

**BURKINA FASO
UNITE-PROGRES-JUSTICE**

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

**UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO
(UPB)**

**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
en station à l'Ouest du Burkina Faso***

Présenté par:

DOUMBIA Sory

Maître de stage : Dr Kalifa COULIBALY

Directeur de mémoire : Pr Hassan Bismarck NACRO

JUIN 2016

N: -/Agro

DEDICACE

Je dédie ce travail à :

Mon père, DOUMBIA Sekou pour ses encouragements et ses soutiens multiformes ;

Ma mère KABA Mariam qui s'est toujours battue pour notre réussite ;

Mon frère DOUMBIA Mory ;

Mes sœurs ;

Toute la famille ADEOTI

Tous mes amis.

TABLE DE MATIERES

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS.....	v
LISTES DES FIGURES ET TABLEAUX.....	vii
SIGLES ET ABREVIATIONS	viii
RESUME.....	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
1.1 État de la fertilité des sols sous culture au Burkina Faso.....	4
1.1.1 Notion de fertilité du sol.....	4
1.1.2. Problématique de la fertilité des sols au Burkina Faso	4
1.2. Systèmes de cultures existant au Burkina Faso.....	5
1.2.1. Notion de système de culture.....	5
1.2.2. Quelques systèmes de cultures existants au Burkina Faso	5
1.3 Généralités sur l’agriculture de conservation	6
1.3.1 Définition	6
1.3.2 Agriculture de conservation dans le monde	7
1.3.3 Agriculture de conservation en Afrique.....	8
1.3.5 Agriculture de conservation au Burkina Faso	8
1.4. Performances agronomiques de l’agriculture de conservation à l’échelle de la parcelle	9
1.4.1 Effets de l’agriculture de conservation sur les flux hydriques	9
1.4.2 Effets de l’agriculture de conservation sur la fertilité du sol.....	9
1.4.3 Effets de l’agriculture de conservation sur les rendements des cultures	10
1.4.4 Effets de l’agriculture de conservation sur les ennemis des cultures	10
1.4.5 Performances technico-économiques de l’agriculture de conservation à l’échelle de l’exploitation agricole.....	11
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	13
2.1. Présentation de la zone d’étude	13

2.1.1. Situation géographique	13
2.1.2. Climat et végétation	14
2.1.3. Relief.....	16
2.1.4. Sols	16
2.1.5. Réseau hydrographique.....	16
2.2. Matériel	17
2.3. Méthodes	18
2.3.1. Dispositif expérimental	18
2.3.2 Conduite des essais	20
2.3.3. Paramètres suivis.....	20
2.3.4. Echantillonnages du sol	20
2.3.6. Paramètres chimiques du sol.....	22
2.3.7. Paramètres biologiques du sol.....	23
2.3.8. Paramètres de rendements	24
2.3.9. Analyse statistique des données	25
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	<u>2726</u>
3.1.1. Effet de l'agriculture de conservation sur les flux hydriques	<u>2726</u>
3.1.1.1. Effet de l'agriculture de conservation sur l'humidité du sol	<u>2726</u>
3.1.1.2. Effet de l'agriculture de conservation sur le ruissellement et l'érosion du sol	<u>3130</u>
3.1.2. Effet de l'agriculture de conservation sur la fertilité du sol	31
3.1.2.1. Effet de l'agriculture de conservation sur la macrofaune du sol	31
3.1.2.2. Effet de l'agriculture de conservation sur l'activité respiratoire du sol.....	<u>3534</u>
3.1.2.3. Effet de l'agriculture de conservation sur les paramètres chimiques du sol.....	<u>3736</u>
3.2 Discussion	<u>4241</u>
3.2.1 Effet de l'agriculture de conservation sur les flux hydriques .	<u>4241</u>
3.2.2 Effet de l'agriculture de conservation sur la fertilité du sol	<u>4342</u>
3.2 .3. Effet de l'agriculture de conservation sur les rendements des cultures	<u>4645</u>

REMERCIEMENTS

La concrétisation de ce mémoire n'aurait été effective sans le concours d'institutions, de personnes ressources et d'amis à travers une conjugaison parfaite de leurs efforts. Au-delà de notre volonté manifeste de louer leur profonde gratitude, il nous incombe et est de notre devoir, à travers ces brefs mots, de leurs exprimer nos vifs reconnaissances et remerciements. Nous ne pourrions citer le nom de toutes ces personnes qui nous ont soutenu d'une façon ou d'une autre. Qu'ils se reconnaissent tous à travers ce document. Néanmoins, nous adressons nos remerciements :

- à la Fondation Internationale pour la Science (IFS) qui a octroyé les financements nécessaires pour la réalisation de l'étude.
- au Dr Valentine C. YAPI-GNAORE, Directrice générale du CIRDES, directeur de recherche, de nous avoir agréé au sein de son institution ;
- au Dr Augustin B. KANWE, précédemment chef de l'URPAN, unité au sein de laquelle nous avons conduit nos travaux, pour sa disponibilité et son investissement pour l'exécution de nos activités de terrain ;
- au Dr Bernard BACYE, directeur de l'IDR et à tout le corps professoral de l'IDR, pour leur encadrement technique et scientifique au cours de notre formation ;
- au Dr Kalifa COULIBALY, enseignant chercheur à l'IDR et Chercheur au CIRDES, notre maître de stage pour son excellent suivi et sa constante disponibilité au cours des travaux de terrain et de la rédaction de ce mémoire ;
- au Pr Hassan Bismarck NACRO, notre directeur de mémoire et son équipe pour leurs critiques, conseils et orientations sur le protocole et le document qui nous ont été d'un grand apport pour la rédaction de ce mémoire;
- au Doctorant Baba OUATTARA pour son appui durant les analyses de laboratoire ;
- aux responsables du laboratoire GRN/SP INERA Farakô Ba pour avoir mis à notre disposition leur cadre pour nos analyses et à Monsieur Amoro Sié OUATTARA, et toute son équipe, pour leur esprit de sacrifice ;
- à Malamine OUATTARA pour les corrections apportées pour l'amélioration scientifique du document. ;
- au personnel et stagiaires du CIRDES, pour leur franche collaboration durant le stage;

- à l'équipe qui m'a aidé dans la collecte des données : Maurice OUEDRAOGO, Ibrahim KABORE, Bèbè MOMO ;

A tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire dont les noms n'ont pas pu être cités, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Que Dieu le Tout Puissant vous récompense tous à la hauteur de vos attentes !

LISTES DES FIGURES ET TABLEAUX

Liste des figures

Figure 1. principes fondamentaux de l'agriculture de conservation	7
Figure 2: Carte de la commune de Bama	13
Figure 3 : Pluviosité annuelle et nombre de jours de pluie de 2006 à 2015 de la zone	14
Figure 4: Répartition mensuelle de la pluviosité et du nombre de jours de pluie de juin à Novembre 2015 de Banankélédaga	15
Figure 5 : Moyennes mensuelles des températures minima et maxima de Banankélédaga de février à novembre 2015	16
Figure 6 : dispositif expérimental.....	19
Figure 8 : Evolution journalière du CO ₂ dégagé en fonction de différents traitements	36
Figure 9 : Evolution cumulée du CO ₂ dégagé en fonction de différents traitements	36

Liste des tableaux

Tableau I : Effet de l'agriculture de conservation sur le ruissellement et l'érosion du sol.	31
Tableau II : Répartition de la macrofaune du sol et indice de Shannon à 45 JAS suivant les traitements	33
Tableau IV : Analyse de quelques caractéristiques chimiques du sol en fonction des différents traitements.....	38
Tableau V : Analyses de quelques composantes du rendement, du rendement grain et paille du maïs.	40
Tableau VI : Analyses de quelques composantes du rendement, du rendement grain et paille du niébé	41

SIGLES ET ABREVIATIONS

AC : Agriculture de Conservation

ANOVA: Analyse of Variance

BUNASOLS: Bureau National des Sols

CIRDES: Centre International de Recherche Développement sur l'Élevage en Zone Subhumide

CREAF: Centre de Recherches Environnementales, Agricoles et de Formation

F.A.O: Food and Agricultural Organization

GRN/SP : Gestion des Ressources Naturelles/ systèmes de Productions

IDR : Institut du Développement Rural

IFS : International foundation of science

INERA: Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles

JAS: Jours après semis

MO: Matière Organique

NPK: Complexe engrais composé de : azote (N), phosphore (P), potassium (K)

PCD : Plan Communal de Développement

SCAP: Smallholder Conservation Agriculture Promotion in Western and Central Africa

SC : système Conventionnel

SCV: Systèmes de culture sur Couverture Végétale

SOCOMA: Société Cotonnière du Gourma

TSBF : Tropical Soil Biology and Fertility

UPB : Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso

RESUME

L'agriculture de la zone Ouest du Burkina Faso confrontée à une mauvaise répartition de la pluviosité et à une baisse de fertilité des sols, nécessite de nouveaux systèmes de culture pour assurer une production agricole durable. Des études réalisées sur l'agriculture de conservation (AC) ont montré que ce système peut être de plus en plus envisagé comme un moyen pour relever le défi de la durabilité de l'agriculture en zone tropicale. L'objectif de notre recherche était de déterminer en milieu contrôlé, le système d'AC adapté au contexte agro-climatique de la zone Ouest du Burkina Faso, capable d'améliorer la fertilité du sol et les rendements des cultures. La station expérimentale du Centre International de Recherche-Développement sur l'Elevage en zone Subhumide (CIRDES), situé dans le village de Banankélédaga (Burkina Faso) (10°11'N et 4°06'W; 300 m d'altitude), a servi de site d'étude. Le dispositif expérimental était en blocs factoriels complètement randomisés comprenant cinq traitements et trois répétitions. Les traitements ont comparé le système conventionnel (T0) aux systèmes d'AC, sans paillage (T0t), avec 1 tonne de paille par hectare (T1t), avec 2 tonnes de paille par hectare (T2t) et avec 4 tonnes de paille par hectare (T4t). Les effets de l'AC sur l'humidité, le ruissellement, l'érosion, la macrofaune, l'activité respiratoire, les paramètres chimiques du sol et les rendements des cultures ont été évalués. Les résultats sur les paramètres hydriques ont montré une réduction significative du ruissellement de plus de 50 % au niveau des systèmes d'AC (T2t et T4t) par rapport au système conventionnel (T0). Le coefficient de ruissellement moyen a varié de 35,75 % (T2t) à 11,10 % (T4t) au niveau de l'AC. Il est de 74,10 % pour le conventionnel (T0). Une réduction de plus de 80 % des pertes de terre a été observée sur les traitements AC (T2t et T4t) par rapport au traitement conventionnel. Une augmentation significative de l'humidité du sol a été observée en période de poche de sécheresse dans les traitements AC par rapport au conventionnel. Mais les résultats sur la fertilité biologique et chimique du sol ainsi que les rendements, d'une manière générale n'ont pas montré une différence significative au seuil de 5 %. Toutefois, le pH du sol, l'azote du sol, le potassium disponible ont été affecté significativement et positivement par l'AC. Il ressort de cette étude que l'effet de l'AC sur les flux hydriques du sol est immédiat, alors que son effet sur la fertilité et les rendements est progressif et demande plus de temps. Les effets positifs de l'AC sont fonction de la quantité de paille utilisée pour la couverture du sol.

Mots clés : Paillage, humidité du sol, ruissellement, érosion hydrique du sol, fertilité du sol, Burkina Faso.

ABSTRACT

The agriculture of west area of Burkina Faso is confronted with a bad distribution of the rainfall and a decrease in soils fertility, requires new farming systems in order to assure a sustainable agricultural production. Studies realized on conservation agriculture (AC), were showed that this system can be considered further as a way to accept the challenge of farming durability in tropical area. The aim of our research was to assess in controlled environment, the AC system which adapted to agro-climatic context in west area of Burkina Faso and able to improve soil fertility, and food productivity. The study was conducted in Banankélédaga, to the experimental station of the International Center for Research and Development in Stock farming in Sub moist area (CIRDES), which is located at 10°11'N, 4°06'W at an altitude of 300 m above sea level in Burkina Faso. The experimental device was factorial plots completely randomized with five treatments and three repetitions. The treatments compared the conventional system (T0) to AC systems which are: no mulching (T0t), mulching with 1 ton in a hectare (T1t), mulching with 2 tons in a hectare (T2t) and mulching with 4 tons in a hectare (T4t). The AC effects on soil moisture, the streaming, the erosion, the macro fauna, the soil respiratory activity, the chemical parameters and yield are estimated. The results above the hydraulic parameters are showed a significant reduction of streaming at more 50% in AC systems (T2t and T4t) than conventional system (T0). The average coefficient of streaming was fluctuating from 35.75% (T2t) to 11.10% (T4t) in AC systems and it is 74.10% for conventional system (T0). A reduction at most 80% of soil loss was observed on the AC treatments (T2t and T4t) in relation to conventional treatment. A significant increase of soil moisture was observed in dryness period in the AC treatments relatively to conventional. But, the results on soil biological and chemical fertility like the yield have not showed a significant difference, as a general way. However, pH, soil nitrogen and available potassium are not affected significantly and positively by AC systems. This experience showed that the AC effect on the soil hydraulic floods is immediate when its effect on fertility and yield is graduated and required more time. The positive effects of AC system were correlated by the straw quantity which used for the soil cover.

Key words: mulching, soil moisture, streaming, soil hydraulic erosion, soil fertility, Burkina Faso

INTRODUCTION GENERALE

L'agriculture burkinabè occupe une place importante dans l'économie nationale. Elle contribue à environ 40 % à la formation du Produit Intérieur Brut (PIB) et occupe 86% de la population totale (MAHRH, 2007). Cette agriculture, à l'instar de celle des autres pays de l'Afrique Sub-saharienne est une agriculture de subsistance (Masse, 2007), caractérisée par une faible productivité (Bado, 2002) et par une forte instabilité de sa production (Kiba, 2012). La productivité agricole des pays de l'Afrique sub-saharienne en particulier ceux de l'Ouest devra s'accroître substantiellement ces dernières décennies afin d'éviter une immense crise alimentaire (Bationo *et al.*, 1998). Cette situation de crise alimentaire s'expliquerait par une disparité entre l'accroissement de la population (3% par an) et l'accroissement de la production alimentaire annuelle (Bationo *et al.*, 1998). En général, les sols de l'Afrique de l'Ouest se distinguent par une mauvaise stabilité structurale des horizons superficiels, leur faible richesse en limons et sables fins, leur faible teneur en argile, en matière organique (inférieure à 3% sous végétation et 0,7% sous cultures), et la faible réserve minérale (Pieri, 1989; Saidani, 1995). La pauvreté naturelle des sols, couplée à la forte variabilité climatique, aggravées par la pratique d'une agriculture de type « minière » ne font qu'accentuer la dégradation des sols de cette région (Stoorvogel et Smaling, 1990). Environ 65% des terres agricoles de cette région ont été affectées par les phénomènes de dégradation au cours des 40 dernières années (Scherr, 1999; Katyal et Vlek, 2000; Bationo *et al.*, 2007). Cette dégradation entraîne une baisse de la fertilité chimique, physique et biologique des sols, constituant une menace grave pour la sécurité alimentaire. Au Burkina Faso, on estime qu'environ 24% des terres arables sont fortement dégradées et que 31% de la pluviosité annuelle est perdue par ruissellement (INERA, 2000).

