

BURKINA FASO

Unité-Progrès-Justice

.....
**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET DE L'INNOVATION (MESRSI)**

.....
UNIVERSITE NAZI BONI (UNB)

.....
INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL (IDR)



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

En vue de l'obtention du

DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

OPTION : AGRONOMIE

Thème

**Effets de l'agriculture de conservation sur les flux
hydriques, la fertilité du sol et les rendements des
cultures dans l'Ouest du Burkina Faso**

Présenté par SANON Kiétééré Faïçal Joseph

Maître de stage :

Dr Kalifa COULIBALY

Directeur de mémoire :

Pr Hassan Bismarck NACRO

N :2017/Agro

Juillet 2017

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	i
DEDICACE.....	iii
REMERCIEMENTS	iv
LISTE DES FIGURES, TABLEAUX ET PHOTOGRAPHIES	v
SIGLES ET ABREVIATIONS	vi
RESUME.....	vii
ABSTRACT.....	viii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
1.1. Définition de quelques concepts.....	4
1.1.1. Fertilité du sol.....	4
1.1.2. Système de culture	4
1.2. Etat des sols au Burkina Faso	5
1.3. Quelques modes de gestion de la fertilité du sol	5
1.3.1. Insertion des légumineuses dans les systèmes de culture	5
1.3.2. Jachère.....	6
1.3.3. Techniques de Conservation des Eaux et des Sols/ Défense et Restauration des Sols (CES/DRS).....	6
1.4. Généralités sur l'agriculture de conservation	7
1.4.1. Principes	7
1.4.2. Potentialités et limites de l'agriculture de conservation.....	8
1.4.2.1. Potentialités.....	8
1.4.2.2. Limites	8
1.4.3. Effets de l'agriculture de conservation sur les flux hydriques	9
1.4.4. Effets de l'agriculture de conservation sur l'activité biologique du sol.....	9
1.4.5. Etat de l'agriculture de conservation au Burkina Faso	10
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODE.....	12
2.1. Présentation du milieu d'étude	12
2.1.1. Site d'étude.....	12
2.1.2. Climat	13
2.1.3. Végétation	14
2.1.4. Sols.....	14
2.1.5. Réseau hydrographique	14
2.1.6. Population.....	14

2.2.	Matériel.....	15
2.3.	Méthodologie.....	16
2.3.1.	Dispositif expérimental	16
2.3.2.	Conduite de l'expérimentation	17
2.3.3.	Paramètres suivis.....	18
2.3.3.1.	Echantillonnage du sol.....	18
2.3.3.2.	Humidité du sol.....	18
2.3.3.3.	Mesure de l'infiltration de l'eau dans le sol.....	18
2.3.3.4.	Macrofaune du sol.....	19
2.3.3.5.	Activité respiratoire du sol.....	20
2.3.3.6.	Détermination des paramètres chimiques	21
2.3.3.7.	Détermination du stock de carbone du sol.....	22
2.3.3.8.	Rendement	24
2.3.4.	Analyses statistiques	24
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION		25
3.1.	RESULTATS.....	25
3.1.1.	Effets de l'agriculture de conservation sur l'humidité du sol	25
3.1.2.	Effets de l'agriculture de conservation sur l'infiltration de l'eau dans le sol	28
3.1.3.	Effets de l'agriculture de conservation sur l'activité respiratoire du sol.....	30
3.1.4.	Effets de l'agriculture de conservation sur la macrofaune du sol	33
3.1.5.	Effets de l'agriculture de conservation sur les paramètres chimiques du sol....	35
3.1.6.	Effets de l'agriculture de conservation sur le stock de carbone du sol	37
3.1.7.	Effets de l'agriculture de conservation sur les rendements de culture.....	38
3.2.	DISCUSSION.....	41
3.2.1.	Effets de l'agriculture de conservation sur les flux hydriques	41
3.2.2.	Effets de l'agriculture de conservation sur l'activité biologique du sol.....	42
3.2.3.	Effets de l'agriculture de conservation sur les paramètres chimiques et le stockage du carbone.....	43
3.2.4.	Effets de l'agriculture de conservation sur les rendements des cultures.....	44
CONCLUSION GENERALE		46
BIBLIOGRAPHIE		47
ANNEXES		a



A mes parents SANOU Aïssata et SANON Kou Benjamin

A mon petit frère SANON Stanislas Sakon Farouk

A la grande famille SANON

Ainsi qu'à tous mes amis

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui nous voudrions témoigner ici toute notre reconnaissance. Nos sincères remerciements :

- Au Dr Valentine C. YAPI-GNAORE, Directrice générale du CIRDES, pour nous avoir accepté au sein de sa structure.
- Au Dr Mamadou SANGARE, chef de l'URPAN, pour nous avoir accepté au sein de son unité.
- Au Dr Kalifa COULIBALY, Enseignant/Chercheur à l'Université Nazi Boni, notre maître de stage pour la rigueur dont il a fait montre et pour sa constante disponibilité.
- Au Professeur Hassan Bismarck NACRO, Enseignant/Chercheur à l'Université Nazi Boni, notre directeur de mémoire qui malgré son emploi de temps très chargé, à accepter la tutelle de cette étude.
- Au corps professoral de l'IDR, pour la qualité de l'encadrement technique et scientifique dont nous avons bénéficié au cours de notre formation.
- A monsieur Amoro Sié OUATTARA, technicien au laboratoire Sol-Eau-Plante de l'INERA *Farako-bâ* ainsi qu'à toute son équipe pour l'assistance qu'ils nous ont accordé durant les analyses de sol.
- A monsieur Brigui LY, de nous avoir accepté au sein de son exploitation pour mener à bien notre essai, et pour la riche expérience dont nous avons bénéficié à ses côtés.
- A Bekuoné Zoumosé SOME, le technicien du laboratoire LERF de l'UNB.
- A l'équipe qui nous a accompagnée dans la collecte des données : OUATTARA Isabelle, LY amadou, SAWADOGO Adama, POODA Lamine.
- Aux camarades stagiaires pour les moments agréables passés ensemble : OUATTARA Siaka, SOME Marc, BAMBARA Cheik, SIENOU Ousséni, OUEDRAOGO Léopold, BACIA Rabiadou, SOMDA Bienvenu, SAWADOGO Inoussa, HEMA Fousséni, TABSOBA Abdoul-Aziz, KAWASSE Hadara, OUEDRAOGO Arouna.
- A la 40^{ème} promotion de l'IDR pour les moments de peine et de joie passés ensemble.
- A toutes celles et tous ceux qui d'une quelconque manière que ce soit, ont contribué à la réalisation de ce mémoire et dont les noms n'ont pu être cités.

LISTE DES FIGURES, TABLEAUX ET PHOTOGRAPHIES

Liste des figures

Figure 1 : Situation géographique de Koumbia	12
Figure 2 : Evolution de la pluviosité au cours des dix dernières années dans la commune de Koumbia (Source : Service d'Agriculture de Koumbia, 2016).....	13
Figure 3 : Répartition de la pluviosité mensuelle dans la commune de Koumbia au cours de l'année 2016 (Source : Service d'Agriculture de Koumbia, 2016).....	13
Figure 4 : Schémas du dispositif expérimental	17
Figure 5 : Evolution de l'humidité du sol en agriculture de conservation et en système conventionnel	27
Figure 6 : Evolution de la vitesse d'infiltration de l'eau en fonction de la profondeur du sol.	29
Figure 7 : Evolution journalière du CO ₂ dégagé en fonction des traitements, suivant différentes couches du sol et différents nombres de jour après semis.....	31
Figure 8 : Evolution du cumul de CO ₂ dégagé en fonction des traitements, suivant différentes couches du sol et différents nombres de jour après semis.....	32
Figure 9 : Variation du stock de carbone du sol en fonction des traitements	37
Figure 10 : Variation des rendements de maïs et du niébé en fonction des traitements.	39
Figure 11 : Variation de la production de biomasse (paille avec ou sans fane) en fonction des traitements.	40

Liste des tableaux

Tableau I : Analyse de l'effet de variation de la densité (Nbre ind. /m ²) et la diversité (Indice de Shannon) de la macrofaune du sol à 50 JAS.	33
Tableau II : Variation de la densité (Nbre ind. /m ²) et de la diversité (Indice de Shannon) de la macrofaune du sol à 70 JAS.	34
Tableau III : Variation de quelques caractéristiques chimiques du sol en fonction des traitements	36

Liste des photographies

Photo 1 : Infiltromètre à double anneaux	19
Photo 2 : Illustration de manipulations pour la détermination de l'activité respiratoire du sol	21
Photo 3: Matériel de prélèvement pour la détermination du volume et de la masse du sol.....	23

SIGLES ET ABREVIATIONS

AC :	Agriculture de conservation
ANOVA :	<i>Analyse of variance</i>
CES/DRS :	Conservation des Eaux et des Sols/ Défense et Restauration des Sols
CIRDES :	Centre International de Recherche-Développement sur l’Elevage en zone Subhumide
CO₂ :	Dioxyde de Carbone
DGPER :	Direction Générale de la Promotion de l’Economie Rurale
FAO :	<i>Food and Agriculture Organization</i>
IDR :	Institut du Développement Rural
INERA :	Institut de l’Environnement et de Recherches Agricoles
JAS :	Jour Après Semis
LERF :	Laboratoire d’Etude et de Recherche sur la Fertilité du sol
NPK :	Complexe engrais composé d’azote (N), de Phosphore (P) et de Potassium (K)
pH :	Potentiel Hydrogène
SC :	Système conventionnel
URPAN :	Unité de Recherche sur les Productions Animales
UNB :	Université Nazi Boni

RESUME

La baisse de la fertilité des sols constitue une contrainte majeure à l'amélioration de la production agricole au Burkina Faso. Le recours à de nouveaux systèmes de culture à même de soutenir durablement la production agricole s'impose. L'agriculture de conservation pourrait être une alternative pour relever les défis de productions et de gestion durable des terres agricoles au vu de ses nombreuses potentialités. L'objectif de notre étude est d'évaluer les effets de quatre (04) années de pratique continue de l'agriculture de conservation sur les performances des systèmes de production dans l'Ouest du Burkina Faso. Elle s'est déroulée dans le village de Koumbia (11° 14' 11'' Nord; 3° 41' 47'' Ouest), localité située dans la région des Hauts-Bassins (Burkina Faso). Le dispositif expérimental a été mis en place depuis 2013 ; il s'agit d'un dispositif factoriel en blocs comprenant quatre traitements et trois répétitions. Les facteurs considérés étant le système conventionnel (SC) et le système d'agriculture de conservation (AC). Quatre traitements ont été comparés : SC₁ = labour + maïs+ 0 t/ha de résidus de culture + apport d'engrais NPK à 15 JAS ; SC₂ = labour + maïs + 0 t/ha de résidus de culture + apport au semis de NPK ; AC₁ = semis direct + maïs/niébé + 2 t/ha de résidus de culture + apport d'engrais NPK à 15 JAS ; AC₂ = semis direct + maïs/niébé + 2 t/ha de résidus de culture + apport au semis de NPK. Les données collectées au cours de notre étude ont porté sur l'humidité pondérale du sol, l'infiltration de l'eau dans le sol, la biologie du sol, les paramètres chimiques du sol et les rendements des cultures. Les résultats montrent qu'après quatre années de pratique continue de l'agriculture de conservation, les composantes de la fertilité de la couche superficielle du sol 0-5 cm sont améliorées. Le système d'agriculture de conservation a significativement augmenté le pH du sol (11,32 %), le carbone (81,13 %), l'azote (85,71 %) et le potassium (97,55 %) par rapport au système conventionnel. Les résultats sur le stock de carbone ont également montré une augmentation significative de 69 % de la quantité de carbone stockée en système d'agriculture de conservation. Il a induit une augmentation non significative en rendements grain (23,8 %) et paille (26,06 %) de maïs. La production en biomasse fourragère totale (paille avec ou sans fane) a montré une augmentation significative de 37,45 % en agriculture de conservation. On peut donc dire que l'agriculture de conservation avec 2t/ha de paille comme couverture, peut permettre de gérer de façon durable les sols tropicaux et améliorer la productivité des systèmes de culture.

Mots clés : Association culturale, infiltration, paillage, semis direct, stock de carbone.

ABSTRACT

Declining in soil fertility is a major constraint to the improvement of agricultural production in Burkina Faso. Use of new cropping systems capable of sustainably supporting agricultural production is necessary. Conservation agriculture could be an alternative to addressing the challenges of production and sustainable management of agricultural lands in line with its multiple potentialities. Objective of our study is to evaluate the effects of four (4) years of continuous practice of conservation agriculture on the performances of production systems in western Burkina Faso. This study was carried out in the village of Koumbia (11 ° 14 '11" North, 3 ° 41' 47" West), located in the Hauts-Bassins region (Burkina Faso). Our experimental design was a block factorial plan including four treatments and three repetitions. Factors considered are the conventional system (CS) and the conservation agriculture system (CA). Four treatments were compared: CS1 = plowing + corn + 0 t / ha of crop residues + NPK fertilizer supply at 15 JAS; CS2 = plowing + corn + 0 t / ha of crop residues + NPK seeding; CA1 = direct seed + corn / Niébé + 2 t / ha crop residues + NPK fertilizer supply at 15 JAS; CA2 = direct seed + corn / Niébé + 2 t / ha of crop residues + NPK seeding. Data collected in this study included soil moisture, water infiltration, soil biology, chemical parameters, and crop yields. The results show that after four years of continuous conservation farming, the fertility components of the soil surface layer are improved. Conservation agriculture system significantly increased the soil pH by 11.32%, carbon (81.13%), nitrogen (85.71%) and potassium (97.55%) compared to Conventional system on the 0-5 cm layer of soil. Carbon stock results also showed a significant 69% increase in the amount of carbon stored in conservation agriculture systems compared to the conventional system. It induced a non-significant increase in grain yield (23.8%) and straw (26.06%) of maize compared to conventional system. Production of total forage biomass (straw with or without fanned) showed a significant 37.45% increase in conservation agriculture. It can therefore be said that conservation agriculture with 2t / ha of straw as a cover can help to sustainably manage tropical soils and improve the productivity of cropping systems.

Key words: Carbon stock, cropping association, direct seeding, infiltration, mulching.

INTRODUCTION

L'économie des pays de l'Afrique sub-saharienne en général et celle du Burkina Faso en particulier, repose sur l'Agriculture. Ce secteur emploie plus de 80 % de la population et contribue à environ 25 % au produit intérieur brut (DGPER, 2010a). Outre sa forte contribution à la sécurité alimentaire, le secteur rural fournit 61,5 % des revenus monétaires des ménages agricoles. Ces revenus proviennent pour 67 % de la production végétale, 30,9 % de l'élevage et pour 2,1 % des produits de l'environnement (DGPER, 2010b).

En dépit de son importance socio-économique, le secteur agricole au Burkina Faso à l'instar des autres pays de l'Afrique sub-saharienne, se caractérise par une faible productivité (Bado, 2002) et par une forte instabilité de sa production (Kiba, 2012). Durant les trois dernières décennies, marquées par les grandes sécheresses de 1973 et 1983, la région sahélienne a été caractérisée par la sévérité de la dégradation des ressources naturelles (Kiema *et al.* 2008). L'accroissement rapide des besoins en terres du fait du mode de production agricole, de la croissance démographique rapide et de l'urbanisation spontanée, augmente la pression sur les ressources naturelles et provoque leur dégradation (Hountondji, 2008). La baisse continue de la pluviosité et les différentes formes d'érosion hydrique et éolienne, concourent également à cette dégradation (Kiema *et al.*, 2008). Les sols des pays sahélien en général sont caractérisés par leur faible fertilité intrinsèque, leur faible teneur en matière organique et en argile, leur faible capacité d'échange cationique, une mauvaise stabilité structurale des horizons superficiels se traduisant par une susceptibilité à l'érosion (Pieri, 1989 ; Doamba *et al.*, 2011). Cet état de fait conjugué à la péjoration climatique et à la pression anthropique, ont pour conséquences une accélération de la dégradation des terres agricoles ainsi que la régression globale des rendements des différentes spéculations (Traoré et Toé, 2008). La baisse de la fertilité des sols suite à la dégradation des terres constitue alors la contrainte majeure à la productivité des agrosystèmes.

Au Burkina Faso, la forte croissance démographique (augmentation annuelle de 3,1 % d'après INERA, 2014) dans le contexte d'une agriculture extensive et peu productive, a entraîné une pression croissante sur les ressources naturelles. Cette pression se traduit par une extension des superficies cultivées qui s'opère même sur des terres de moins en moins propices aux cultures (Zoundi *et al.* 2006). Ces mêmes auteurs font constater la conséquence immédiate d'une telle situation par la disparition de la jachère naturelle qui assurait de par le passé l'amélioration du statut organique des sols. Cette agriculture extensive à très faibles intrants et sans recyclage des

résidus de récolte entraîne des bilans négatifs en éléments nutritifs et ne permet pas d'entretenir la fertilité des sols à long terme (Bado, 2002). Face à une telle situation, il est nécessaire de développer des techniques accessibles aux producteurs et permettant d'augmenter la production par unité de surface tout en maintenant la fertilité des sols à long terme.

