\text{m}}$

Les teneurs en carbone organique du sol, des différentes fractions, et les valeurs de l'indice de gestion du carbone ont été soumis à une analyse de variance (ANOVA), avec le logiciel Genstat version 9. La séparation des moyennes a été effectuée par le test de Student-Newman et Keuls à 5%.

II. RESULTATS ET DISCUSSION

II.1. Résultats

II.1.1. Bilans en masse, en carbone total

Les bilans permettent d'apprécier la qualité du fractionnement. La masse et les contenus en carbone total du sol fractionné sont comparés à ceux du sol non fractionné. Pour le sol fractionné, les teneurs en carbone total et le poids sont la somme de ceux des différentes fractions. Ces comparaisons permettent une appréciation de la qualité du fractionnement. Les résultats montrent que le bilan en masse varie entre 98,63% et 99,03%, (Tableau 6.III). Pour le carbone total (Tableau 6.II), le bilan a varié entre 78,25% et 95,15%.

Tableau 6.II : Taux de récupération du carbone total après le fractionnement granulométrique.

Macrofaune	Mode de gestion de la fertilité	Carbone total du sol fractionné (%)	Carbone total du sol non fractionné (%)	Bilan de carbone total (%)
Avec macrofaune	Compost	4,99	5,37	93,01
	Compost + Urée	4,71	5,12	91,99
	Tiges + Urée	5,65	6,02	93,85
	Témoin	3,29	3,6	91,39
Sans macrofaune	Compost	4,03	4,23	95,15
	Compost + Urée	3,19	3,8	84,06
	Tiges + Urée	3,13	4	78,25
	Témoin	4,13	4,75	86,93

Tableau 6.III : Bilan en masse du fractionnement granulométrique (g/50 g de sol).

Macrofaune	Mode de gestion de la fertilité	Masse des fractions (g/50g de sol)			Sol fractionné (g/50g de sol)	Sol non fractionné (g)	Taux de récupération (%)
		2 mm - 200 µm	200 µm-50µm	<50 µm			
Avec macrofaune	Compost	22,01	12,03	15,32	49,35	50	98,70
	Compost + Urée	21,72	11,80	15,83	49,35	50	98,69
	Tiges + Urée	18,28	11,34	19,70	49,32	50	98,63
	Témoin	23,77	12,15	13,41	49,32	50	98,64
Sans macrofaune	Compost	22,71	13,59	13,13	49,43	50	98,85
	Compost + Urée	22,97	12,00	14,52	49,49	50	98,97
	Tiges + Urée	23,62	12,98	12,93	49,52	50	99,03
	Témoin	20,51	12,66	16,32	49,49	50	98,98

II.1.2. Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur le carbone total

Les résultats (Tableau 6.IV) montrent qu'en 2011, la plus forte teneur en carbone du sol en présence de la macrofaune a été observée avec les tiges + urée (7,1 g.kg⁻¹). Le Témoin a enregistré la plus faible teneur (3,55 g.kg⁻¹). Comparés au témoin, une augmentation de la teneur en carbone du sol a été observée avec tous les modes de gestion de la fertilité. Cette augmentation a varié de 17% avec le compost, à 100% avec les tiges + urée. En absence de la macrofaune du sol, la teneur en carbone du sol a varié de 2,73 g.kg⁻¹ sur le témoin, à 2,94 g.kg⁻¹ avec le compost. En supprimant la macrofaune, les modes de gestion de la fertilité ont un faible impact sur le carbone du sol. L'analyse de variance ne révèle pas de différence significative entre les modes de gestion de la fertilité au seuil de 5%.

La comparaison des parcelles avec et sans macrofaune du sol montre que la teneur en carbone total du sol est plus élevée pour tous les modes de gestion de la fertilité en présence de la macrofaune du sol (Tableau 6.IV). La présence de la macrofaune a entraîné une augmentation de la teneur en carbone total de 30% (parcelle Témoin) à 147% (parcelle avec les Tiges + Urée) par rapport aux parcelles sans macrofaune du sol.

Tableau 6.IV : Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur le carbone total du sol (g.kg⁻¹).

Mode de gestion de la fertilité	Carbone total du sol (g.kg ⁻¹) Année 2011		Carbone total du sol (g.kg ⁻¹) Année 2012	
	Avec macrofaune	Sans macrofaune	Avec macrofaune	Sans macrofaune
	Compost	4,15	2,94	4,99
Compost + Urée	4,38	2,62	4,71	3,19
Tiges + Urée	7,1	2,88	5,65	3,13
Témoin	3,55	2,73	3,29	4,12
Probabilité	0,53		0,25	
Coefficient de Variation (%)	24,6		11,4	
Signification	NS		NS	

NS : Non Significatif.

En 2012, les résultats (Tableau 6.IV) montrent que la plus forte teneur en carbone total du sol a été observée avec les tiges + urée (5,65 g.kg⁻¹), suivi du compost (4,99 g.kg⁻¹). La plus faible teneur en carbone total (3,29 g.kg⁻¹) a été observée avec le témoin. Tous

les modes de gestion de la fertilité ont augmenté la teneur en carbone du sol par rapport au témoin. Cette augmentation est de l'ordre de 43% avec le compost + urée, 52% avec le compost et 72% avec les tiges + urée. En absence de la macrofaune, c'est avec le témoin que l'on obtient la plus forte teneur en carbone (4,12 g.kg⁻¹), suivi du compost (4,02 g.kg⁻¹). La plus faible teneur a été observée avec les tiges + urée (3,13 g.kg⁻¹). L'analyse de variance ne révèle pas de différence significative entre les modes de gestion de la fertilité au seuil de 5%.

En présence de la macrofaune, tous les modes de gestion de la fertilité ont enregistré des teneurs en carbone supérieures à celles de leurs homologues en absence de la macrofaune du sol sauf le témoin (Tableau 6.IV). La présence de la macrofaune a augmenté de 24%, la teneur en carbone avec le compost, de 48% avec le compost + urée et de 81% avec les tiges + urée. Par contre, sur le témoin, une baisse de 20% de la teneur en carbone total a été observée.

II.1.3. Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur la teneur en carbone des différentes fractions

II.1.3.1. Fraction grossière (2 mm–200 µm)

Le fractionnement a concerné les échantillons de l'année 2012. Les résultats (Tableau 6.V) montrent que la plus forte teneur en carbone a été observée avec le compost + urée (0,79 g.kg⁻¹). Ce traitement est suivi de compost (0,71 g.kg⁻¹), en présence de la macrofaune du sol. L'ajout d'urée a augmenté le carbone total de la fraction grossière. En absence de la macrofaune du sol, la plus forte teneur a été observée avec les tiges + urée (0,55 g.kg⁻¹). La comparaison des parcelles avec et sans macrofaune montre que la présence de la macrofaune a entraîné sur tous les modes de gestion de la fertilité, une augmentation de la teneur en carbone. Cette augmentation a varié de 25% (parcelle témoin) à 55% (parcelle avec compost + urée). Toutefois, l'analyse de variance n'a pas révélé de différence significative entre les modes de gestion de la fertilité

II.1.3.2. Fraction intermédiaire (200 µm–50 µm)

Les résultats (Tableau 6.V) montrent qu'en présence de la macrofaune, la plus forte teneur en carbone a été observée avec les tiges + urée (0,59 g.kg⁻¹). Ce traitement est suivi

du compost (0,44g.kg⁻¹). La plus faible teneur en carbone total (0,26 g.kg⁻¹) a été obtenue avec le témoin. L'ajout d'urée au compost a entraîné une baisse de la teneur en carbone total de la fraction intermédiaire. En absence de la macrofaune, la plus forte teneur en carbone total a été obtenue avec les tiges + urée (0,37 g.kg⁻¹). La présence de la macrofaune a entraîné une augmentation de la teneur en carbone du sol avec tous les modes de gestion de la fertilité du sol, exception faite du témoin. En effet, le carbone total a augmenté de 30% avec le compost + urée à 59% avec les tiges + urée. Par contre, la présence de la macrofaune dans la parcelle Témoin a entraîné une baisse de 26% du carbone total.

Tableau 6.V : Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur les teneurs en carbone total des fractions du sol (g.kg⁻¹).

Modes de gestion de la fertilité	Macrofaune	F1	F2	F3
Compost	AM	0,71	0,44	3,84
	SM	0,46	0,33	3,24
Compost + Urée	AM	0,79	0,39	3,54
	SM	0,51	0,3	2,37
Tiges + Urée	AM	0,69	0,59	4,37
	SM	0,55	0,37	2,21
Témoin	AM	0,53	0,26	2,5
	SM	0,42	0,35	3,35
Probabilité		0,55	0,36	0,26
Coefficient de Variation (%)		17	23,4	24,1
Signification		NS	NS	NS

AM : Avec Macrofaune ; SM : Sans Macrofaune ; F1 : Fraction 2 mm–200 µm ; F2 : Fraction 200 µm–50µm ; F3 : Fraction < 50 µm ; NS : Non Significatif.

II.1.3.3. Fraction fine (<50 µm)

Les résultats (Tableau 6.V), montrent que la plus forte teneur en carbone total a été obtenue avec les tiges + urée (4,37 g.kg⁻¹). Ce traitement est suivi de compost (3,84 g.kg⁻¹). La plus faible teneur a été obtenue avec le témoin (2,5 g.kg⁻¹). Les tiges + urée ont augmenté le carbone total de 75% par rapport au Témoin. Le compost et le compost + urée ont respectivement augmenté le carbone total de 54% et de 42%. La combinaison du compost à l'urée a baissé la teneur en carbone total par rapport au compost seul dans la fraction fine. En absence de la macrofaune du sol, la plus forte teneur en carbone du sol est obtenue avec le témoin (3,35 g.kg⁻¹). Ce traitement est suivi du compost (3,24 g.kg⁻¹).

L'analyse de variance n'a pas révélé de différence significative entre les modes de gestion de la fertilité des sols.

A l'exception de la parcelle témoin, la présence de la macrofaune du sol a entraîné une augmentation de la teneur en carbone du sol avec tous les modes de gestion de la fertilité. En effet, des augmentations de 19%, 49% et 98% ont respectivement été observées avec le Compost, le compost + urée et les tiges + urée. Sur le témoin, une baisse de 25% a plutôt été observée en présence de la macrofaune du sol.

II.1.4. Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur l'indice de gestion du carbone

L'indice de gestion du carbone a été calculé à la deuxième année après la mise en culture d'une jachère d'une quinzaine d'année.

Les résultats montrent qu'en présence de la macrofaune, tous les modes de gestion de la fertilité ont amélioré l'indice de gestion du carbone par rapport au témoin (Figure 6.1). En effet, l'indice de gestion du carbone le plus élevé a été observé avec les tiges + urée (145,9), suivi du compost (137,5). En absence de la macrofaune du sol, l'indice de gestion du carbone (Figure 1), le plus élevé a été observé avec les Tiges + Urée (114), suivi de Compost + Urée (95,5). Le plus faible indice de gestion du carbone a été observé avec le Témoin. Toutefois, l'analyse de variance n'a pas révélé de différence significative entre les modes de gestion de la fertilité des sols.

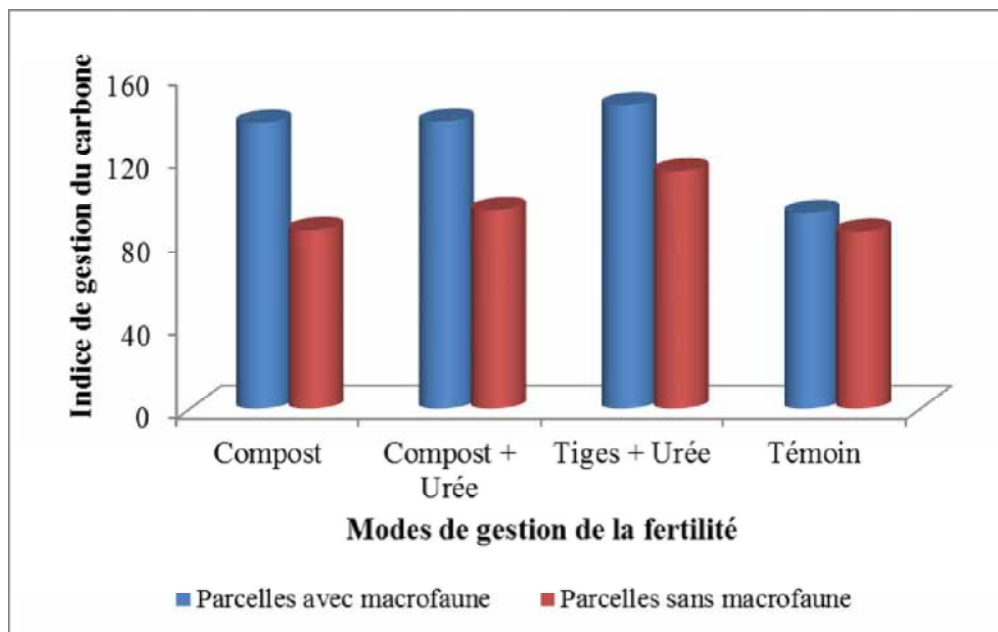


Figure 6.1 : Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur l'indice de gestion du carbone.