Autrefois, le système de gestion des terres agricoles au Burkina Faso consistait en une alternance des cultures extensives pendant 3 à 5 ans et une mise en jachère sur une longue période d'au moins 10 ans (Pieri, 1989 ; Sedogo, 1993 ; Bacyé, 1993). Cette pratique favorisait le maintien de la fertilité des sols. De nos jours, la forte pression démographique (augmentation annuelle de 3,1 % d'après INERA, 2014) sur les terres a fait que ce système de gestion traditionnelle tend à disparaître favorisant ainsi l'augmentation des surfaces cultivées au détriment des aires de pâture (Semporé, 2008). Malgré cette extension des terres emblavées, les résidus de récoltes demeurent insuffisants pour l'entretien des effectifs croissants d'animaux ayant pour conséquence une production de fumure insuffisante pour

maintenir le potentiel productif des sols cultivés (Sancouley, 1989 ; Berger, 1996). Dans un contexte de changements globaux importants, accentué par la faiblesse des revenus des agriculteurs burkinabé (moins de 1 dollar U.S par jour selon Pinstруп-Andersen *et al.*, 2000 cité par Bationo *et al.*, 2012), et le coût élevé des engrais minéraux, nous assistons à une modification du mode de gestion des terres et à la mise en place de nouveau système de production répondant à la durabilité sociale, économique et environnementale.

Ces nouvelles pratiques sont essentiellement basées sur les techniques de conservation des eaux du sol (CES), défense et restauration du sol (DRS), et sur l'Agriculture de Conservation (AC). Les techniques de CES/DRS consistent à la construction d'ouvrages anti-érosifs (les demi-lunes, les diguettes, les haies vives, le paillage, le zaï et les cordons pierreux). Ces derniers sont des barrières physiques placées perpendiculairement à la pente pour freiner le ruissellement et réduire l'érosion (Doamba *et al.*, 2011). Il s'en suit une augmentation de l'infiltration de l'eau dans le sol, et la sédimentation des particules (sables, terre fine, matière organique) à l'amont de l'ouvrage anti-érosif (Dugué *et al.*, 1993; Hien, 1995). Cette technique permet à la fois de restaurer les paysages naturels (Sangaré, 2002; Doamba, 2007) et la fertilité des sols, et donc, d'augmenter la quantité et la qualité de la production agricole (Kambou et Zougmoré, 1995). Quant à l'Agriculture de conservation, elle est basée sur la combinaison de trois principes à savoir : la perturbation minimale du sol, sa couverture permanente par mulch végétal vivant ou mort (paille) et la rotation et/ou association des cultures. Plusieurs études ont montré les avantages de la pratique de l'agriculture de conservation par rapport à l'agriculture conventionnelle. Dans plusieurs pays, elle est considérée comme une option d'agriculture durable qui répond aux effets négatifs de l'agriculture conventionnelle sur la productivité des sols et sur l'environnement (Florentin, 2010 ; Amos *et al.*, 2012 ; Friedrich *et al.*, 2012). En effet, elle permet une meilleure conservation de l'eau du sol, la protection du sol, l'amélioration des propriétés chimiques et biologiques du sol et l'augmentation de rendement après plusieurs années de pratiques. En dépit de ces avantages, l'Afrique est le continent qui présente le faible taux d'adoption de l'agriculture de conservation dans le monde (Kassam *et al.*, 2009).

Au Burkina Faso, la pratique de l'agriculture de conservation est récente et la problématique est de savoir « Comment adapter, les principes de l'agriculture de conservation pour co-construire de nouveaux systèmes de culture à même d'améliorer la fertilité des sols, la sécurité alimentaire et l'offre fourragère ? »

Dans l'optique de répondre à cette question, des études sont menées sur les systèmes d'AC. Notre étude s'inscrit également dans cette dynamique et a pour thème : « *effets de l'agriculture de conservation sur le flux hydrique, la fertilité du sol, et les rendements des cultures en milieu contrôlé* ». Il a été réalisé grâce à un financement de la Fondation internationale pour la science (IFS), et vise à approfondir en milieu contrôlé, les recherches sur l'AC et produire des référentiels technico-économiques.

L'objectif global de notre recherche est d'améliorer la fertilité du sol et les rendements des cultures via l'agriculture de conservation, afin de réduire l'insécurité alimentaire des populations.

Plus spécifiquement, il s'agissait de :

- déterminer la quantité de pailles qui permet d'améliorer l'humidité, le ruissellement, et de réduire l'érosion du sol ;
- déterminer la quantité de pailles ayant une incidence sur la macrofaune, l'activité microbienne et les paramètres chimiques du sol ;
- évaluer les rendements des cultures en fonction de la quantité de pailles.

Notre travail s'articule autour des hypothèses suivantes :

- En système d'AC, plus la quantité de pailles est importante, plus la dynamique de l'eau dans le sol s'améliore, et cela même après trois ans de pratique ;
- Les propriétés chimiques et biologiques du sol évoluent en fonction de la quantité de pailles utilisées comme couverture du sol ;
- Les rendements des cultures en AC s'accroissent avec la quantité de pailles utilisées pour la couverture du sol.

Le présent mémoire qui rend compte du travail réalisé, est organisé en trois chapitres. Le premier chapitre donne un aperçu général du thème. Le deuxième expose la démarche adoptée au cours de l'étude, et le troisième chapitre fait ressortir et discuter les principaux résultats obtenus.

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. État de la fertilité des sols sous culture au Burkina Faso

1.1.1. Notion de fertilité du sol

La notion de fertilité du sol a évolué et fait appel à une appréciation plus large, basée sur la confrontation entre les caractéristiques pédoclimatiques du milieu, les systèmes de production et les techniques agricoles pratiquées (Pieri, 1989, Delville *et al.*, 1998). Elle peut se résumer à l'«aptitude culturale d'un sol » c'est-à-dire l'aptitude à produire d'un milieu dont on apprécierait à travers les diverses caractéristiques. Elle est alors assimilée à un jugement porté sur le fonctionnement d'un système biologique dont les composantes sont en interaction (le sol, le climat, la plante) et soumises à des déterminants techniques, économiques, sociaux et historiques (Sébillote, 1993).

1.1.2. Problématique de la fertilité des sols au Burkina Faso

Au Burkina Faso, les sols sont marqués par un faible niveau de fertilité (Ouédraogo *et al.*, 2014). Ils sont caractérisés par une faible teneur en matière organique (Pallo *et al.*, 2008). 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). Ces sols sont également caractérisés par de faibles teneurs en azote, phosphore et potassium (Bado, 2002 ; Traoré et Toé, 2008) et parfois en magnésium (BUNASOLS, 1985). La teneur en azote total est inférieure à 0,06 % pour 95 % des sols (Traoré et Toé, 2008), et celle du phosphore disponible est entre 0,02 et 2,9 mg/kg de sol (Pallo et Thiombiano, 1989). On note également une faible activité biologique (Zombré, 2006) et par conséquent une susceptibilité à l'érosion (Feller, 1995). Ce faible niveau de fertilité est aggravé par certaines pratiques telle l'agriculture extensive à travail répété du sol et à très faibles intrants agricoles sans recyclage des résidus de culture. Ces pratiques ne permettent pas d'entretenir la fertilité des sols à long terme (Bado, 2002) et de ce fait limite beaucoup la production nationale (Bationo *et al.*, 1998).

1.2. Systèmes de cultures existant au Burkina Faso

1.2.1. Notion de système de culture

La notion de système de culture peut s'appliquer à différentes échelles spatiales (parcelle, exploitation, locale et régionale) (Jouve, 2003). Pour Sébillotte (1974), le système de culture à l'échelle de la parcelle, est un ensemble d'itinéraires techniques, c'est-à-dire des successions ordonnées et datées de techniques et de pratiques culturelles appliquées à des espèces végétales cultivées en vue d'obtenir des produits. 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). L'étude d'un système de culture viserait donc à comprendre l'évolution du peuplement végétal (la croissance et le développement des plantes cultivées, leur association dans l'espace, leur rotation dans le temps, la concurrence éventuelle des adventices, etc.) et les itinéraires techniques pratiqués (Dufumier, 1985 cité par Coulibaly, 2012). Les principaux systèmes culturaux sont entre autres : les cultures pures, les cultures associées, les successions culturales et les cultures sur couverture végétale.

1.2.2 Quelques systèmes de cultures existants au Burkina Faso

- **Monoculture**

C'est la répétition pendant plusieurs cycles successifs de la même culture sur la même parcelle. Elle peut être à l'origine de l'épuisement du sol en certains éléments nutritifs, mais également du développement excessif de certains ennemis des cultures tels que les parasites, les ravageurs et les maladies (Koné, 2007). Au Burkina Faso, on assiste à la monoculture du riz sur les plaines aménagées et celle la canne à sucre à Bérégadougou.

- **Associations culturales**

C'est un système de culture mixte qui consiste à la mise en culture de deux ou plusieurs espèces végétales (cultures) sur la même parcelle. L'association des cultures est une pratique ancienne des paysans en vue de diversifier la production sur la même parcelle et de minimiser les risques liés à la culture pure (Koné, 2007). L'association permet d'obtenir un meilleur rendement des cultures associées par rapport à la moyenne des deux espèces conduites individuellement. En effet, les résultats de Juste *et al.* (2009) ont révélé que le rendement total de l'association (blé + pois) est supérieur ou égal à celui du blé pur (ou du pois pur). Ainsi, il est très probable que l'association soit le plus souvent plus productive que

les cultures pures. Les associations culturales les plus répandues au Burkina Faso sont les associations céréales-légumineuses. Suivant les régions, on peut rencontrer différentes associations culturales. Au Nord du pays où la plupart des travaux agricoles sont manuels, on trouve les associations sorgho-niébé, mil-niébé, sorgho-sésame-arachide, maïs-niébé, maïs-arachide, sorgho-voandzou, etc.

En zone Ouest, les associations culturales sont de plus en plus rares du fait de la mécanisation agricole (Koné, 2007).

- **Rotation culturale**

C'est une technique culturale qui consiste à faire suivre des cultures dans un certain ordre sur la même parcelle. La même succession de cultures se reproduit dans le temps en cycle régulier. C'est un élément important du maintien ou de l'amélioration de fertilité des sols. Elle a un effet bénéfique sur la vie du sol et la nutrition des plantes. Elle permet une bonne répartition de charges de travail lors de l'introduction des prairies ou des jachères dans la rotation (Koné, 2007). Des rotations biennuelles (coton-maïs, coton-sorgho, coton-mil) et trisannuelles (coton-maïs-niébé, coton-maïs-sésame, coton-maïs-sorgho, coton-sorgho-arachide) sont observées dans la zone ouest du Burkina Faso.

1.3. Généralités sur l'agriculture de conservation

1.3.1. Définition

L'agriculture de conservation (AC), considérée comme l'un des systèmes techniques pouvant permettre l'intensification écologique de l'agriculture, est basée sur un triptyque (figure 1) dont les éléments sont : 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 (Scopel *et al.*, 2005, Djamen *et al.*, 2005). Selon Schaller (2013), les trois principes 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. Si le principe « suppression du travail du sol » est le plus emblématique de ces systèmes, il est important de rappeler que ces trois principes doivent être appliqués simultanément, sinon les performances peuvent être nettement dégradées. En d'autres termes, ce n'est pas tant le principe « travail minimal du sol », pris isolément, qui permet l'amélioration de certaines performances, mais bien la combinaison des trois principes (Schaller, 2013).

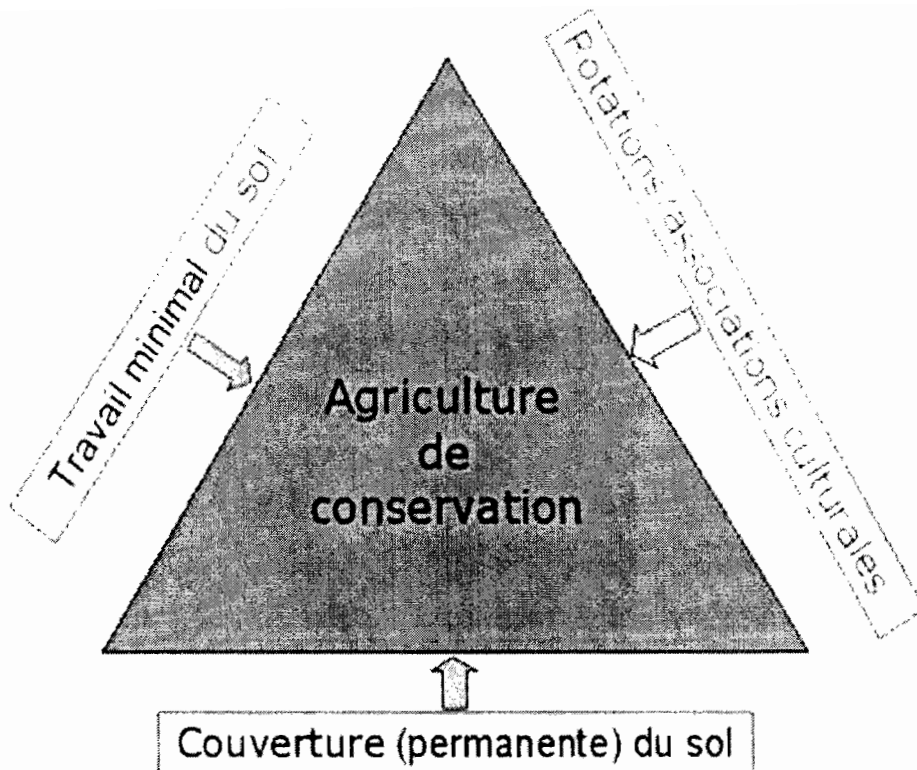


Figure 1. principes fondamentaux de l'agriculture de conservation (source : Djamen et al., 2005)

1.3.2. Agriculture de conservation dans le monde

Selon Charreton *et al.* (2006) cités par Sissoko (2009), les idées de base et la mise en pratique du semis direct ont émergé en dehors des zones tropicales, d'abord aux États-Unis d'Amérique à partir des années 60, puis au Brésil subtropical (Sud), en Australie, en Argentine et au Canada à partir des années 70. Dans ces zones, dont beaucoup sont semi-arides tempérées ou méditerranéennes, des groupes d'agriculteurs pionniers, conscients des défis posés par l'érosion, se sont mobilisés en entraînant la recherche (publique et privée), pour inventer de nouvelles façons de produire. De nos jours, l'agriculture de conservation est pratiquée sur environ 125 millions d'hectares à travers le monde soit environ 9 % des superficies cultivées (Friedrich *et al.*, 2012). Le développement de cette pratique est très marqué sur le continent américain, avec plus de 26 millions d'hectares aux États-Unis, 25 millions d'hectares en Argentine et au Brésil, 17 millions d'hectares en Australie, 13 millions au Canada en 2011 (Friedrich *et al.*, 2012). L'adoption de ces systèmes est donc croissante au niveau mondial et ils sont aujourd'hui présents dans une grande diversité de contextes climatiques : climats tropical, tempéré ou aride (Sissoko, 2009). Cependant les disparités n'en restent pas moins importantes d'un pays à l'autre (Schaller, 2013).