L'agriculture de conservation (AC) se présente comme une option de gestion de la fertilité des sols. Elle repose sur trois principes fondamentaux à savoir le travail minimal du sol, la protection du sol *via* une couverture par un *mulch* et la diversification des cultures (association et/ou rotation culturale). Selon la FAO (2005), l'agriculture de conservation est une alternative intéressante pour relever les multiples défis auxquels doit faire face le secteur agricole aujourd'hui, notamment celui des pays de statut particulier comme le Burkina Faso. De nombreux travaux ont montré l'effet bénéfique de l'agriculture de conservation sur la fertilité du sol ainsi que sur le rendement des cultures (Scopel et Findeling, 2001 ; Scopel *et al.*, 2005 ; Schaller, 2013). L'agriculture de conservation est un mode de production encore récent au Burkina Faso. Bien que certains de ses principes se rencontrent déjà dans les systèmes de production, elle est cependant peu adoptée. Ici, la problématique est donc d'adapter l'agriculture de conservation aux différents types de systèmes de production présents en région semi-aride d'Afrique afin d'améliorer la productivité et de réhabiliter les sols. Pour répondre à cette problématique, des études ont été menées depuis 2013 par le projet ABACO (*Agro-ecology Based Aggradation-Conservation agriculture*) et conduit par le CIRDES (Centre International de Recherche-Développement sur l'Élevage en zone Subhumide) dans le village de Koumbia. Notre étude dont le thème est « *Effets de l'agriculture de conservation sur les flux hydriques, l'activité biologique du sol et les rendements des cultures dans le village de Koumbia* » fait suite à ces précédentes études. L'objectif global de l'étude est d'améliorer les performances des systèmes de production dans l'Ouest du Burkina Faso par le biais de l'agriculture de conservation.

Dans le cadre de la présente étude, il s'est agi de déterminer plus spécifiquement :

- l'effet de l'agriculture de conservation sur l'infiltration de l'eau et l'humidité du sol;
- l'effet de l'agriculture de conservation sur la macrofaune, l'activité respiratoire et les paramètres chimiques du sol ;
- l'effet de l'agriculture de conservation sur le rendement du maïs.

Le présent mémoire est structuré en trois chapitres. Le premier chapitre présente la synthèse bibliographique. Le deuxième chapitre expose le matériel et la méthode adoptée pour l'étude, et le troisième chapitre rend compte des résultats obtenus, suivis d'une discussion. Une conclusion générale et des recommandations sont ensuite proposées.

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Définition de quelques concepts

1.1.1. Fertilité du sol

La définition de la fertilité d'un sol reste diversement appréciée selon le domaine d'activité. Selon Lavigne (1996), la fertilité est une mesure quantitative liée à la richesse du sol en éléments minéraux qui peut augmenter ou décroître en fonction des pratiques culturales. Mando *et al.* (2000) définissent la fertilité d'un sol comme étant sa capacité à fonctionner dans les limites d'un écosystème aménagé ou naturel afin de soutenir la production animale ou végétale, de maintenir voire d'améliorer la qualité des systèmes auxquels il est lié. Dugué (2000), définit la fertilité d'un milieu (et pas seulement du sol) comme étant son aptitude à satisfaire durablement les besoins des populations rurales au travers des systèmes de production et d'aménagement qu'elles mettent en œuvre. La fertilité d'un sol selon Traoré et Toé (2008) est déterminée par la structure physique, chimique et l'activité biologique du sol qui sont des éléments fondamentaux pour assurer la durabilité de la productivité agricole. Pour notre part, la fertilité d'un sol est un ensemble d'éléments physiques, chimiques et biologiques qui permettent la croissance harmonieuse de la culture.

1.1.2. Système de culture

Le système de culture est une notion qui peut être considérée à l'échelle de la parcelle, de l'exploitation ou de la localité (Lavigne, 1996). Dans cette étude, c'est le concept à l'échelle de la parcelle qui retient notre attention. En effet Lavigne (1996) définit le système de culture comme étant l'ensemble des successions de cultures et des techniques mises en œuvre sur une même parcelle pour obtenir une ou plusieurs productions végétales. Cela dit, la définition d'un système de culture renferme quatre caractéristiques principales : les espèces cultivées, leur succession dans le temps, leur association éventuelle sur une même parcelle et l'itinéraire technique des cultures pratiquées (Jouve, 2003).

1.2. Etat des sols au Burkina Faso

Au Burkina Faso, la fertilité des sols constitue un handicap majeur à la production agricole. Le faible niveau de production est en partie lié même à la pauvreté naturelle de ces sols (Pieri, 1989). A cela, il faut ajouter la péjoration climatique et la pression anthropique qui contribuent fortement à la dégradation des sols. En effet, une étude (SP CONEDD, 2006) estime qu'environ 11 % des terres du pays sont considérées comme très dégradées, et 34 % comme moyennement dégradées. La plupart des sols du Burkina Faso, d'un point de vue pédo-génétique, sont développés sur un matériau parental pauvre en éléments nutritifs majeurs (azote, phosphore et potassium) et ont une faible teneur en matière organique (Yaméogo, 2012). La proportion de matière organique est inférieure à 1 % pour 55 % des sols étudiés ; elle est comprise entre 1 et 2 % pour 29 % des sols, et supérieure à 2 % pour seulement 16 % des sols (Pallo et Thiombiano, 1989). La teneur en azote total est inférieure à 0,06 % pour 95 % des sols (Traoré et Toé, 2008), et celle du phosphore disponible est comprise entre 0,02 et 2,9 mg/kg de sol (Pallo et Thiombiano, 1989).

1.3. Quelques modes de gestion de la fertilité du sol

1.3.1. Insertion des légumineuses dans les systèmes de culture

L'insertion des légumineuses dans les systèmes de cultures participe à l'amélioration des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des sols. En effet, des travaux conduits par Bado (2002) ont montré que l'utilisation des légumineuses en rotation ou en association dans les systèmes de culture apporte une amélioration de la teneur en azote du sol grâce à la fixation de l'azote atmosphérique par ces légumineuses, teneur en azote dont une partie est stockée dans le sol. Il montre que des légumineuses telles que l'arachide et le niébé, couramment cultivées par les producteurs peuvent fixer jusqu'à 56 kg/ha d'azote atmosphérique. Les légumineuses, en plus de cette capacité de fixation de l'azote atmosphérique, permettent d'améliorer la teneur en carbone du sol. Les études de Sidibé (2013) ont montré une nette amélioration du statut organique du sol, qui est passé presque du simple (4,88 g/kg de C) au double (7,91 à 8,49 g/kg de C) dans les parcelles de précédents légumineuses comparés au statut initial du sol. Aussi utilisées comme plantes de couvertures, les légumineuses permettent de lutter contre l'érosion du sol. Les résultats de Segda *et al.* (1997) indiquent une bonne protection du sol par les légumineuses avec un taux de couverture de 80 %.

1.3.2. Jachère

En Afrique tropicale, la jachère a été définie comme le repos d'une terre cultivable pour une période déterminée en fonction des conditions locales, période au cours de laquelle la terre ne fait pas l'objet d'aménagements cultureux mais peut être pâturée, et au terme de laquelle elle sera remise en culture (Anlimouddine, 1999). Selon Lavigne (1996), la jachère permet, par des processus biologiques, de reconstituer un sol forestier à travers l'accumulation de matière organique en surface et la formation d'une litière. De ce fait elle favorise selon lui la décompaction du sol, l'amélioration de l'infiltration, l'accumulation de matière organique stable par les racines, l'élimination progressive des adventices et des parasites de cultures. La jachère a été pendant longtemps le système traditionnel d'utilisation des sols en zone sahélienne. De nos jours du fait de la pression démographique, les jachères sont de courte durée voire quasi inexistantes, ce qui limite considérablement leur effet sur la restauration de la fertilité (Ambouta *et al.*, 2000). Il s'agit donc de trouver des solutions alternatives à la pratique de la jachère, ou du moins de raccourcir la durée de la jachère en lui permettant en même temps de remplir son rôle de restauration des propriétés physico-chimique et biologique des sols cultivés. C'est pourquoi la recherche tente d'améliorer la pratique de la jachère par l'introduction des plantes améliorantes semées, à savoir les graminées et/ou légumineuses. Lavigne (1996) constate qu'en trois (03) ans, la jachère améliorée permet de reconstituer l'effet positif d'une jachère naturelle de dix (10) ans.

1.3.3. Techniques de Conservation des Eaux et des Sols/ Défense et Restauration des Sols (CES/DRS)

Les techniques de CES/DRS sont un ensemble de méthodes qui permettent de restaurer la capacité de production du sol en améliorant ses paramètres physiques, chimiques et biologiques. Ces techniques consistent à la construction d'ouvrages antiérosifs à la surface du sol afin de collecter les eaux de ruissellement en améliorant leur vitesse d'infiltration. Parmi ces techniques, on peut citer le zaï, les demi-lunes, les cordons pierreux, le paillage et les bandes enherbées. Plusieurs études ont montré l'effet bénéfique de ces techniques sur la restauration de la capacité productive des sols dégradés (Kiema *et al.*, 2008 ; Doamba *et al.*, 2011). En effet Zougmoré *et al.* (2004) ont montré que la combinaison des techniques de conservation des eaux et des sols (CES) et de la fertilisation organique, améliorent d'avantage les caractéristiques chimiques du sol et sa productivité. Sawadogo *et al.* (2008) confirment ces résultats et montrent

que la technique du zaï en association avec le compost relève le niveau des pH eau et KCl ainsi que le taux de carbone organique total, de l'azote total et du phosphore disponible du sol. Les techniques de CES/DRS contribuent certes à l'amélioration de la fertilité des sols et à la récupération des terres dégradées, mais il faut noter cependant que les aménagements par ces techniques ne se font pas sans difficultés. Il s'agit notamment de la disponibilité locale des ressources, comme la main-d'œuvre, les matériaux, les outils (matériels), le savoir-faire de la population et l'intérêt économique des réalisations entreprises, c'est-à-dire le rapport coûts/bénéfices (Vlaar, 1992). Ce même auteur fait remarquer que pour l'aménagement d'un site en cordons pierreux par exemple, la disponibilité des moellons de pierres constitue une entrave compte tenu du fait que les pierres ne se trouvent pas toujours facilement dans les champs. Elles sont surtout ramassées sur les collines et les plateaux, à des distances pouvant atteindre 6 km des sites.

1.4.Généralités sur l'agriculture de conservation

1.4.1. Principes

L'agriculture de conservation est une méthode de gestion des agroécosystèmes qui a pour but une amélioration soutenue de la productivité, une augmentation des profits ainsi que de la sécurité alimentaire tout en préservant et en améliorant les ressources et l'environnement (FAO, 2015). Les principes de conduite des écosystèmes cultivés en système de couverture végétale visent à reproduire le fonctionnement d'un écosystème naturel forestier et en particulier celui de sa litière (Husson *et al.* 2013). L'agriculture de conservation désigne des systèmes de culture où le travail minimal du sol, la couverture végétale permanente du sol et la diversification des cultures à travers les associations et/ou rotations de cultures, sont appliquées simultanément à l'échelle de la parcelle (Djamen *et al.*, 2015). Le semis se fait directement dans la couverture végétale vivante ou morte, qui doit couvrir le mieux possible le sol. Dugué (2014) constate que cette couverture végétale protège le sol contre l'érosion et améliore la fertilité du sol par des apports organiques constants et une stimulation des activités biologiques. Dans ces conditions, les composantes de la fertilité des sols sont reconstituées de façon durable, sur les plans physico-chimique et des activités micro et macro biologiques (Chabanne *et al.*, 2003). Le non-travail du sol contrairement au labour, limite la vitesse de décomposition de la matière organique, ce qui est d'autant plus important sous les climats chauds et humides où cette décomposition est très rapide (Nacro, 1997 ; Dounias, 2001). Les trois principes de l'agriculture de conservation ont pour principal objectif de réduire la dégradation des sols et d'améliorer leur fertilité en préservant la matière organique, la faune et la flore des sols (Schaller, 2013).

1.4.2. Potentialités et limites de l'agriculture de conservation

1.4.2.1. Potentialités

L'agriculture de conservation est une nouvelle technologie qui présente bien des avantages que l'on peut aborder sous trois aspects. D'abord d'un point de vue agronomique, l'agriculture de conservation permet d'améliorer de façon générale la productivité des sols. En effet, l'accumulation des résidus des cultures entraîne une augmentation de la matière organique du sol (Schaller, 2013). Dans un premier temps, cela se limite à la première couche superficielle du sol, mais avec le temps ce phénomène va concerner les horizons en profondeur (FAO, 2015). L'accumulation de matières organiques a pour conséquences, l'amélioration de l'activité biologique ainsi que l'amélioration de la structure du sol à travers une bonne infiltration et une bonne conservation de l'eau du sol.

Sur le plan environnemental, l'agriculture de conservation permet une protection du sol et contribue à la durabilité des systèmes de production. Elle favorise la réduction de l'érosion du sol, l'amélioration de la qualité de l'eau, de l'air, l'augmentation de la biodiversité et la séquestration du carbone (Scopel *et al.*, 2005 ; FAO, 2015). L'agriculture de conservation en réduisant l'érosion et la vitesse du ruissellement de l'eau, va favoriser l'infiltration conséquemment en rechargeant les nappes phréatiques qui vont alimenter les cours d'eaux (FAO, 2015). La rotation et/ou l'association des cultures permet de maintenir et d'augmenter la biodiversité génétique, contrairement à un système de monoculture (Husson *et al.*, 2013). Les systèmes agricoles basés sur le maintien d'un couvert végétal et le non labour du sol, stockent plus de carbone en comparaison avec les quantités que les systèmes utilisant le labour à la charrue rejettent dans l'atmosphère. Elle présente de ce fait, un grand intérêt pour la réduction des émissions des gaz à effets de serre.

Sur le plan économique, l'agriculture de conservation permet l'allègement du temps des travaux, la réduction des coûts et des dépenses et tout cela augmente la rentabilité de l'exploitation (Djamen *et al.*, 2005 ; Naudin *et al.*, 2005).

1.4.2.2. Limites

L'agriculture de conservation comme toute nouvelle technologie, présente certes des atouts mais reste également confrontée à des difficultés dans son adoption. Ces contraintes se résument au manque de références standard en agriculture de conservation, compte tenu de la diversité des environnements agro écologiques et dans la zone sahélienne, à la faible disponibilité d'un couvert végétal (vivant ou mort) pendant toute l'année du fait de l'alimentation du bétail dont

ils constituent la source la moins coûteuse (FAO, 2015). En outre, la phase de transition entre le système conventionnel et le système en agriculture de conservation est très longue (5 à 7 ans) (Kaumbutho et Kienzle, 2007) et est généralement accompagnée par une baisse de la performance de l'exploitation liée à l'adoption de la technologie. Selon Balarabé (2014), d'autres contraintes peuvent rendre difficile toute diffusion de l'agriculture de conservation en Afrique sub-saharienne. Il s'agit pour lui des feux de brousse qui, lorsqu'ils sont mal contrôlés, détruisent les résidus de culture ; il s'agit aussi de l'insécurité foncière qui n'incite pas les agriculteurs à investir du temps et des moyens dans leurs terres, car ils ne sont pas assurés d'en tirer tous les bénéfices.

1.4.3. Effets de l'agriculture de conservation sur les flux hydriques

La couverture du sol par une litière végétale apparaît comme un principe fondamental de la gestion conservatoire de l'eau et du sol dans la parcelle agricole. En effet, Baboulé *et al.* (2000) ont montré que l'émiettement du sol et surtout l'absence de couverture à la surface sont des grands facteurs de la perte superficielle des eaux de pluie. Les travaux de Naudin *et al.* (2015) montrent que les systèmes de culture sous couverture végétale permettent la réduction du ruissellement et de l'érosion même avec des quantités de pailles inférieures à 3t/ha. Elles permettent de ce fait, d'améliorer la rétention de l'eau des pluies sur le sol et elles augmentent son infiltration (Soutou, 2004). Outre ce rôle de barrage physique, les plantes de couverture augmentent la porosité du sol, ce qui favorise encore l'infiltration de l'eau (Dounia, 2001). Les systèmes de culture sous couverture végétale contribuent à réduire de plus de 50 % les pertes d'eau par ruissellement (Scopel *et al.*, 2005) ; ils limitent les pertes en eau occasionnées par les adventices. Dounia (2001) montre que la présence d'une couverture morte atténue la remontée par capillarité de l'eau contenue en profondeur. Par ailleurs, une couverture organique vivante ou morte, diminue l'échauffement et l'évaporation de l'eau du sol sous l'effet du soleil et du vent (Sissoko, 2009). Selon Schaller (2013), l'évaporation du sol est réduite de 10 à 50 % en fonction de la quantité de résidus de cultures, ce qui dans la perspective du changement climatique, peut être intéressant pour améliorer la disponibilité en eau pour les cultures.