En comparant les parcelles avec macrofaune aux parcelles sans macrofaune (Figure 6.1), on note que l'indice de gestion du carbone est plus élevé en présence de la macrofaune du sol. La présence de la macrofaune a entraîné une augmentation de l'indice de gestion du carbone de 10%, 28%, 45% et 60% respectivement avec le témoin, les tiges + urée, le compost + urée et le compost.

II.2. Discussion

II.2.1. Bilans en masse, en carbone total

Les résultats ont montré que les pertes en masse de sol et en carbone total sont relativement faibles. Les pertes en carbone seraient dues à l'exportation des composés hydrosolubles (de 5 à 10% du stock total de matière organique) au cours des tamisages successifs sous eau et des centrifugations (Nacro *et al.*, 1996 ; Segda, 2006).

II.2.2. Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur le carbone total

Les résultats montrent que les sols sont pauvres en carbone organique (moins de 1% de carbone). Les modes de gestion de la fertilité ainsi que la macrofaune n'ont pas eu d'impact significatif sur le carbone du sol. Ces résultats sont en accord avec ceux de Ouédraogo *et al.* (2006) et Xu *et al.* (2011), qui avaient montré que l'incorporation de tiges au sol n'entraînait pas une augmentation significative de la teneur en carbone à court terme. Ils peuvent s'expliquer par la minéralisation rapide de la matière organique du fait de l'action dépressive des microorganismes après enfouissement des matières organiques à C/N élevé en zone tropicale notamment dans les sols à texture grossière (Nacro *et al.*, 1996), entraînant par conséquent un faible stockage du carbone dans le sol.

La suppression de la macrofaune a entraîné une baisse du carbone total. Selon Corsi *et al.* (2012), la macrofaune du sol est un important régulateur de la décomposition et de la dynamique de la matière organique. La macrofaune facilite la décomposition et l'humification (Wolters, 2000 ; Corsi *et al.*, 2012), et participe à la bioturbation. Hedde (2010) a montré que l'augmentation de la diversité spécifique des vers de terre stabilise la minéralisation du carbone et augmente la stabilité structurale et la teneur en matière organique des agrégats. Il explique l'augmentation de la teneur en matière organique des agrégats par l'augmentation de la protection physique de la matière organique dans des agrégats stables. En effet, sans macrofaune, le carbone apporté est exposé et pourrait être totalement minéralisé ; par contre en présence de macrofaune, une partie plus ou moins importante du carbone est séquestrée soit dans les turricules par les vers de terre, soit dans les structures construites par les termites. Ce carbone plus stable devient difficilement minéralisable (Brauman, 2000), d'où l'augmentation de la teneur en carbone constatée. Frouz *et al.* (2009) ont ainsi montré qu'il y a une corrélation positive significative entre le stockage du carbone et la densité des vers de terre et donc des turricules. Ils concluent que la bioturbation pourrait jouer un rôle important dans le stockage de carbone dans le sol. Brauman (2000) et Jouquet *et al.* (2007) ont aussi montré l'importance des termites dans la dynamique de la matière organique.

II.2.3. Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur la teneur en carbone des fractions organo-minérales

La macrofaune du sol a, selon les modes gestion de la fertilité des sols, affecté différemment la teneur en carbone des différentes fractions du sol. En effet, dans la fraction grossière (2 mm-200 μm) des sols amendés avec le compost ou le compost + urée, la présence de la macrofaune s'est traduite par un stockage plus important du carbone. Sans apport de fertilisant, la présence de la macrofaune a entraîné une baisse du carbone total des fractions intermédiaire et fine. Ces résultats traduisent le rôle de la macrofaune en amont des processus de dégradation de la matière organique, notamment de la fragmentation des composés organiques fraîchement incorporés au sol et l'humification de la matière organique (Wolters, 2000 ; Fox *et al.*, 2006 ; Corsi *et al.*, 2012 ; Dungait *et al.*, 2012). En effet, en remaniant la matière organique, et en améliorant les conditions du sol (aération, infiltration de l'eau, etc.), la macrofaune tellurique crée les conditions pour un fonctionnement optimal des microorganismes. Il s'en suit une intensification des processus d'humification et de minéralisation des composés organiques. Frouz *et al.* (2006 et 2007) ont montré que la macrofaune du sol, sans augmenter la vitesse de minéralisation de la matière organique, augmentait sa translocation de la fraction minérale.

En absence de la macrofaune, l'apport de matière organique combinée ou non à l'urée n'a pas augmenté le carbone total de la fraction fine (<50 μm). On peut imaginer que du fait de leur taille, les microorganismes du sol sont abondants dans les fractions fines du sol (Nacro, 1997), où ils manqueraient de substrats carbonés pour leur métabolisme. La matière organique apporté a alors été rapidement minéralisée, et cette minéralisation a été d'autant plus intense lorsque l'urée a été ajoutée, satisfaisant ainsi la faim d'azote des microorganismes.

Par ailleurs, l'apport de tiges et d'urée en présence de la macrofaune permet d'améliorer la teneur en carbone des fractions intermédiaire et fine. Ces résultats corroborent ceux de Ouédraogo *et al.* (2006) pour qui, l'incorporation de tiges sans apport d'urée entraîne un effet dépressif sur le carbone du sol. Cependant l'adjonction d'urée aux tiges réduirait la minéralisation du carbone dans la fraction fine. En effet, lorsqu'il s'est agi d'un substrat à C/N plus bas et facilement décomposable comme le compost, l'ajout d'urée a entraîné une baisse de la teneur en carbone total dans les fractions intermédiaire et fine.

L'urée entraîne une augmentation du taux de minéralisation de la matière organique et par conséquent, une baisse de la teneur en matière organique comme l'ont montré de nombreux travaux (Sedogo, 1981 ; Pieri, 1989 ; Mando *et al.*, 2005 ; Ouédraogo *et al.*, 2006).

II.2.4. Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur l'indice de gestion du carbone

L'indice de gestion du carbone est un indicateur sensible de la qualité et de la quantité de la matière organique du sol. Selon Blair *et al.* (1995), il peut être utilisé pour évaluer l'effet de pratique de gestion des sols sur le carbone du sol. Les résultats montrent qu'en présence de macrofaune, l'apport de la matière organique associée ou non à l'urée, a entraîné une augmentation de l'indice de gestion du carbone par rapport au témoin. Par contre, en absence de macrofaune, les résultats sont plus contrastés. L'indice de gestion du carbone, le plus élevé a été obtenu avec le mode de gestion de la fertilité Tiges + Urée, en présence et en absence de la macrofaune du sol, confirmant que la combinaison de tiges et d'urée augmente l'indice de gestion du carbone (Xu *et al.*, 2011). Ainsi, la valorisation des résidus de cultures directement au champ ou à travers le compostage, est une clé pour séquestrer le carbone dans les sols et assurer la durabilité des systèmes de production agricole.

Il est intéressant de noter que la présence de la macrofaune est un élément clé de la gestion du carbone. Les résultats ont montré que la présence de la macrofaune a augmenté l'indice de gestion du carbone. Ce résultat met en évidence le rôle de la macrofaune dans la gestion durable des sols agricoles. En effet, la stabilisation de la matière organique dans le sol est en partie sous la dépendance de l'action de la macrofaune (Fox *et al.*, 2006). Elle joue un rôle déterminant dans l'amélioration des propriétés physiques des sols, la facilitation des processus chimiques et surtout dans la séquestration du carbone (Lavelle *et al.*, 2006).

CONCLUSION PARTIELLE

La macrofaune est un facteur clé des processus chimiques dans le sol. Cette étude avait pour objectif d'évaluer l'impact de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur le carbone et l'indice de gestion du carbone. Les résultats montrent qu'à court

terme (2 années), la macrofaune, les modes de gestion de la fertilité et leur interaction n'ont pas eu d'effet significatif sur le carbone total et l'indice de gestion du carbone. Toutefois, ces paramètres ont été améliorés avec l'apport des tiges + urée. L'étude révèle aussi que la présence de la macrofaune améliore le carbone total des sols, surtout des fractions intermédiaire et fine ($<200 \mu\text{m}$), et l'indice de gestion du carbone. La gestion de la macrofaune du sol pourrait donc contribuer à long terme, à la séquestration du carbone, utile pour atténuer le changement climatique et assurer la durabilité des systèmes de production agricole à faibles intrants.

CHAPITRE 7 : DISCUSSION GENERALE

I. DYNAMIQUE DE LA MACROFAUNE DU SOL

Les modes de gestion de la fertilité ont influencé significativement la dynamique de la macrofaune du sol. L'usage de la matière organique combinée ou non à l'urée a enregistré les plus fortes densités de la macrofaune du sol par rapport l'usage d'urée. Ce résultat s'explique par le fait que la matière organique est une source d'énergie pour la macrofaune du sol. Le traitement tiges + urée qui attire les termites (Ouédraogo *et al.*, 2004), a enregistré la plus forte densité de termites. Par contre l'indice de diversité de Shannon -Weaver a été plus élevé sur les parcelles ayant reçu le compost. La majorité de la macrofaune inventoriée sont des détritivores. Ces détritivores sont abondants dans les parcelles ayant reçu la matière organique. Ces détritivores jouent un rôle primordial dans la décomposition de la matière organique et la dynamique des nutriments (Bachelier, 1978 ; Hedde, 2010).

II. AMELIORATION DES RENDEMENTS AGRICOLES

Les modes de gestion de la fertilité basés sur l'usage du compost seul ou la combinaison de tiges et d'urée ont été favorables aussi bien à l'amélioration des caractéristiques chimiques (carbone, phosphore) qu'à la réduction du ruissellement. Cette situation a conduit à une amélioration de la productivité du sorgho et du niébé. En effet, une interaction positive sur la productivité du sorgho et du niébé a été obtenue entre la macrofaune et le compost, et entre la macrofaune et la combinaison des tiges de sorgho à l'urée. Ces résultats sont en accord avec les observations de Lavelle *et al.* (2006), qui indiquent que la présence de la macrofaune entraîne une augmentation de la production agricole grâce à son rôle dans l'amélioration des propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol. Selon Marhan (2004), la digestion de la litière par les vers de terre entraîne une augmentation de la biomasse et du nombre des champignons. C'est ce qui explique sans doute l'accroissement du rendement grain en présence de la macrofaune même lorsque la source organique (tige) est connue pour son faible potentiel de minéralisation. Par contre, une interaction négative a été obtenue entre la macrofaune et la combinaison du compost à l'urée sur la productivité du sorgho et du niébé. L'usage combiné de la matière organique de bonne qualité à l'urée, a entraîné une baisse de la

productivité du sorgho et du niébé. Ces résultats corroborent ceux obtenus par Mando *et al.* (2005). L'ajout d'urée en présence de la macrofaune, accélère la vitesse de minéralisation du compost (Ménard, 2005 ; Ouédraogo *et al.*, 2007). La baisse constatée des rendements du sorgho et du niébé consécutive à l'usage combiné du compost et de l'urée, pourrait s'expliquer par la mauvaise synchronisation entre la minéralisation de la matière organique et les besoins des cultures.