1.3.3. Agriculture de conservation en Afrique

En Afrique, la pratique de l'agriculture de conservation est encore récente. En effet, l'Afrique est le continent présentant les plus faibles superficies sous systèmes d'agriculture de conservation. Selon Kassam *et al.* (2009), ce sont les exploitations commerciales d'Afrique australe qui présentent les niveaux d'adoption les plus élevés. Mais depuis un certain temps, l'agriculture de conservation est en promotion dans les exploitations familiales en zone subsaharienne et surtout en Afrique australe et de l'Est (Zambie, Zimbabwe, Kenya, Tanzanie, Éthiopie, Mozambique, Malawi, etc.). Dans cette zone, certains Etats l'ont intégrée dans leurs politiques gouvernementales (Boudron *et al.*, 2007 ; Thiombiano et Meshack, 2009 ; Friedrich *et al.*, 2012). L'Afrique ne possède que 2 % des superficies en AC (Friedrich *et al.*, 2012)

1.3.5. Agriculture de conservation au Burkina Faso

L'introduction de l'AC est encore très récente au Burkina Faso. Sissoko (2009) attribue cette introduction à la Société Cotonnière du Gourma (SOCOMA) qui en 2006 procédait au lancement d'une étude expérimentale sur ce système dans la zone Est du pays. Bougoum (2012) attribue l'entrée de l'AC au Burkina Faso à la mise en place du projet Smallholder Conservation Agriculture Promotion in Western and Central Africa (SCAP) en 2008 dans la zone Est du pays suite à la participation d'une équipe burkinabè au troisième congrès de l'Agriculture de conservation à Nairobi en 2005.

Par ailleurs, il convient de préciser que des pratiques ancestrales semblables à celles de l'AC ont toujours existé au Burkina Faso, sans pour autant être combinées simultanément. En effet, Ouédraogo (2012) a ainsi observé dans la zone de Koumbia des pratiques en lien avec les principes de l'AC au sein des exploitations paysannes. Il s'agit du semis direct, de la préparation du sol par scarifiage, de la rotation et l'association des céréales avec le niébé. Karambiri (2014) a observé, en plus du semis direct, des pratiques de paillage dans la zone de Koumbia. Les pratiques d'association et de rotation céréales-légumineuses ne concernent pas de grandes superficies et ne sont pas systématiques. Elles sont surtout dues à des situations de résemis (Karambiri, 2014). Selon le même auteur, les parcelles qui connaissent le semi-direct exclusif appartiennent à des exploitations qui font face à une contrainte d'équipements. Le paillage est effectué par des paysans dans la zone de Koumbia avec un objectif clair de restaurer la fertilité de zones du champ fortement dégradées.

1.4. Performances agronomiques de l'agriculture de conservation à l'échelle de la parcelle

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

Les effets des systèmes en agriculture de conservation sur le flux hydrique sont relativement bien documentés. La couverture permanente du sol permet de réduire le ruissellement de l'eau de pluie et de prévenir l'érosion du sol (FAO, 2007). Cette réduction a pour conséquence l'augmentation de l'infiltration de l'eau et l'amélioration de l'humidité du sol (Scopel et Findeling, 2001). Le ruissellement est presque inversement proportionnel à la quantité de biomasse qui recouvre le sol (Scopel *et al.*, 1999). Adekalu *et al.* (2007) ont ainsi observé des taux de ruissellement de 80, 59, 41, et 27 % respectivement pour des pourcentages de couverture du sol de 0, 30, 60 et 90 %. La diminution du ruissellement favorise la réduction de l'érosion. L'AC améliore la structure du sol, ce qui permet une infiltration accrue de l'eau à condition que la quantité de résidus de cultures à la surface soit suffisante et que la rotation inclue des cultures à système racinaire développé (Shaller, 2013). La couverture du sol agit d'une part sur les mécanismes de constitution des réserves en eau dans le sol, et d'autre part sur les facteurs de pertes en eau (Dounias, 2001). Ouattara (2014) trouve que l'application des principes de l'AC permettrait donc aux plantes de mieux se développer surtout durant les périodes de poches de sécheresse vu que tous les principes permettent une amélioration de l'humidité du sol. Kohio (2015) a constaté une augmentation de l'humidité du sol même avec un niveau de couverture du sol de deux tonnes de paille par hectare en milieu contrôlé.

1.4.2. Effets de l'agriculture de conservation sur la fertilité du sol

Les systèmes en agriculture de conservation favorisent un accroissement du taux de matière organique du sol, surtout en surface et un stockage de carbone dans le sol (Schaller, 2013 ; Scopel *et al.*, 2005). Schaller (2013) a estimé entre 0,1 et 0,4 tonne de carbone par hectare et par an pour une profondeur de 0 à 20 cm, après plusieurs années de culture continue. L'accumulation de matière organique dans le sol favorise non seulement le développement de l'activité biologique dans le sol (Sissoko, 2009 ; Schaller, 2013), mais permet aussi une meilleure structuration du sol (Scopel *et al.*, 2004). Selon Dounias (2001), cette augmentation du taux de matière organique dans le sol diminue l'acidité du sol et accroît la quantité d'éléments minéraux disponibles pour les plantes cultivées. Pour le même auteur, cette augmentation permet également une amélioration de la capacité d'échange cationique du sol (CEC), d'où un meilleur stockage des éléments minéraux dans le sol sous une forme assimilable par les plantes cultivées. L'AC en favorisant l'infiltration de l'eau dans le sol, peut

augmenter le risque de perte d'éléments minéraux par lixiviation (Dounias, 2001). Mais cette perte par lixiviation reste encore insignifiante par rapport au gain d'éléments nutritifs.

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

Les rendements peuvent être améliorés ou dégradés suivant la culture et le contexte (Schaller, 2013). Selon le même auteur, les écarts de rendements sont toutefois variables entre cultures et entre années, et ils diffèrent également suivant que l'on compare les rendements en labour systématique, en labour occasionnel ou en non-labour. Cependant plusieurs études réalisées au Mexique montrent une augmentation du rendement du maïs après plusieurs années de pratique de l'AC (Scopel et Findeling, 2001, Scopel *et al.*, 2005). Naudin *et al.* (2005) ont observé au bout de 3 années également, des rendements du cotonnier légèrement plus élevés en SCV qu'en labour, lui-même plus productif que le semis direct. Les études de Ouattara (2014) montrent que l'application combinée des trois principes de l'AC permet d'augmenter les rendements en paille et en grain du sorgho par rapport à la culture conventionnelle du sorgho. Comparativement au système conventionnel, l'application combinée des trois principes de l'AC ont permis un accroissement du rendement du sorgho de 9,4 à 41,6 % respectivement en situation de paillage réel et de paillage renforcé (Bougoum, 2012). Kohio (2015) a constaté une baisse de rendement dans les systèmes en agriculture de conservation comparativement au système conventionnel. Cette baisse pourrait être dû au fait que ces systèmes n'ont pas encore atteint leurs équilibres.

1.4.4. Effets de l'agriculture de conservation sur les ennemis des cultures

La lutte contre les adventices constitue l'un des principaux problèmes auxquels sont confrontés les agriculteurs. Dans le système traditionnel, le labour et le sarclage sont des moyens de contrôle de ces adventices. Dans le système d'AC, c'est la couverture du sol qui doit permettre le contrôle des mauvaises herbes (Dounias, 2001 ; Schaller, 2013). En plus des adventices, la couverture du sol agit sur d'autres ennemis des cultures, les parasites et les agents pathogènes. Dans le cas d'une couverture morte, plus le mulch est épais, plus le contrôle des adventices est efficace (Derpsch *et al.*, 1991, cités par Dounias, 2001). Dans le cas d'une couverture vivante, un bon contrôle des mauvaises herbes nécessite une plante à développement rapide et à fort pouvoir couvrant. Cependant, Ouattara (2014) a trouvé que l'application simultanée des trois principes de l'AC a le plus favorisé le développement des mauvaises herbes au niveau des exploitations (15,2 %) dans le village de Yilou (Province du Bam, Burkina Faso). Avec certaines plantes de couverture ou lors de la dégradation de résidus

de récolte, il peut se produire une stimulation de la germination, puis une lyse des tubes germinatifs de certains champignons pathogènes du sol par des phénomènes d'allélopathie (Dounias, 2001). Les plantes de couverture peuvent constituer une barrière physique à la dissémination d'un inoculum primaire du pathogène. De même, l'humidité est propice à la prolifération des limaces et escargots qui attaquent la culture et la plante de couverture (Dounias, 2001).

1.4.5. Performances technico-économiques de l'agriculture de conservation à l'échelle de l'exploitation agricole

De façon générale, l'AC présente des effets positifs sur les performances économiques des exploitations. En effet, Zerbo (2012) constate une augmentation substantielle de la marge brute/ha (MB/ha) au fur et à mesure que les superficies allouées à l'AC augmentent. Bougoum (2012) trouve une augmentation de 173,2 et 131,7 % pour les systèmes d'AC comparés au système conventionnel. Cette augmentation serait fonction des potentialités des différents types d'exploitation (Zerbo, 2012). Elle permet aussi d'augmenter la productivité du travail, le ratio vente sur coût et le retour sur l'investissement (Ouattara, 2014). Cette augmentation s'explique par l'augmentation du bilan céréalier et fourrager (Djamen *et al.*, 2005).

En ce qui concerne les temps des travaux, les exploitations pratiquant l'AC enregistrent les temps les plus élevés (Bougoum, 2012 ; Ouattara, 2014). Ces systèmes sont également plus exigeants en main d'œuvre (Bougoum, 2012 ; Zerbo, 2012).

Conclusion partielle

Cette synthèse bibliographique montre que plusieurs études sont réalisées sur l'AC afin de mieux appréhender les effets de ce système. Il ressort de ces études que l'AC permet de réduire le ruissellement et l'érosion du sol, de favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol et donc d'augmenter le stock d'eau dans le sol. L'AC en améliorant les flux hydriques du sol contribue à améliorer la fertilité du sol. Cependant, les effets positifs de l'AC sur la fertilité du sol ne se traduisent pas directement par l'amélioration des rendements des cultures dans le court terme. L'AC présente de meilleures performances technico-économiques par rapport à l'agriculture conventionnelle. Les effets de l'AC dépendent de plusieurs facteurs tels que la quantité de pailles utilisées pour la couverture du sol, la qualité de la paille et aussi la zone

d'étude. La présente étude s'inscrit dans le cadre des études sur l'AC et vise à évaluer les effets de la quantité de pailles utilisées en AC dans la zone Ouest du Burkina Faso, sur les flux hydriques, la fertilité du sol et les rendements des cultures.

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation de la zone d'étude

2.1.1. Situation géographique

Notre étude a été conduite à la station expérimentale du Centre International de Recherche-Développement sur l'Élevage en zone Subhumide (CIRDES), dans le village de Banakélédaga (situé entre 10°11'N et 4°06'W; 300 m d'altitude). Cette localité, située à 15 km de Bobo-Dioulasso, sur l'axe Bobo-Dioulasso-Faramana relève de la commune de Bama, dans la province du Houet située dans la région des Hauts Bassins (Burkina Faso). La commune de Bama (figure 2) est limitée à l'Est par la commune de Satiri, à l'Ouest par la commune de Kourouma et de Karangasso-Sambla, au Sud par la commune de Bobo-Dioulasso, au Nord-Est par la commune de Padéma et au Nord-Ouest par la commune de Dandé.

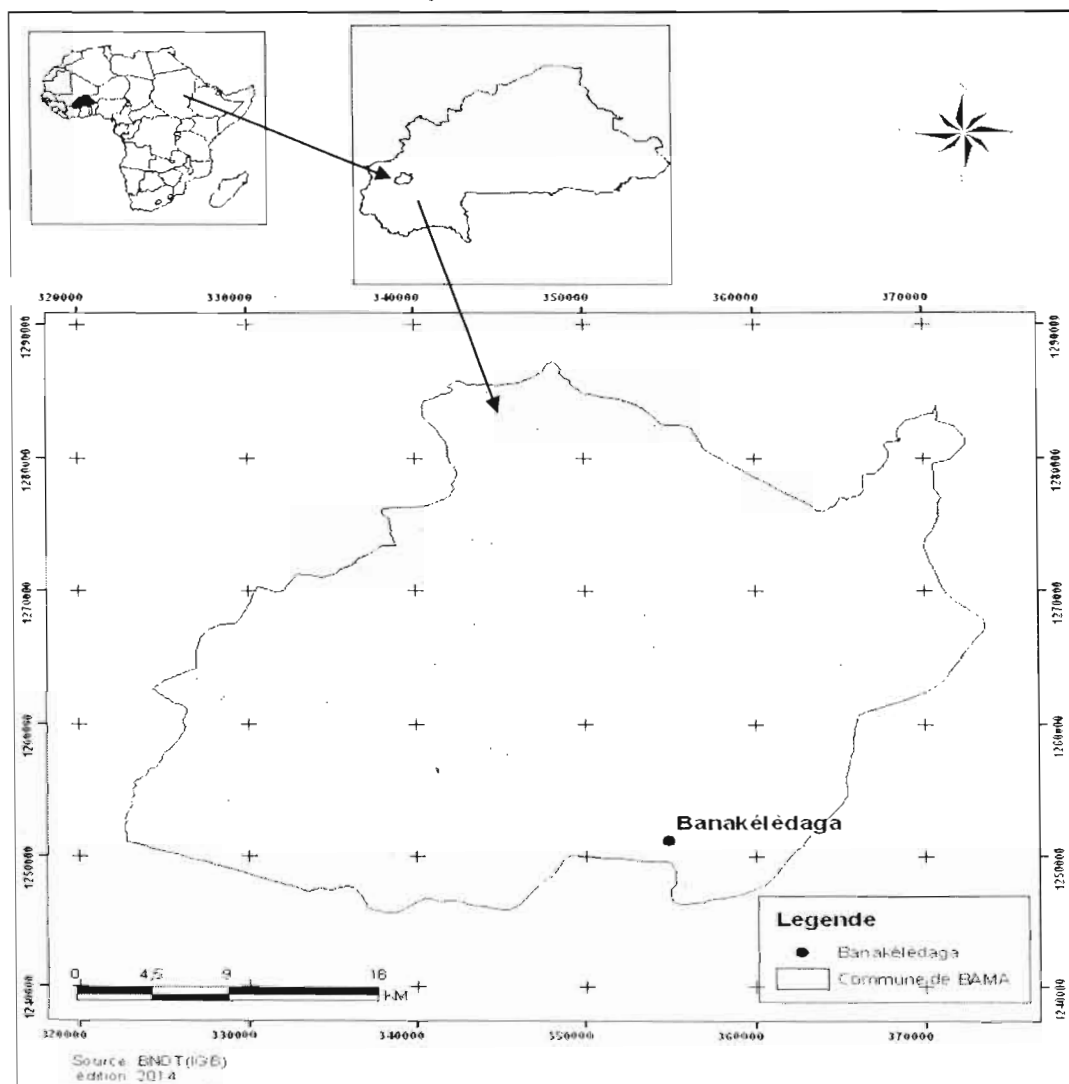


Figure 2: Carte de la commune de Bama

2.1.2. Climat et végétation

La commune de Bama appartient au climat tropical sud soudanien. Ce climat est caractérisé par une saison sèche s'étalant d'octobre à avril et une saison pluvieuse de mi-avril à mi-novembre (Fontès et Guinko, 1995). La pluviosité moyenne par an est comprise entre 900 et 1 200 mm (Ouédraogo, 2012) alors que les besoins en eau des cultures tropicales sont en moyenne compris entre 200 et 800 mm (Doorenbos et Kassam, 1979). Les besoins en eau du maïs sont évalués à 725 mm, ceux du sorgho varient entre 500 et 850 mm en fonction de la longueur du cycle et ceux du mil autour de 630 mm (Gandah, 1991 cité par Sissoko, 2009). Mais cette pluviosité est caractérisée par une mauvaise répartition spatio-temporelle et par un caractère très aléatoire entre l'arrivée des pluies en début de saison hivernale et les dates des premières pluies utiles de semis, constituant ainsi une entrave à l'agriculture (Dancette, 1984 ; Somé, 1989). La figure 3 illustre la répartition de la pluviosité et le nombre de jours de pluie par an au cours des dix dernières années (2006 à 2015). L'année 2009 a enregistré la plus faible pluviosité avec 888,5 mm en 76 jours de pluie. La plus grande quantité d'eau tombée a été enregistrée en 2012 avec 1209,7 mm en 84 jours de pluie.