1.4.4. Effets de l'agriculture de conservation sur l'activité biologique du sol

Les systèmes de culture sous couverture végétale jouent un rôle prépondérant dans la restauration de la fertilité des sols grâce à leur réactivation biologique par la macrofaune et par l'activité racinaire (Chabanne, 2003). En effet, ces systèmes permettent d'augmenter la teneur en matière organique du sol (Scopel, 2004) en favorisant l'activité biologique, ce qui participe

à l'augmentation de la porosité notamment à travers le creusement de galeries (Dounia, 2001). Ambouta *et al.* (1999) ont montré que l'apport de matières organiques sous la forme de résidus de culture, en stimulant l'activité des termites, favorise un brassage profond et une forte aération du sol et donc une meilleure structuration du sol. Selon Lavigne (1996), les termites peuvent faire passer le taux d'infiltration d'un sol de savane de 40-75 % à 70-80 %. Les plantes de couverture fournissent des résidus qui favorisent une activité microbienne très élevée, parfois équivalente à celle observée sous friche (Chabanne *et al.*, 2001), et donc la minéralisation dont bénéficie la culture est donc accrue. Les mêmes auteurs indiquent que les peuplements de macrofaune du sol augmentent significativement sous système d'agriculture de conservation.

1.4.5. Etat de l'agriculture de conservation au Burkina Faso

L'agriculture de conservation est un mode de production encore récent au Burkina Faso. Bien que certains de ses principes se rencontrent déjà dans les systèmes de production, elle est cependant peu adoptée. L'étude de Essecofy (2011) a porté sur l'indice du potentiel de développement de l'agriculture de conservation à Kompienbiga et à Gari, deux villages de l'Est du Burkina Faso. Ses résultats ont révélé que l'indice d'agriculture de conservation pour l'ensemble des exploitations est faible, de l'ordre de 2,7 sur un total de 10. Dans les localités où des opérations de promotion de l'agriculture de conservation ont été conduites, les producteurs optent généralement pour l'adoption partielle des trois principes de l'agriculture de conservation (Djamen *et al.*, 2014). Ces mêmes auteurs indiquent que l'intensité d'adoption de l'agriculture de conservation dépend des bénéfices immédiats que les producteurs en tirent et aussi de leurs capacités à gérer les contraintes émergentes comme la production et la conservation d'une biomasse suffisante pour le paillage, l'augmentation des dépenses pour les intrants externes. Cependant, il faut noter que la recherche tente de proposer des solutions qui peuvent répondre au mieux à la capacité des producteurs à pouvoir appliquer simultanément les principes de l'agriculture de conservation. Il s'agit notamment d'études qui portent sur la fourniture de la quantité de biomasse (paillage) à mobiliser pour améliorer les performances agronomiques à l'échelle de la parcelle agricole (Kohio, 2015 ; Doumbia 2016).

Conclusion partielle

La baisse de la fertilité du sol demeure une contrainte majeure pour l'amélioration de la production agricole. Dans l'optique de pallier cette contrainte, de nouveaux systèmes de productions tels que l'agriculture de conservation, sont testés afin d'assurer la durabilité de la production. Plusieurs études ont montré que l'agriculture de conservation permettait d'améliorer la fertilité du sol. Toutefois, il faut noter que l'application de ce système de culture se fait de manière adaptative en fonction des environnements agro-écologiques. Des études ont également montré que le système d'agriculture de conservation n'a pas un effet immédiat favorable sur les rendements des cultures. Il faut un temps relativement long de pratique continue, pour que le système atteigne un équilibre écologique afin que les rendements s'améliorent par rapport au système conventionnel. C'est dans cette optique que s'est inscrite notre étude, afin d'évaluer après quatre années de pratiques continues, les effets de l'agriculture de conservation sur les performances des systèmes de production dans l'Ouest du Burkina Faso.

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODE

2.1. Présentation du milieu d'étude

2.1.1. Site d'étude

Notre étude s'est déroulée dans le village de Koumbia (11° 14' 11'' Nord; 3° 41' 47'' Ouest), localité située à 67 Km au Nord-Est de Bobo-Dioulasso dans la commune rurale de Koumbia.

La commune rurale de Koumbia est située dans la province du Tuy dans la Région des Hauts Bassins sur l'axe Ouagadougou - Bobo-Dioulasso à environ 35 Km au Sud de Houndé son chef-lieu de province (Figure 1). Elle est limitée au Nord par la commune de Houndé, au Sud par la commune de Karangasso Vigué, à l'Ouest par la commune de Lena et à l'Est par celles de Founzan, Guéguéré et Bondigui.

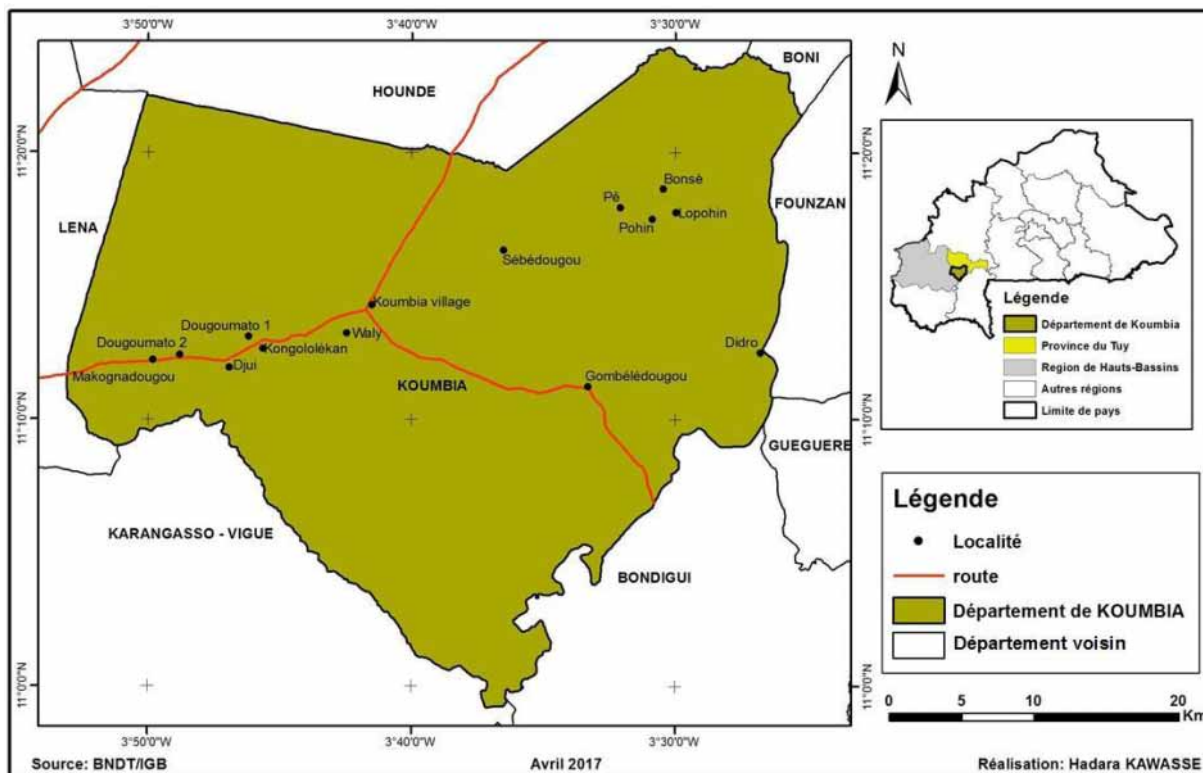


Figure 1: Situation géographique de Koumbia

2.1.2. Climat

La commune de Koumbia est caractérisée par un climat de type soudanien (Fontès et Guinko, 1995). Les données pluviométriques des dix dernières années de la commune montrent une évolution en dents de scie des quantités d'eau recueillies (Figure 2). D'une manière générale, les quantités d'eau recueillies oscillent entre 775 mm et 1202 mm avec une moyenne de 966,34 mm d'eau par an. La figure 3 indique que le mois le plus arrosé de l'année 2016 a été le mois d'Août avec une quantité de pluie tombée de 231,6 mm. Cette année-là, la saison pluvieuse s'est étendue sur sept (07) mois (Avril à Octobre).

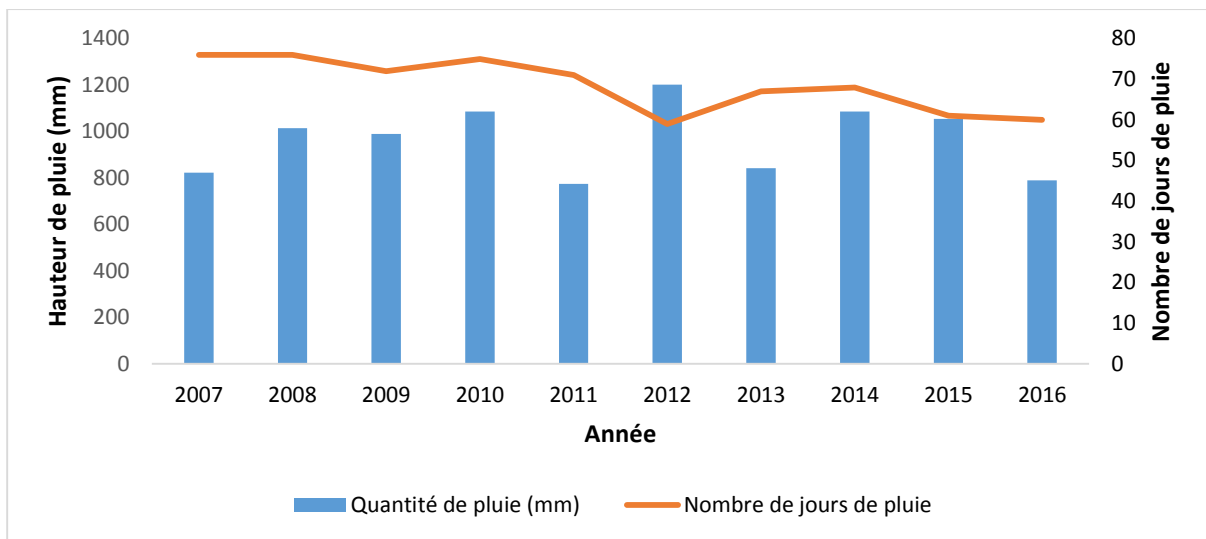


Figure 2 : Evolution de la pluviosité et du nombre de jours de pluie au cours des dix dernières années dans la commune de Koumbia (Source : Service d'Agriculture de Koumbia, 2016)

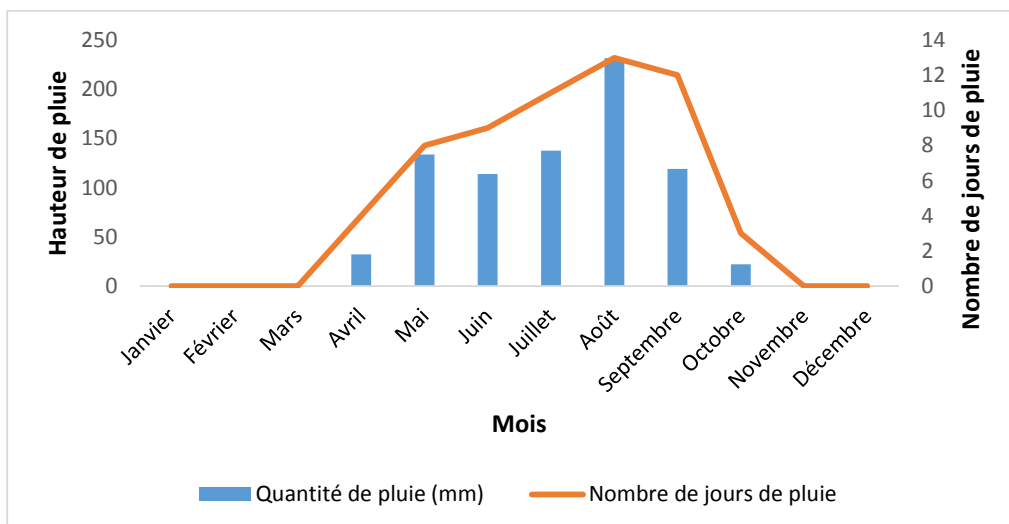


Figure 3 : Répartition de la pluviosité et du nombre de jours de pluie mensuelle dans la commune de Koumbia au cours de l'année 2016 (Source : Service d'Agriculture de Koumbia, 2016)

2.1.3. Végétation

La commune de Koumbia à l'image de la province du Tuy dispose d'une bonne couverture végétale composée essentiellement d'une végétation de savane arbustives et de savanes boisées (Semporé, 2015). On y rencontre également une forêt claire (la forêt classée de la Mou) et des forêts galeries le long des cours d'eau (Semporé, 2015). Les espèces ligneuses les plus fréquentes dans cette zone sont : *Parkia biglobosa* Jacq., *Detarium microcarpum* Guill. et Perr., *Anogeissus leiocarpus* (DC.) Guill. et Perr., *Khaya senegalensis* A. Juss., *Faidherbia albida* (Del) Chev., *Adansonia digitata* L., *Azvelia africana* Sm. ex Pers., *Trichilia emetica* Vahl., *Diospyros mespiliformis* Hochst. ex A. DC., *Bombax costatum* Pellegr. et vUILLET, *Cassia spp*, *Lannea acida* A Rich., *Mitragyna inermis* (Willd.) Kuntze (Blanchard, 2005). La strate herbacée est dominée par les espèces *Andropogon chinensis* (Nees) Merr., *Andropogon gayanus* Kunth et *Pennisetum pedicellatum* Trin.

2.1.4. Sols

Les sols rencontrés dans la zone sont en majorité de types ferrugineux tropicaux lessivés (88 % du territoire). On y rencontre également des sols hydromorphes à pseudo Gley de surface (11 % du territoire) ainsi que des lithosols sur cuirasse (1 % du territoire). Les résultats des analyses chimiques montrent que ces sols sont acides et pour l'essentiel pauvre en matière organique (< 1 %). Ils ont tous une faible capacité d'échange cationique (CEC) et des teneurs en éléments majeurs (N, P, K) basses (ProSol, données non publiées).

2.1.5. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique se compose de plusieurs cours d'eau temporaires. Ce sont principalement le *Saramboué* qui marque la frontière entre le village et la forêt classée de la Mou, et le *Djouanhonti* qui draine la partie nord du village (Blanchard, 2005).

2.1.6. Population

Selon le Recensement Général de la Population Humaine (RGPH) de 2006, la population de la commune de Koumbia est estimée à 36 252 habitants dont 17 571 hommes et 18 681 femmes qui représentent 51,53 % de la population totale. Cette population se caractérise par sa jeunesse. En effet 47,79% de la population ont moins de 15 ans. Du point de vue ethnique, la population de la commune est essentiellement composée de *bwaba* (autochtones), de *mossi*, de *peulh*, de *bobo*, de *dagara*, de *samo*, de *dafing*, de *gourounsi*, de *goulmantché*, de *walla*, de *pougli*.

L'agriculture et l'élevage constituent les principales activités économiques. On y cultive principalement le coton, le maïs et le sorgho, puis secondairement le mil, le riz pluvial et le niébé. L'élevage est de type extensif avec pour principales espèces les bovins, les ovins, les caprins et la volaille (Ouédraogo, 2012). Blanchard (2005) a caractérisé trois grands types d'exploitations: (1) les éleveurs, qui sont les producteurs possédant d'importants troupeaux et cultivant de faibles superficies ; (2) les agro-éleveurs, qui ont un nombre important de bovins d'élevage et cultivant des superficies importantes ; (3) les agriculteurs, qui sont des producteurs ayant comme activité principale la production végétale et qui possèdent peu ou pas de bovins d'élevage.

2.2. Matériel

Le matériel végétal est constitué essentiellement du maïs (*Zea mays* L.) de la variété SR21 à cycle intermédiaire (97 jours) avec un rendement grains potentiel de 5,1 t/ha (Sanou, 2006), et du niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp) de la variété K VX745 11p, niébé fourrager avec un cycle de 70 jours, avec un rendement grains potentiel de 800 kg à 1 t/ha (Ouédraogo, 2009). Ces deux variétés sont adaptées à des zones ayant une pluviosité comprise entre 800 et 900 mm. Les semences ont été obtenues à l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA).

Les fertilisants minéraux utilisés sont le complexe NPK (15-15-15) et l'urée (46% azote). Ces produits ont été obtenus auprès d'une structure spécialisée dans la commercialisation des engrais.