III. AMELIORATION DE LA DISPONIBILITE DE L'EAU ET DES NUTRIMENTS DU SOL

Les résultats ont montré qu'excepté l'usage de l'urée, la présence de macrofaune a entraîné une réduction du ruissellement avec les autres modes de gestion de la fertilité. Le traitement tiges + urée a été le plus performant en présence de la macrofaune du sol. Ces résultats pourraient s'expliquer par la densité plus élevée de macrofaune surtout de termites sur ce traitement. L'activité de la macrofaune conduit à une augmentation de la macroporosité du sol (Bachelier, 1978 ; Mando, 1997 ; Hallaire *et al.*, 2004 ; Lavelle *et al.*, 2006). Aussi, les structures biogéniques produites par les "ingénieurs de l'écosystème" constituent des obstacles au ruissellement ; ce qui entraîne une amélioration considérable de l'infiltration (Pieri, 1989 ; Blanchard *et al.*, 2004 ; Jouquet *et al.*, 2011). L'apport seul d'urée en présence de la macrofaune a entraîné une augmentation du ruissellement de 84,51% et 106,12% respectivement en 2008 et 2009. En effet, la macrofaune et les micro-organismes stimulés par l'apport d'urée entraînent une minéralisation rapide de la matière organique du sol (Brussaard, 2012 ; Blouin *et al.*, 2013). La baisse du taux de la matière organique du sol peut conduire à une dégradation structurale pouvant entraîner la formation d'une pellicule de battance sous "l'effet splash" des gouttes d'eau. Eimberk (1990) avait montré que la naissance du ruissellement était liée à la diminution de la capacité d'infiltration du sol due à la saturation et à la diminution de la détention superficielle, toutes liées à la dégradation structurale des surfaces. En augmentant l'infiltration, la macrofaune contribuerait à l'augmentation de la disponibilité de l'eau pour les cultures.

La macrofaune a significativement amélioré la disponibilité du phosphore. Ce résultat corrobore ceux d'autres études antérieures qui avaient montré que la macrofaune, par son activité, améliorerait la teneur en phosphore assimilable du sol (Ouédraogo *et al.*, 2005 ; Kuczak *et al.*, 2006 ; Chapuis-Lardy *et al.*, 2009 ; Bhadauria et Saxena, 2010). Une

interaction positive a été révélée entre les modes de gestion de la fertilité et la macrofaune sur le phosphore assimilable. La présence de la macrofaune, seule ou combinée avec les modes de gestion de la fertilité du sol, se traduit par une augmentation de la teneur en phosphore assimilable. Ce résultat pourrait être la conséquence d'une réduction des pertes de nutriments par les eaux de ruissellement et aussi l'amélioration de la minéralisation de la matière organique. Il traduit la synergie entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité des sols dans l'amélioration de la biodisponibilité du phosphore dans le sol. La plus forte interaction a été observée avec les tiges en présence d'urée. Ces résultats confirment l'importance de la macrofaune dans la décomposition et la minéralisation de la matière organique. Cependant, la macrofaune du sol a eu un effet dépressif sur la teneur du sol en azote total. Ce qui pourrait être une conséquence de pertes de l'azote suite à l'amélioration du processus de minéralisation de la matière organique évoqué plus haut. L'effet dépressif de la macrofaune sur l'azote total pourrait s'expliquer par une accélération du lessivage des nitrates (Shuster *et al.*, 2002).

Par ailleurs, l'interaction entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité n'a pas eu d'effet significatif sur le carbone total et celui des fractions granulométriques à court terme. Ces résultats pourraient s'expliquer par la minéralisation rapide de la matière organique en zone tropicale notamment dans les sols à texture grossière (Nacro *et al.*, 1996), qui a pour conséquence, une faible vitesse de stockage du carbone dans le sol. Toutefois, la suppression de la macrofaune a entraîné une baisse du carbone total. En effet, la macrofaune du sol est un important régulateur de la décomposition et de la dynamique de la matière organique, en facilitant la décomposition et l'humification des composés organiques (Wolters, 2000 ; Corsi *et al.*, 2012). Aussi, participe-t-elle à la bioturbation, ce qui permet de séquestrer une partie plus ou moins importante du carbone soit dans les turricules par les vers de terre, soit dans les structures construites par les termites (Brauman, 2000). Frouz *et al.* (2009), en réalisant la corrélation entre le stockage du carbone et la densité des vers de terre avaient conclu que la bioturbation pourrait jouer un rôle important dans le stockage de carbone dans le sol. Par contre, la présence de la macrofaune a amélioré l'indice de gestion du carbone, qui est, selon Blair *et al.* (1995), un indicateur sensible de la qualité et de la quantité de la matière organique du sol. Il existe une interaction positive entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité des sols. Sans augmenter de façon significative les teneurs en carbone total du sol, l'interaction

entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité pourrait améliorer la séquestration du carbone à long terme.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

L'amélioration de la fertilité des sols et la gestion de l'eau à la parcelle constituent des fondamentaux pour un développement agricole durable en Afrique Subsaharienne. Longtemps ignorés, les organismes du sol notamment la macrofaune pourrait contribuer à l'atteinte de cet objectif. La présente thèse visait à appréhender l'impact de l'interaction entre la macrofaune et divers modes de gestion de la fertilité des sols incluant l'usage de matière organique de qualité contrastée sur les caractéristiques chimiques du sol et la production agricole. Pour atteindre cet objet, cinq (05) hypothèses de recherche ont alors été formulées :

(i) L'interaction entre les modes de gestion à long terme de la fertilité et la macrofaune améliore la productivité agricole.

Les résultats ont montré qu'il existe une interaction positive entre les modes de gestion de la fertilité des sols et la macrofaune sur les rendements du sorgho et du niébé. Une augmentation de rendement grain du sorgho de 385% et 367%, et du niébé de 110% et 108% a été observée par rapport au témoin en présence de la macrofaune du sol avec les traitements compost, et tiges + urée. Par ailleurs, la combinaison de l'urée au compost a eu un effet négatif sur le rendement grain du niébé et du sorgho en présence de la macrofaune du sol. L'usage du compost et la combinaison des tiges à l'urée ont été les deux meilleurs modes de gestion de la fertilité des sols en présence de la macrofaune du sol.

(ii) les modes de gestion de la fertilité des sols qui combinent la matière organique et l'urée, augmentent la densité et la diversité de la macrofaune du sol.

L'inventaire de la macrofaune a été faite durant deux campagnes agricoles successives à l'aide de la méthode *TSBF*. Les résultats ont montré que l'apport de matière organique de qualité contrastée, associée ou non à l'urée, influence l'abondance, la diversité, et les classes trophiques de la macrofaune du sol. L'utilisation de la matière organique conduit à la prolifération d'une grande communauté de détritivores qui joue un rôle très important dans l'amélioration des propriétés physico-chimiques et biologiques du sol. Notre hypothèse a été en partie confirmée puisque la combinaison de tiges avec de l'urée a induit une forte abondance de la macrofaune du sol notamment les termites. Par

contre, on observe une faible diversité de la macrofaune avec ce mode de gestion de la fertilité du sol. Par ailleurs, l'utilisation de compost conduit à une forte diversité de la macrofaune du sol. Ainsi, la combinaison de tiges et d'urée pourrait être utilisée pour récupérer les terres encroutées grâce à l'activité des termites. Toutefois, l'utilisation de ce mode de gestion de la gestion repose sur une stratégie de gestion des résidus de cultures par les producteurs. Ceci s'explique par la concurrence dans l'utilisation des tiges au sein de l'exploitation agricole. Le compost quant à lui peut être utilisé sur les terres non encroutées ou après la récupération des sols dégradés pour améliorer l'équilibre biologique des sols.

(iii) L'interaction entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité du sol réduit le ruissellement.

Les résultats ont montré qu'il y a une interaction significative entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité du sol sur le ruissellement. La présence de la macrofaune a eu une influence significative sur le ruissellement. Ainsi, sa suppression a augmenté le ruissellement de 18 à 25%. Les modes de gestion de la fertilité basés sur la fertilisation organique ont été efficaces dans la réduction du ruissellement en présence de macrofaune. Par ailleurs, en absence de cordons pierreux, la seule présence de la macrofaune a entraîné une réduction du ruissellement de 24,58% en 2008 et de 30,74% en 2009 par rapport au témoin sans macrofaune du sol. Cette hypothèse a été confirmée, et ces résultats mettent en évidence le rôle de la macrofaune et surtout de son interaction avec la matière organique sur la réduction du ruissellement. La combinaison de tiges de sorgho et d'urée s'est révélée comme le meilleur mode de gestion de la fertilité dans la réduction du ruissellement. Il est alors nécessaire que des pratiques agro-écologiques de gestion des sols et de valorisation des résidus de récoltes soient promues afin de préserver et de valoriser la contribution de la macrofaune du sol.

(iv) la présence de la macrofaune augmente la disponibilité du phosphore, les teneurs en azote et en potassium disponible dans le sol selon les modes de gestion de la fertilité des sols.

Les résultats ont montré que la présence de la macrofaune du sol a augmenté significativement la teneur en phosphore assimilable du sol, mais sans augmenter de façon significative, la teneur en phosphore total lors de la première année de recherche. Une

interaction positive, mais non significative a été observée entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité sur le phosphore assimilable du sol. La macrofaune a influencé significativement la teneur en azote total du sol en première année d'étude. Quant au potassium disponible, la présence de la macrofaune n'a pas eu d'effet significatif sur sa teneur dans le sol. Aucune interaction significative n'a été observée entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité sur l'azote total et le potassium disponible du sol. Ces résultats ne permettent pas de confirmer entièrement cette hypothèse. Ainsi, un suivi à long terme permettrait d'établir l'impact de l'interaction entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité sur les teneurs en phosphore total et assimilable, en azote total et en potassium disponible dans le sol.

(v) ***la présence de la macrofaune augmente la teneur en carbone et l'indice de gestion du carbone suivant les modes de gestion de la fertilité des sols.***

Concernant le carbone total et l'indice de gestion du carbone, les résultats ont montré qu'à court terme (2 années), la macrofaune, les modes de gestion de la fertilité et leur interaction n'ont pas eu d'effet significatif sur ces paramètres. Toutefois, l'étude révèle que la présence de la macrofaune a faiblement amélioré le carbone total des sols, surtout des fractions intermédiaire et fine (<200 µm), et l'indice de gestion du carbone. Cette hypothèse n'a été pas confirmée au terme de deux (02) années de recherche. Toutefois, la gestion de la macrofaune du sol pourrait contribuer à long terme, à la séquestration du carbone, du fait de son effet sur la teneur en carbone de la fraction fine.

Cette étude a permis de mettre en évidence l'importance de la macrofaune et son interaction avec les modes de gestion de la fertilité sur les caractéristiques chimiques, le ruissellement et la production agricole. Le compost utilisé seul ou l'apport combiné de tiges de sorgho (matière organique à C/N élevé) et d'urée ont été les meilleurs modes de gestion de la fertilité du sol. Ils interagissent positivement avec la macrofaune du sol. Ainsi, dans les systèmes de culture où la fertilisation est à base de compost seul, ou d'apport combiné de tiges de sorgho (matière organique à C/N élevé) et d'urée, la réduction de l'usage des pesticides chimiques de synthèse s'avère nécessaire. Elle se fera par la promotion de pratiques agro-écologiques de gestion des ravageurs des cultures, dans une approche de gestion des pesticides et des déprédateurs ; ce qui permettra de préserver

la macrofaune du sol et de ce fait, d'améliorer la fertilité du sol et la productivité des cultures.

Pour mieux comprendre les interactions entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité du sol sur les caractéristiques chimiques, nous suggérons la conduite d'autres études :

- l'interaction entre les modes de gestion de la fertilité et la macrofaune du sol sur la diversité microbienne et l'activité enzymatique du sol.
- l'interaction entre les modes de gestion de la fertilité et la macrofaune du sol sur l'eau verte.
- l'interaction entre d'autres modes de gestion de la fertilité notamment le biochar et la macrofaune du sol, sur les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des sols et les rendements des cultures.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Akpessé A.A., Kouassi P.K., Tano Y., Lepage M., 2008.** Impact des termites dans les champs paysans de riz et de maïs en savane sub-soudanienne (Booro-Borotou, Côte-d'Ivoire). *Sciences et Nature* 5 (2) : 121–131.
- Alvey S., Bagayoko M., Neumann G., Buerkert A., 2001.** Cereal/legume rotations affect chemical properties and biological activities in two West African soils. *Plant and Soil* 231 (Issue 1): 45-54.
- Anderson J.M., Ingram J.S.I., 1993.** *Tropical Soil Biology and Fertility. A handbook of methods*, 2nd edn. CAB International, Wallingford, 221 p.
- Araujo Y., Luiz F.J., Barros E., 2004.** Effect of earthworm addition on soil nitrogen availability, microbial biomass and litter decomposition in mesocosms. *Biology and Fertility of Soil* 39, 146-152.
- Bababe B., 1998.** Crop residue application systems and efficiency of water use by pearl millet in northern Nigeria. In: Renard G., Neef A., Becker K., Von Oppen M. (Eds.), *soil fertility management in west african land use systems: proceeding of the regional workshop university of Hohenheim, ICRISAT sahelian centre and INRAN, 4-8 march 1997, Niamey, Niger*. Margraf Verlag, Germany, pp. 61-66.
- Bachelier G., 1971.** La vie animale dans les sols : I. Déterminisme de la faune des sols. II. Action de la faune dans l'évolution des sols considérés en tant qu'équilibres naturels. *In* : Pesson P. (Ed.), *la vie dans les sols : aspects nouveaux, études expérimentales*. Gauthier Villars, Paris, France, pp. 1-43 et pp. 45-82.
- Bachelier G., 1972.** Étude expérimentale de l'action des animaux sur l'humification des matériaux végétaux. 1- Premières expériences et conclusions préliminaires. Coll. Travaux et Document O.R.S.T.O.M., no 14, Paris, France, 75 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.