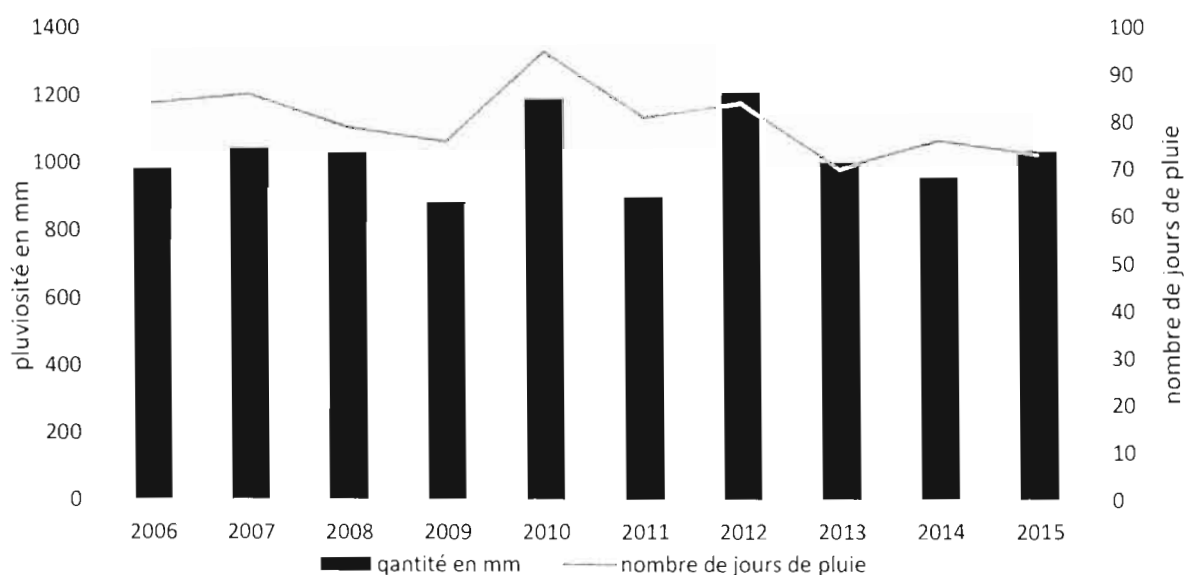


Figure 3 : Pluviosité annuelle et nombre de jours de pluie de 2006 à 2015 de la zone (INERA/CREAF de la Vallée du Kou).

La saison 2015 a été moins pluvieuse que la saison précédente. En effet, elle a enregistré 915,5 mm d'eau en 51 jours de pluie contre 936,75 mm d'eau pour la saison précédente. La figure 4 illustre la répartition de la quantité de pluie tombée en 2015 en fonction du nombre de mois.

2.1.2. Climat et végétation

La commune de Bama appartient au climat tropical sud soudanien. Ce climat est caractérisé par une saison sèche s'étalant d'octobre à avril et une saison pluvieuse de mi-avril à mi-novembre (Fontès et Guinko, 1995). La pluviosité moyenne par an est comprise entre 900 et 1 200 mm (Ouédraogo, 2012) alors que les besoins en eau des cultures tropicales sont en moyenne compris entre 200 et 800 mm (Doorenbos et Kassam, 1979). Les besoins en eau du maïs sont évalués à 725 mm, ceux du sorgho varient entre 500 et 850 mm en fonction de la longueur du cycle et ceux du mil autour de 630 mm (Gandah, 1991 cité par Sissoko, 2009). Mais cette pluviosité est caractérisée par une mauvaise répartition spatio-temporelle et par un caractère très aléatoire entre l'arrivée des pluies en début de saison hivernale et les dates des premières pluies utiles de semis, constituant ainsi une entrave à l'agriculture (Dancette, 1984 ; Somé, 1989). La figure 3 illustre la répartition de la pluviosité et le nombre de jours de pluie par an au cours des dix dernières années (2006 à 2015). L'année 2009 a enregistré la plus faible pluviosité avec 888,5 mm en 76 jours de pluie. La plus grande quantité d'eau tombée a été enregistrée en 2012 avec 1209,7 mm en 84 jours de pluie.

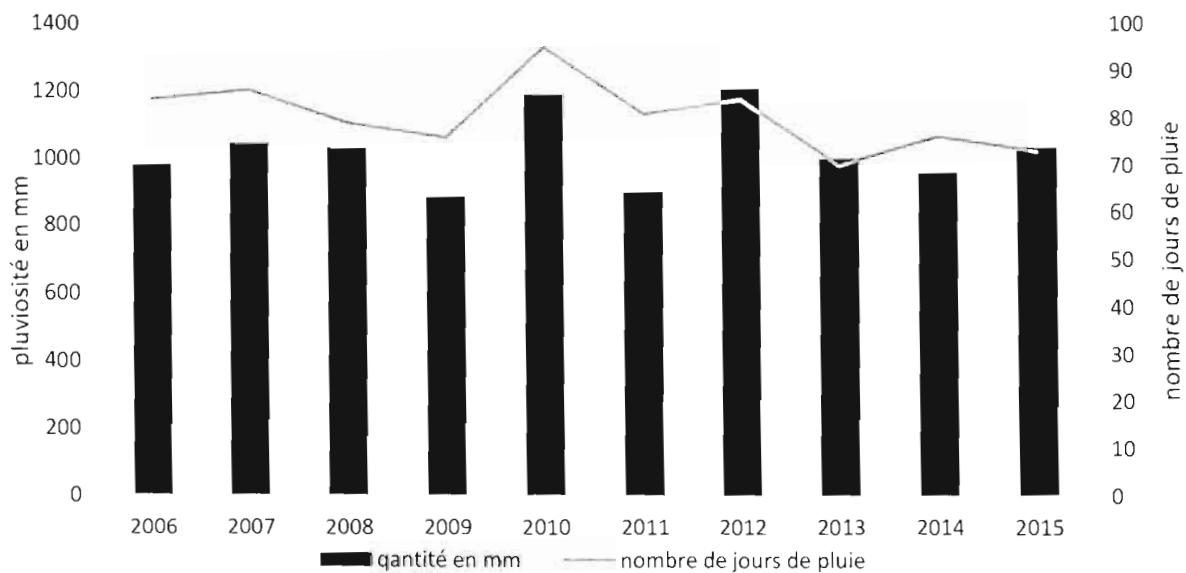


Figure 3 : Pluviosité annuelle et nombre de jours de pluie de 2006 à 2015 de la zone (INERA/CREAF de la Vallée du Kou).

La saison 2015 a été moins pluvieuse que la saison précédente. En effet, elle a enregistré 915,5 mm d'eau en 51 jours de pluie contre 936,75 mm d'eau pour la saison précédente. La figure 4 illustre la répartition de la quantité de pluie tombée en 2015 en fonction du nombre de mois.

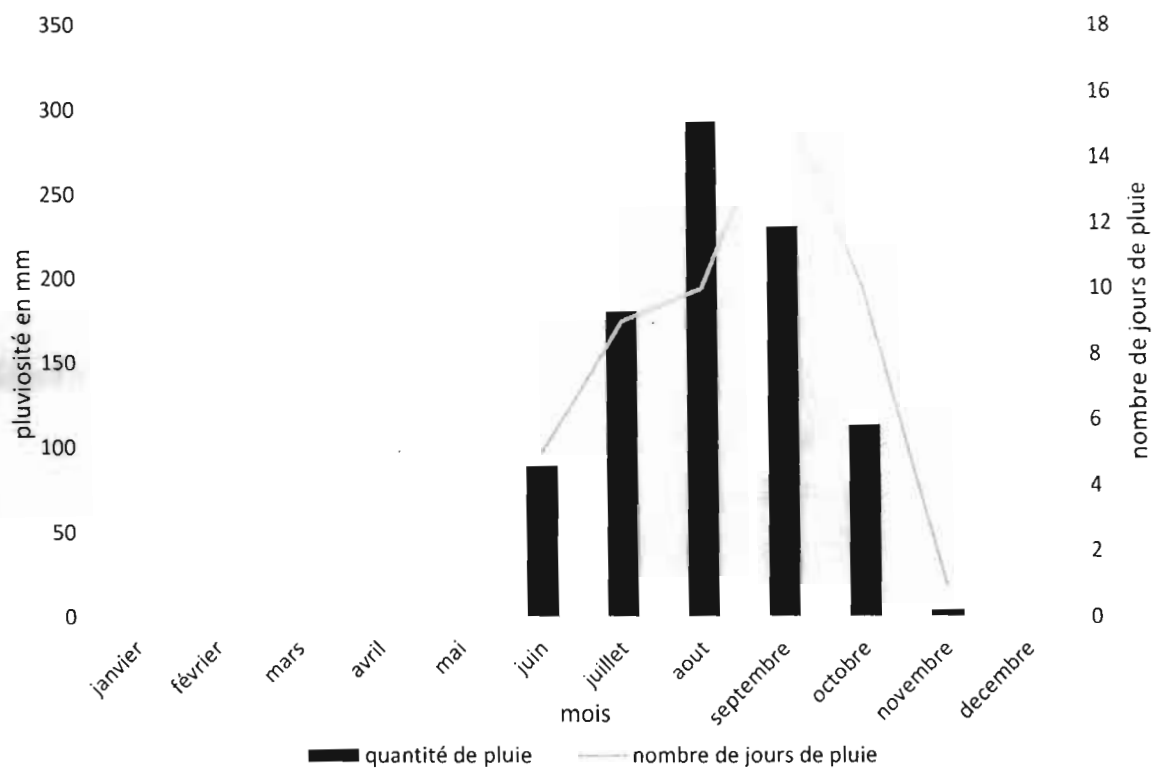


Figure 4: Répartition mensuelle de la pluviosité et du nombre de jours de pluie de juin à Novembre 2015 de Banankèlédaga (source: Antenne Météo de Banankèlédaga).

La figure 5 montre l'évolution des températures maxima et minima mensuelles de la zone d'étude au cours de la campagne agricole 2015. Le mois de novembre a enregistré la plus faible température minimale avec 18,96 ° C et le mois d'avril la plus forte température maximale avec 41,27 ° C.

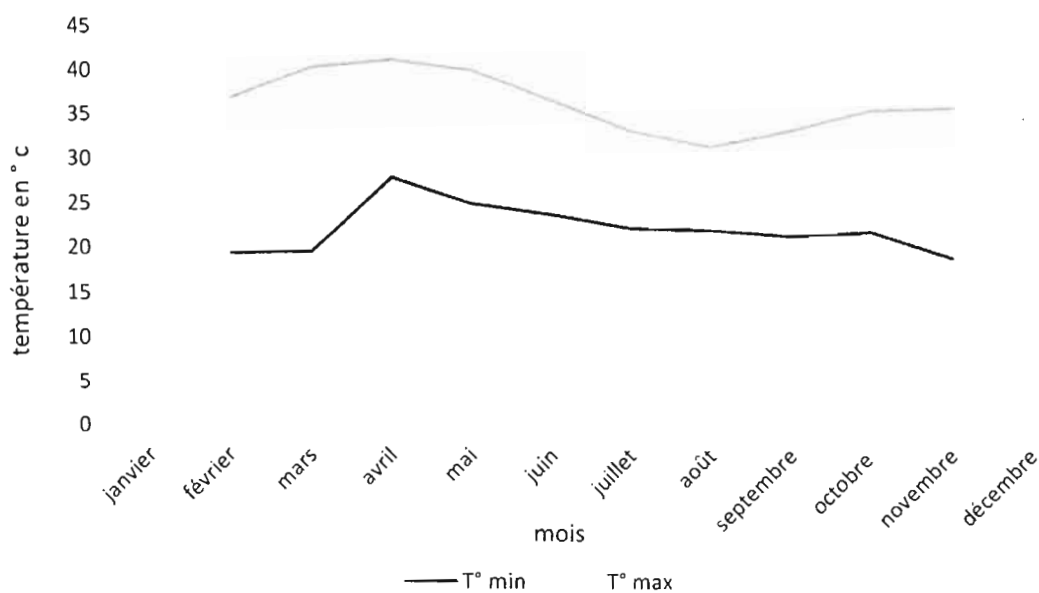


Figure 5 : Moyennes mensuelles des températures minima (courbe noire) et maxima (courbe blanche) de Banankélédaga de février à novembre 2015 (source: Antenne Météo de Banankélédaga)

La végétation naturelle est constituée de savanes boisées, de savanes arborées, de savanes arbustives et de savanes herbeuses. On y rencontre également des galeries forestières le long des cours d'eau. Les espèces ligneuses couramment rencontrées sont *Combretum glutinosum* Perr., *Acacia macrostachya* Rchb., *Acacia gourmaensis* A. Chev., *Piliostigma* spp, *Ziziphus mauritania* Lam., *Guiera senegalensis* J. F. Gmel., *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn, *Parkia biglobosa* R. Br., *Sclerocarya birrea* Hochst et *Balanites aegyptiaca* Delile (Fontès et Guinko, 1995).

Malheureusement cette végétation ligneuse est de plus en plus dégradée, voire même menacée de disparition à cause de la forte pression anthropique. Le tapis herbacé y est très abondant et largement exploité par les éleveurs. Les espèces les plus rencontrées sont : *Pennisetum pedicellatum* Trin., *Eragrostis tremula* Lam. et *Andropogon* spp.

2.1.3. Relief

Selon la carte topographique, la commune de Bama est dominée par de vastes plaines alluviales d'altitude moyenne de 320 mètres surtout à Natema, Seguééré et à Nieguéma. Le sud de la commune est occupé par de nombreuses buttes de collines avec des altitudes allant de 440 à 480 mètres (PCD, 2008).

2.1.4. Sols

Les sols sont de types ferrugineux tropicaux, très hydromorphes par endroits (BUNASOLS, 1985). Ce sont des sols de texture limono-sableux à argilo-sableux avec un lessivage actif des éléments nutritifs causant d'énormes problèmes de fertilité (Bado, 1991). Selon le même auteur, ce sont des sols acides à pH eau variant entre 5,5 et 6,5 avec une bonne concentration en bases échangeables et une faible teneur en phosphore.

2.1.5. Réseau hydrographique

L'espace communal est parcouru par d'importants cours d'eau dont les plus importants sont :

- Le Mouhoun qui occupe la partie centrale. Un des plus grands barrages du pays est en cours de construction sur le site de Natema où passe cet affluent et connu sous le nom de barrage de Samandéni ;

- Le Kou, un affluent du Mouhoun, rivière pérenne alimentée par les sources de la Guinguette. Par dérivation à partir de Diarradougou, village de la commune de Bama, cette rivière constitue la principale source d'eau qui alimente le périmètre rizicole;
- Le Niamé est aussi un autre cours d'eau rendu pérenne à partir de la source de Desso. Il permet aux producteurs de Desso d'irriguer leurs périmètres maraîchers et fruitiers. L'ensemble du réseau appartient au bassin hydrographique du Mouhoun supérieur (PCD, 2008).

2.2. Matériel

❖ Matériel végétal

Le matériel végétal est essentiellement constitué du maïs (*Zea mays* L.) et du niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.). Pour le maïs, c'est la variété SR21 à cycle intermédiaire (110 jours), ayant des grains de couleur blanche de type corné-denté avec un rendement potentiel de 5,1 t/ha qui a été utilisée (Sanou, 2009). Cette variété de maïs est adaptée à des zones ayant une pluviosité comprise entre 800 et 1000 mm. Concernant le niébé, c'est la variété K VX442, un niébé précoce de 67 jours de cycle dont le port est semi érigé, avec un rendement potentiel de 1,8 t/ha (Ouédrogo *et al.*, 2003) qui a été utilisée. Cette variété du niébé est adaptée à des localités recevant 400 à 800 mm d'eau/an. Les semences ont été acquises auprès de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) de Farakô Bâ.