La paille de maïs qui a été apportée sur les parcelles en système d'agriculture de conservation est issue du champ du producteur.

L'herbicide total de prélevé, le glyphosate 360 g/L (Glyphosate-isopropylammonium) a été utilisé. Dans le cadre de la protection phytosanitaire du niébé, nous avons utilisé l'insecticide K-Optimal (lambda-cyhalothrine acétamipride) obtenu dans le commerce auprès d'une structure spécialisée.

2.3.Méthodologie

2.3.1. Dispositif expérimental

Notre dispositif expérimental (Figure 3) s'intègre dans le dispositif précédemment mis en place depuis 2013 dans le cadre du projet ABACO (*Agro-ecology Based Aggradation-Conservation agriculture*) conduit par le CIRDES (Centre International de Recherche-Développement sur l'Élevage en zone Subhumide). Il s'agissait de deux parcelles où l'on avait d'une part la pratique de l'agriculture de conservation, et de l'autre, la pratique du système conventionnel. Notre dispositif expérimental est un dispositif factoriel en blocs, comprenant quatre traitements et trois répétitions. Les facteurs considérés sont :

- le système conventionnel (SC) avec apport d'engrais NPK (15-15-15) au semis à la dose de 150 kg/ha ;
- le système d'agriculture de conservation (AC) avec apport d'engrais NPK (15-15-15) au semis à la dose de 150 kg/ha ;
- le système conventionnel (SC) avec apport d'engrais NPK au 15^{ème} JAS ;
- le système AC avec apport d'engrais NPK à 15 JAS.

Sur chaque traitement en système d'agriculture de conservation, la paille est apportée à 2 t/ha pour la couverture du sol. Le maïs et le niébé sont associés sur ces traitements en AC tandis que le maïs est en culture pure sur les traitements SC. Les traitements sont des parcelles élémentaires de 10 m x 05 m (soit 50 m²). Ces traitements sont:

- SC₁: labour + maïs+ 0 t/ha de résidus de culture + apport d'engrais NPK à 15 JAS ;
(Témoin) ;
- AC₁: semis direct + maïs/niébé + 2 t/ha de résidus de culture + apport d'engrais NPK à 15 JAS ;
- SC₂ : labour + maïs + 0 t/ha de résidus de culture + apport au semis de NPK ;
- AC₂: semis direct + maïs/niébé + 2 t/ha de résidus de culture + apport au semis de NPK.

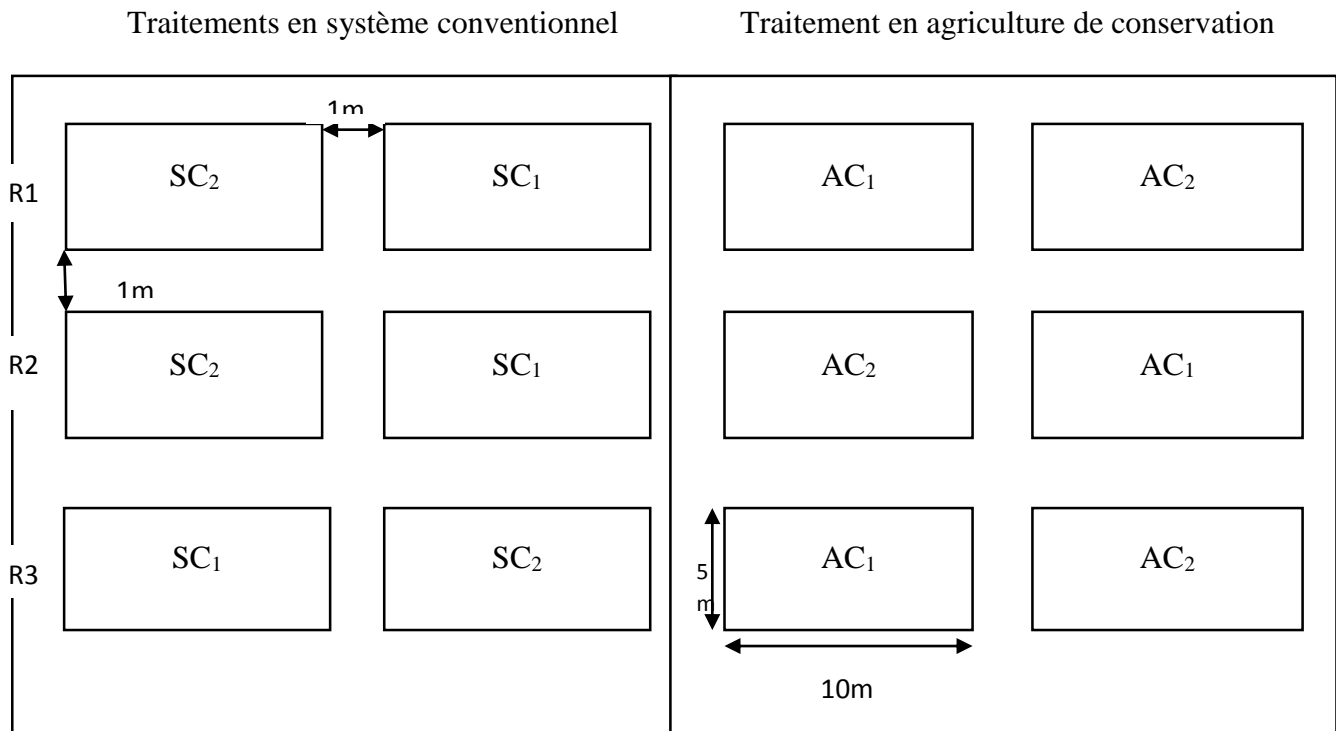


Figure 4 : Schémas du dispositif expérimental

2.3.2. Conduite de l'expérimentation

Un traitement herbicide au glyphosate 360 g/L a été effectué avant le semis (08 Juillet 2016) sur les parcelles en AC ; un labour à la charrue a été fait avant le semis pour les traitements en SC. Sur chaque parcelle, on a associé le maïs au niébé, excepté les traitements SC₁ et SC₂ où nous avons une culture pure de maïs. Au semis du maïs, les écartements étaient de 40 cm entre les poquets et de 80 cm entre les lignes. Le semis du niébé est intervenu 21 jours après celui du maïs, suivant les mêmes écartements et entre les lignes du maïs. Une dose de 150 kg/ha d'engrais composé NPK (15-15-15) a été apportée au semis du maïs sur les traitements SC₂ et AC₂, et au 15^{ème} jour après semis (JAS) de maïs pour les traitements SC₁ et AC₁. Puis une dose de 50 kg/ha d'urée à 46% d'azote a été apportée en deux fractions au 30^{ème} JAS et au 45^{ème} JAS. Le sarclage a été effectué deux fois exclusivement sur les traitements en SC. Il a été fait de façon manuelle à la daba au 35^{ème} JAS et au 90^{ème} JAS. Le premier traitement du niébé à la K-Optimal a été effectué à 35 JAS du niébé correspondant au stade de l'émission des boutons floraux, et le second à 50 JAS du niébé correspondant au stade de formation des gousses.

2.3.3. Paramètres suivis

Pour apprécier l'effet de l'agriculture de conservation sur la fertilité du sol dans le cadre de la présente étude, nous avons déterminé quelques paramètres qui sont des indicateurs de la bonne santé du sol : l'humidité du sol, l'infiltration de l'eau du sol, la macrofaune du sol, l'activité respiratoire du sol, les paramètres chimiques (N, P, K, C et pH) du sol, et les rendements de culture. Certains paramètres ont pu être déterminés directement sur le terrain, d'autres par contre ont nécessité des analyses au laboratoire après une première phase de prélèvement d'échantillon.

2.3.3.1. Echantillonnage du sol

Afin de caractériser l'effet des principes de l'agriculture de conservation sur l'humidité du sol, des paramètres chimiques et biologiques des sols, nous avons prélevé des échantillons de sol. Trois prélèvements de sol ont été effectués suivant la diagonale et à différentes profondeurs selon le paramètre à mesurer. Des échantillons composites ont été formés par la suite en mélangeant par parcelle et par profondeur, les trois prélèvements. Les prélèvements ont été effectués à l'aide de la tarière manuelle.

2.3.3.2. Humidité du sol

Les mesures de l'humidité du sol ont concerné les couches 0 – 20, 20 – 40, 40 – 60 cm des traitements SC₁ et AC₁. Un échantillon composite a été effectué par traitement, et immédiatement pesé après prélèvement du sol pour déterminer le poids de l'échantillon à l'état humide. Les échantillons sont ensuite introduits dans une étuve à 105°C pendant 24 heures puis retirés de l'étuve et pesés pour déterminer le poids sec de la terre. Les prélèvements ont été effectués 5 jours avant le semis du maïs, à 8 JAS, 24 JAS, 62 JAS, 88 JAS et 100 JAS. Le taux d'humidité (%) est ainsi obtenu à partir de la formule suivante :

$$(\%) \text{humidité} = \frac{(\text{poids humide} - \text{poids récipient}) - (\text{poids sec} - \text{poids récipient})}{(\text{poids sec} - \text{poids récipient})} \times 100$$

2.3.3.3. Mesure de l'infiltration de l'eau dans le sol

Cette mesure a été faite à 40 JAS et 115 JAS sur les traitements SC₁ et AC₁, par l'infiltromètre double anneaux suivant la méthode de Mbilou *et al.* (2016). Les mesures ont été effectuées sur 2 points suivant la diagonale. Cet appareil permet une lecture de la valeur de la profondeur du sol humectée pendant un temps donné. Ainsi, les valeurs de la hauteur du front humecté sont

notées suivants les intervalles de temps de 1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 7 ; 9 ; 11 ; 13 ; 15 ; 20 et 25 mn après que l'eau soit mise en contact avec le sol des différents traitements. Le coefficient d'infiltration verticale (K_v) est alors obtenu par la formule suivante:

$$K_v \text{ (en cm/mn)} = \Delta H / \Delta T$$

Où ΔH est la profondeur du sol humecté et ΔT le temps d'humectation.



Photo 1 : Infiltromètre à double anneaux (Photo stage, Octobre 2016)

2.3.3.4. Macrofaune du sol

L'inventaire de la macrofaune du sol s'est déroulé selon la méthode TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility) préconisé par Anderson et Ingram (1993). La méthode a consisté à excaver une portion de terre de 15 cm x 15 cm x 20 cm à l'aide d'un cadre métallique et d'y collecter tous les individus de la macrofaune. Les groupes facilement identifiables tels que les termites, les lombrics, les fourmis et les mille pattes ont été dénombrées. Certains n'ont pu être identifiés sur le terrain, et ont été comptabilisés comme «macrofaunes non identifiées». L'inventaire de la macrofaune du sol a été fait au semis, à 50 JAS et à 70 JAS et a concerné les traitements SC_1 et AC_1 . Il se faisait entièrement dans la matinée avant 11 heures, afin d'éviter la descente des individus en profondeur du fait de l'ensoleillement. Les données sur la macrofaune ont servi au calcul des paramètres suivants : la densité (nombre moyen d'individus/m²) et la diversité.

La diversité a été évaluée à partir de l'indice de Shannon Weaver (H'). Cet indice prend en compte le nombre de groupes rencontrés (s). Sa valeur est obtenue par la formule:

$$H' = \sum_{i=1}^S P_i \times \log_2(P_i)$$

P_i = probabilité de rencontrer un taxon *i* sur une parcelle

S = somme totale des taxons rencontrés sur la parcelle

Cet indice est nul quand il n'y a qu'un taxon et sa valeur est maximale quand tous les taxons ont la même abondance (Frontier et Pichod-Viale, 1998).

2.3.3.5. Activité respiratoire du sol

Les analyses de l'activité respiratoire ont concerné les traitements SC₁ et AC₁, et ont été effectuées par la méthode de piégeage du CO₂ dans la soude (Dommergues, 1960). Les prélèvements de sol ont concerné les horizons 0-10 et 10-20 cm. Elles ont consisté à prélever pour chaque traitement, un échantillon de cent (100) grammes de sol, tamisés à 2 mm, et à les humidifier aux 2/3 de la capacité maximale de rétention. Ce sol est ensuite introduit dans un bocal hermétiquement fermé ; deux flacons, l'un contenant de la soude (NaOH 0,1 N) pour le piégeage du CO₂ dégagé et l'autre contenant de l'eau distillée pour maintenir l'humidité constante, sont disposés dans chaque bocal (Photo 2). L'ensemble est placé dans une enceinte réglée à 30°C pendant 21 jours. La quantité de CO₂ dégagée est mesurée quotidiennement durant les 7 premiers jours d'incubation, puis tous les deux jours jusqu'au 21^{ème} jour. Le CO₂ dégagé au cours de l'étude est piégé par la soude (NaOH ,0.1 N) et précipité sous forme de carbonate de sodium par le chlorure de baryum 3 %. La soude (NaOH) en excès est neutralisée par l'acide chlorhydrique (HCl 0,1 N) en présence de phénolphtaléine. La quantité de CO₂ dégagée par jour est exprimée en mg/100 g de sol sec et donnée par la formule suivante (Dommergues, 1960 ; Tiessen et Moir, 1993) :

$$Q \text{ (mg)} = [V \text{ HCl (blanc)} - V \text{ HCl (traitement)}] \times 2,2$$

Avec :

- V HCl (blanc) = volume d'acide chlorhydrique pour le témoin
- V HCl (traitement) = volume d'acide chlorhydrique pour le traitement

Le coefficient 2,2 signifie qu'à 2,2 mg de CO₂ correspond 1 ml de HCl (0,1N).



Photo 2 : Illustration de manipulations pour la détermination de l'activité respiratoire du sol
(Photo stage, Décembre 2016)

2.3.3.6. Détermination des paramètres chimiques

Les analyses chimiques ont porté sur les traitements SC₁ et AC₁ sur les horizons 0-5 cm et 5-10 cm. C'est au laboratoire sol-eau-plante de l'INERA à Farako-Bâ que la détermination des éléments chimiques (C, N, P, K) et des pH eau et KCl ont été déterminés.

➤ Détermination du carbone total et de l'Azote total

Le carbone total, est déterminé par la méthode de Walkley–Black (1934). Un échantillon de 0,5 g de sol est oxydé à froid par du bichromate de potassium en milieu sulfurique. L'excès de bichromate est titré par le sel de MOHR (FeSO₄ (NH₄)₆) pour déterminer la quantité qui a réagi. Concernant l'azote total, il est déterminé après minéralisation par la méthode KJELDAHL (Hillebrand et *al.*, 1953). Pour ce faire, 2,5 g d'échantillon de sol sont attaqués à chaud par l'acide sulfurique concentré. Après ajout d'une pincée de catalyseur sélénium, le produit intermédiaire est porté progressivement à chaud jusqu'à décoloration. Le dosage est fait par calorimétrie automatique.

➤ Détermination du phosphore total

La détermination du phosphore total s'est effectuée suivant la méthode de Novansky *et al.* (1983). La minéralisation (par la méthode KJELDAHL) est identique à celle de l'azote. Le molybdate d'ammonium utilisé en présence d'acide ascorbique, donne une coloration bleue

avec le phosphore. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de phosphore. Le dosage se fait par calorimétrie automatique.

➤ **Détermination du phosphore assimilable**

L'extraction du phosphore assimilable est faite selon la méthode Bray I (Bray and Kurtz, 1945). Cette méthode consiste à extraire les formes de phosphore soluble dans les acides en grande partie celle liée au calcium et une portion liée à l'aluminium et au fer par l'acide chlorhydrique en présence de fluorure d'ammonium. On a utilisé le rapport prise d'essai/solution d'extraction de 1/7. Les filtrats obtenus sont alors analysés par colorimétrie au spectrophotomètre. La densité optique des filtrats est fonction de la concentration en ions phosphore initialement présents.

➤ **Détermination du potassium total**

La minéralisation des échantillons de sol a été faite par la méthode KJELDAHL (Hillebrand *et al.*, 1953). Après cette minéralisation, la solution aqueuse obtenue est diluée 10 fois avec de l'eau distillée, puis passée au photomètre à flamme pour déterminer le K total.

➤ **Détermination du potassium disponible**

L'extraction du potassium est faite avec 0,1 N d'acide chlorhydrique (HCl) et 0,4 N d'acide oxalique ($H_2C_2O_4$). Le potassium (K) est déterminé au photomètre à flamme par la comparaison des intensités de radiations émises par les atomes de potassium (K) avec celles des solutions standards. Il est soumis ensuite à une centrifugation (pendant 5 mn), puis la solution est filtrée à l'aide du papier filtre ; le filtrat sert alors à obtenir le potassium (Walinga *et al.*, 1989).

➤ **Détermination des pH eau et pH KCl**

Le pH eau et le pH KCl sont mesurés à l'aide d'un pH-mètre électronique dans une suspension de l'échantillon respectivement dans de l'eau distillée et dans solution de KCl selon le rapport 1/2,5 (AFNOR, 1981).