- Bado B.V., 2002.** Rôle des légumineuses dans la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéennes et soudaniennes du Burkina Faso. Thèse de doctorat, Département des Sols et Environnement, Université Laval, 145 p.
- Bado B.V., Lompo F., Bationo A., Segda Z., Sedogo M.P., Cescas M.P., Mel V.C., 2012.** Nitrogen Recoveries and Yields Improvement in Cowpea sorghum and Fallow sorghum Rotations in West Africa Savannah. *Journal of Agricultural Science and Technology B2*, 758-767.
- Bado V., Sawadogo A., Thio B., Bationo A., Traoré K., Cescas M., 2011.** Nematode infestation and N-effect of legumes on soil and crop yields in legume-sorghum rotations. *Agricultural Sciences 2 (2)*: 49-55.
- Badolo M., 2008.** Indications sur les incidences potentielles des changements climatiques sur la sécurité alimentaire au Sahel. Cahier des changements climatiques. Bulletin mensuel d'information sur les changements climatiques de l'Institut d'Application et de Vulgarisation en Sciences, N° 6, 9 p.
- Bagnian I., 2006.** Effets de différents traitements organiques sur la croissance du maïs et l'activité de la macrofaune en zone soudanienne. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, option Agronomie. Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, Burkina Faso, 101 p.
- Bai Z.G., Dent D.L., Olsson L., Schaepman M.E., 2008.** Proxy global assessment of land degradation. Review article. *Soil Use and Management* 24, 223–234.
- Barbault R., 1981.** Ecologie des populations et des peuplements : des théories aux faits. Edition Masson, Paris, France, 200 p.
- Basker A., Macgregor A.N., Kirkman J.H., 1992.** Influence of soil ingestion by earthworms on the availability of potassium in soil: An incubation experiment. *Biology and Fertility of Soils* 14 (4): 300-303.
- Bationo A., Kihara J., Vanlauwe B., Waswa B., Kimetu J., 2007.** Soil organic carbon dynamics, functions and management in West African agro-ecosystems. *Agricultural Systems* 94, 13–25.

- Bationo A., Lompo F., Koala S., 1998.** Research on nutrient flows and balance in West Africa : state of the art. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 71, 19 – 35.
- Bationo A., Mokwunye A.U., 1991.** Role of manures and crop residue in alleviating soil fertility constraints to crop production with special reference to the Sahelian and Sudanian zones of West Africa. Kluwer Academic Publishers, 217-225.
- Bationo A., Waswa B., Abdou A., Bado B.V., Bonzi M., Iwuafor E., Kibunja C., Kihara J., Mucheru M., Mugendi D., Mugwe J., Mwale C., Okeyo J., Olle A., Roing K., Sedogo M., 2012.** Overview of long term experiments in Africa. In: Bationo A., Waswa B., Kihara J., Adolwa I., Vanlauwe B., Saidou K. (Eds.), *Lessons learned from long term soil fertility management experiments in Africa*. Springer, pp. 1-26.
- Beare M.H., Vikram Reddy M., Tian G., Srivastava S.C., 1997.** Agricultural intensification, soil biodiversity and ecosystem function in the tropic: the role of decomposer biota. *Applied Soil Ecology* 6, 87-108
- Ben Leroy L.M., Schmidt O., Van den Bossche A., Reheul D., Moens M., 2008.** Earthworm population dynamics as influenced by the quality of exogenous organic matter. *Pedobiologia* 52, 139-150
- Berger M., 1996.** L'amélioration de la fumure organique en Afrique soudano-sahélienne. *Agriculture et développement*, n° hors série, 8 fiches.
- Bhadoria T., Saxena K.G., 2010.** Role of earthworms in soil fertility maintenance through the production of biogenic structures. Review Article. *Applied and Environmental Soil Science* 2010, 1-7.
- Blair G.J., Lefroy R.D. B., Lisle L., 1995.** Soil Carbon Fractions Based on their Degree of Oxidation, and the Development of a Carbon Management Index for Agricultural Systems. *Australian Journal of Agricultural Research* 46, 1459-1466.
- Blanchart E., Albrecht A., Brown G.G., Decaëns T., Duboisset, A., Lavelle P., Mariani L., Roose E., 2004.** Effects of tropical endogeic earthworms on soil erosion: a review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104, 303–315.

- Bland R.G., Jaques H.E., 1947.** How to know the insects. Wm. C. Brown Company Publishers, 3rd edn Dubrique, Iowa, 409 p.
- Blouin M., Hodson M.E., Delgado E.A., Baker G., Brussaard L., Butt K.R., Dai J., Dendooven L., Peres G., Tondoh J.E., Cluzeau D., Brun J.-J., 2013.** A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *European Journal of Soil Science* 64, 161–182.
- Blouin M., Zuily-Fodil Y., Pham-Thi A., Laffray D., Reversat G., Pando A., Tondoh J., Lavelle P., 2005.** Belowground organism activities affect plant aboveground phenotype, inducing plant tolerance to parasites. *Ecology Letters*, 8: 202-208.
- Bonzi M., 2002.** Evaluation et déterminisme du bilan de l'azote en sols cultivés du centre Burkina Faso : Etude par traçage isotopique N15 au cours d'essais en station et en milieu paysan. Thèse de Doctorat Unique en Sciences Agronomique, INPL/ENSAIA, Nancy, France, 177 p.
- Boyer P., 1971.** Les différents aspects de l'action des termites sur les sols tropicaux. *In* : Pesson P. (Ed.), la vie dans les sols : aspects nouveaux, études expérimentales. Gauthier Villars, Paris, France, pp. 279-334.
- Brauman A., 2000.** Effect of gut transit and mound deposit on soil organic matter transformations in the soil feeding termite: A review. *European Journal of Soil Biology* 36, 1-9.
- Bray R.H., Kurtz L.T., 1945.** Determination of total organic and available forms of Phosphorus in soils. *Soil Science* 59, 39 -45.
- Breman H., 1998.** Amélioration de la fertilité des sols en Afrique de l'Ouest : contraintes et perspectives. *In*: Renard G., Neef A., Becker K., Von Oppen M. (Eds.), soil fertility management in west african land use systems: proceeding of the regional workshop university of Hohenheim, ICRISAT sahelian centre and INRAN, 4-8 march 1997, Niamey, Niger. Margraf Verlag, Germany, pp. 7-20.
- Brown G.G., Pasini, A., Benito, N.P., De Aquino, A.M., Correia, M.E.F., 2002.** Diversity and fonctionnal role of soil macrofauna communities in Brazilian no – tillage agroecosystems: A preliminary analysis. Paper based on an oral presentation

at the “international symposium on managing biodiversity in agricultural ecosystems” Montreal, Canada, 8-10 Novembre 2001, 8 p.

Brussaard L., 2012. Chapter 1.3: Ecosystem Services Provided by the Soil Biota. In: Wall D.H., Bardgett R.D., Behan-Pelletier V., Herrick J.E., Jones T.H., Ritz K., Six J., Strong D.R., Van der Putten W.H. (Eds), Soil Ecology and Ecosystem Services. Oxford University Press, First Edition, pp. 45-58.

Casenave A., Valentin C., 1989. Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l’infiltration. Collection didactique, O.R.S.T.O.M., Paris, France, 230 p.

Cattan P., Letourmy P., Zagré B., Minougou A., Compaoré E., 2001. Rendement de l’arachide et du sorgho en rotation sous différents itinéraires techniques au Burkina Faso. Cahiers Agricultures 10 (3) : 159-172.

CEAS, 2004. Etude pédologique du jardin de recherche appliquée et de formation du Centre Ecologique Albert Schweitzer - Burkina Faso. Echelle 1/1000ème. CEAS-BF, 47 p.

Chan K.Y., 2003. Using earthworms to incorporate lime into subsoil to ameliorate acidity. Communications in Soil Science and Plant Analysis 34, 985–997.

Chapuis-Lardy L., Le Bayon R-C., Brossard M., López-Hernández D., Blanchard E., 2011. Role of soil macrofauna in phosphorus cycling. In: Bünemann E.K., Oberson A., Frossard E. (Eds.), Phosphorus in Action: Biological processes in soil phosphorus cycling. Soil Biology, Springer Berlin Heidelberg, pp. 199-213.

Chapuis-Lardy L., Ramiandrisoa R.S., Randriamanantsoa L., Morel C., Rabeharisoa L., Blanchart E., 2009. Modification of P availability by endogeic earthworms (Glossoscolecidae) in Ferralsols of the Malagasy Highlands. Biology and Fertility of Soils 45 (4): 415-422.

CMK, 2008. Plan Communal de Développement. Document du plan. Rapport final. Commune rurale de Koubri, Burkina Faso, 65 p.

- Corsi S., Friedrich T., Kassam A., Pisante P., de Moraes Sà J., 2012.** Soil Organic Carbon Accumulation and Greenhouse Gas Emission Reductions from Conservation Agriculture: A literature review. *Integrated Crop Management* 16, 89 p.
- CPCS (Commission de pédologie et de cartographie des sols), 1967.** Classification des sols. ENSA- Grignon, 77 p.
- De Bona F.D., Bayer C., Dieckow J., Bergamaschi H., 2008.** Soil quality assessed by carbon management index in a subtropical Acrisol subjected to tillage systems and irrigation. *Australian Journal of Soil Research* 46, 469-475.
- Delville, P.L., 1996.** Gérer la fertilité des terres dans les pays du Sahel. Diagnostic et conseil aux paysans. Collection Le PONT SUR, Coopération française, CTA, GRET, 397 p.
- Delware G., Aberlenc H.P., 1989.** Les insectes d’Afrique et d’Amérique tropicale. Clés pour la reconnaissance des familles. CIRAD–GERDAT, Montpellier, France, 298 p.
- Diogo R.V.C., Buerkert A., Schlecht E., 2010.** Horizontal fluxes and food safety in urban and peri-urban vegetable and millet cultivation of Niamey, Niger. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 87, 81-102.
- Diop A., Ndiaye A.B., Ba C.T., 2013.** Décomposition de la bouse de bovin sèche et macrofaune associée en zone sahélienne semi-aride (Matam, Sénégal). *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 7 (1): 147-162.
- Doamba S.M.F., Nacro H.B., Sanon A., Sedogo M, 2011.** Effet des cordons pierreux sur l’activité biologique d’un sol ferrugineux tropical lessivé (Province du Kouritenga au Burkina Faso). *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 5 (1) : 304-313.
- Doamba W.S.M.F., 2007.** Effet du zaï forestier sur l’évolution des paramètres physiques, chimiques et biologique du sol. Mémoire d’Ingénieur du Développement Rural, option Agronomie. Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, Institut du Développement Rural, Burkina Faso, 111 p.