❖ Paillage ou couverture du sol

Il a consisté à effectuer un apport de biomasse de complément (résidus de sorgho) sur les résidus de maïs et de niébé restants de la saison précédente. Cet apport de biomasse est intervenu avant la mise en place des cultures.

❖ Fertilisants utilisés

Les fertilisants minéraux utilisés sont le complexe NPK (15-15-15) et l'urée (46 % d'azote). Ces fertilisants ont été acquis auprès d'une entreprise de commercialisation basée à Bobo.

❖ Pesticides utilisés

L'herbicide total de prélevée, le glyphosate (N-(phosphonométhyl) glycine, C₃H₈NO₅P) connu sous la marque Round up a été utilisé. Aussi, l'insecticide K-Optimal (lambda-cyhalothrine acétamipride) a été utilisé dans le cadre de la protection phytosanitaire du niébé. Ces pesticides proviennent d'une entreprise de commercialisation basée à Bobo-Dioulasso.

2.3. Méthodes

2.3.1. Dispositif expérimental

L'étude de la performance agro-économique de l'AC comportant des quantités différentes de paille utilisées comme couverture du sol, s'est fait suivant un dispositif agronomique factoriel en blocs complètement randomisés comprenant cinq traitements et trois répétitions. Les facteurs considérés sont le système conventionnel (SC) et le système d'agriculture de conservation (AC). Les traitements sont des parcelles élémentaires de 10 m x 10 m séparées entre elles par une allée de 1 m, tandis que les répétitions sont des blocs distants de 2 m (figure 6). Ce dispositif a été installé depuis 2012. Dès la première année, toutes les parcelles ont été labourées et un apport de biomasse (*Panicum*) a été effectué. Une association sorgho-pois d'angole a été mise en place. En 2013, une association maïs-pois d'angole a été installée sur des parcelles labourées ou non. Les parcelles non labourées sont couvertes par les résidus de culture (*Panicum*) ou non. En 2014, une association maïs-niébé a été mise en place sur les parcelles non labourées. Les parcelles non labourées ont été couvertes de paille de maïs. Ces traitements en 2015 sont:

T0 : labour + maïs + 0 t/ha de résidus de sorgho (témoin),

T0t : semis direct + maïs/niébé + 0 t/ha de résidus de sorgho ;

T1t : semis direct+ maïs/niébé + 1 t/ha de résidus de sorgho ;

T2t : semis direct + maïs/niébé + 2 t/ha de résidus de sorgho

T4t : semis direct + maïs/niébé + 4 t/ha de résidus de sorgho.

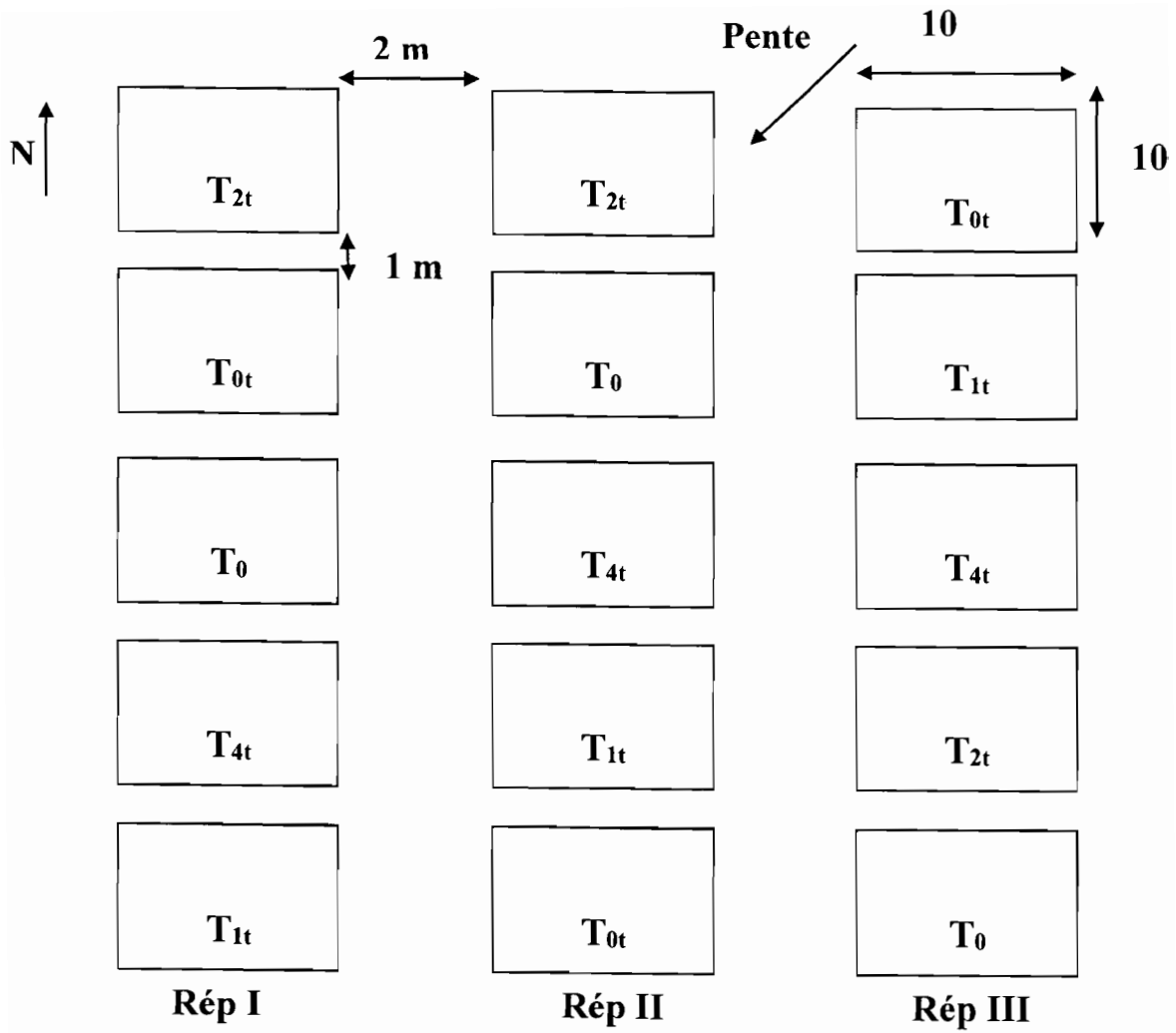


Figure 6 : dispositif expérimental

2.3.2 Conduite des essais

De façon générale, les différentes opérations suivantes ont été conduites :

- Le traitement à l'herbicide (Round up) : il a été effectué sur toutes les parcelles et avant le semis ;
- Le labour : il a été effectué à la charrue à traction animale seulement sur les parcelles T0. Les autres traitements n'ont pas été labourés ;
- Le semis : il a été réalisé en ligne à la corde. Le semis du maïs a été effectué en poquets aux écartements de 80 cm entre les lignes et 40 cm entre les poquets. Le semis du niébé a été fait 30 jours après le semis du maïs dans les inter-rangs aux écartements de 40 cm entre les poquets avec des resemis ;
- Le sarclage : il a été effectué de façon manuelle (à la daba) deux (2) fois, une première fois 35 jours après semis (JAS) et une deuxième fois 90 jours après le semis ;
- L'application de l'engrais NPK : l'engrais NPK (15-15-15) a été apporté sur chaque traitement uniquement pour le maïs à la dose de 150 kg/ha, 15 jours après semis du maïs ;
- L'application d'urée : nous avons appliqué l'urée (46 % N) à la dose de 50 kg/ha en deux fractions au 30^{ème} JAS et au 45^{ème} JAS du maïs.

2.3.3. Paramètres suivis

Les paramètres suivants ont été suivis dans le cadre de notre expérimentation : l'humidité du sol, le ruissellement et l'érosion, la macrofaune, l'activité respiratoire du sol, les paramètres chimiques (N, P, K, C, MO et pH) des sols et les rendements des cultures. Si certains paramètres ont pu être déterminés directement sur le terrain, d'autres par contre ont nécessité des analyses ultérieures au laboratoire après une première phase de prélèvement d'échantillon.

2.3.4. Echantillonnages du sol

Afin de caractériser l'effet du niveau de couverture du sol sur l'humidité du sol, des paramètres chimiques et biologiques des sols, les échantillons de sol ont été prélevés. 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.

2.3.5. Paramètres hydriques du sol

❖ Humidité pondérale du sol

La mesure du taux d'humidité du sol a concerné les traitements T0, T2t et T4t. les profondeurs étaient 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30, 30 – 40 et 40 – 50 cm. Une semaine avant le semis, au semis et toutes les semaines à partir du mois de juillet, un prélèvement est effectué, puis un échantillon moyen par parcelle élémentaire est retenu et séché à l'étuve jusqu'à obtenir un poids constant. La quantité d'eau est ensuite déterminée en faisant la différence de poids entre le sol humide et le sol séché. Il n'y a pas eu de prélèvement durant le mois d'août et de septembre à cause de l'abondance de la pluie qui n'aurait pas d'effet significatif sur les différents traitements du point de vue humidité du sol. Le taux d'humidité est ainsi obtenu à partir de la formule suivante :

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

❖ Ruissellement et érosion

Pour le ruissellement, le dispositif était un cadre de 1,04 m² (1,30 m x 0,8 m) composé de feuilles de tôle placées et enfoncées dans le sol tout autour. Ce cadre était relié dans le sens de la pente par un tuyau, à un fût (100 l) placé sous terre (photo 1). Ainsi, les eaux de ruissellement et la terre érodée sont récupérées dans les fûts après chaque événement pluvieux. Ces eaux sont quantifiées et un échantillon homogénéisé a été prélevé et filtré pour retenir la terre fine entraînée qui a été séchée puis pesée. La quantité totale de terre érodée a été ainsi calculée par extrapolation.

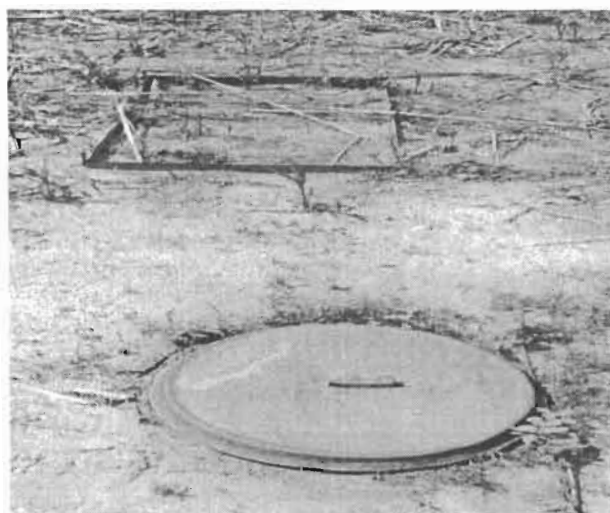


Photo 1 : Dispositif de collecte des eaux de ruissellement

2.3.6. Paramètres chimiques du sol

Les analyses chimiques ont concerné tous les traitements (T0, T0t, T1t, T2t, T4t). Les prélèvements ont concerné les profondeurs 0-5 cm et 0-20 cm. L'échantillon composite a été ensuite séché à l'ombre et tamisé à 2 mm avant les analyses.

❖ Détermination des pH eau et pH KCl

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

❖ Détermination du carbone total et de l'Azote total

Le carbone total a été déterminé par la méthode de Walkley-Black (1934). Un échantillon de 0,5g de sol a été oxydé à froid par du bichromate de potassium en milieu sulfurique. L'excès de bichromate a été titré par le sel de MOHR de formule chimique $\text{FeSO}_4 (\text{NH}_4)_6$ pour déterminer la quantité qui a réagi.

L'azote total a été déterminé après minéralisation par la méthode KJELDAHL (Hillebrand et *al.*, 1953). Pour cela, 2,5 g d'échantillon de sol a été attaqué à chaud par l'acide sulfurique concentré. Après ajout d'une pincée de catalyseur sélénium, le produit intermédiaire a été porté progressivement à chaud jusqu'à décoloration. Le dosage a été fait par calorimétrie automatique.

❖ Détermination du phosphore total

La minéralisation (par la méthode KJELDAHL) a été 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 potassium total

Le potassium total, est dosé à l'aide d'un photomètre à flamme après minéralisation (par la méthode KJELDAHL) des échantillons de sol avec une solution d'acide sulfurique concentrée à chaud en présence d'un catalyseur

❖ Détermination du phosphore assimilable et du potassium disponible

L'extraction du phosphore assimilable a été faite selon la méthode Bray 1 (Bray et 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.

Le potassium a été extrait en utilisant l'acide sulfurique puis dosé directement par le photomètre à flamme.

2.3.7. Paramètres biologiques du sol

❖ Mesure de l'activité respiratoire du sol

Le principe a été basé sur la mesure du CO₂ dégagé par les échantillons de sol incubés dans une enceinte close. Cent (100) grammes de sol tamisés à 2 mm et humidifiés aux 2/3 de la capacité maximale de rétention en eau, ont été placés dans des bocaux hermétiquement fermés. Deux flacons, l'un contenant de la soude (NaOH 0,1 N) pour piéger le CO₂ dégagé, et l'autre contenant de l'eau distillée pour maintenir l'humidité constante, ont été disposés dans chaque bocal. L'ensemble a été placé dans une enceinte close en absence d'incubateur à 25°C pendant 14 jours. Le CO₂ dégagé au cours de l'étude et piégé par la soude (NaOH ,0.1 N) a été précipité sous forme de carbonate de sodium par le chlorure de baryum 3 %. La soude

(NaOH) en excès a été neutralisée par l'acide chlorhydrique (HCl 0,1 N) en présence de phénolphtaléine. La quantité de CO₂ dégagée a été mesurée quotidiennement durant les 8 premiers jours, puis tous les deux jours jusqu'au 14ème jour. Le CO₂ dégagé par jour en a été déterminée par la formule suivante:

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

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) (Segda, 2006).

❖ Détermination de la macrofaune du sol

Pour étudier l'effet du niveau de couverture du sol par la paille sur la macrofaune du sol, la méthode TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility) préconisée par Anderson et Ingram (1993), a été utilisée. Elle 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 macrofaunes facilement identifiables tels les termites, les vers de terre, les lombrics, les fourmis et les mille pattes, les coléoptères ont été dénombrés sur place. Certaines macrofaunes n'ont pu être identifiées sur le terrain. Elles ont été comptabilisées comme «macrofaunes non identifiées». L'inventaire de la macrofaune du sol a été fait à 45 JAS et à 90 JAS et a concerné tous les traitements. Il s'est étendu sur (02) jours et se faisait entièrement dans la matinée avant 11 heures, afin d'éviter la descente des individus en profondeur du fait du soleil. 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).

2.3.8. Paramètres de rendements

Les rendements ont été déterminés sur les 7 lignes centrales de chaque parcelle élémentaire sur une longueur de 7 m par ligne, cela correspond à une superficie de 7 m x 5,6 m soit 39,2 m². Le nombre total de pieds, le nombre d'épis, le nombre de grains par épis, le poids des grains, le poids des tiges et le poids de mille grains ont été déterminés pour le maïs.

Concernant le niébé, le nombre de pieds, le nombre de gousses, le poids grains et le poids des fanes ont été évalués.

❖ Nombre de pieds et le nombre d'épis ou de gousses

Ils ont été déterminés au moment de la récolte par comptage direct des pieds de maïs et de niébé, des épis et des gousses, sur les sept lignes centrales de chaque parcelle de tous les traitements.