2.3.3.7. Détermination du stock de carbone du sol

Le prélèvement du sol pour la mesure de la densité apparente (photo 3) est réalisée afin d'évaluer le stock de carbone. Le calcul de la densité apparente (ρ) est effectué pour un échantillon de sol séché à l'étuve à 105°C, et dont le volume est préalablement déterminé suivant la formule :

$$\rho = \frac{M}{V}$$

- ρ = densité apparente en $g\ cm^{-3}$;
- M = masse de l'échantillon de sol séché à l'étuve ;
- V = volume de sol au prélèvement en cm^3 ;

$$V = \pi \times r \times r \times D$$

- r = rayon du matériel qui aura servi au prélèvement du sol (cm) et
- D = profondeur de prélèvement du sol (cm). Le prélèvement de sol concerne la couche 0-5 cm.

Le calcul du stock de carbone se fait ensuite en multipliant la teneur en carbone de la fraction fine du sol (fraction de diamètre < 2 mm) par la densité apparente et la profondeur de sol prélevé selon la formule suivante (Aynekulu *et al.*, 2011) :

$$SOC\ (g\ C/cm^2) = \frac{C}{100} \times \rho \times D \times (1 - frag)$$

On convertit ensuite SOC en $t\ C\ ha^{-1}$ en multipliant $\frac{C}{100} \times \rho \times D \times (1 - frag) \times 100$; la valeur 100 est obtenue en convertissant g en t, et cm^{-2} en ha^{-1} , soit $10^{-6} / (10^{-2} \times 10^4) = 10^2 = 100$.

SOC : stock du carbone organique du sol ; **frag** : la fraction de particules grossières



Photo 3: Matériel de prélèvement pour la détermination du volume et de la masse du sol (Photo stage, Février 2017)

2.3.3.8. Rendement

Les rendements sont déterminés sur les 7 lignes centrales de chaque parcelle élémentaire sur une longueur de 3 m par ligne, ce qui correspond à une superficie de 3 m x 5,6 m soit 16,8 m². Les épis de maïs obtenus sont séchés et décortiqués manuellement par traitement et par répétition. Les grains obtenus sont pesés à l'aide d'une balance électronique. Les tiges de maïs sont coupées au niveau du collet et séchées à l'étuve à 75 °C pendant 72 heures. Elles sont pesées à l'aide d'une balance électronique après séchage pour avoir le poids sec en grammes (g).

La détermination du rendement graine du niébé ainsi que celui de la fane s'est faite suivant la méthode utilisée pour déterminer le rendement grain et paille du maïs.

2.3.4. Analyses statistiques

Les données collectées sont saisies à l'aide du logiciel Microsoft office Excel 2013. Ces données sont soumises à une analyse de variance (ANOVA) avec le logiciel XLSTAT Version 2015.4.01.22368. Les moyennes sont séparées au seuil de 5 % selon le test de Fisher.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. RESULTATS

3.1.1. Effets de l'agriculture de conservation sur l'humidité du sol

La figure 5 indique l'évolution dans le temps des profils hydriques du sol en agriculture de conservation et en système conventionnel. De façon générale, on note que l'humidité du sol est plus élevée sous la parcelle en agriculture de conservation que sous la parcelle en système conventionnel et cela, quelle que soit la profondeur du sol. On enregistre globalement des taux d'humidité significativement différents ($P < 0,05$) sur les couches 0-20 et 20-40 cm (Figures 5B, 5C, 5D, 5F). Cependant, les taux d'humidité en agriculture de conservation et en système conventionnel ne sont pas différents significativement entre eux sur la couche de 40-60 cm du sol.

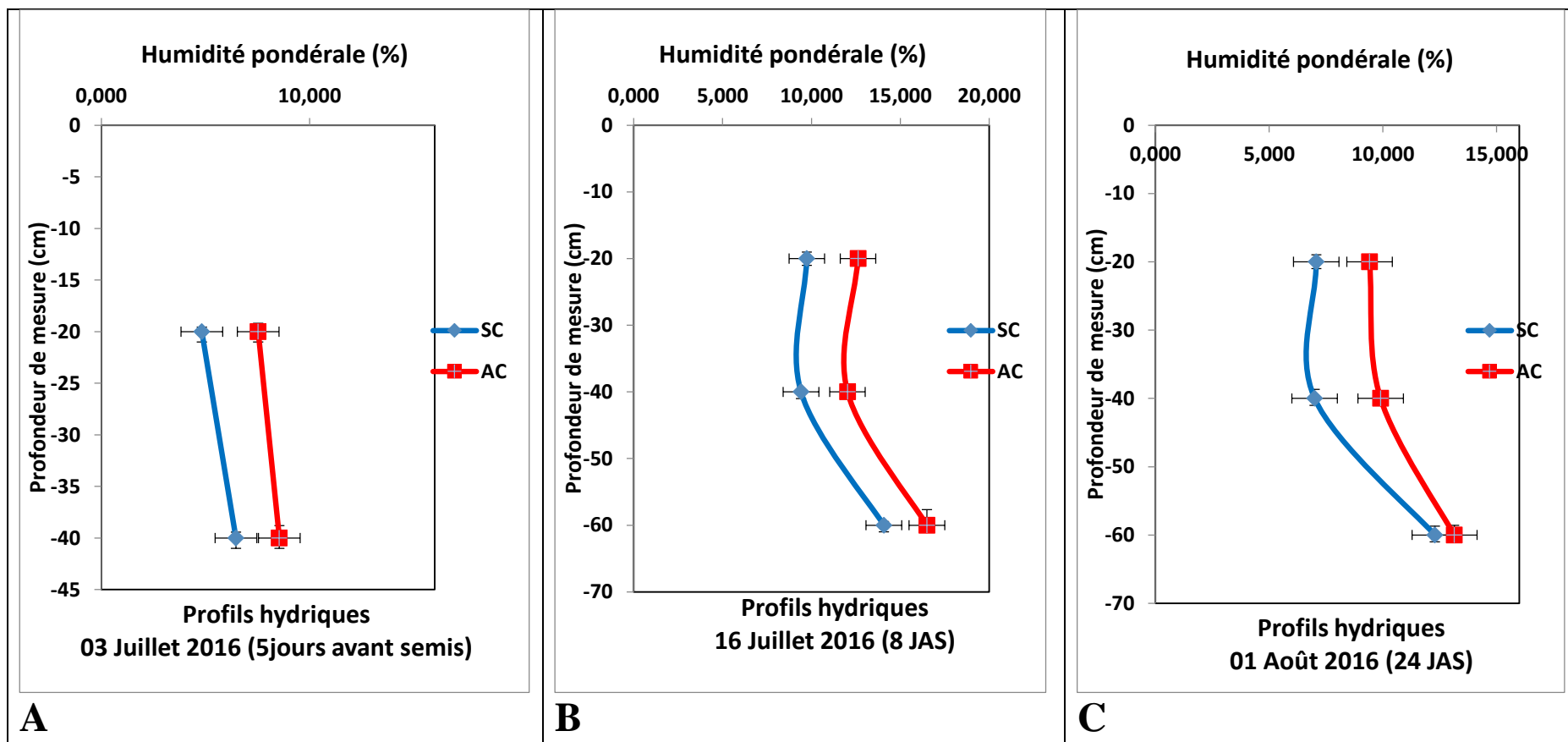


Figure 5 A, B, C: Evolution de l'humidité du sol en agriculture de conservation et en système conventionnel

Légende : AC : agriculture de conservation ; SC : système conventionnel

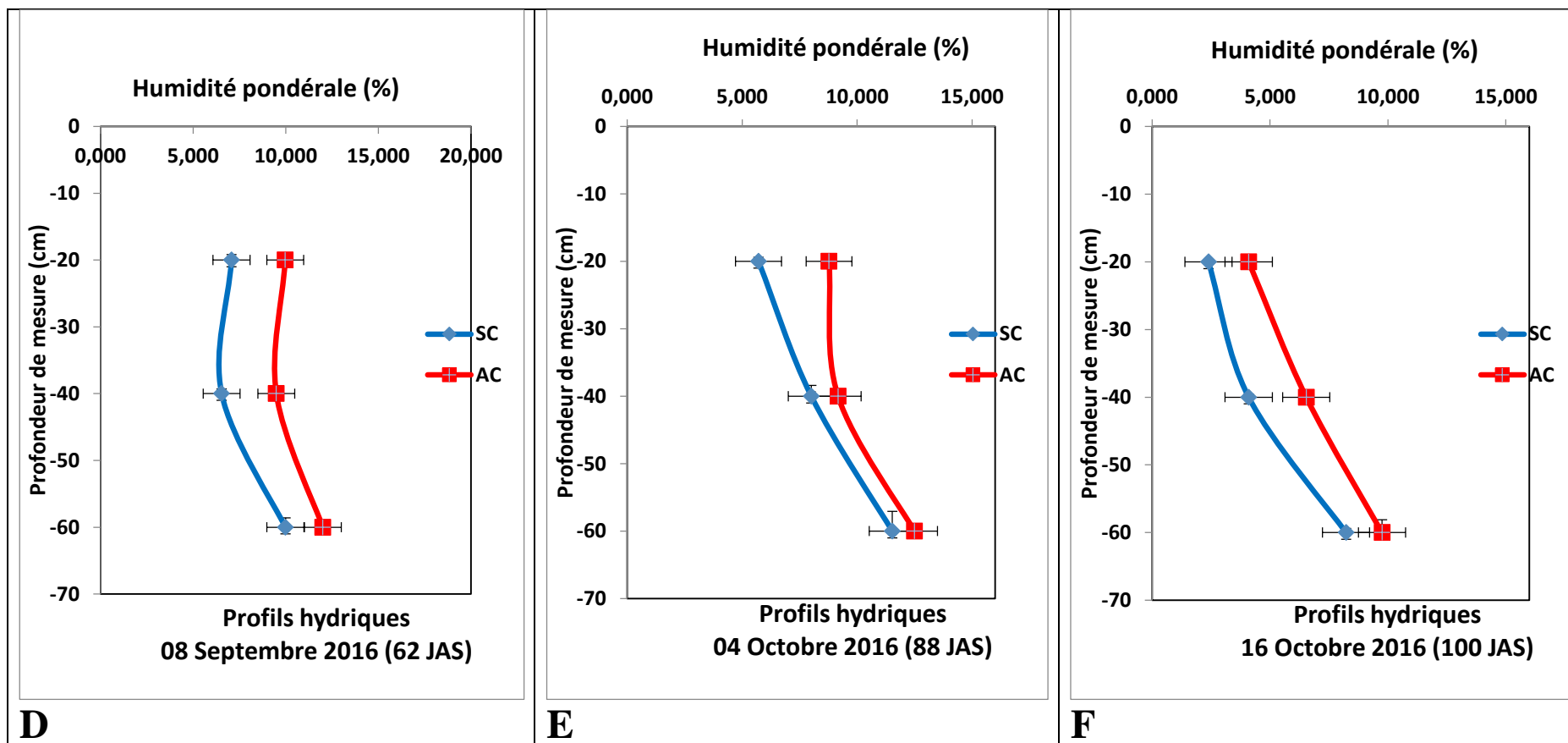


Figure 6 D, E, F: Evolution de l'humidité du sol en agriculture de conservation et en système conventionnel

Légende : AC : agriculture de conservation ; SC : système conventionnel

3.1.2. Effets de l'agriculture de conservation sur l'infiltration de l'eau dans le sol

Les résultats montrent que tant au 40^{ème} JAS qu'au 115^{ème} JAS, la vitesse d'infiltration de l'eau est plus élevée en agriculture de conservation qu'en système conventionnel (figure 6).

On note qu'à 115 JAS où le sol est en condition de faible humidité, l'eau s'infiltré plus en profondeur et sa vitesse d'infiltration est également plus élevée par rapport au 40^{ème} JAS. A 40 JAS, la vitesse d'infiltration de l'eau est passée de 1,45 cm/mn à 0,71 cm/mn respectivement pour les profondeurs de 1,45 cm et 24,60 cm en agriculture de conservation, contre 0,88 cm/mn à 0,41cm/mn respectivement pour les profondeurs de 0,88 cm et 15,32 cm en système conventionnel. A 115 JAS, la vitesse d'infiltration de l'eau est passée de 2,47 cm/mn à 0,67 cm/mn respectivement pour les profondeurs de 2,47 cm et 25,77 cm en agriculture de conservation, contre 1,33 cm/mn à 0,48 cm/mn respectivement pour les profondeurs de 1,33 cm et 16,33 cm en système conventionnel.

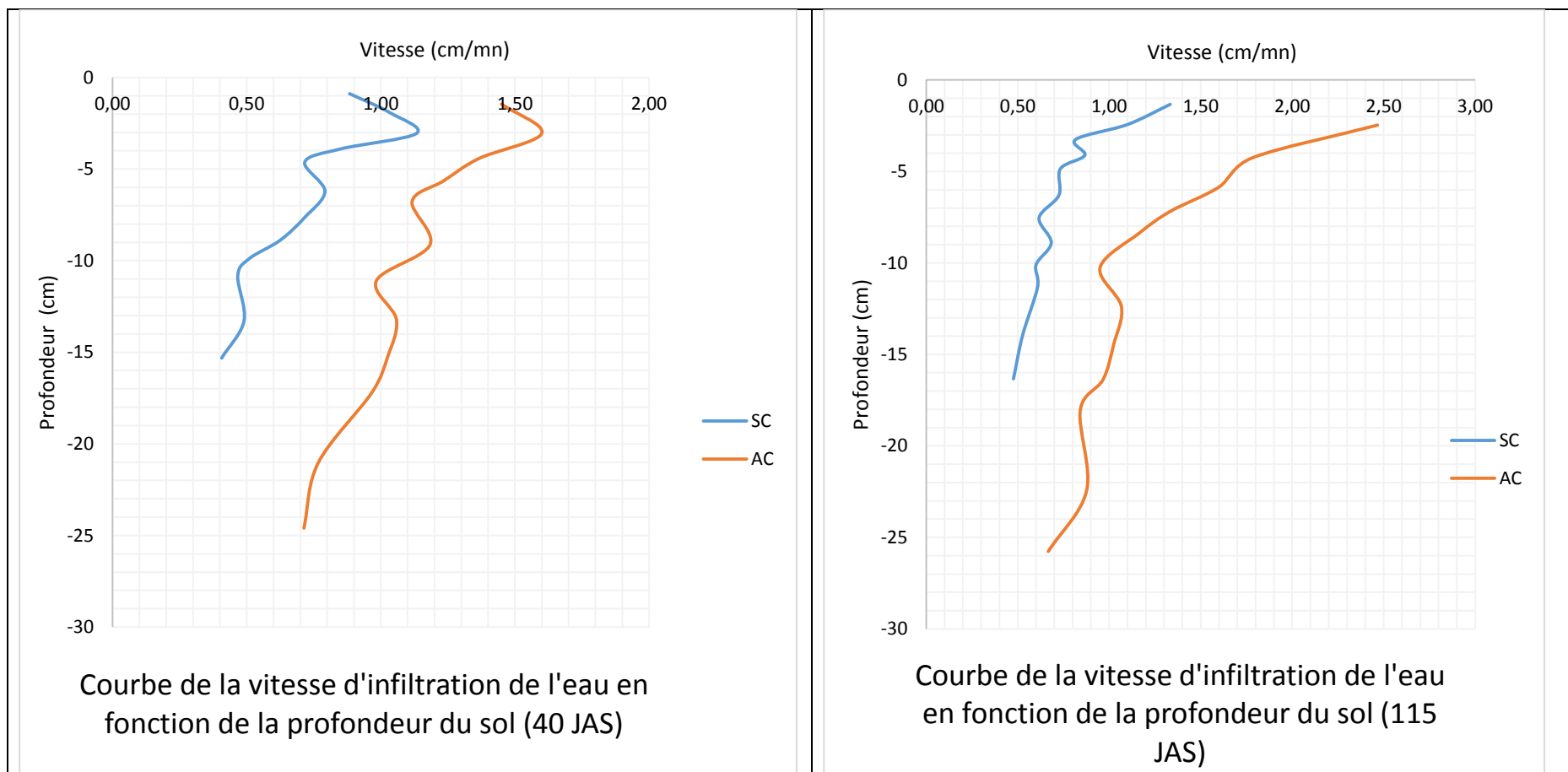


Figure 7 : Evolution de la vitesse d'infiltration de l'eau en fonction de la profondeur du sol

Légende : AC : agriculture de conservation ; SC : système conventionnel

3.1.3. Effets de l'agriculture de conservation sur l'activité respiratoire du sol

La figure 7 présente le dégagement journalier de CO₂ à 62 JAS et 116 JAS pour les horizons 0-10 cm et 10-20 cm en agriculture de conservation comparativement au système conventionnel. Ces résultats montrent que le dégagement de CO₂ varie en fonction des horizons du sol et du nombre de jours après semis. On enregistre globalement des quantités de CO₂ beaucoup plus importantes sur la parcelle en agriculture de conservation que sur la parcelle en système conventionnel et cela, quels que soit le nombre de jours après semis et l'horizon du sol. On note globalement une diminution du dégagement de CO₂ pour l'ensemble des traitements au cours des 21 jours d'incubation.