- Doré T., Makowski D., Malézieux E., Munier-Jolaind N., Tchamitchiane M., Tittonell P., 2011.** Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. Review. *European Journal Agronomy* 34, 197-210.
- DREPC (Direction Régionale de L'Economie et de la Planification du Centre), 2009.** Tableau de bord socio-économique de la région du centre 2008. Ministère de l'Economie et des Finances, Burkina Faso, 40 p.
- Duboisset A., Seignobos C., 2005.** Petite histoire des connaissances acquises sur les termites et leur rôle agroécologique. *Etude et Gestion des Sols* 12 (2) : 153 – 164.
- Dudal R., Byrnes B.H., 1993.** Effet de l'utilisation des engrais sur l'environnement. *In* : Van Reuler H., Prins W.H. (Eds.), rôle de la fertilisation pour assurer une production durable des cultures vivrières en Afrique sub-saharienne. Ponsen et Looijen, Wageningen, Pays-Bas, pp. 157-172.
- Dugué P., Le Gal P. Y., Lelandais B., Picard J., Piraux M., 1998.** Modalités d'intégration de l'agriculture et de l'élevage et impact sur la gestion de la fertilité des sols en zone soudano-sahélienne. *In*: Renard G., Neef A., Becker K., Von Oppen M. (Eds.), soil fertility management in West African land use systems: proceeding of the regional workshop university of Hohenheim, ICRISAT sahelian centre and INRAN, 4-8 march 1997, Niamey, Niger. Margraf Verlag, Germany, pp. 369-380.
- Dungait J.A.J., Hopkins D.W., Gregory A.S., Whitmore A.P., 2012.** Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance. *Global Change Biology* 18 (Issue 6): 1781–1796.
- Eimberck M., 1990.** Facteurs d'érodibilité des sols limoneux : réflexion à partir du cas du pays de Caux. *Cahiers O.R.S.T.O.M., Série Pédologie* XXV (1-2) : 81-94.
- FAO, 2001.** Soil fertility management in support of food security in sub-Saharan Africa. FAO, Rome, Italy, 55 p.

- Feller C., 1979.** Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. Application aux sols tropicaux à textures grossières, très pauvres en humus. Cahiers O.R.S.T.O.M. série Pédologie XVII (4): 339-346.
- Fox O., Vetter S., Ekschmitt K., Wolters V., 2006.** Soil fauna modifies the recalcitrance-persistence relationship of soil C pools. *Soil Biology and Biochemistry* 38, 1353–1363.
- Frontier S., Pichod-Viale D., 1998.** Ecosystèmes : structure, fonctionnement, Evolution. Dunod, Paris, France, 445 p.
- Frouz J., Elhottová D., Kuráž V., Šourková M., 2006.** Effects of soil macrofauna on other soil biota and soil formation in reclaimed and unreclaimed post mining sites: Results of a field microcosm experiment. *Applied Soil Ecology* 33 (3) : 308-320.
- Frouz J., Elhottová D., Pižl V., Tajovský K., Šourková M., Pícek T., Malý S., 2007.** The effect of litter quality and soil faunal composition on organic matter dynamics in post-mining soil: A laboratory study. *Applied Soil Ecology* 37 (1-2) : 72-80.
- Frouz J., Pižl V., Cienciala E., Kalčík J., 2009.** Carbon storage in post-mining forest soil, the role of tree biomass and soil bioturbation. *Biogeochemistry* 94 (2): 111-121.
- 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
- Gobat J.M., Aragno M., Matthey W. 2010.** Le sol vivant: bases de pédologie, biologie des sols. 3ème édition revue et augmentée, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 817 p.
- Grassé P.P., 1986.** Termitologia. Tome III : Comportement – Socialité – Ecologie – Evolution – Systématique. Masson, Paris, France, 715 p.
- Guinko S., 1984.** Végétation de la Haute Volta. Thèse de doctorat ès Sciences Naturelles. Université de Bordeaux III, tome 1, France, 318 p.
- Haileslassie A., Priess J.A., Veldkamp E., Lesschen J.P., 2006.** Smallholders' soil fertility management in the Central Highlands of Ethiopia: implications for nutrient

stocks, balances and sustainability of agroecosystems, *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 75 (Issue 1-3):135–146.

Hallaire V., Lamandé M., Heddadj D., 2004. Effet de l'activité biologique sur la structure des sols soumis à différentes pratiques culturales. Impact sur leurs propriétés de transfert. *Etude et Gestion des Sols* 11 (1) : 47–58.

Hedde M., 2010. Etude de la relation entre la diversité des macro-invertébrés et la dynamique de la matière organique des sols limoneux de Haute-Normandie. Thèse de Doctorat en Ecologie, Université de Rouen, France, 197 p.

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

INSD, 2008. Recensement général de la population et de l'habitation de 2006 : résultats définitifs. Burkina Faso, 52 p.

Janssen B.H., 1993. Gestion intégrée de la fertilisation : l'emploi des engrais organiques et minéraux. *In* : Van Reuler H., Prins W.H. (Eds.), rôle de la fertilisation pour assurer une production durable des cultures vivrières en Afrique sub-saharienne. Ponsen et Looijen, Wageningen, Pays-Bas, pp. 99-117.

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

Jouquet P., Bottinelli N., Lata J.-C., Mora P., Caquineau S., 2007. Role of the fungus-growing termite *Pseudacanthotermes spiniger* (Isoptera, Macrotermitinae) in the dynamic of clay and soil organic matter content. An experimental analysis. *Geoderma* 139, 127–133.

Jouquet P., Traoré S., Choosai C., Hartmann C., Bignell D., 2011. Influence termites on ecosystem functioning: ecosystem services provided by termites. *European Journal of Soil Biology* 47, 215–222.

Kaur N., Benipal D.S., 2006. Effect of crop residue and farmyard manure on K forms on soils of long term fertility experiment. *Indian Journal of Crop Science* 1 (1-2): 161-164.

- Kiba D.I., Lompo F., Compaoré E., Randriamanantsoa L., Sedogo P.M., Frossard E., 2012.** A decade of non-sorted solid urban waste inputs safely increases sorghum yield in the periurban areas of Burkina Faso. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil Plant Science* 62 (1) : 59-69.
- Koulibaly B., Traoré O., Dakuo D., Zombré P.N., Bondé D. 2010.** Effet de la gestion des résidus de récolte sur les rendements et les bilans culturaux d'une rotation coton-maïs-sorgho au Burkina Faso. *Tropicultura* 28 (3), 184-189.
- Kuczak C.N., Fernandes E.C.M., Lehmann J., Rondon M.A., Luizão F.J., 2006.** Inorganic and organic phosphorus pools in earthworm casts (Glossoscolecidae) and a Brazilian rainforest Oxisol. *Soil Biology and Biochemistry* 38, 553–560.
- Kumar R., 1991.** La lutte contre les insectes ravageurs. L'agriculture en régions tropicales. Collection Economie et Développement, CTA, Karthala, 310 p.
- Kumari S., Sinha M.P., 2012.** Fertility measures of biogenic structures in particular reference to bacterial community. *Annals of Biological Research* 3 (9): 4497-4502.
- Lal R., 2006.** Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. *Land Degradation and Development* 17, 197-209.
- Lal R., 2011.** Sequestering carbon in soils of agro-ecosystems. *Food Policy* 36, S33-S39.
- Lamoureux S., O'Kane M.A., 2012.** Effects of termites on soil cover system performance. In Fourie A.B. et Tibbett M. (Eds), *Mine Closure*. Australian Centre for Geomechanics, Perth., Brisbane, Australia. pp. 433-446.
- Lapied E., Nahmani J., Rousseau G.X., 2009.** Influence of texture and amendments on soil properties and earthworm communities. *Applied Soil Ecology* 43, 241–249.
- Larsen M.C., Liu Z., Zou X., 2012.** Effects of Earthworms on Slopewash, Surface Runoff, and Fine-Litter Transport on a Humid-Tropical Forested Hillslope in Eastern Puerto Rico. In Murphy S. F. et Stallard R. F. (Eds), *Water Quality and Landscape Processes of Four Watersheds in Eastern Puerto Rico*. Professional paper 1789-G, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. pp. 183-197.

- Lavelle P., 1996.** Diversity of Soil Fauna and Ecosystem Function. *Biology International* N°33, 14 p.
- 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.
- 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, pp. 371-397.
- Lavelle P., Spain A.V., 2001.** *Soil Ecology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 654 p.
- Le Bayon R.-C., Milleret R., 2009.** Effects of earthworms on phosphorus dynamic – a review. *Dynamic Soil, Dynamic Plant* 3 (Special Issue 2): 21-27.
- Le Prun J.-C., da Silveira C.O., Sobral Filho R.M., 1986.** Efficacité des pratiques culturales anti-érosives testées sous différents climats brésiliens. *Cahiers O.R.S.T.O.M., Série Pédologie XXII (2)* : 223-233.
- Leonard J., Rajot J.L., 1998.** Restoration of infiltration properties of crusted soils by mulching. *In*: Renard G., Neef A., Becker K., Von Oppen M. (Eds.), soil fertility management in West African land use systems. Proceeding of the regional workshop university of Hohenheim, ICRISAT sahelian centre and INRAN, 4-8 march 1997, Niamey, Niger. Margraf Verlag, Germany, pp. 191-196.
- Li X., Ji R., Schäffer A., Brune A., 2006.** Mobilization of soil phosphorus during passage through the gut of larvae of *Pachnoda ephippiata* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Plant Soil* 288, 263-270.
- Liu E., Yan C., Mei X., He W., Bing S.H., Ding L., Liu Q., Liu S., Fan T., 2010.** Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China. *Geoderma* 158, 173–180.

- Lompo F., 2009.** Effets induits des modes de gestion de la fertilité sur les états du phosphore et la solubilisation des phosphates naturels dans deux sols acides du Burkina Faso, thèse doctorat d'Etat, Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 254 p.
- Lompo F., Segda Z., Gnankamary Z., Ouandaogo N., 2009.** Influence des phosphates naturels sur la qualité et la bio-dégradation d'un compost de pailles de maïs. *Tropicultura* 27 (2): 105-109.
- López-Hernández D., Brossard M., Fardeau J.C., Lepage M., 2006.** Effect of different termite feeding groups on P sorption and P availability in African and South American savannas. *Biology and Fertility of Soils* 42, 207-214.
- Lou Y., Xu M., Wang W., Sun X., Liang C., 2011.** Soil carbon fractions and management index after 20 yr of manure and fertilizer application for greenhouse vegetables. *Soil Use and Management* 27, 163-169.
- Mafongoya P.L., Bationo, A., Kihara J., Waswa B.S., 2006.** Appropriate technologies to replenish soil fertility in southern Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 76, 137–151.
- Mando A., 1991.** L'impact de l'activité des termites sur la dégradation de la biomasse végétale et quelques propriétés physiques des terres dégradées. Etude menée à Zanamogo (province du Bam, Burkina Faso). Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural. Université de Ouagadougou, Institut du Développement Rural (IDR), Burkina Faso, 76 p.
- Mando A., 1997.** The role of termites and mulch in the rehabilitation of crusted sahelian soil. *Tropical resources management*. PhD, Wageningen Agriculture University, Netherlands, 101 p.
- Mando A., Bonzi M., Wopereis M.C.S., Lompo F., Stroosnijder L., 2005.** Long-term effects of mineral and organic fertilization on soil organic matter fractions and sorghum yield under Sudano-Sahelian conditions. *Soil Use and Management* 21, 396–401.
- Mando A., Brussaard L., 1999.** Contribution of termite to the breakdown of straw under sahelian condition. *Biology and Fertility of Soils* 29 (Issue 3): 332-334.

- Manu A., Coleman T.L., Juo A.S.R., 1998.** Soil restoration in degraded agro-pastoral systems of semi-arid West Africa. In : Renard G., Neef A., Becker K., Von Oppen M. (Eds.), soil fertility management in West African land use systems. Proceeding of the regional workshop university of Hohenheim, ICRISAT sahelian centre and INRAN, 4-8 march 1997, Niamey, Niger. Margraf Verlag, Germany, pp. 173-184.
- Marhan S., 2004.** Effects of earthworms on stabilisation and mobilisation of soil organic matter. Dissertation, Fachbereich Biologie der Technischen Universität Darmstadt, 160 p.
- Masse D., 2007.** Changements d'usage des terres dans les agro-systèmes d'Afrique subsaharienne. Propriétés des sols et dynamique des matières organiques. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'Habilitation à Diriger des Recherches, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse, France, 82 p.
- Mboukou-Kimbatsa I.M.C., 1997.** Les macroinvertébrés du sol dans différents systèmes d'agriculture au Congo : cas particulier de deux systèmes traditionnels (écobuage et brûlis) dans la vallée du Niari. Thèse de Doctorat, Ecologie Générale. Université Pierre et Marie Curie – Paris VI, France, 151 p.
- Ménard O., 2005.** Les ouvriers du sol et les pratiques agricoles de conservation. Colloque en Agroenvironnement : « des outils d'intervention à notre échelle ». Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, 6 p.
- 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.
- Moebius-Clune B.N., van Es H.M., Idowu O.J., Schindelbeck R.R., Kimetu J.M., Ngoze S., Lehmann J., Kinyangi J.M., 2011.** Long-term soil quality degradation along a cultivation chronosequence in western Kenya. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 141, 86–99.
- Morel R., 1989.** Les sols cultivés. Techniques et Documentations. Edition LAVOISIER, 373 p.