❖ Nombre de grains par épis

Dix épis de chaque traitement ont été choisis au hasard, puis le nombre moyen de rang, le nombre moyen de grain par rang ont été évalués. Le nombre moyen de grain par épis a été obtenu à l'aide de la formule suivante :

$$\text{nombre de } \frac{\text{grain}}{\text{épis}} = \text{nombre moyen de rang} \times \text{nombre moyen de grains par rang.}$$

❖ Poids grains et poids de mille grains

Après le séchage et le battage, le poids grains du maïs et du niébé ont été déterminés à l'aide d'une balance.

Concernant le poids de mille grains, il a été estimé à partir du comptage et pesage de 1000 grains à l'aide de l'appareil de comptage.

❖ Poids tiges et fanes

Les tiges de maïs et les fanes de niébé ont été coupées au niveau du collet et pesées pour obtenir les différents poids frais. Des échantillons ont été ensuite prélevés et séchés à l'étuve à 75°C pendant 72 heures pour la détermination du poids sec à partir de la formule suivante :

$$PS = \frac{PSe}{PFe} \times PFt$$

PS : poids sec ; **PFt** : poids frais total ; **PSe** : poids sec de l'échantillon ; **PFe** : poids frais de l'échantillon.

Dans les calculs de rendement, les différents résultats obtenus ont été extrapolés en kilogramme par hectare (kg/ha).

2.3.9. Analyse statistique des données

Les données collectées ont été saisies à l'aide du logiciel EXCEL 2013. Elles ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) avec le logiciel XLSTAT 9.7.00 et les moyennes ont été

séparées au seuil de 5 % selon le test de Fisher. Les graphiques et les tableaux ont été générés à l'aide du logiciel EXCEL 2013.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats

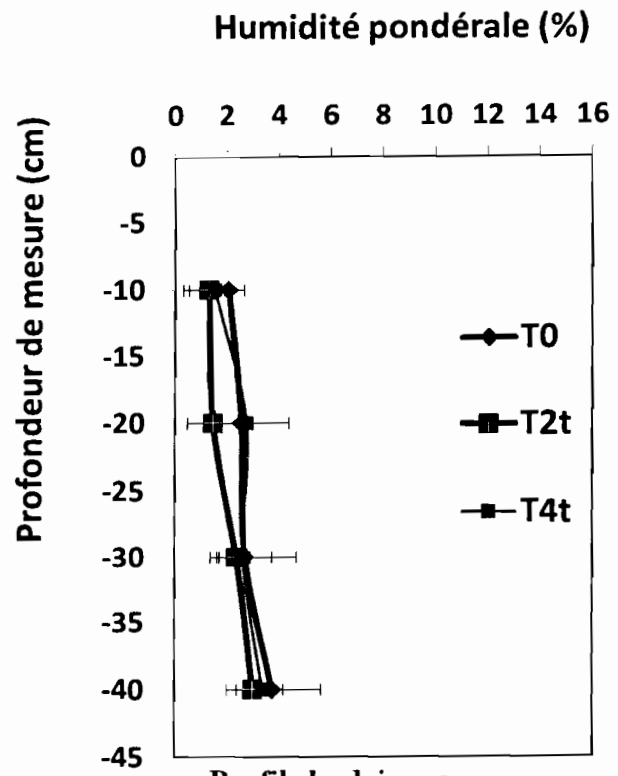
3.1.1. Effet de l'agriculture de conservation sur les flux hydriques

3.1.1.1. Effet de l'agriculture de conservation sur l'humidité du sol

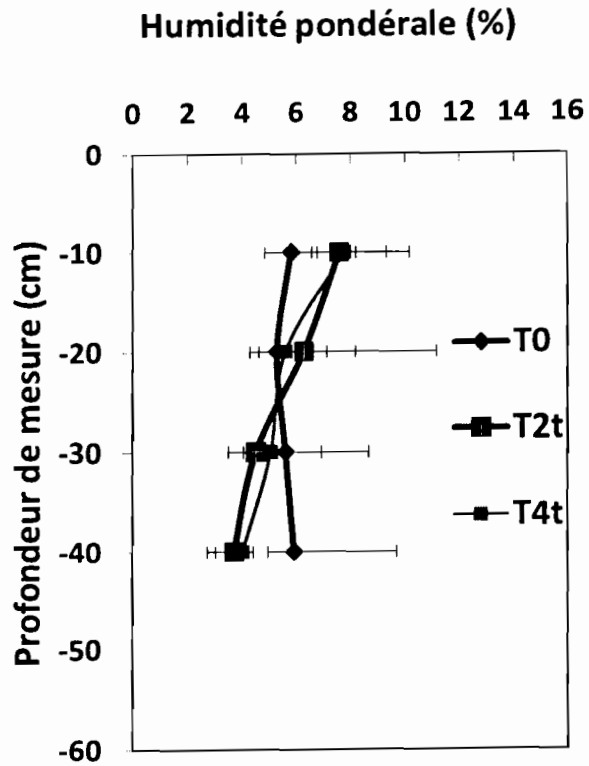
La figure 7 illustre l'évolution de l'humidité du sol dans les traitements (T0, T2t, T4t) en fonction de la quantité de pailles utilisées pour la couverture du sol.

De façon générale, les résultats montrent que les taux d'humidité du sol les plus élevés ont été enregistrés sur les traitements avec pailles (T2t et T4t) que sur le traitement témoin (T0). Cela traduit l'effet positif de l'AC sur l'humidité du sol par rapport au système conventionnel. Cet effet est plus prononcé à la surface du sol qu'en profondeur.

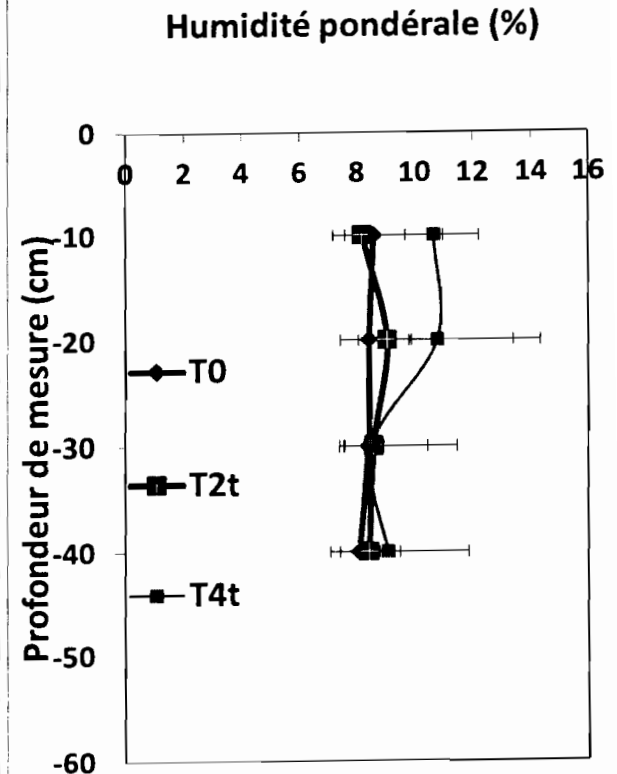
Pour les prélèvements effectués le 26 juin et durant tout le mois de juillet, la différence observée entre les traitements n'est pas significative au seuil de 5 %, quel que soit l'horizon (les profils hydriques du 26 juin, 14, 21 et 28 juillet). Les profils hydriques du 18 juin, du 7 juillet, du 08 octobre et du 15 octobre montrent par contre, une différence significative entre les traitements et pour les profondeurs 0-5 cm et 5-10 cm. On note également que le taux d'humidité augmente lorsque la couverture en biomasse est importante ($T4t > T2t > T0$).



A

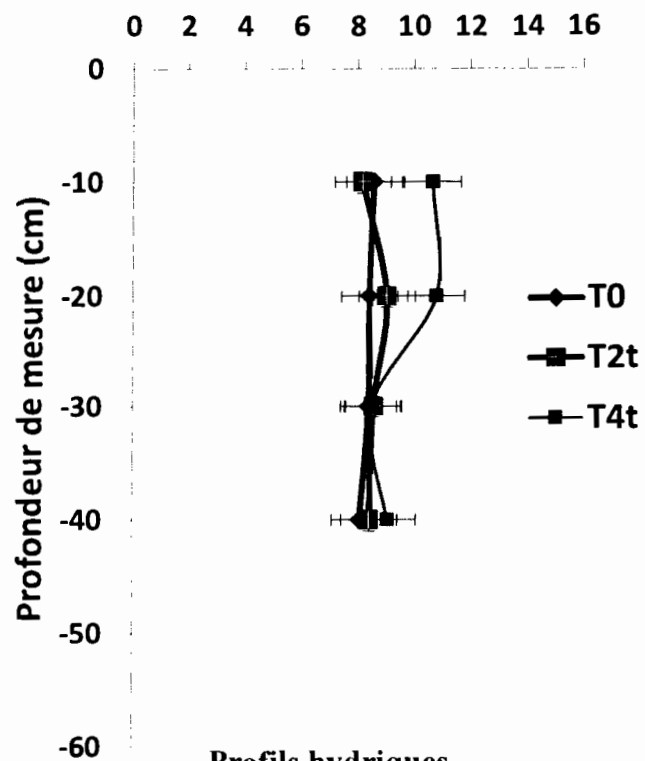


B



C

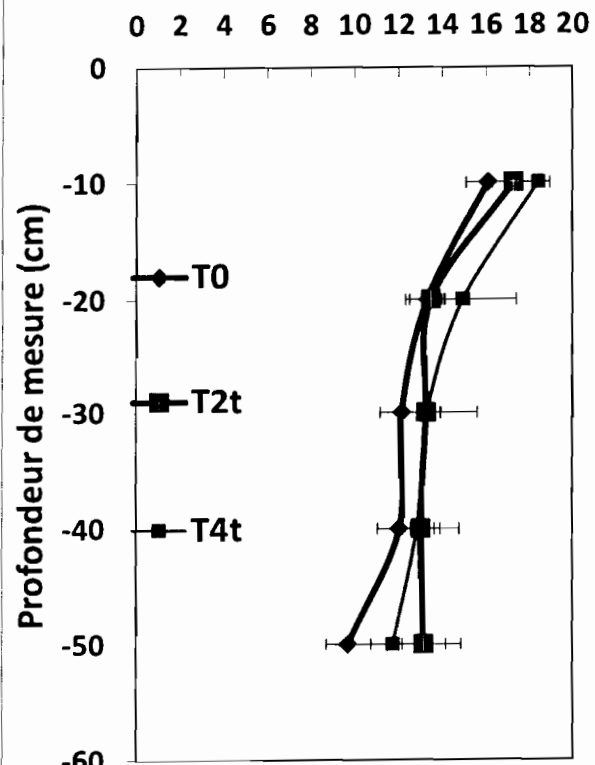
Humidité pondérale (%)



Profils hydriques
14 juillet 2015

D

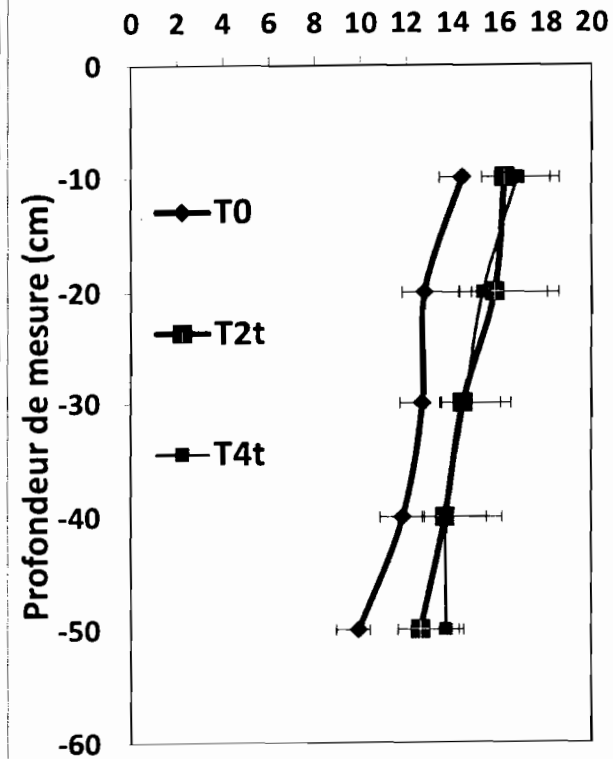
Humidité pondérale (%)



Profils hydriques
21 juillet 2015

E

Humidité pondérale (%)



Profils hydriques
28 juillet 2015

F

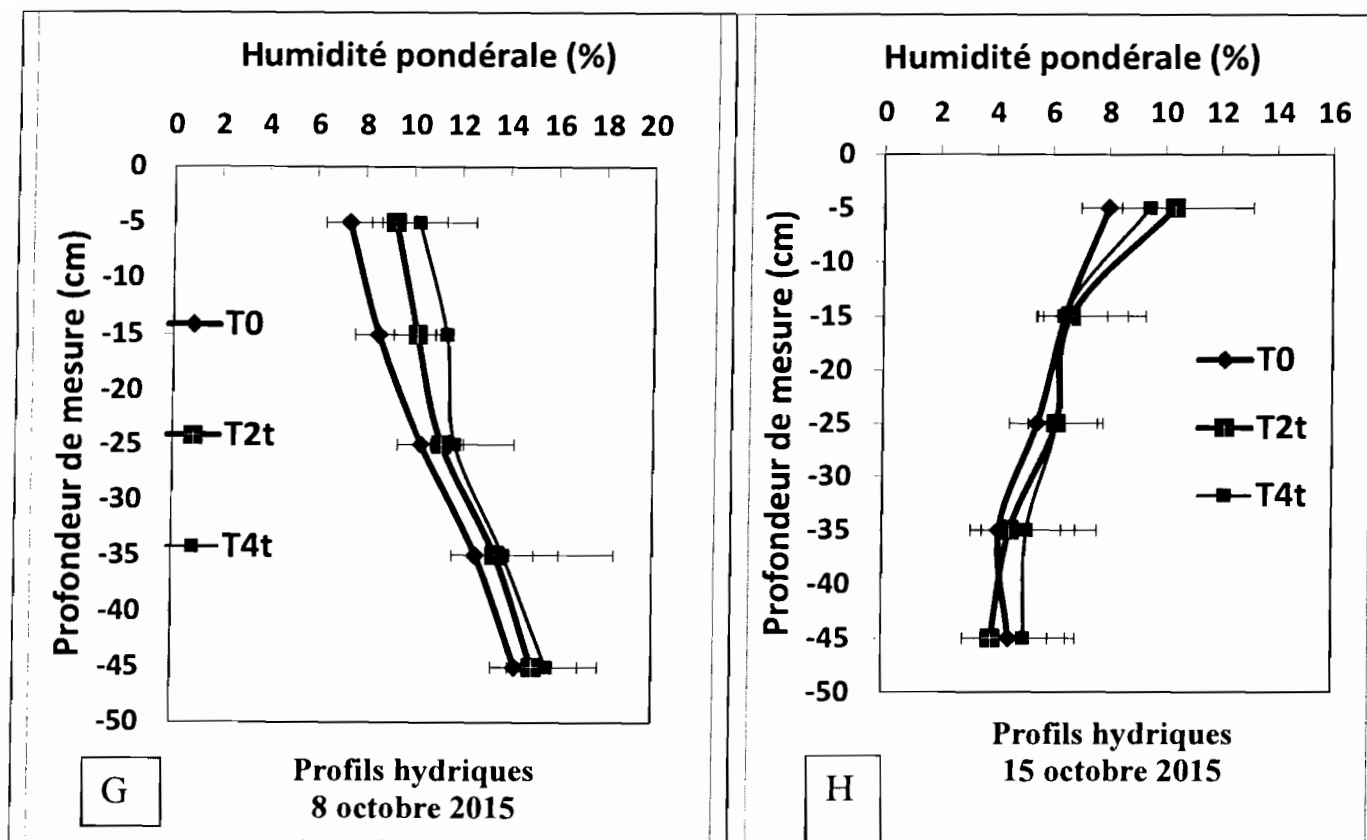


Figure 7 : les profils hydriques du sol

Légende: T0: culture pure de maïs semée sur labour conventionnel; T2t: association maïs-niébé sur semis direct avec 2 tonnes de paillage ; T4t: association maïs-niébé sur semis direct avec 4 tonnes de paillage

3.1.1.2. Effet de l'agriculture de conservation sur le ruissellement et l'érosion du sol

Le Tableau I montre l'effet de l'AC sur le ruissellement et l'érosion du sol. On note que la réduction du ruissellement et de l'érosion a augmenté lorsque la couverture en biomasse était importante (T4t > T2t > T0). La réduction du ruissellement a diminué avec le temps. Elle est passée de 69,03 % sur le traitement T2t au mois de juillet à 42,25 % au mois d'août. Il en était de même pour l'érosion qui est passé de 87,53 % sur T2t au mois de juillet à 65,78 % au mois d'août. L'analyse de la variance a relevé une différence significative ($P < 0,05$) entre les traitements en ce qui concerne le ruissellement et l'érosion au seuil de 5 %.