A 62 JAS, le dégagement de CO₂ le plus élevé pour la couche 0-10 cm est enregistré en agriculture de conservation (248,6 mg/kg de sol) alors que le plus faible dégagement est obtenu en système conventionnel (15,1 mg/kg de sol). Pour la couche 10-20 cm, le même constat est fait avec un dégagement de 148,1 mg/kg de sol pour l'agriculture de conservation contre 1,1 mg/kg de sol obtenu en système conventionnel.

A 116 JAS, les valeurs les plus élevées pour les couches 0-10 cm et 10-20 cm sont respectivement de 120,3 mg/kg de sol et 100,5 mg/kg de sol, obtenues en agriculture de conservation, contre respectivement 30,8 mg/kg de sol et 2,2 mg/kg de sol obtenues en système conventionnel (valeurs les plus faibles)

La figure 8 présente le cumul du dégagement de CO₂ pour le système en agriculture de conservation et le système conventionnel. Les quantités de CO₂ dégagées en agriculture de conservation sont largement supérieures à celles du système conventionnel.



Figure 8 : Evolution journalière du CO₂ dégagé en fonction des traitements, suivant différentes couches du sol et différents nombres de jour après semis (chaque point est la moyenne de 3 répétitions)

Légende : AC : agriculture de conservation ; SC : système conventionnel

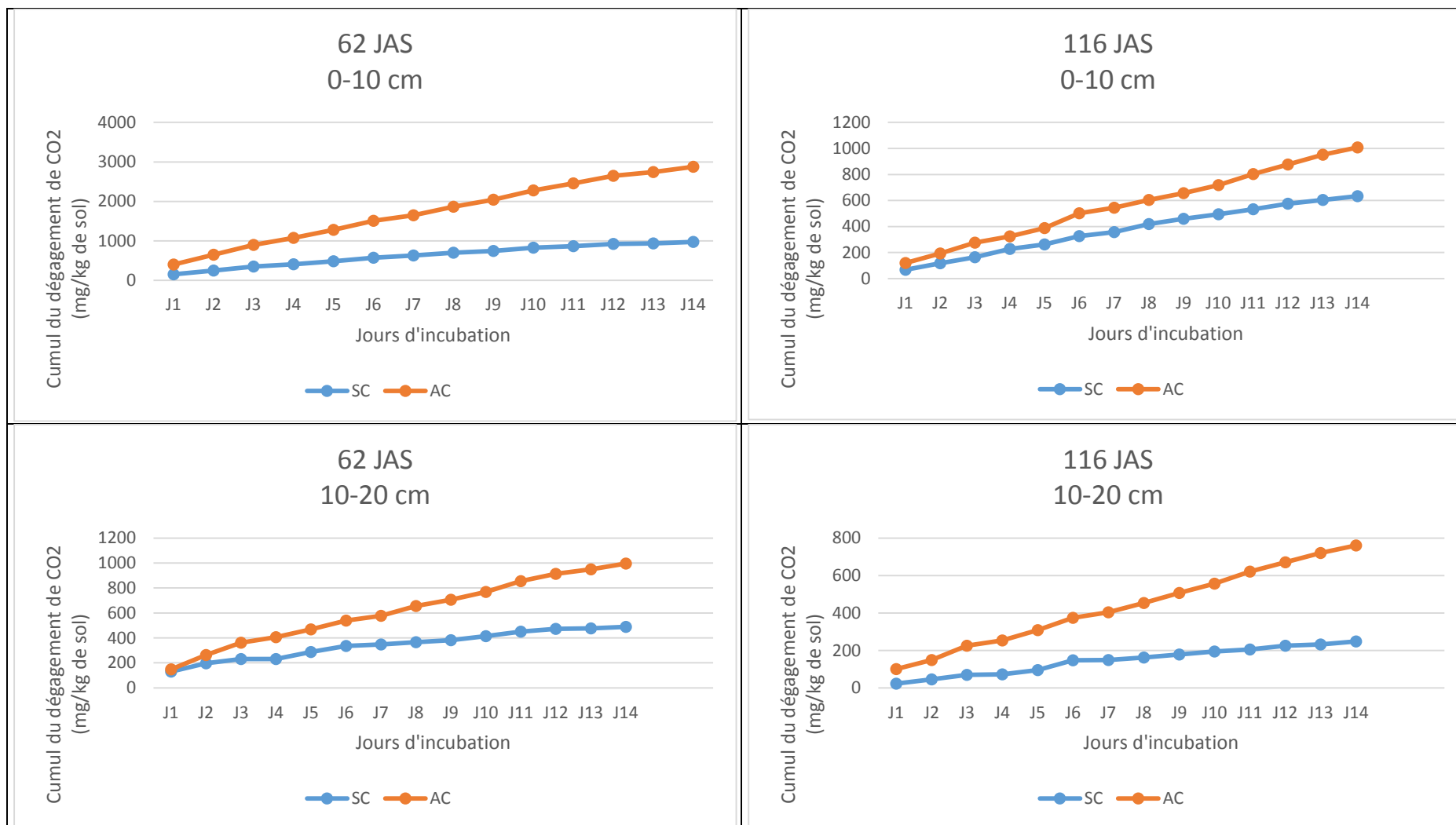


Figure 9 : Evolution du cumul de CO₂ dégagé en fonction des traitements, suivant différentes couches du sol et différents nombres de jour après semis (chaque point est la moyenne de 3 répétitions)

3.1.4. Effets de l'agriculture de conservation sur la macrofaune du sol

Les résultats sur la densité et la diversité de la macrofaune du sol figurent dans les tableaux I et II. Ils indiquent que le système d'agriculture de conservation présente une densité de macrofaune plus importante qu'en système conventionnel. En effet, on enregistre une densité totale de 607 individus/m² en agriculture de conservation, contre 156 individus/m² en système conventionnel à 50 JAS ; à 70 JAS, 341 individus/m² ont été recensés en agriculture de conservation contre 133 individus/m² en système conventionnel. La population de termites domine en terme de densité par rapport à celle des autres groupes, et ce, tant au 50^{ème} JAS qu'au 70^{ème} JAS.

De façon générale, l'analyse de variance n'a pas montré de différence significative au seuil de 5 % entre les traitements pour les différents groupes de macrofaunes à l'exception du groupe des lombrics où on a obtenu une différence significative au seuil de 5 % au 70^{ème} JAS. De même, une différence significative au seuil de 5 % a été observée pour le total des individus de la macrofaune au 50^{ème} JAS.

L'indice de Shannon montre que la diversité de la macrofaune du sol est plus importante en agriculture de conservation comparativement au système conventionnel ; toutefois, l'analyse de variance n'a pas montré de différence significative au seuil de 5 %.

Tableau I: Analyse de l'effet de variation de la densité (Nbre ind. /m²) et la diversité (Indice de Shannon) de la macrofaune du sol à 50 JAS.

	Densité de la macrofaune du sol à 50 JAS (Nbre/m ²)					
	Densité Termites	Densité fourmis	Densité lombrics	Densité MNI	Total	Diversité
SC	96 (195)	7 (18)	7 (18)	44 (40)	156 ^b (174)	0,341 (0,16)
AC	267 (164)	7 (18)	163 (192)	170 (269)	607 ^a (173)	0,406 (0,22)
Pr > F	0,133	1	0,076	0,283	0,033	0,646
Significatif	NS	NS	NS	NS	S	NS

Test de Fisher au seuil de 5% :

La différence est significative entre les valeurs affectées de lettres différentes dans une même colonne ;

Chaque valeur est la moyenne de 3 répétitions ; **M.N.I** : Macrofaune Non Identifiée ; **NS**: Non Significatif ; **S** : significatif ; les valeurs entre parenthèse correspondent aux écart-types ;

AC : agriculture de conservation ; **SC** : système conventionnel

Tableau II : Variation de la densité (Nbre ind. /m²) et de la diversité (Indice de Shannon) de la macrofaune du sol à 70 JAS.

Densité de la macrofaune du sol à 70 JAS (Nbre/m²)							
	Densité Termites	Densité fourmis	Densité lombrics	Densité mille pattes	Densité MNI	Total	Diversité
SC	22 (37)	30 (36)	0 ^b (0)	0 (0)	81 (95)	133 (89)	0,269 (0,25)
AC	133 (140)	22 (37)	67 ^a (47)	7 (18)	111 (131)	341 (253)	0,379 (0,18)
Pr > F	0,091	0,734	0,006	0,341	0,663	0,251	0,448
Significatif	NS	NS	S	NS	NS	NS	NS

Test de Fisher au seuil de 5% :

La différence est significative entre les valeurs affectées de lettres différentes dans une même colonne ;

*Chaque valeur est la moyenne de 3 répétitions ; **M.N.I** : Macrofaune Non Identifiée ; **NS**: Non Significatif ; **S** : Significatif ; les valeurs entre parenthèse correspondent aux écart-types ;*

***AC** : agriculture de conservation ; **SC** : système conventionnel.*

3.1.5. Effets de l'agriculture de conservation sur les paramètres chimiques du sol

L'effet de l'agriculture de conservation sur les propriétés chimiques du sol est consigné dans le tableau III. Ces résultats montrent une amélioration des caractéristiques chimiques du sol en agriculture de conservation par rapport au système conventionnel.

Pour la couche 0-5 cm, l'analyse de variance a montré que l'amélioration de ces caractéristiques chimiques est significativement différente ($P < 0,05$) en ce qui concerne le pH eau, le pH KCl, le carbone total, l'azote total, le potassium total et le potassium disponible. Au niveau du phosphore total et assimilable, même si on enregistre les valeurs les plus élevées en agriculture de conservation, il n'y a cependant pas de différence significative entre les deux systèmes ($P < 0,05$).

A la profondeur de 5-10 cm, l'analyse de variance n'a montré de différence significative au seuil de 5 % que pour le pH (pH eau et pH KCl) et le potassium (total et disponible). Quant aux autres paramètres chimiques notamment le carbone total, l'azote total, le phosphore total et le phosphore assimilable, la différence n'est pas significative ($P < 0,05$) entre les deux traitements, mais les valeurs les plus élevées sont toujours celles enregistrées sur la parcelle en AC.

Tableau III : Variation de quelques caractéristiques chimiques du sol en fonction des traitements

Profondeur		pH_eau	pH_KCl	Carbone (%)	N (%)	C/N	P_total (mg/kg sol)	P_assimilable (mg/kg sol)	K_total (mg/kg sol)	K_disponible (mg/kg sol)
0-5 cm	SC	5,9 ^b (0,03)	5,3 ^b (0,07)	1,06 ^b (0,33)	0,07 ^b (0,02)	14 (1,04)	132,95 (32,54)	13,08 (3,62)	752,25 ^b (195,60)	62,75 ^b (11,56)
	AC	6,4 ^a (0,10)	5,9 ^a (0,22)	1,92 ^a (0,39)	0,13 ^a (0,02)	14 (0,88)	165,20 (8,57)	15,16 (4,22)	1486,05 ^a (217,42)	141,45 ^a (9,75)
	Pr > F	0,002	0,009	0,044	0,022	0,6	0,172	0,552	0,012	0,001
	Significatif	S	S	S	S	NS	NS	NS	S	HS
5-10 cm	SC	5,8 ^b (0,03)	5,1 ^b (0,11)	0,87 (0,21)	0,06 (0,01)	15 (1,25)	111,47 (21,70)	12,27 (4,30)	662,47 ^b (162,37)	44,55 ^b (15,62)
	AC	6,2 ^a (0,19)	5,6 ^a (0,21)	1,04 (0,10)	0,07 (0,01)	15 (0,48)	127,52 (23,26)	9,80 (2,42)	1160,15 ^a (180,60)	92,98 ^a (16,34)
	Pr > F	0,013	0,015	0,265	0,326	0,589	0,432	0,435	0,024	0,021
	Significatif	S	S	NS	NS	NS	NS	NS	S	S

Test de Fisher au seuil de 5% :

La différence est significative entre les valeurs affectées par des lettres différentes dans une même colonne ;

Chaque valeur est la moyenne de 3 répétitions ; les valeurs entre parenthèse correspondent aux écart-types

HS : Hautement Significatif ; **NS** : Non Significatif ; **S** : Significatif.

C : carbone ; **N** : azote ; **P total** : phosphore total ; **P assimilable** : phosphore assimilable ; **K total** : potassium total ; **K disponible** : potassium disponible.

AC : agriculture de conservation ; **SC** : système conventionnel.

3.1.6. Effets de l'agriculture de conservation sur le stock de carbone du sol

La figure 9 présente la quantité de carbone stockée par les sols en système d'agriculture de conservation et en système conventionnel après quatre années de pratique continue. Les résultats montrent que le sol en agriculture de conservation a permis de stocker sur la couche 0-5 cm, 10,73 t C/ha contre 6,35 t C/ha en système conventionnel. L'analyse de variance indique une différence très hautement significative au seuil de 5 %.

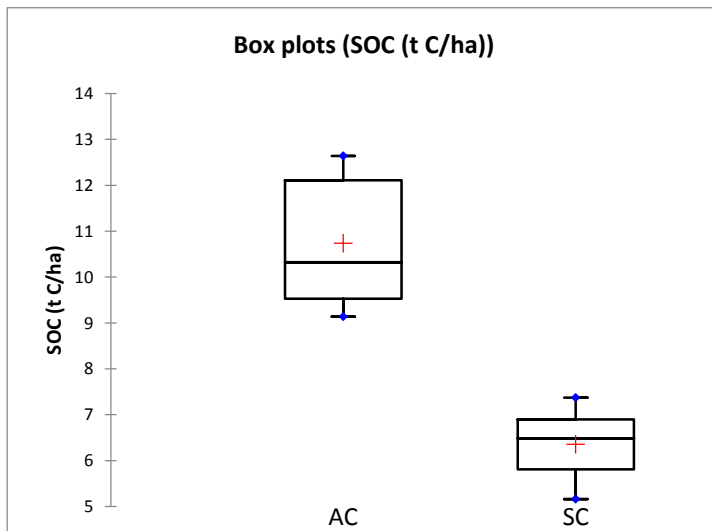


Figure 10 : Variation du stock de carbone du sol en fonction des traitements

Les croix rouges sont les moyennes.

Les barres horizontales centrales sont les médianes.

Les limites inférieure et supérieure des boîtes sont les premier et troisième quartiles, respectivement.

Les points en bleu sont le minimum et maximum pour chaque rendement.

AC : agriculture de conservation ; SC : système conventionnel ; SOC : stock de carbone organique du sol.

3.1.7. Effets de l'agriculture de conservation sur les rendements de culture

La figure 10 présente les rendements en grain et paille du maïs pour les différents traitements ainsi que les rendements en grain et fane du niébé. Les rendements de maïs les plus faibles sont obtenus sur les traitements en système conventionnel. Les résultats montrent que le rendement en grain de maïs le plus élevé est observé sur le traitement AC₁ avec 2 888,89 kg/ha contre 2 333,33 kg/ha pour le traitement SC₂. En termes de rendement paille, c'est le traitement AC₂ qui présente le plus fort rendement (3 013,89 kg/ha), et SC₁ le plus faible (2 390,87 kg/ha).

Les résultats sur le rendement en grain du niébé indiquent que le traitement AC₂ présente le rendement grain le plus élevé (249,40 kg/ha) tandis que le plus faible rendement (228,73 kg/ha) est noté en AC₁. Au niveau du rendement fane, la tendance contraire est notée avec 550,88 kg/ha en AC₁ contre 452,28 kg/ha en AC₂.

L'analyse de variance n'a pas montré de différence significative au seuil de 5 % entre les traitements pour tous les rendements.

La figure 11 compare la production en biomasse fourragère totale (paille avec ou sans fane) entre le système conventionnel et le système en agriculture de conservation. On note que les traitements en agriculture de conservation présentent les rendements les plus élevés (3324,69 kg/ha en AC₁ et 3466,17 kg/ha en AC₂) comparativement au système conventionnel (2390,87 kg/ha en SC₁ et 2521,83 kg/ha en SC₂). L'analyse de variance a montré une différence significative au seuil de 5 %.