- 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, Ecologie Générale. Université Pierre et Marie Curie – Paris VI, France, 302 p.
- Nacro H.B., Benest D., Abbadie L., 1996.** Distribution of microbial activities and organic matter according to particle size in a humid savanna soil (Lamto, Côte d'Ivoire). *Soil Biology and Biochemistry* 28 (12) : 1687–1697.
- Nahal I., 1975.** Principes de conservation du sol. Collection Géographie applicable, Masson et Cie, Paris, France, 143 p.
- Niang D., 2006.** Fonctionnement hydrique de différents types de placages sableux dans le sahel Burkinabè. Thèse de Doctorat ès Sciences. Faculté de l'environnement naturel, architectural et construit. École polytechnique fédérale de Lausanne, Suisse, 136 p.
- Nonguierma G.B., 2006.** Contribution à l'évaluation des effets de l'utilisation des pesticides en production maraîchère dans la plaine périurbaine de Boulmiougou-Ouagadougou. Mémoire de Licence Professionnelle en Génie de l'Environnement. Université de Ouagadougou, Unité de Formation et de Recherche en Sciences Exactes et Appliquées. Institut de Génie de l'Environnement et du Développement durable, Burkina Faso, 45 p.
- Oberson A., Bünemann E.K., Friesen D.K., Rao I.M., Smithson P.C., Turner B.L., Frossard E. 2006.** Improving Phosphorus Fertility in Tropical Soils through Biological Interventions. In: Uphoff N., Ball A.S., Fernandes E., Herren H., Husson O., Lang M., Palm C., Pretty J., Sanchez P., Sanginga N., Thies J. (Eds.), *Improving Phosphorus Fertility in Tropical Soils*. CRP press, pp. 532–546.
- Oldeman L.R., 1992.** Global extent of soil degradation. *ISRIC Bi-Annual Report*. pp. 19-36.
- Ouattara B., Ouattara K., Serpentié G., Mando A, Sédogo M.P., Bationo A., 2006.** Intensity cultivation induced effects on soil organic carbon dynamic in the western cotton area of Burkina Faso. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 76, 331-339.

- Ouattara B., Sédogo MP., Assa A., Lompo F., Ouattara K., Fortier M., 1998.** Modifications de la porosité du sol après trente-trois années de labour d'enfouissement de fumier au Burkina Faso. Cahiers d'Agricultures 7, 9-14.
- Ouédraogo E., 1998.** L'utilisation des fertilisants et pesticides dans l'agriculture et leurs impacts sur l'environnement. Séminaire Atelier Résidentiel sous Régional sur les questions politiques, sectorielles et institutionnelles en gestion de l'environnement pour l'Afrique de l'ouest 1-10 août 1998. Communication, Ouagadougou, Burkina Faso, 10 p.
- Ouédraogo E., 2004.** Soil quality improvement for crop in semi-arid West Africa. PHD Thesis. University and research centre, Wageningen, The Netherland, 193 p.
- Ouédraogo E., Brussaard L., Mando A., Stroosnijder L., 2005.** Organic resources and earthworms affect phosphorus availability to sorghum after phosphate rock addition in semi-arid West Africa. *Biology and Fertility of Soils* 41: 458-465.
- Ouédraogo E., Brussaard L., Stroosnijder L., 2007.** Soil macrofauna and organic amendment interactions affects soil carbon and crop performance in semi-arid West Africa. *Biology and Fertility of Soils*, 44 (2): 343-351.
- Ouédraogo E., Mando A., Brussaard L., 2004.** Soil macrofaunal-mediated organic resource disappearance in semi-arid West Africa. *Applied Soil Ecology* 27, 259-267.
- Ouédraogo E., Mando A., Stroosnijder L., 2006.** Effects of tillage, organic resources and nitrogen fertiliser on soil carbon dynamics and crop nitrogen uptake in semi-arid West Africa. *Soil and Tillage Research* 91 (1-2) : 57-67
- Ouédraogo E., Mando A., Zombré NP., 2001.** Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. *Agriculture, Ecosystems Environment* 84, 259-66.
- Ouédraogo J., 2009.** Evaluation de la contribution de la macrofaune du sol sur la performance des mesures de conservation des eaux et des sols. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, option Agronomie. Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, Burkina Faso, 79 p.

- Ouédraogo J., 2011.** Etude 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 d'Ingénieur du Développement Rural, option Agronomie. Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, Burkina Faso, 73 p.
- Ouédraogo J., Nacro H.B., Ouédraogo E., Youl S., Sedogo M.P., 2014b.** Amélioration de la disponibilité du phosphore par la gestion de la macrofaune du sol : cas d'un lixisol en zone semi-aride du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 8 (4) : 1838-1846.
- Ouédraogo J., Ouédraogo E., Nacro H.B., 2014a.** Effet de l'interaction entre des modes de gestion de fertilité et la macrofaune sur la productivité du niébé et du sorgho en zone nord soudanienne du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 8 (1) : 104-114.
- Palm C.A., Myers R.J.K., Nandwa S.M., 1997.** Combined use of organic and inorganic nutrient sources for soil fertility maintenance and replenishment. In: Buresh R.J., Sanchez P.A., Calhoun F. (Eds.), *Replenishing soil fertility in Africa*. SSSA Special Publication 51. SSSA, Madison, WI, pp. 193-217.
- Petit M., 2011.** *Pour Une Agriculture Productive et Durable*. Editions Quae, Versailles, France, 120 p.
- Pey B., 2010.** Contribution de la faune du sol au fonctionnement et à l'évolution des technosols. Thèse en Sciences Agronomiques, Université Nationale Polytechnique de Lorraine, France, 254 p.
- Pieri C., 1989.** Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara. Ministère de la Coopération et du Développement, CIRAD-IRAT, Montpellier, France, 444 p.
- Pieri C., Moreau R., 1986.** Fertilité des sols et fertilisation des cultures tropicales. L'expérience du CIRAD et de l'ORSTOM. In : Actes du séminaire sur la recherche

agronomique française en zone intertropicale. Washington, mai 1986, Banque mondiale, pp. 67-92.

Potthoff M., Joergensen R.G., Wolters V., 2001. Short-term effects of earthworm activity and straw amendment on the microbial C and N turnover in a remoistened arable soil after summer drought. *Soil Biology and Biochemistry* 33, 583–591.

Powlson D.S., Whitmore A.P., Goulding K.W.T., 2011. Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. Review. *European Journal of Soil Science* 62, 42–55.

Rashmi M. A., Kumar N. G., Mallikarjuna J., 2009. Effects of pesticides and agro-inputs on the abundance of soil macro fauna. *Karnataka Journal of Agricultural Science* 22 (3-Spl. Issue): 635-636.

Rawls W.J., Pachepsky Y.A., Ritchie J.C., Sobecki T.M., Bloodworth H., 2003. Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma* 116 (63): 61-76.

Richardson A.E., Simpson R.J., 2011. Soil organisms mediating phosphorus availability. *Plant Physiology* 156, 989-996.

Rousseau L., Fonte S.J., Téllez O., van der Hoek R., Lavelle P., 2013. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. *Ecological Indicators* 27, 71–82.

Ruiz N., Lavelle P., Jiménez J., 2008. Soil macrofauna field manual : Technical level. FAO, Rome, Italie, 101 p.

Ruiz N., Mathieu J., Célini L., Rollard C., Hommay G., Iorio E., Lavelle P., 2011. IBQS: A synthetic index of soil quality based on soil macro-invertebrate communities. *Soil Biology et Biochemistry* 43, 2032 – 2045

Samaké O., Kodio A., 2004. Gestion intégrée de la fertilité des sols pour améliorer la productivité dans le Sahel : Effets des jachères, des légumineuses et du phosphate naturel sur le rendement du mil et le *Striga hermonthica*. *MSAS*, 315-326.

Sanchez P.A., Shepherd K.D., Soule M.J., Place F.M., Buresh R.J., Izac A-M.N., Mokwunye A.U., Kwesiga F.R., Ndiritu C.G., Woomer P.L., 1997. Soil Fertility

Replenishment in Africa: An Investment in Natural Resource Capital. *In* Buresh R.J., Sanchez P.A., Calhoun F. (Eds.), Replenishing Soil Fertility in Africa. SSSA Special publication N°51. Soil Science Society of America. Madison, USA, pp. 1-49.

Santorufu L., Van Gestel C.A.M., Rocco A., Maisto G., 2012. Soil invertebrates as bioindicators of urban soil quality. *Environmental Pollution* 161, 57-63.

Savadogo P.W., Traoré O., Topan M., Tapsoba K.H., Sédogo M.P., Bonzi-Coulibaly L.Y., 2006. Variation de la teneur en résidus de pesticides dans les sols de la zone cotonnière du Burkina Faso. *Journal Africain des Sciences de l'Environnement* 1, 29-39.

Schon N.L., Mackay A.D., Hedley M.J., Minor M.A., 2012. The soil invertebrate contribution to nitrogen mineralisation differs between soils under organic and conventional dairy management. *Biology and Fertility of Soils* 48, 31-42

Sedogo M.P., 1993. Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture/ incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de doctorat. Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 343 p.

Sedogo P. M., 1981. Contribution à la valorisation des résidus culturaux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride (matière organique du sol et nutrition azotée des cultures). Thèse de docteur Ingénieur en sciences agronomiques. Institut National Polytechnique de Lorraine Nancy, France, 198 p.

Sédogo P.M., Lompo F., Ouattara B., 1994. Le carbone et l'azote dans les différentes fractions granulométriques d'un sol ferrugineux tropical : effets de quatre types d'amendements organiques. *Science et Technique, Série Science de la Nature* 21 (1): 114-124.

Segda Z., 2006. Gestion de la fertilité du sol pour une production améliorée et durable du riz (*Oryza sativa* L.) au Burkina Faso. Cas de la plaine irriguée de Bagré. Thèse de doctorat en Biologie et Ecologie Végétales. Unité de Formation et de Recherche En Sciences de la Vie et de la Terre, Université de Ouagadougou, 133 p.

- Shannon C.E., Weaver W., 1949.** The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana, 125 p.
- Shuster W.D., McDonald L.P., McCartney D.A., Parmelee R.W., Studer N.S., Stinner B.R., 2002.** Nitrogen source and earthworm abundance affected runoff volume and nutrient loss in a tilled-corn agroecosystem. *Biology and Fertility of Soils* 35, 320-327.
- Sileshi G., Mafongoya P.L., 2007.** Quantity and quality of organic inputs from coppicing leguminous trees influence abundance of soil macrofauna in maize crops in eastern Zambia. *Biology and Fertility of Soils* 43 (3): 333-340
- Sinaj S., Buerkert A., El-Hajj G., Bationo A., Traoré H., Frossard E., 2001.** Effet of fertility management strategies on phosphorus bioavailability in four West African soils. *Plant and Soil* 233, 71-83.
- Six J., Feller C., Deneq K., Ogle S.M., de Moraes Sa J.C., Albrecht A., 2002.** Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – Effects of no-tillage. *Agronomie* 22, 755–775
- Sodhi G.P.S., Beri V., Benbi D.K., 2009.** Using Carbon Management Index to Assess the Impact of Compost Application on Changes in Soil Carbon after Ten Years of Rice-Wheat Cropping. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 40, 3491-3502.
- Soma D.M., 2010.** Effet des apports répétés de diverses sources d'amendements organiques dans un sol ferrugineux tropical lessivé (Saria, Burkina Faso) sur la biodisponibilité du phosphore et la production du sorgho. Mémoire de DEA, Université polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 47 p.
- Taonda S.J.B., Bertrand R., Dickey J., Morel J.L., Sanon K., 1995.** Dégradation des sols en agriculture minière au Burkina Faso. *Cahiers Agricultures* 4, 363-369.
- Tian G., Kang B.T., Brussaard L., 1997.** Effect of mulch on earthworms activity and nutrient supply in the humid tropic. *Soil Biology and Biochemistry* 29, 369–373.