Tableau I : Effet de l'agriculture de conservation sur le ruissellement et l'érosion du sol

	T0	T2t	T4t	ddl	P	Signification
JUILLET						
CUMUL RUIS (mm)	95,19 ^a	29,48 ^b	5,13 ^b	2	0,006	HS
REDUC RUIS (%)	0,00	69,03	94,61			
CRM (%)	52,59	16,29	2,83			
CUMUL ERO (Kg/ha)	1743,97 ^a	217,39 ^b	56,65 ^c	2	0,035	S
REDUC ERO (%)	0,00	87,53	96,75			
AOUT						
CUMUL RUIS (mm)	281,09 ^a	162,33 ^b	17,40 ^c	2	0,024	S
REDUC RUIS (%)	0,00	42,25	93,81			
CRM (%)	95,61	55,21	5,92			
CUMUL ERO (Kg/ha)	2631,43 ^a	900,42 ^b	161,16 ^c	2	0,042	S
REDUC ERO (%)	0,00	65,78	93,88			

CUMUL RUIS : ruissellement cumulé ; REDUC RUIS : réduction du ruissellement ; CRM : coefficient de ruissellement moyen ; CUMUL ERO : érosion cumulée ; REDUC ERO : réduction érosion. Les valeurs affectées de la même lettre sur la même ligne ne sont pas statistiquement différentes. Légende: T0: culture pure de maïs semée sur labour conventionnel; T2t: association maïs-niébé sur semis direct avec 2 tonnes de paillage ; T4t: association maïs-niébé sur semis direct avec 4 tonnes de paillage. HS ; hautement significatif ; S ; significatif.

3.1.2. Effet de l'agriculture de conservation sur la fertilité du sol

3.1.2.1. Effet de l'agriculture de conservation sur la macrofaune du sol

L'inventaire de la macrofaune du sol a été fait selon la méthode TSBF au 45 JAS (tableaux II) et au 90 JAS (tableaux III). De façon générale, on relève une abondance (différence non significative au seuil de 5 %) de la macrofaune du sol sur les traitements AC par rapport au système conventionnel quelle que soit la période de prélèvement. Un nombre moyen de 891; 718; 464; 451 individus/m² a été enregistré respectivement sur les traitements T4t, T2t, T1t, T0t contre 212 individus/m² pour le traitement T0 à 45 JAS. A 90 JAS, on enregistre 548; 291; 232; 158 individus/m² respectivement sur T4t, T2t, T1t, T0t contre 138,27 sur T0. Le groupe le plus représentatif est celui des termites, suivi dans l'ordre de celui des macrofaunes non identifiées, des fourmis, des lombrics, des mille pattes et enfin des coléoptères. A 45 JAS et 90 JAS, on note une baisse de la densité de la macrofaune du sol.

Les données de l'indice de Shannon montre que la diversité de macrofaune du sol au niveau du système conventionnel est similaire ($p > 0,05$) à celle du système AC au 45^{ème} et 90^{ème} JAS.

Tableau II : Répartition de la macrofaune du sol (densité = nombre d'individus/m²) et indice de Shannon à 45 JAS (diversité) suivant les traitements

Macrofaune du sol à 45 JAS							
	Densité termites	Densité fourmis	Densité mille pattes	Densité lombric	Densité coléoptère	Densité M.N.I	Diversité
T0	69,13 ± 52,03	29,63 ± 0,00	14,81 ± 0,00	14,81 ± 0,00	14,81 ± 0,00	69,13 ± 37,28	2,25 ± 0,13
T0t	251,85 ± 142,32	59,26 ± 0,00	14,81 ± 0,00	37,03 ± 10,47	14,81 ± 0,00	74,07 ± 39,20	1,90 ± 0,13
T1t	197,53 ± 123,36	44,44 ± 0,00	88,89 ± 0,00	29,62 ± 25,67	37,04 ± 0,00	66,66 ± 31,43	2,25 ± 0,10
T2t	340,74 ± 51,32	88,89 ± 62,85	37,04 ± 31,43	44,44 ± 39,20	29,69 ± 0,00	177,78 ± 104,76	2,04 ± 0,14
T4t	567,90 ± 51,32	22,22 ± 10,47	22,22 ± 10,47	59,26 ± 0,00	66,67 ± 0,00	153,09 ± 129,44	1,66 ± 0,13
ddl	4	4	4	4	4	4	4
Probabilité	0,145	0,318	0,462	0,715	0,119	0,443	0,634
Significatio n	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Chaque valeur est la moyenne de 3 répétitions ;

M.N.I : Macrofaune Non Identifiée ; NS: Non Significatif.

Tableau III : répartition de la macrofaune (densité =nombre d'individus/m²) du sol et indice de Shannon (diversité) à 90 JAS

Macrofaune du sol à 90 JAS							
	Densité termites	Densité fourmis	Densité mille pattes	Densité lombric	Densité coléoptère	Densité M.N.I	Diversité
T0	69,13 ± 37,28	29,63 ± 0,00	22,22 ± 10,47	44,44 ± 0,00	14,81 ± 0,00	37,04 ^b ± 10,47	2,42 ± 0,09
T0t	44,44 ± 41,90	64,2 ± 34,21	14,81 ± 0,00	24,69 ± 8,55	14,81 ± 0,00	37,07 ^b ± 0,00	2,39 ± 0,10
T1t	103,70 ± 64,57	49,38 ± 8,55	59,26 ± 0,00	14,81 ± 0,00	29,62 ± 0,00	66,66 ^a ± 10,47	2,39 ± 0,11
T2t	162,96 ± 108,23	44,44 ± 41,90	59,26 ± 0,00	74,07 ± 0,00	59,26 ± 0,00	34,56 ^b ± 0,00	2,39 ± 0,08
T4t	350,61 ± 238,11	93,83 ± 8,55	29,63 ± 0,00	24,69 ± 8,55	29,63 ± 0,00	59,25 ^a ± 0,00	1,94 ± 0,10
ddl	4	4	4	4	4	4	4
Probabilité	0,166	0,300	0,164	0,198	0,351	0,019	0,620
Signification	NS	NS	NS	NS	NS	S	NS

Test de Fisher au seuil de 5% :

La différence n'est pas significative entre les valeurs affectées par une même lettre dans une même colonne ;

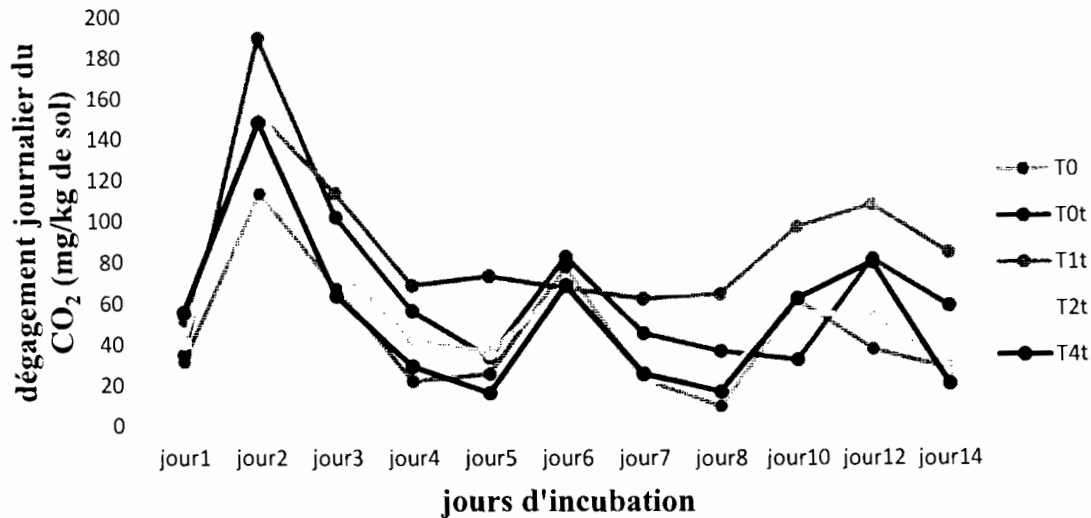
Chaque valeur est la moyenne de 3 répétitions ; M.N.I : Macrofaune Non Identifiée ; NS: Non Significatif. S : Significatif

3.1.2.2. Effet de l'agriculture de conservation sur l'activité respiratoire du sol

Pendant quatorze jours, les dégagements de CO₂ des différents échantillons de sol ont été mesurés. La figure 8 et la figure 9 mettent en évidence respectivement le dégagement journalier du CO₂ au niveau du sol et le cumule du dégagement du CO₂ des différents traitements.

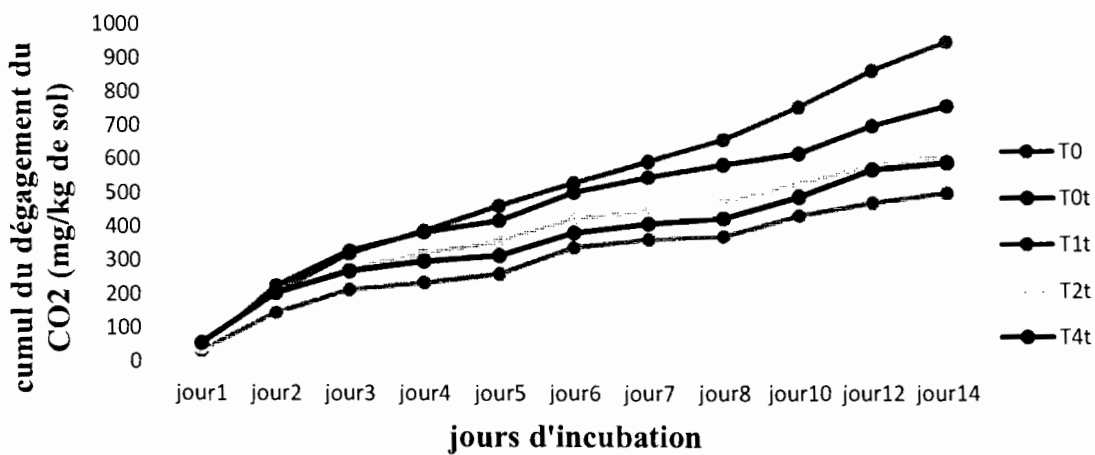
Il ressort de l'analyse de la figure 8 que le dégagement du CO₂ s'effectue en deux phases : une phase de croissance rapide les deux premiers jours d'incubation due à la minéralisation des cadavres bactériens et autre matière organique labile et une phase de décroissance lente allant du cinquième au quatorzième jour d'incubation avec le pic le plus élevé au sixième jour d'incubation.

Lorsque que l'on considère le dégagement cumulé de CO₂, il est toujours plus élevé pour les traitements AC (T0t, T1t, T2t, T4t) comparativement au système conventionnel (Figure 9). On note également une baisse du dégagement du CO₂ lorsque la quantité de paille utilisée pour la couverture augmente (T4t < T2t < T1t < T0t). Ainsi, on a enregistré une quantité cumulée de 584,4 mg de CO₂/kg de sol pour le traitement T4t ; de 608,67 mg de CO₂/kg de sol pour le traitement T2t et une quantité de 944,53 mg de CO₂/kg de sol pour le traitement T1t ; 754,6 mg de CO₂/kg de sol pour le traitement T0t, après quatorze jours d'incubation. Toutefois, l'analyse de variance n'a pas relevé de différence significative entre les traitements en ce qui concerne le dégagement journalier du CO₂ ainsi que les quantités cumulées de CO₂ au seuil de 5 %.



Légende: *T0*: culture pure de maïs semée sur labour conventionnel ; *T0t* : association maïs-niébé sur semis direct ; *T1t*: association maïs-niébé sur semis direct avec 1 tonne de paille ; *T2t*: association maïs-niébé sur semis direct avec 2 tonnes de paille ; *T4t*: association maïs-niébé sur semis direct avec 4 tonnes de paille.

Figure 8 : Evolution journalière du CO₂ dégagé en fonction de différents traitements (chaque point est la moyenne de 3 répétitions).



Légende: *T0*: culture pure de maïs semée sur labour conventionnel ; *T0t* : association maïs-niébé sur semis direct ; *T1t*: association maïs-niébé sur semis direct avec 1 tonne de paille ; *T2t*: association maïs-niébé sur semis direct avec 2 tonnes de paille ; *T4t*: association maïs-niébé sur semis direct avec 4 tonnes de paille.

Figure 9 : Evolution cumulée du CO₂ dégagé en fonction de différents traitements (chaque point est la moyenne de 3 répétitions).

3.1.2.3. Effet de l'agriculture de conservation sur les paramètres chimiques du sol

Le tableau IV expose les effets de l'AC sur les caractéristiques chimiques du sol. De façon générale, on note une amélioration non significative au seuil de 5 % des caractéristiques chimiques au niveau des traitements du système d'AC (T4t, T2t, T1t) par rapport au conventionnel (T0). Cette amélioration est plus visible au niveau de la profondeur 0-5 cm que 0-20 cm. Les résultats du pH montrent que ces sols sont acides (pH eau et pH KCl < 7).

Au niveau de la profondeur 0-5 cm, les résultats de l'analyse statistique n'ont pas montré de différence significative au seuil de 5 % en ce qui concerne le pH KCl, le carbone, le rapport C/N et le phosphore assimilable. Pour ce qui concerne le pH eau, l'azote, le phosphore total, le potassium total, et le potassium disponible pour la plante, elle a montré une différence significative entre les traitements. Le traitement T4t a présenté les valeurs élevées de pH eau (5,39), de pH KCl (4,82), de carbone (0,55 %), d'azote (0,05 %) par rapport aux autres traitements (T2t, T1t, T0t et T0).

L'analyse des résultats des prélèvements effectués sur la profondeur 0-20 cm montre que le traitement T0 présente les valeurs élevées en carbone (0,48 %), en azote (0,04 %), en phosphore total (118,81 mg/kg de sol) et en potassium total (666,57 mg/kg de sol) par rapport aux traitements T0t, T1t, T2t et T4t. Par contre, le traitement T4t présente les valeurs élevées de pH eau (5,54), de pH KCl (4,84), de phosphore assimilable (6,49 mg/kg de sol sur 90,05 mg/kg de sol), et de potassium disponible (80,60 mg/kg de sol sur 481,71 mg/kg de sol). Les résultats statistiques n'ont montré une différence significative entre les traitements que pour le potassium total et le potassium disponible pour la plante.