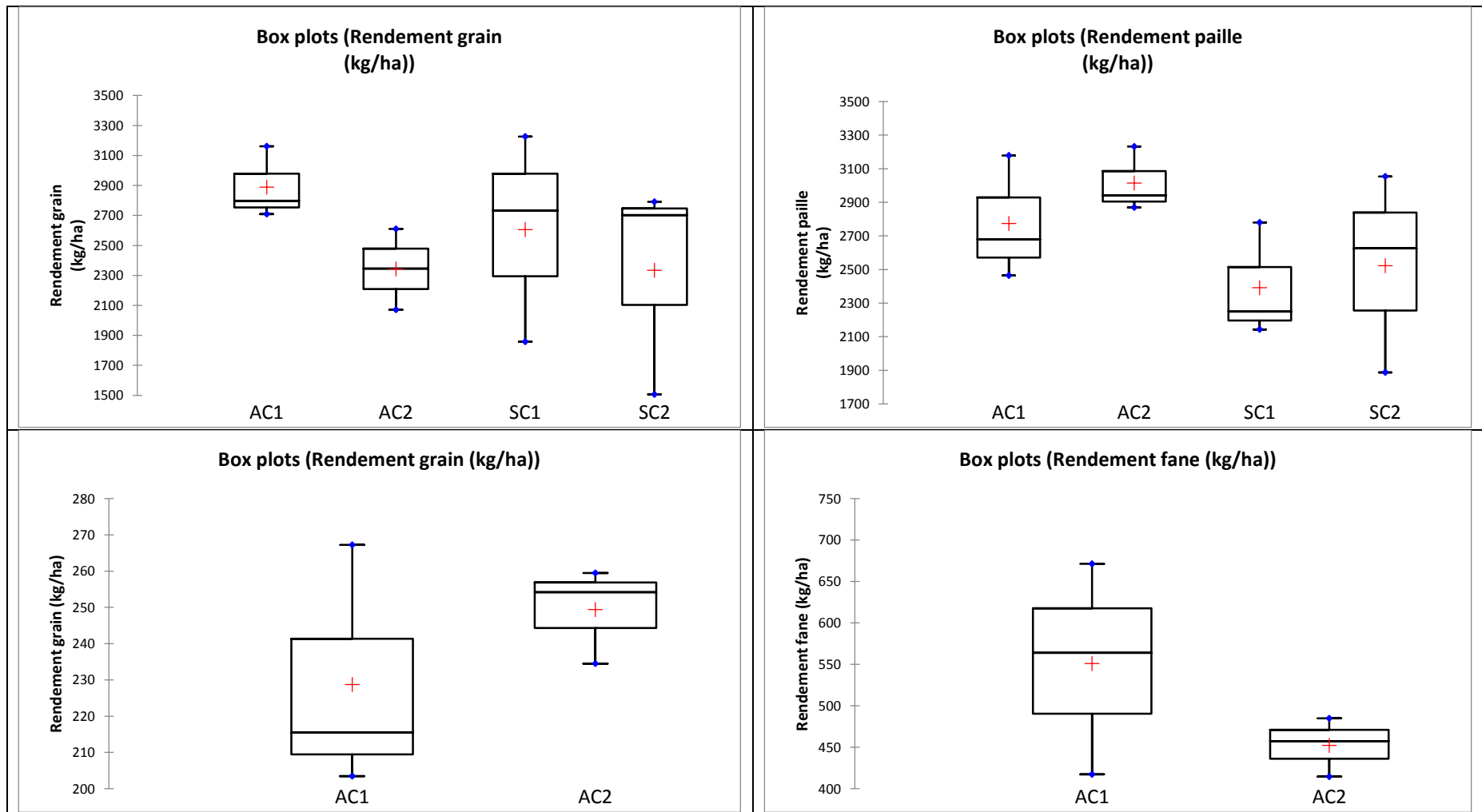


Figure 11 : Variation des rendements de maïs et du niébé en fonction des traitements.

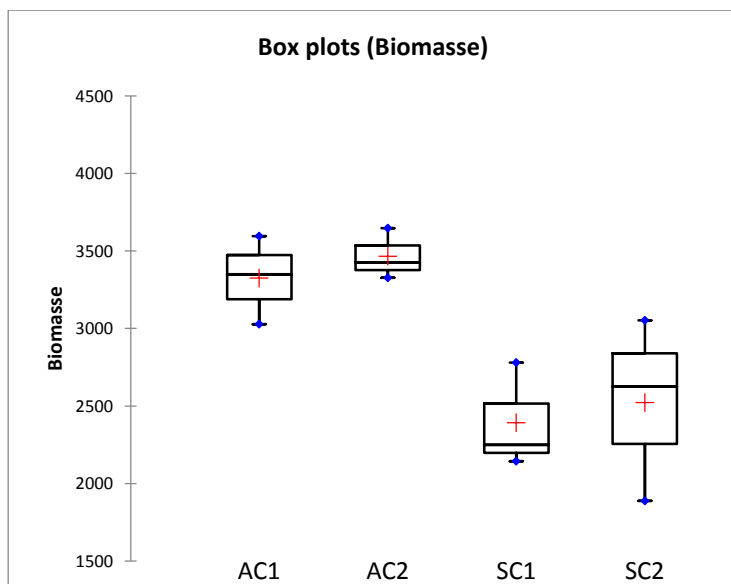


Figure 12 : Variation de la production de biomasse (paille avec ou sans fane) en fonction des traitements.

Les croix rouges sont les moyennes.

Les barres horizontales centrales sont les médianes.

Les limites inférieure et supérieure des boîtes sont les premier et troisième quartiles, respectivement.

Les points en bleu sont le minimum et maximum pour chaque rendement.

AC1 : le système d'agriculture de conservation avec apport d'engrais NPK (15-15-15) à 15 JAS ; **AC2** : le système d'agriculture de conservation avec apport d'engrais NPK (15-15-15) au semis ; **SC1** : le système conventionnel avec apport d'engrais NPK (15-15-15) à 15 JAS ; **SC2** : le système conventionnel avec apport d'engrais NPK (15-15-15) au semis

3.2.DISCUSSION

3.2.1. Effets de l'agriculture de conservation sur les flux hydriques

Les résultats sur l'humidité du sol ont montré que la pratique de l'agriculture de conservation permettrait d'améliorer la capacité de rétention en eau du sol comparativement au système conventionnel. Cela est beaucoup plus perceptible au niveau des couches superficielles (0-20 ; 20-40 cm du sol). Ces résultats sont en accord avec ceux de Scopel et Findeling, (2001), Sissoko et Autfray (2006), Schaller (2013) qui ont montré l'effet positif du paillage sur l'humidité du sol. Cette amélioration de l'humidité du sol en agriculture de conservation est imputable aux résidus de culture qui servent de barrière physique à l'écoulement de l'eau de ruissellement. De ce fait, la vitesse de ruissellement de l'eau est réduite et permet ainsi une bonne infiltration de l'eau du sol. En effet, Dombia (2016) a constaté la réduction du ruissellement de plus de 50 % au niveau des systèmes d'agriculture de conservation par rapport au système conventionnel. En dehors de ce rôle de barrage physique, le paillis permet de réduire l'évaporation de l'eau : en témoigne les résultats de Scopel *et al.*, (2005) qui trouvent que les systèmes en agriculture de conservation permettent la réduction de la perte par évaporation de l'eau du sol de 10 à 20 %.

Le traitement en agriculture de conservation a montré une amélioration de l'infiltration de l'eau du sol par rapport au traitement en système conventionnel. La couverture du sol par les résidus de culture comme signifié précédemment, permet de diminuer la vitesse de ruissellement de l'eau. Cela favorise un meilleur stockage de cette eau à la surface du sol, et elle a le temps de bien s'infiltrer. Les travaux de Findeling (2001) ont montré à la fois un effet de barrière physique des tas de résidus et le maintien d'un taux d'infiltration élevé, en empêchant la formation de la croûte de battance sur la surface du sol. La couverture permanente du sol en agriculture de conservation durant quatre années d'affilée a permis une amélioration de la structure du sol et donc une meilleure porosité de celle-ci. Ainsi, comme le note Autfray (2005), l'amélioration de l'infiltration par les systèmes de culture sous couverture végétale dépendra sur le long terme, des effets cumulés des activités biologiques par les systèmes racinaires des plantes associées et aussi par celles de la macrofaune du sol, dont principalement les termites et les vers de terre. Scopel et Findeling (2001) ont en effet obtenu après cinq ans de pratique, des différences significatives de la vitesse d'infiltration entre des traitements en système conventionnel et en agriculture de conservation avec des taux d'infiltration plus élevés pour les traitements en agriculture de conservation.

3.2.2. Effets de l'agriculture de conservation sur l'activité biologique du sol

Les résultats obtenus sur la macrofaune du sol montrent que le traitement en agriculture de conservation se caractérise par une densité plus élevée comparativement au système conventionnel. Ces résultats confirment ceux de Blanchart *et al.* (2009) qui trouvent que l'installation de système de culture sous couverture végétale entraîne une augmentation de la densité et de la biomasse de la faune du sol. En effet, les résidus de culture constituent une source d'énergie pour la macrofaune du sol. C'est d'ailleurs dans ce sens que les travaux de Rabary *et al.* (2008) indiquent que la quasi-totalité des microorganismes ainsi que la macrofaune du sol se développent aux dépens de la matière organique. Les plantes de couverture, en créant des conditions de température et d'humidité favorables aux microorganismes et en fournissant plus de matière organique, favorisent leur prolifération et leur activité (Dounia, 2001). La population de termites est la plus importante en termes de densité de la macrofaune récoltée. Ce résultat corrobore celui de Kohio (2015), qui explique cela par le fait que les termites avec leur puissant appareil buccal de type broyeur, sont chargés de jouer les premiers rôles dans le processus de dégradation des résidus de culture.

La respiration du sol est une composante majeure du cycle du carbone global qui lie les écosystèmes et l'atmosphère (Yemadje *et al.*, 2015). En effet, elle se manifeste par le dégagement de gaz carbonique (CO₂) qui traduit en fait des processus de dégradation de la matière organique (Nacro, 1997). Il faut donc dire que de l'intensité respiratoire d'un sol, va dépendre l'activité des microorganismes ainsi que la quantité de matière organique qui s'y trouvent. Nos résultats montrent que le plus fort dégagement de CO₂ est observé en agriculture de conservation. Le dégagement important de CO₂ indique donc que l'activité microbiologique y est plus intense qu'en système conventionnel. En effet, la matière organique stimule l'activité biologique du sol. Ces résultats sont similaires à ceux de Doamba *et al.*, (2011) qui montrent que l'usage des cordons pierreux favorise un dégagement de CO₂ important du fait de l'accumulation de la matière organique à la surface du sol. Ils trouvent que l'activité respiratoire du sol est d'autant plus élevée que la macrofaune y est dense. La macrofaune du sol participe non seulement à la minéralisation de l'azote organique par leur digestion, mais constituent aussi par eux-mêmes une réserve souvent importante et mobilisable à leur mort (Mathieu, 2004). Kohio (2015) et Doumbia (2016) ont également pu observer des dégagements de CO₂ plus important en système d'agriculture de conservation par rapport au système conventionnel.

3.2.3. Effets de l'agriculture de conservation sur les paramètres chimiques et le stockage du carbone

Les analyses sur les paramètres chimiques révèlent que l'agriculture de conservation permettrait d'améliorer significativement les propriétés chimiques du sol. Ces résultats vont dans le même sens que ceux rapportés par Scopel *et al.* (2005) qui ont obtenus en système de culture sous couverture végétale une croissance du taux de carbone du sol qui est passé de 23 à 29 % au bout de 5 années d'expérimentation. L'augmentation de la teneur en carbone en agriculture de conservation est beaucoup plus perceptible au niveau de la couche 0-5 cm du sol. Scopel *et al.*, (2005) ont également obtenu à cet effet une augmentation significative du taux de carbone dans les profondeurs de 0-2,5 cm et de 2,5-5 cm après cinq ans de pratique de système d'agriculture de conservation dans la zone semi-aride de l'ouest du Mexique. Cela peut s'expliquer par le fait qu'il y'a une accumulation de la matière organique à la surface du sol. Dounias (2001) trouve que sous les tropiques, les systèmes de culture sous couverture végétale permettent d'améliorer le taux de matière organique dans les profondeurs du sol inférieures à 10 cm.

Nos résultats sur le stockage du carbone du sol, permettent d'établir une corrélation entre la teneur et le stock du carbone. En effet, on a observé en agriculture de conservation où la teneur en carbone était le plus élevé, une augmentation hautement significative du stock de carbone par rapport au système conventionnel. Ces résultats sont en accord avec ceux de Lal (1997) qui a observé sous le tropique Ouest du Nigeria une augmentation annuelle de 1,33 t C/ha pendant huit (08) années en agriculture de conservation, contre 0,17 t C/ha en système conventionnel. Les pratiques agricoles basées sur les systèmes de culture sous couverture végétale peuvent ainsi augmenter substantiellement le stock de carbone dans le sol et aider à atténuer la tendance à l'augmentation des concentrations de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Bernoux *et al.* (2004) rapportent en effet que le dioxyde de carbone est le principal gaz à effet de serre qui contribue au réchauffement climatique en s'accumulant dans l'atmosphère et en piégeant la chaleur du soleil. On peut donc dire que le système d'agriculture de conservation contribue à la réduction du réchauffement global de la terre en séquestrant le carbone dans le sol.

Le système d'agriculture de conservation a permis de relever significativement le pH du sol ainsi que les teneurs en azote et en potassium. On peut attribuer cet état de fait à l'accumulation de la matière organique à la surface du sol mais aussi à l'insertion des légumineuses dans le système de culture au cours des quatre années de pratique continue. En effet, Sawadogo *et al.*, (2008) ont montré que la technique du zaï en association avec le compost relève le niveau du pH. Sidibé (2013) et Halidou (2017) trouvent que les légumineuses permettent d'améliorer la

teneur en azote du sol. L'agriculture de conservation n'a pas induit de différence significative sur le phosphore du sol, même si on a noté la plus forte valeur à ce niveau. Ce résultat contraste avec celui de Doumbia (2016) qui a trouvé après trois années d'agriculture de conservation, des valeurs de phosphore total et assimilable plus élevées en système conventionnel. Cela voudrait dire que le phosphore nécessiterait une période de culture plus longue en agriculture de conservation pour qu'on puisse observer une différence significative avec le système conventionnel.

3.2.4. Effets de l'agriculture de conservation sur les rendements des cultures

Nos résultats en termes de rendement grain n'ont pas permis de constater une différence significative entre les deux systèmes, mais on note néanmoins une tendance à l'augmentation sur les traitements en système d'agriculture de conservation. Scopel *et al.* (2005) ont en effet observé après cinq années de pratique continue d'agriculture de conservation, une augmentation de rendement grain de maïs de l'ordre de 170 à 190 % comparativement au système conventionnel. Plusieurs auteurs (Naudin *et al.*, 2010 ; Schaller, 2013) s'accordent à dire que les effets de l'agriculture de conservation sur les rendements de culture ne sont pas perceptibles les premières années d'adoption. Il faut plusieurs années d'application (5 ans et plus) pour que le système atteigne un équilibre écologique afin que l'on puisse avoir les répercussions favorables sur les rendements. Cependant, Naudin *et al.* (2005) ont observé au bout de trois années, des rendements du cotonnier légèrement plus élevés en système d'agriculture de conservation qu'en système conventionnel au Nord Cameroun. C'est donc dire que le nombre d'année de mise en culture n'est pas le seul déterminant (Kohio, 2015). Il ajoute que les conditions climatiques pourraient également être un second déterminant à la base de la divergence des résultats. Dans le contexte climatique de l'Ouest du Burkina Faso, Doumbia (2016) a trouvé après trois années en système d'agriculture de conservation, des rendements inférieurs par rapport au système conventionnel. Dans le cadre de la présente étude où l'expérimentation est à sa quatrième année d'essai, on commence à noter une amélioration du rendement en agriculture de conservation. Cela se traduit par le fait que les paramètres physico-chimiques et biologiques du sol se soient améliorés.

Les rendements n'ont pas montré de différence significative entre les traitements où l'engrais a été apporté au semis et les traitements où il a été apporté à 15 JAS. L'apport de l'engrais au semis n'a donc pas amélioré significativement les rendements. Nonobstant cela, les travaux de Ouédraogo (2015) ont montré que pour le système d'agriculture de conservation où l'application de l'engrais s'effectue pendant le semis avec le semoir mécanique épandeur, le

temps de travail est moins élevé que pour le traitement avec apport manuel d'engrais 15 jours après semis.

La production en biomasse fourragère totale (paille et fane) a été meilleure avec les traitements en système d'agriculture de conservation comparativement aux traitements en système conventionnel. Ces résultats corroborent ceux obtenus par Coulibaly *et al.* (2012) qui ont montré que les associations céréales-légumineuses permettent une augmentation de la biomasse fourragère (paille et fane cumulées) par rapport à la culture pure. Ils ont en effet enregistré des augmentations de 22 à 29 % de la biomasse fourragère pour les associations maïs-légumineuse par rapport à la monoculture du maïs.