- Tittonell P., Vanlauwe B., Ridder N., Giller K.E., 2007.** Heterogeneity of crop productivity and resource use efficiency within smallholder Kenyan farms: Soil fertility gradients or management intensity gradients? *Agricultural Systems* 94 (Issue 2) : 376–390.
- Toé A.M., 1997.** Problématique sur l'utilisation des insecticides de synthèse au Burkina Faso. In : Ky K. J.-M. (Ed.) séminaire – atelier : agro écologie et sécurité alimentaire au Burkina Faso. Rapport général, Ouagadougou, Burkina Faso, pp. 68–78.
- 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 unique en science du sol. Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, Burkina Faso, 147 p.
- Traoré O., Sinaj S., Frossard E., 2001.** Disponibilité du phosphore de composts issus de déchets organiques pour le trèfle blanc (*Trifolium repens*). *Cahiers d'études et de recherches francophones/Agricultures* 10 (6) : 389-396.
- Vall E., Koutou M., Blanchard M., Koulibaly K., Diallo A.M., Andrieu N., 2012.** Intégration agriculture-élevage et intensification écologique dans les systèmes agrosylvopastoraux de l'Ouest du Burkina Faso, province du Tuy. Actes du séminaire, novembre 2011, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 13 p.
- Van Reuler H., Prins W.H., 1993.** Synthèse. In : Van Reuler H, Prins WH (Eds.) Rôle de la fertilisation pour assurer une production durable des cultures vivrières en Afrique sub-saharienne. Ponsen et Looijen, Wageningen, Pays-Bas, pp. 3-13.
- Van Straalen N.M., van Rijn J.P., 1998.** Ecotoxicological risk assessment of soil fauna recovery from pesticide application. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 154, 83–141.
- Vieira F.C.B., Bayer C., Zanatta J.A., Dieckow J., Mielniczuk J., He Z.L., 2007.** Soil carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. *Soil and Tillage Research* 96,

195-204.

- Villiers A., 1979.** Initiation à l'entomologie. Tome 1 : Anatomie, Biologie et Classification. Nouvelle société des éditions Boubée et Cie, Paris, France, 324 p.
- 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.
- Wolters V., 2000.** Invertebrate control of soil organic matter stability. *Biology and Fertility of Soils* 31, 1–19.
- WRB (World Reference Base for Soil Resources), 2006.** A framework for International Classification, Correlation and Communication. FAO, Rome, Italie, 128 p.
- Wurst S., Van der Putten W.H., 2007.** Root herbivore identity matters in plant-mediated interactions between root and shoot herbivores. *Basic and Applied Ecology* 8, 491-499.
- Xu M., Lou Y., Sun X., Wang W., Baniyamuddin M., Zhao K., 2011.** Soil organic carbon active fractions as early indicators for total carbon change under straw incorporation. *Biology and Fertility of Soils* 47 (Issue 7): 745-752
- Yaméogo J.T., Somé N.A, Mette Lykke A., Hien M., Nacro H.B., 2013.** Restauration des potentialités de sols dégradés à l'aide du zaï et des cordons pierreux à l'Ouest du Burkina Faso. *Tropicultura* 31 (4) : 224-230.
- Zaremski A., Fouquet D., Louppe D., 2009.** Les termites dans le monde. Editions Quæ, 94 p.
- Zemánek P., 2011.** Evaluation of compost influence on soil water retention. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* LIX (3): 227-232.
- Zida Z., Ouédraogo E., Mando A., Stroosnijder L., 2011.** Termite and earthworm abundance and taxonomic richness under long-term conservation soil management in Saria, Burkina Faso, West Africa. *Applied Soil Ecology* 51, 122-129
- Zougmoré R., 2003.** Integrated water and nutrient management for sorghum production in

semi-arid Burkina Faso. Tropical Resource Management Papers 45, Wageningen, Pays Bas, 205 p.

Zougmoré R., Mando A., Stroosnijder L., 2004a. Effect of soil land water conservation and nutrient management on the soil – plant water balance in semi – arid Burkina Faso. Agricultural Water Management 65, 103–120.

Zougmoré R., Mando A., Stroosnijder L., Ouédraogo E., 2004b. Economic benefits of combining soil and water conservation measures with nutrient management in semiarid Burkina Faso. Nutrient Cycling in Agroecosystems 70, 261-269.

Zougmoré R., Ouattara K., Mando A., Ouattara B., 2004c. Rôle des nutriments dans le succès des techniques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux, bandes enherbées, zaï et demi-lunes) au Burkina Faso. Sécheresse 15 (1) : 1-8.

TABLE DES MATIERES

Sommaire	i
Dédicace	iii
Remerciements	iv
Liste des tableaux	vi
Liste des figures	viii
Liste des photographies.....	ix
Sigles et abréviations	x
Résumé	xi
Abstract	xii
Introduction générale	1
Chapitre 1 : Généralités sur la gestion de la fertilité des sols et la biologie des sols	5
I. Le sol	5
I.1. Définition	5
I.2. Concept de fertilité des sols	5
II. Les causes de la baisse de la fertilité des sols	6
III. Les stratégie de gestion de la fertilité des sols	6
IV. Les rôles des organismes vivants du sol.....	9
IV.1. Définition et classification de la macrofaune du sol.....	9
IV.1.1. Définition de la macrofaune du sol	9
IV.1.2. Classification fonctionnelle de la macrofaune sol.....	9
IV.2. Macrofaune et propriétés des sols.....	10
IV.2.1. Macrofaune et propriétés chimiques	10
IV.2.1.1. Macrofaune du sol et matière organique.....	10
IV.2.1.2. Eléments nutritifs du sol, pH et macrofaune du sol.....	11

IV.2.2. Macrofaune et propriétés physiques.....	12
IV.2.2.1. Macrofaune et porosité du sol.....	12
IV.2.2.2. Macrofaune et structure du sol.....	13
IV.2.2.3. Macrofaune, humidité et capacité de rétention en eau du sol.....	14
IV.2.2.4. Macrofaune et texture du sol.....	14
V. Les effets des pesticides agricoles sur la macrofaune du sol.....	15
VI. Les effets de la macrofaune du sol sur la production agricole.....	15
VII. Conclusion partielle.....	16
Chapitre 2 : Présentation du milieu d'étude et approche méthodologique.....	18
I. Présentation du milieu d'étude.....	18
I.1. Situation géographique du site d'étude.....	18
I.2. Climat de la zone.....	19
I.3. Hydrographie.....	20
I.4 Géologie et sols.....	20
I.5 Végétation.....	20
I.6. Population et principales activités.....	21
II. Approche méthodologique.....	22
Chapitre 3 : Effet de l'interaction entre des modes de gestion de fertilité et la macrofaune sur la productivité du niébé et du sorgho en zone nord soudanienne du Burkina Faso.....	25
Résumé.....	25
Introduction.....	26
I. Matériel et méthodes.....	27
I.1. Description du site.....	27
I.2. Dispositif expérimental.....	28
I.3. Conduite de l'expérimentation et évaluation de la production.....	29
I.4. Analyses statistiques.....	30
II. Résultats.....	30

II.1. Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur la production du sorgho	30
II.2. Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur la production du niébé	32
III. Discussion : Interaction entre les modes de gestion de la fertilité et la macrofaune sur la productivité du sorgho et du niébé	34
Conclusion partielle.....	36
Chapitre 4 : Impact de l'urée et de la qualité de la matière organique sur la macrofaune et le ruissellement.....	37
Résumé	37
INTRODUCTION.....	38
I. MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	39
I.1. Description du site	39
I.2. Dispositif expérimental	39
I.3. Pesticides utilisés et destruction de la macrofaune du sol	41
I.4. Estimation de la population de la macrofaune du sol	41
I.5. Pluviosité et quantité d'eau ruisselée.....	42
I.6. Analyse des données.....	43
II. RESULTATS ET DISCUSSION.....	44
II.1. Effet de l'application des pesticides et des modes de gestion de la fertilité sur la macrofaune du sol.....	44
II.1.1. Résultats	44
II.1.1.1. Effet de l'application des pesticides sur la macrofaune	44
II.1.1.2. Effet des modes de gestion de la fertilité des sols sur la composition et l'abondance de la macrofaune du sol.....	45
II.1.1.3 Diversité de la macrofaune du sol dans les parcelles non traitées aux pesticides.....	51
II.1.1.4. Classes trophiques de la macrofaune	52
II.1.2. Discussion	55

II.1.2.1. Impact des modes de gestion de la fertilité des sols sur la densité de la macrofaune du sol	55
II.1.2.2. Effet des modes de gestion de la fertilité des sols sur la diversité de la macrofaune du sol	56
II.1.2.3. Effet des modes de gestion de la fertilité des sols sur les classes trophiques de la macrofaune	56
II.2. Effet de la macrofaune, des modes de gestion de la fertilité et de leur interaction sur le ruissellement	57
II.2.1. Résultats	57
II.2.1.1. Effet de la macrofaune sur le ruissellement.....	57
II.2.1.1. Effet des modes de gestion de la fertilité sur le ruissellement.....	58
II.2.1.2. Effet de l'interaction entre la macrofaune et les modes de gestion de la fertilité sur le ruissellement	60
II.2.2. Discussion.....	61
II.2.2.1. Impact de la macrofaune sur le ruissellement.....	61
II.2.2.2. Impact des modes de gestion de la fertilité sur le ruissellement.....	61
II.2.2.3. Impact de l'interaction entre la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur le ruissellement	62
Conclusion partielle.....	62
Chapitre 5 : Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur la teneur du sol en phosphore, azote, et potassium.....	64
Résumé	64
INTRODUCTION.....	66
I. Matériel et méthodes.....	67
I.1. Description du site	67
I.2. Dispositif expérimental.....	67
I.3. Conduite de l'expérimentation	68
I.4. Prélèvement des échantillons de sol	69
I.5. Analyses chimiques	69

I.6. Analyses statistiques	70
II. RESULTAT.....	71
II.1. Effet de la macrofaune sur le phosphore total du sol	71
II.2. Effet de la macrofaune sur le phosphore assimilable du sol.....	71
II.3. Effet des modes de gestion de la fertilité des sols sur le phosphore total et assimilable du sol.....	72
II.3.1. Effet des modes de gestion de la fertilité des sols sur le phosphore total	72
II.3.2. Effet des modes de gestion de la fertilité des sols sur le phosphore assimilable du sol	72
II.4. Effet de l'interaction entre la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur le phosphore assimilable du sol	75
II.5. Effet de la macrofaune, des modes de gestion de la fertilité et de leur interaction sur l'azote du sol.....	78
II.6. Effet de la macrofaune, des modes de gestion de la fertilité et de leur interaction sur le potassium disponible du sol.....	80
III. DISCUSSION	81
III.1. Effet de la macrofaune du sol sur le phosphore assimilable du sol	81
III.2. Effet des modes de gestion de la fertilité sur le phosphore assimilable du sol....	82
III.3. Effet de l'interaction entre les modes de gestion de la fertilité et la macrofaune sur le phosphore assimilable du sol	82
III.4. Effet de la macrofaune, des modes de gestion de la fertilité et de leur interaction sur l'azote total du sol.....	83
III.5. Effet de la macrofaune, des modes de gestion de la fertilité et de leur interaction sur le potassium disponible du sol.....	83
Conclusion partielle.....	84
Chapitre 6 : Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur les fractions et l'indice de gestion du carbone d'un lixisol en zone semi-aride.....	85
Résumé	85
Introduction.....	86
I. Matériel et méthodes	87

I.1. Description du site	87
I.2. Dispositif expérimental	87
I.3. Echantillonnage de sol	88
I.4. Analyse de sol	89
I.5. Analyses de données	89
II. Résultats et discussion	90
II.1. Résultats	90
II.1.1. Bilans en masse, en carbone total	90
II.1.2. Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur le carbone total	92
II.1.3. Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur la teneur en carbone des différentes fractions	93
II.1.3.1. Fraction grossière (2 mm–200 µm)	93
II.1.3.2. Fraction intermédiaire (200 µm–50 µm)	93
II.1.3.3. Fraction fine (<50 µm)	94
II.1.4. Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur l'indice de gestion du carbone	95
II.2. Discussion	96
II.2.1. Bilans en masse, en carbone total	96
II.2.2. Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur le carbone total	97
II.2.3. Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur la teneur en carbone des fractions organo-minérales	98
II.2.4. Effet de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur l'indice de gestion du carbone	99
Conclusion partielle	99
Chapitre 7 : Discussion générale	101
I. Dynamique de la macrofaune du sol	101
II. Amélioration des rendements agricoles	101

III. Amélioration de la disponibilité de l'eau et des nutriments du sol	102
Conclusion générale et perspectives	105
Références bibliographiques	109
Table des matières	131
Annexes.....	138

ANNEXES

Annexe 1 : Fiche technique du niébé

VARIETE KVX 61 -1

Jérémy T. Ouédraogo, I. Drabo, JB. Tignéré, C. Dabiré, P. Sérémé, G. Konaté

INERA, 01 BP 476 Ouagadougou 01 Burkina Faso

DESCRIPTION DES CARACTERES

AGRONOMIQUES

Origine : INERA, Burkina Faso

Cycle semis – maturité : 70 jours

Photosensibilité : non

Type de plante : semi-érigé

Hauteur de la plante : 55 cm

Couleur de la graine: mosaïque blanche-brune

Qualité de la graine : sucrée

Vigueur à la levée : bonne

Résistance à la sécheresse : résistante

Résistance au Striga : résistante

Résistance au chancre bactérien: résistante

Résistance aux taches brunes : sensible

Virose : sensible

Insectes : sensible

Rendement grain potentiel : 1500 kg / ha

Rendement grain en milieu paysan : 800 kg / ha

Points forts

- goût sucré
- bon rendement
- faible taux de transmission de virus

(CABMV)

Points faibles :

- couleur bigarrée des graines
- sensible aux taches brunes

AIRE DE CULTURE : zone entre les isohyètes 400 et 800 mm

TRAITEMENTS PESTICIDES : deux traitements suffisent

- premier traitement : début de formation de fleurs (35 jours après semis)

- deuxième traitement : début de formation des gousses (15 jours après le 1^{er} traitement)

RECOMMANDATIONS CULTURALES

Vocation culturale : pluviale ou irriguée à partir de fin février

Choix du terrain :

- précédent cultural : céréale ou coton suivant la zone

Type de sol : sablo-argileux, argilo-sableux ou sableux

Type de champ : champ de brousse ou champ de case

Préparation du sol par un labour : en sol humide, en traction animale ou motorisée

En culture pure

Fumure : 100 kg de NPK / ha

Ecartement entre les lignes : 80 cm

Ecartement sur les lignes : 40 cm

Semer 2 graines par poquet

Dosage de semences : 12 kg / ha

Date de semis :

Zone de 400 mm à 800 mm : fin juin à mi-juillet

Zone > 800 mm : début août

Effectuer 2 sarclages : deux semaines après semis et 5 semaines après semis

Annexe 2 : Fiche technique du sorgho

VARIETE SARIASO 14

Synonyme : CEF 322/53-1-1, CIRAD 437

Origine : Burkina Faso (INERA/CIRAD, Saria)

DESCRIPTION DES CARACTERES AGRONOMIQUES

- Cycle semis – floraison : 76 à 82 jours
- Cycle semis – maturité : 110 à 115 jours
- Photosensibilité : moyenne
- Hauteur de la plante : 1,90 m
- Couleur du feuillage : anthocyané
- Forme de la panicule : oblongue
Compacité de la panicule : semi-compacte
- Viscosité du grain : semi-vitreux
- Vigueur à la levée : très bonne
- Couleur du grain : blanc
 - Rendement grain potentiel : 5 t / ha
 - Rendement grain en milieu paysan : 1,7 t / ha (29 tests région Centre de 1997 à 1999)
 - Gain moyen de rendement par rapport aux variétés locales en milieu paysan : +30%
- Résistance à la sécheresse : résistance au stade post floraison
- Résistance à la verse : assez résistante
- Résistance au Striga : tolérante
- Résistance aux maladies foliaires : assez résistante
- Résistance aux moisissures des grains : assez résistante
- Résistance à la cécidomyie : moyenne résistante

Points forts

- productivité élevée
- excellente régularité des rendements
- tolérance à la sécheresse post-floraison
- haut degré de résistance aux maladies

Points faibles :

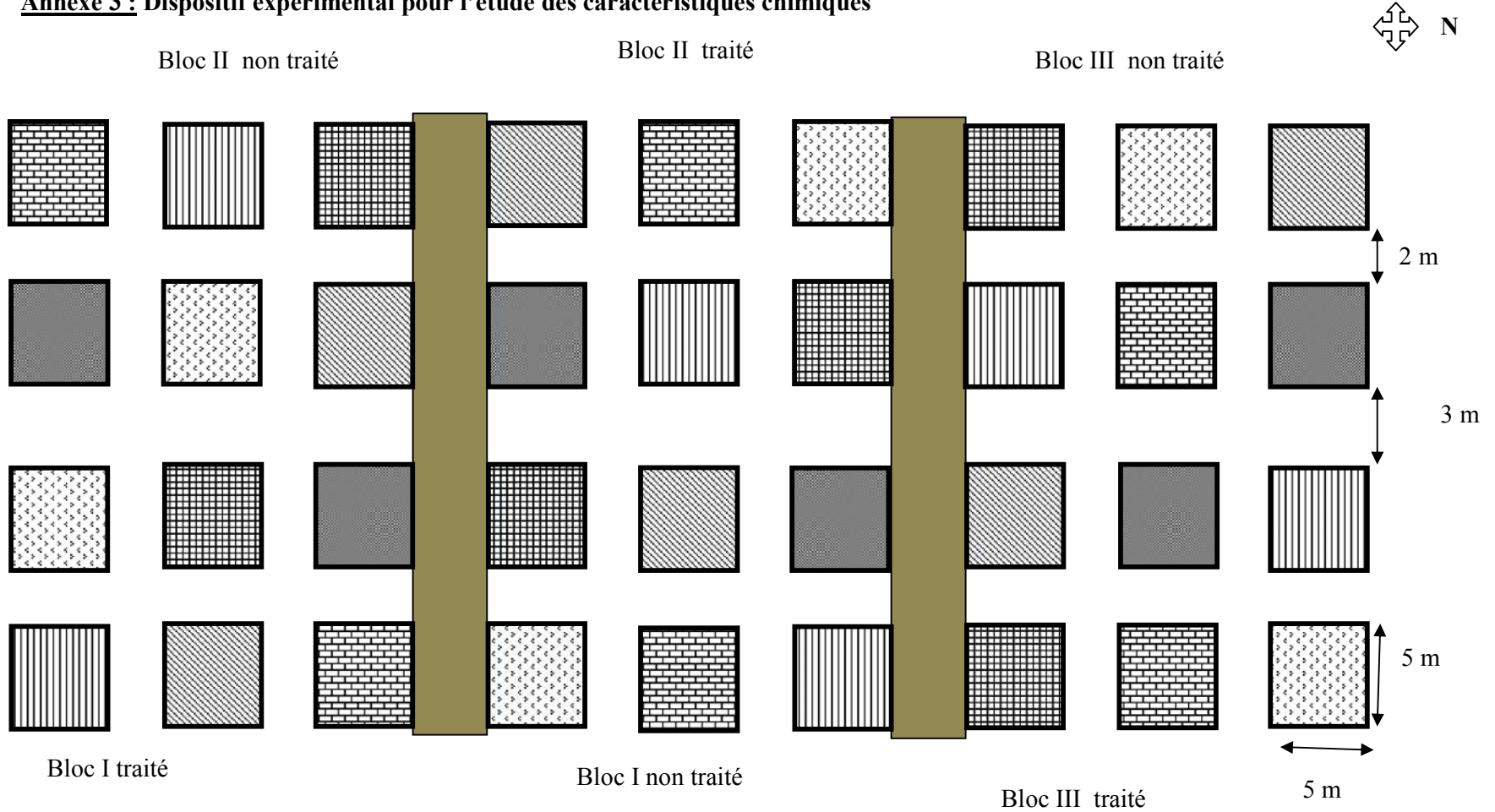
- taches rouges sur les graines

AIRE DE CULTURE : zone entre les isohyètes 600 et 900 mm







Information complémentaire auprès de :

INERA / station de Saria, Section Sorgho, BP 10 Koudougou, Tel : 50 44 00 42

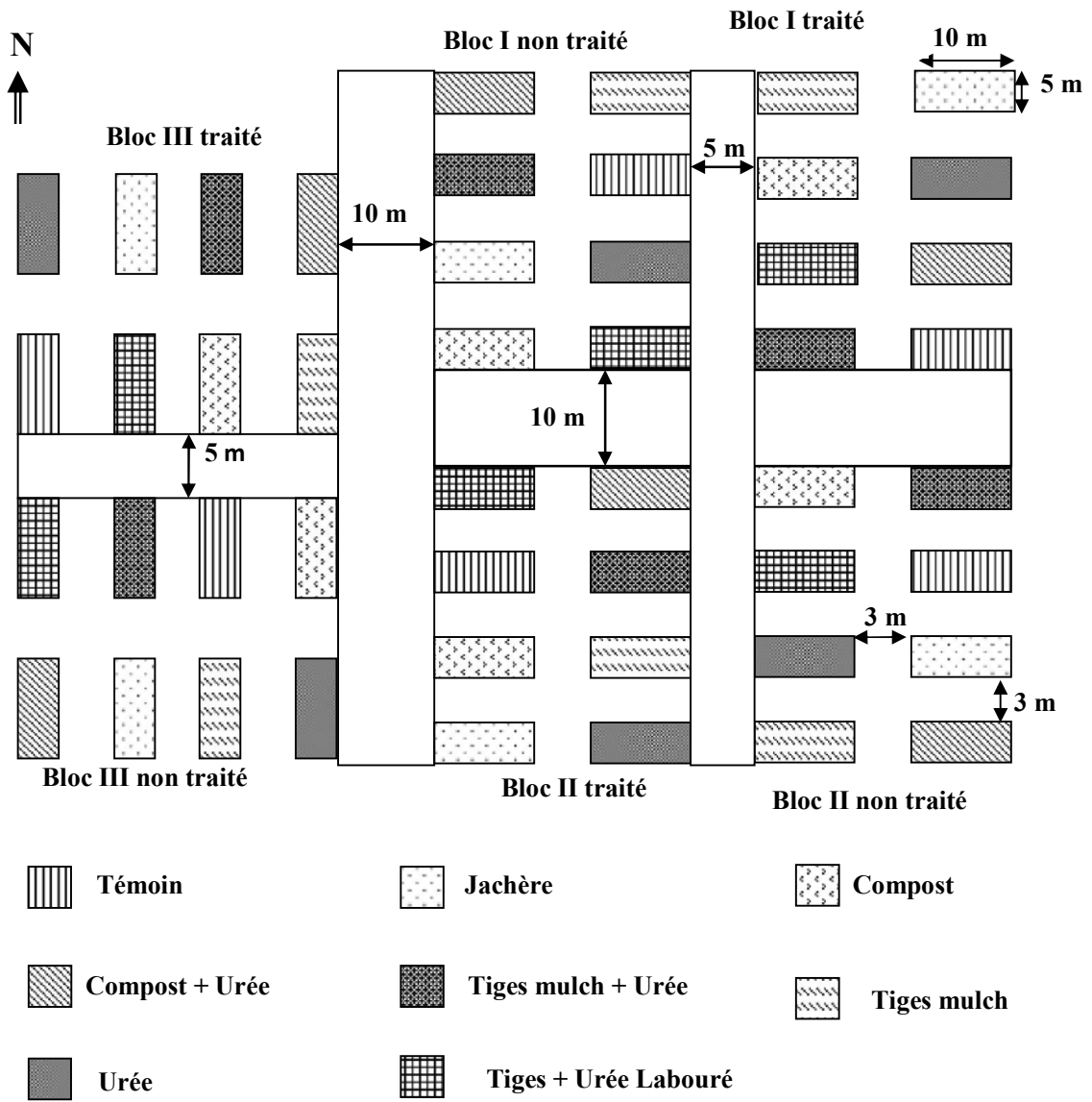
Annexe 3 : Dispositif expérimental pour l'étude des caractéristiques chimiques



Légende :

-  Compost
-  Compost + Urée
-  Tiges + Urée
-  Tiges
-  Urée
-  Témoin

Annexe 4 : Dispositif d'étude du ruissellement et de la productivité du sorgho et du niébé



Annexes 5 : Liste des publications issues de la thèse

OUEDRAOGO J., NACRO H.B., OUEDRAOGO E., YOUL S., SEDOGO M.P., 2014. Amélioration de la disponibilité du phosphore par la gestion de la macrofaune du sol : cas d'un lixisol en zone semi-aride du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 8 (4) : 1838-1846.

OUEDRAOGO J., OUEDRAOGO E., NACRO H.B., 2014. Effet de l'interaction entre des modes de gestion de fertilité et la macrofaune sur la productivité du niébé et du sorgho en zone nord soudanienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 8 (1) : 104-114.

OUEDRAOGO J., OUEDRAOGO E., TRAORE M., YOUL S., NACRO H.B. Interaction between the Management of Soil Fertility and Macrofauna Reduces Runoff on a Lixisol in the North-sudanian Zone of Burkina Faso. *Experimental Agriculture (Soumis)*