CONCLUSION GENERALE

Notre étude a été conduite dans le but de contribuer à l'évaluation des effets de l'agriculture de conservation sur les performances des systèmes de production dans l'Ouest du Burkina Faso. Au terme de ce travail, on note que le système d'agriculture de conservation après quatre années de pratiques continues, a permis d'améliorer la fertilité du sol et les rendements de cultures. En effet, on a pu observer que ce système de culture améliore l'humidité du sol et l'infiltration de l'eau dans le sol. De ce fait, la première hypothèse est vérifiée. Les résultats sur les paramètres chimiques et le stock de carbone ont montré une amélioration significative des deux paramètres sur la couche superficielle (0-5 cm) du sol en système d'agriculture de conservation par rapport au système conventionnel. De même, on a pu noter en système d'agriculture de conservation, un développement significatif de l'activité biologique du sol. Cela vérifie la deuxième hypothèse. En termes de rendements grain et paille, on note une augmentation non significative sur la parcelle en agriculture de conservation comparativement au système conventionnel. Toutefois, il faut noter que le système d'agriculture de conservation a permis une production additionnelle de légumineuse tant en production grains que fanes. La troisième hypothèse est vérifiée. Au vu de ces résultats, on peut donc dire que le système d'agriculture de conservation est un mode de production qu'on peut envisager dans nos systèmes de production. En effet, notre étude a permis de montrer que ce système de culture permettrait une gestion durable des sols tropicaux, et l'amélioration de la productivité des systèmes de culture. Néanmoins, les recommandations suivantes peuvent être suggérées :

- Poursuivre les travaux pour mieux apprécier l'effet de l'agriculture de conservation sur les rendements des cultures ;
- Intégrer d'autres légumineuses fourragères comme le *mucuna* pour une meilleure couverture du sol et pour tester des systèmes d'agriculture de conservation potentiellement intéressants pour les éleveurs.

BIBLIOGRAPHIE

- AFNOR, 1981.** Détermination du pH. (Association Française de Normalisation) NF ISO 103 90. *In* AFNOR, qualité des sols, Paris, pp. 339-348.
- Ambouta J.M.K., Moussa I.B., Sani D.O., 2000.** Réhabilitation de jachère dégradée par les techniques de paillage et de zaï au Sahel. *In* La jachère en Afrique tropicale, Floret Ch., et Pontanier R., (Eds), John Lebbey, pp. 751-759
- Anderson J M. and Ingram J., 1993.** Tropical soil biology and fertility (T.S.B.F): a handbook of methods. 2nd edition. CAB, oxford UK. 221p.
- Anlimouddine A., 1999.** Evolution des systèmes de cultures traditionnels aux Comores. *In* Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture, Rasolo F., Raunet M., (Eds), Cirad, collection Colloques, Montpellier, pp. 55-64 : 658 p.
- Baboulé B. Z., Roose E. et BEP à ZIEM, 2000.** Effets du labour et de la couverture du sol sur le ruissellement et les pertes en terre sur un sol ferrugineux sableux en zone Soudanienne du Nord-Cameroun. Bull. Réseau Erosion : 372-378.
- Bado B. V., 2002.** Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéennes et soudanienues du Burkina Faso. Thèse de Doctorat (PhD), Université Laval, Quebec, 145 p.
- 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., Koala S. et Ayuk E., 1998.** Fertilité des sols pour la production céréalière en zone sahélo-soudanienne et valorisation des phosphates naturels. *Cahiers Agricultures* vol 7, No 5: 365-371.
- Bernoux M., Cerri C.C., Cerri C.E.P., Siqueira Neto M., Metay A., Perrin Anne-Sophie, Scopel E., Blavet D., Piccolo M., 2004.** Influence du semis direct avec couverture végétale sur la séquestration du carbone et l'érosion au Brésil. *In* Gestion de la biomasse, érosion et séquestration du carbone, Roose E., De Noni G., Prat C., Ganry F., et Bourgeon G. (Eds.), Bulletin du Réseau Erosion, (23), 323-337.

- Blanchard M., 2005.** Relations agriculture élevage en zone cotonnière : territoire de Koumbia et waly, Burkina Faso. Mémoire DESS, Université Paris XII, Val de Marne, France, 97p
- Bray R I. I., Kurtz L. T., 1945.** Determination of total organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59. 39-45.
- Chabanne A. 2003.** Les systèmes de culture avec couverture végétale pour les hauts de la réunion. CIRAD, 103 p.
- Coulibaly K., VALL E., Autfray P. et Sedogo P.M., 2012.** Performance technico-économique des associations maïs-niébé et maïs-mucuna en situation réelle de culture au Burkina Faso : potentiels et contraintes. *Tropicultura*. 30 (3): 147-154.
- DGPER, Ministère de l’Agriculture et de la Sécurité Alimentaire, Burkina Faso, 2010a.** Résultats définitifs de la campagne agricole et de la situation alimentaire et nutritionnelle. Ouagadougou, Burkina Faso, 57p.
- DGPER, Ministère de l’Agriculture et de la Sécurité Alimentaire, Burkina Faso, 2010b.** Evolution du secteur agricole et des conditions de vie des ménages au Burkina, Ouagadougou, Burkina Faso, 100p.
- Djamen P., Ashburner J., Maraux F., Kienzle J., et Triomphe B., 2005.** L’Agriculture de conservation en Afrique de l’Ouest et du Centre : état des lieux, enjeux et défis. In Congrès mondial d’agriculture de conservation, du 3au 7/10/2005, vol. X. FAO. Nairobi, Rome, 63-76.
- Doamba S. M. F., Nacro H. B., Sanon A. et Sedogo M., 2011.** Effet des cordons pierreux sur l’activité biologique d’un sol ferrugineux tropical lessivé (Province du Kouritenga au Burkina Faso). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 5(1): 304-313.
- Dommergues Y., 1960.** La notion de coefficient de minéralisation du carbone dans les sols. *Agron. Trop.* 15, p.54-60.
- Doumbia S., 2016.** Effets de l’agriculture de conservation sur les flux hydriques, la fertilité du sol et les rendements des cultures en milieu contrôlé à l’Ouest du Burkina Faso. Mémoire d’ingénieur. Institut du Développement Rural. Université polytechnique de Bobo-Dioulasso. 67 p.

- Dounias I., 2001.** Les systèmes de culture à base de couverture végétale et semis direct en zones tropicales. Etudes et Travaux N° 19 du CNEARC en collaboration avec le CRAD-CA dans le cadre du programme Gestion des Ecosystèmes Cultivés. 164p.
- Dugue P.** (éditeur scientifique), **2000.** Fertilité et relations agriculture-élevage en zone de savane. Actes de l'atelier sur les flux de biomasse et la gestion de la fertilité à l'échelle des terroirs. CIRAD, 5-6 mai 1998. CIRAD, Montpellier France, colloques, 200 p.
- Essecofy F. G., 2011.** Potentiel de développement de l'agriculture de conservation des petites exploitations agricoles familiales : étude de cas a Gori et Kompienbiga (BurkinaFaso). Thèse de Master of Science. CIHEAM-IAMM. 73p.
- FAO, 2015.** Agriculture de conservation. Département de l'agriculture et de la protection des consommateurs. Document en ligne : <http://www.fao.org/ag/ca/fr/1a.html>. Consulté le 21 Septembre 2016 à 11h10mn
- FAO, 2005.** Regards sur l'agriculture de conservation en Afrique de l'ouest et du centre et ses perspectives. Contribution au 3ème Congrès mondial d'agriculture de conservation, Nairobi, octobre 2005, 101p.
- Fontès J., Guinko S., 1995.** Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso. Note explicative. Toulouse : Ministère de la coopération française (France); 53p.
- Frontier S. et Pichod-Viale D., 1998.** Ecosystèmes: structure, fonctionnement, Evolution. Edition Dunod, Paris. France. 445 p.
- Halidou Z., 2017.** Contribution du niébé et des fumures organiques et minérales à la nutrition azotée et aux rendements du mil dans les systèmes de cultures en zone sahélo-soudanienne au Niger. Thèse de doctorat, Université Nazi Boni, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 122p.
- Hountondji Yvon-Carmen H., 2008.** Dynamique environnementale en zones sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest : Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal. Thèse de doctorat, Université de Liège, 131 p.
- INERA, 2003.** Recherche sur des technologies de lutte contre la désertification au sahel et étude de leur impact agro écologique. Département GRN/SP. 91 p
- INERA., 2014.** Plan Stratégique de Recherches Environnementales et Agricoles (PSREA) 2014- 2022, 45p.

- Jouve P., 2003.** Système de culture et organisation spatiale des territoires Comparaison entre agriculture tempérée et agriculture tropicale, *In* :Dugué P., Jouve P., (éds.), « Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux ». Actes du colloque international, Montpellier, France, 9 p
- Kaumbutho, P., Kienzle, J., 2007.** Conservation agriculture as practiced in Kenya: two cases studies. Nairobi. African Conservation Tillage Network, Centre de Coopération Internationale de Recherche Agronomique pour le Développement, Food and agriculture Organization of the United Nations.109 p.
- Kiba D.I., 2012.** Diversité des modes de gestion de la fertilité des sols et leurs effets sur la qualité des sols et la production des cultures en zones urbaine, péri-urbaine et rurale au Burkina Faso. Thèse de doctorat unique, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 172 p.
- Kohio B. E., 2015.** Effet de différents niveaux de paillage sur la fertilité du sol, le flux hydrique et les rendements des cultures en milieu contrôlé. Mémoire d'ingénieur. Institut des Sciences de l'Environnement et de Développement Rural. Centre Universitaire Polytechnique de Dédougou. Université de Ouagadougou. 61 p.
- Lal, R., 1997.** Long-term tillage and maize monoculture effects on a tropical Alfisol in Western Nigeria. II. Soil chemical properties. *Soil Tillage Research*, v.42, p.161-174.
- Mando A., Zougmore R., Zombre N. P., et Hien V., 2000.** Réhabilitation des sols dégradés dans les zones semi-arides de l'Afrique subsaharienne. *In* La jachère en Afrique, Floret Ch., et Pontanier R., (Eds), John Lebbey, Paris (sous presse).
- Mbilou U. G.; Ngouala M. M. ; Miyouna T., 2016.** Mesure de la vitesse d'infiltration des eaux dans le sol : Cas des sols de la Vallée du Niari en République du Congo. *Journal of Applied Biosciences*.
- Nacro H. B., 1997.** Hétérogénéité de la matière organique dans un sol de savane humide (Lamto, Côte d'Ivoire) : caractérisation chimique et étude in vitro, des activités microbiennes de minéralisation du carbone et de l'azote. Thèse de Doctorat de l'Université, Paris 6, 302 p.
- Naudin K., Balarabe O. et Aboubakary, 2005.** Systèmes de culture sur couverture végétale Résultats campagne 2004. SODECOTON, Projet ESA, Nord Cameroun, 65p.

- Novozansky I. V, Houba. J. G., Vaneck R. et Van Vark V., 1983.** "A novel digestion technic for multi-elernent analysis" *Commun Soil Sei. Plant Anal.* 239-249.
- Ouédraogo J. T., Drabo I., Tignégré J. B., Dabiré C., Sérémé P., Konaté G., 2009.** Fiche technique du Niébé variété K VX 745-11P.
- Ouédraogo Y. 2012.** Analyse «ex-ante» des effets de l'agriculture de conservation sur le fonctionnement et les performances technico-économiques des exploitations agricoles à l'aide de la modélisation: cas de Koumbia. Mémoire d'ingénieur. Institut du Développement Rural. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. 53 p.
- Pallo F J P et Thiombiano L., 1989.** Sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétion du Burkina Faso. Caractéristiques et contraintes pour l'utilisation agricole. BUNASOL. SOLTROP. 307-327.
- Piéri C., 1989.** Fertilité des terres de savane : Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara.' Ministère de la Coopération, CIRAD/IRAT (Paris), 444 p.
- Schaller N., 2013.** L'agriculture de conservation. Analyse Centre d'Etudes et de Prospective n° 61. 4p
- Scopel E. et Findeling A., 2001.** Conservation tillage effects on runoff reduction in rainfed maize of semi-arid zones of western Mexico.
- Scopel E., Douzet J-M., Da Silva F-A. M., Cardoso A., Aloisio J., Moreira A., Findeling A. et Bernoux M., 2005.** Impacts des systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV) sur la dynamique de l'eau, de l'azote minéral et du carbone du sol dans les cerrados brésiliens. *Cahiers Agricultures* vol. 14, n° 1 : 71-75p.
- 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, Université de Ouagadougou, 198 p.
- Sempore A. W., 2015.** Rôle de la modélisation dans l'aide à la conception de systèmes de production innovants : le cas des exploitations de polyculture-élevage à l'Ouest du Burkina Faso. Thèse de doctorat, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 119 p.
- Sidibé B., 2013.** Contribution en azote de trois légumineuses (mucuna, niébé, arachide) sur la fertilité du sol et le rendement du riz pluvial à la sous station de Farako – Finkolo dans

- la région de Sikasso au Mali. Mémoire de Master en Science du Sol, spécialité Gestion Intégrée de la Fertilité du Sol. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Institut du Développement Rural, Burkina Faso, 33p.
- Sissoko F., 2009.** Analyse des flux d'eau dans les systèmes de culture sous couverture végétale en zone soudano sahélienne : cas du coton semé après une culture de sorgho/brachiaria au sud du Mali. Thèse de doctorat, Centre International D'études Supérieures En Sciences Agronomiques Montpellier, France, 169p.
- Soutou G., 2004.** Modification du bilan hydrique par les systèmes de cultures sur couverture végétale : cas du cotonnier et du sorgho dans l'extrême nord du Cameroun. Mémoire de fin de cycle en vue de l'obtention du diplôme d'Agronomie Approfondie, spécialité Agroenvironnement, option Production Végétale Durable. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier. France. 100 p.
- SP/CONEDD, 2006.** Revue scientifique sur l'état de la dégradation des terres au Burkina Faso. Etude réalisée dans le cadre du programme de gestion durable des terres.
- Tiessen H., Moir I. O., 1993.** Total and organic carbon. In: M.R. Carter (ed.) soil sampling and methods of analysis Canadian society of soil Science, Lewis pp 187-199.
- Traore B. G., 2014.** Impact de l'agriculture de conservation sur les systèmes de culture en zone cotonnière à l'Est du Burkina Faso. Mémoire de Master en production végétale. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Institut du Développement Rural, Burkina Faso, 56p.
- Traoré K. et Toé A. M., 2008.** Capitalisation des initiatives sur les bonnes pratiques agricoles au Burkina Faso. PP 11-31.
- Vlaar J.C. J. (Ed.) 1992.** Les Techniques de Conservation des Eaux et des Sols dans les pays du Sahel. CIEH/UAW. 99 p.
- Walinga J., Van Vark W., Houba V. J. G. et Van Der Lee J. J., 1989.** Plant analysis procedures. Dpt. Soil Sc. Plant Nutr. Wageningen Agricultural University. Syllabus, Part 7:197-200.
- Walkley A., Black I. A., 1934.** An examination method of the detjareff and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil science. Vol. 37. 29-38.

Yaméogo T. J., 2012. Réhabilitation d'écosystème forestier dégradé en zone soudanienne du Burkina Faso : impacts des dispositifs CES/DRS. Thèse de doctorat, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 160 p.

Yemadje P. L., Guibert H., Blavet D., Olina JP, Chevallier T., Deleporte P., Bernoux M., 2015. 24-h variation in soil respiration after a long dry season in a Sudano-Sahelian region. *Scientia Agricola*.

Zoundi J.S., Butare I. et Adomefa J.N.K., 2006. Intégration agriculture-élevage : Alternative pour une gestion durable des ressources naturelles et une amélioration de l'économie familiale en Afrique de l'Ouest et du Centre. Ouagadougou, INERA, Nairobi : ILRI, Dakar : CORAF/WECARD, 370 p.

ANNEXES

Protocole de mesure de la vitesse d'infiltration des eaux dans le sol (cas d'une parcelle en système conventionnel).

Fiche de collecte des données de l'infiltration							
Date: 17/08/16							
Parcelle: TSC_RIII_point2							
Règle de mesure: (cm)							
Heure	Niveau eau (cm)		Temps cumulatifs (mn)	Intervalles du temps (mn)	Infiltration (cm)	Infiltration cumulatif (cm)	Capacité (vitesse) d'infiltration (cm/mn)
	Avant remplissage	Après remplissage					
17h59		189	0	Start	Start	Start	Start
	189,9		1	1	0,9	0,9	0,9
	191,1		2	1	1,2	2,1	1,2
	192,3		3	1	1,2	3,3	1,2
	193,4		4	1	1,1	4,4	1,1
	194,2		5	1	0,8	5,2	0,8
	196		7	2	1,8	7	0,9
	197,6		9	2	1,6	8,6	0,8
	199		11	2	1,4	10	0,7
	200,4	189	13	2	1,4	11,4	0,7
	190,6		15	2	1,6	13	0,8
	194,5		20	5	3,9	16,9	0,78
	198,1		25	5	3,6	20,5	0,72