Tableau IV : Analyse de quelques caractéristiques chimiques du sol en fonction des différents traitements

Prof		pH_eau	pH_kcl	C (%)	N (%)	C/N	P_total mg/kg sol	P_ass mg/kg sol	K_total mg/kg sol	K_dispo mg/kg sol
0 - 5 cm	T0	5,24 ^{ab} ± 0,31	4,66 ± 0,48	0,44 ± 0,11	0,039 ^a ± 0,01	11,08 ± 0,26	109,27 ^b ± 5,72	7,53 ± 4,94	600,81 ^c ± 49,71	65,51 ^{ab} ± 9,49
	T0t	5,00 ^a ± 0,20	4,43 ± 0,27	0,44 ± 0,08	0,039 ^a ± 0,01	11,11 ± 0,56	101,59 ^a ± 8,26	6,90 ± 1,67	607,34 ^b ± 22,91	57,16 ^a ± 4,75
	T1t	5,32 ^{ab} ± 0,09	4,78 ± 0,18	0,52 ± 0,06	0,047 ^b ± 0,01	11,21 ± 0,42	96,77 ^a ± 15,84	6,08 ± 1,20	527,95 ^b ± 69,58	72,90 ^b ± 10,61
	T2t	5,37 ^b ± 0,18	4,70 ± 0,34	0,50 ± 0,12	0,045 ^b ± 0,01	11,03 ± 0,42	101,57 ^a ± 13,62	6,47 ± 0,54	488,43 ^a ± 119,71	75,14 ^b ± 12,52
	T4t	5,39 ^b ± 0,05	4,82 ± 0,10	0,55 ± 0,13	0,047 ^b ± 0,01	11,57 ± 0,46	94,89 ^a ± 15,98	6,27 ± 1,95	442,34 ^{ab} ± 63,50	88,31 ^b ± 10,11
	ddl	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Probabilité	0,039	0,219	0,258	0,022	0,130	0,026	0,058	0,003	0,015
Signification	S	NS	NS	S	NS	S	NS	S	S	
0-20 cm	T0	5,40 ± 0,32	4,64 ± 0,40	0,48 ± 0,05	0,033 ± 0,01	11,20 ± 0,28	118,81 ± 11,97	8,78 ± 3,29	666,57 ^b ± 45,76	59,73 ^{ab} ± 6,95
	T0t	4,95 ± 0,24	4,26 ± 0,22	0,39 ± 0,04	0,034 ± 0,01	11,39 ± 0,62	90,13 ± 8,30	5,92 ± 1,16	534,95 ^a ± 39,89	48,81 ^a ± 2,01
	T1t	5,30 ± 0,17	4,52 ± 0,25	0,42 ± 0,04	0,035 ± 0,01	11,97 ± 0,42	85,28 ± 14,44	4,14 ± 1,17	514,83 ^a ± 52,07	68,72 ^{bc} ± 12,20
	T2t	5,39 ± 0,05	4,57 ± 0,26	0,35 ± 0,08	0,031 ± 0,01	11,59 ± 1,38	79,56 ± 14,71	4,12 ± 0,57	429,19 ^a ± 69,45	79,00 ^{ac} ± 13,38
	T4t	5,54 ± 0,02	4,84 ± 0,11	0,42 ± 0,09	0,036 ± 0,01	11,64 ± 0,53	90,05 ± 10,84	6,49 ± 1,53	481,71 ^a ± 63,63	80,60 ^c ± 6,76
	ddl	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Probabilité	0,071	0,319	0,415	0,088	0,693	0,118	0,091	0,015	0,019
Signification	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S	S	

Test de Fisher au seuil de 5% : La différence n'est pas significative entre les valeurs affectées par une même lettre dans une même colonne ; Chaque valeur est la moyenne de 3 répétitions ; NS: Non Significatif ; S : Significatif. C : carbone ; N : azote ; P total : phosphore total ; P_ass : phosphore assimilable ; K total : potassium total ; K_dispo : potassium disponible. Légende: T0: culture pure de maïs semée sur labour conventionnel ; T0t : association maïs-niébé sur semis direct ; T1t: association maïs-niébé sur semis direct avec 1 tonne de paillage ; T2t: association maïs-niébé sur semis direct avec 2 tonnes de paillage ; T4t: association maïs-niébé sur semis direct avec 4 tonnes de paillage.

3.1.3. Effet de l'agriculture de conservation sur les rendements des cultures

Les tableaux V et VI montrent les résultats de l'évaluation du rendement et de certaines composantes du rendement du maïs et du niébé. Les rendements obtenus sont largement inférieurs aux rendements escomptés de la variété de maïs et du niébé.

L'analyse de la variance montre une différence significative entre les traitements pour le nombre de plants/ha, le nombre moyen de grain/épis et le rendement grain du maïs. Concernant le nombre d'épis/ha, le poids de 1000 grains et le rendement paille, la différence enregistrée entre les traitements n'est pas significative au seuil de 5 % (Tableau V). D'une manière générale, le traitement T0 (système conventionnel) est plus performant que les traitements paillés (T1t, T2t, T4t et T0t) en termes de rendement du maïs. Le nombre de pieds/ha, le plus élevé a été enregistré sur le traitement T0 avec une moyenne de 26360 pieds/ha et la plus faible valeur est celle du traitement T2t avec une moyenne de 15901 pieds/ha.

Les résultats sur le niébé ne montrent pas de différence significative au seuil de 5 % entre les traitements. Le traitement T2t a présenté le nombre moyen de pieds/ha le plus élevé avec 14285 pieds/ha et le traitement T0t a présenté le nombre moyen de pieds/ha le plus faible avec 11054 pieds/ha. A propos du nombre de gousses/ha, il varie de 119217gousses/ha (T1t) à 81122 gousses/ha (T0t). Quant au rendement grain, le traitement T4t a enregistré la plus faible valeur (108,84 kg/ha) et le traitement T2t a enregistré la plus grande valeur (198,13 kg/ha). En ce qui concerne le rendement fane du niébé, le traitement T4t a été plus performant avec une moyenne de 176,47 kg/ha.

Tableau V : Analyses de quelques composantes du rendement, du rendement grain et paille du maïs.

Traitement	Densité (pieds/ha)	Nombre d'épis/ha	Nombre moyen de grain/épis	PMG (g)	Rendement grain (kg/ha)	Rendement paille (kg/ha)
T0	26360,47 ^a ± 3717,30	22448,98 ± 1551,74	302,90 ^a ± 37,83	150,00 ± 16,46	1352,04 ^a ± 217,96	1416,00 ± 241,10
T0t	23724,43 ^{ab} ± 5024,95	18707,48 ± 6404,70	212,30 ^b ± 32,44	152,67 ± 56,07	629,25 ^{bc} ± 581,91	819,10 ± 419,20
T1t	16836,69 ^{bc} ± 3976,68	15561,22 ± 2433,52	236,29 ^{ab} ± 15,52	146,33 ± 5,13	926,87 ^{abc} ± 258,06	558,43 ± 445,37
T2t	15901,32 ^c ± 4248,32	12329,93 ± 2798,38	189,15 ^b ± 36,27	129,33 ± 35,84	518,71 ^c ± 14,73	602,56 ± 299,84
T4t	16751,66 ^{bc} ± 3043,52	16326,53 ± 2699,75	282,70 ^a ± 56,93	124,67 ± 13,65	1105,44 ^{ab} ± 147,28	826,53 ± 591,60
ddl	4	4	4	4	4	4
Probabilité	0,030	0,057	0,022	0,741	0,043	0,120
Signification	S	NS	S	NS	S	NS

Test de Fisher au seuil de 5% :

La différence n'est pas significative entre les valeurs affectées par une même lettre dans une même colonne ;

Chaque valeur est la moyenne de 3 répétitions ;

NS: Non Significatif ; S : Significatif ; PMG : poids de mille grains (g)

Tableau VI : Analyses de quelques composantes du rendement, du rendement grain et paille du niébé

Traitement	densité (pieds/ha)	Nombre de gousses/ha	Rendement grain (kg/ha)	Rendement fane (kg/ha)
T0t	11054,42 ± 1494,76	81122,44 ± 35592,90	115,65 ± 28,10	118,30 ± 52,04
T1t	12074,83 ± 895,89	119217,67 ± 39001,69	155,61 ± 104,96	108,40 ± 53,19
T2t	14285,71 ± 3316,33	161479,57 ± 65573,12	198,13 ± 97,56	134,49 ± 93,67
T4t	13095,24 ± 7810,18	135799,30 ± 85398,36	108,84 ± 49,34	176,41 ± 57,06
ddl	3	3	3	3
Probabilité	0,772	0,431	0,575	0,679
Signification	NS	NS	NS	NS

Test de Fisher au seuil de 5% :

Chaque valeur est la moyenne de 3 répétitions ; NS: Non Significatif ;

Légende: **T0:** culture pure de maïs semée sur labour conventionnel ; **T0t** : association maïs-niébé sur semis direct ; **T1t:** association maïs-niébé sur semis direct avec 1 tonne de paillage ; **T2t:** association maïs-niébé sur semis direct avec 2 tonnes de paillage ; **T4t:** association maïs-niébé sur semis direct avec 4 tonnes de paillage.

3.2 Discussion

3.2.1 Effet de l'agriculture de conservation sur les flux hydriques

L'analyse statistique des résultats de l'humidité du sol montre une augmentation significative au niveau des traitements AC par rapport au traitement conventionnel. Ce résultat confirme l'effet positif de l'AC sur l'humidité évoqué dans la littérature (Findeling, 2001 ; Dounias, 2001 ; Scopel *et al.*, 2005 ; Sissoko, 2009 ; Ouattara, 2014 ; Kohio, 2015). En effet, la couverture du sol constitue un obstacle physique qui ralentit le ruissellement de l'eau de pluie, favorisant ainsi l'infiltration de celle-ci et l'augmentation du stock d'eau dans le sol. Elle constitue également un écran qui empêche le contact direct entre les rayons du soleil et la surface du sol, créant ainsi un microclimat favorable à la conservation de l'eau du sol. Ces résultats sont en accord avec ceux de Soutou (2004) et de Sissoko (2009) qui ont montré que la couverture du sol permet de limiter les pertes d'eau du sol. Le suivi diachronique de l'humidité du sol a donné des résultats statistiquement significatifs pour les humidités du 18 juin, du 7 juillet, du 08 octobre et du 15 octobre. Ces humidités ont été déterminées respectivement après les pluies du 11 juin (9 mm), du 30 juin (26 mm) et du 03 octobre (5,5 mm). L'analyse de la pluviosité du site montre que ces humidités ont été déterminées entre 5 et 12 jours, après un évènement pluvieux. Ces résultats confirment ceux de Kohio (2015) qui a constaté que l'effet de l'AC sur l'humidité du sol n'est perceptible qu'après une poche de sécheresse. Quant aux humidités du sol du 26 juin, du 14 juillet, du 21 juillet et du 28 juillet ; déterminées respectivement après les pluies du 24 juin (40 mm), du 09 juillet (52 mm) et du 11 juillet (4,2 mm), du 20 juillet (27 mm), du 27 juillet (53 mm), l'analyse statistique n'a pas relevé de différence significative entre les traitements. Ces résultats sont similaires à ceux de Sissoko (2009) et Kohio (2015) qui estiment que lorsque la pluviosité est importante, l'effet de l'AC n'est pas perceptible sur l'humidité du sol.

L'analyse des résultats de l'effet de l'AC sur le ruissellement et l'érosion hydrique du sol a montré une diminution significative du ruissellement et de l'érosion hydrique dans les systèmes AC par rapport au système conventionnel. En effet, la couverture du sol permet de réduire, non seulement la vitesse d'écoulement de l'eau en favorisant l'infiltration de celle-ci, mais également l'arrachage des particules de terres. L'AC permet de réduire le ruissellement de plus de 50 %, ce qui corrobore les résultats de Soutou (2004) et Scopel *et al.* (2005). Le coefficient de ruissellement moyen est de 74,10 %, 35,75 % et à 11,10 %, respectivement pour le traitement conventionnel, le traitement avec 2t de paille/ha et le traitement avec 4t de paille/ha. Ces valeurs sont supérieures à celles de Scopel *et al.* (2005) qui ont obtenu 7 % pour

l'AC et 49 % pour le témoin. Pour la réduction des pertes de terres sur les parcelles AC, nos résultats sont en accord avec ceux de Scopel *et al.* (2005) et Douzet *et al.* (2009). De juillet à fin août, l'effet positif de l'AC sur le ruissellement et l'érosion diminue. Cette diminution pourrait être due à l'intensité des pluies du mois d'août, également à la diminution de la quantité de paille sur le sol, mais aussi à une saturation du profil hydrique du sol. Sissoko (2009) constate que l'effet l'AC sur le ruissellement est plus perceptible en début de campagne.

3.2.2 Effet de l'agriculture de conservation sur la fertilité du sol

La macrofaune du sol joue au sein de l'écosystème des rôles essentiels pour le maintien de la qualité des sols. Nos résultats sur la macrofaune ont montré des populations dont l'analyse de la variance ne relève pas une différence significative entre les traitements, excepté les données de la macrofaune non identifiée (MNI) à 90 JAS. Toutefois, une tendance générale à l'augmentation de la densité de la macrofaune du sol a été relevée sur les traitements AC que sur le traitement conventionnel. Ces résultats sont en accord avec ceux de Kohio (2015) qui a trouvé des résultats semblables en 2014 sur le même dispositif. Cette augmentation de la densité de la macrofaune est le résultat de la couverture du sol par la paille. Les résidus de culture constituent une source de carbone indispensable pour l'alimentation de la macrofaune (Ouédraogo, 2011). Les termites constituent le groupe le plus dominant de la macrofaune. Ces résultats corroborent ceux de Ouédraogo *et al.* (2004), de Bagnian (2006) et de Ouédraogo (2009) qui ont montré que la densité des termites était corrélée à la nature de la matière organique apportée. Ces dernières préfèrent la matière organique riche en lignine et en cellulose. Nos valeurs de la macrofaune du sol diffèrent de celles de Kohio (2015) qui a travaillé sur le même site. Kohio (2015) a trouvé une différence significative entre les traitements en ce qui concerne les termites au 45 JAS. Cela s'explique par les conditions d'humidité du sol au moment de la détermination de la macrofaune du sol. En effet, Kohio (2015) a déterminé la macrofaune du sol après une poche de sécheresse alors que dans notre cas, elle a été faite après deux jours successifs de pluie de 50 et 31 mm d'eau. Du 45^{ème} au 90^{ème} JAS les résultats présentent une baisse de la macrofaune du sol. Kohio (2015) a observé la même tendance et a lié cette situation à la pluviosité et à la baisse de la quantité de paille.

L'évaluation de la diversité de la macrofaune du sol a été faite à travers l'indice de Shannon Weaver. L'analyse statistique ne révèle pas de différence significative entre les traitements en ce qui concerne cette diversité. Toutefois, le traitement T0 (système conventionnel) présente les valeurs élevées de cet indice traduisant une plus grande diversité de la macrofaune du sol

dans ce système. Les traitements AC présentent les valeurs faibles de cet indice. Ce résultat corrobore celui de Ouédraogo (2011) qui estime que l'apport de tige favorise le développement sélectif des termites.

Les résultats de l'activité respiratoire du sol montrent un dégagement important du gaz carbonique (CO₂) au niveau des traitements AC par rapport au traitement conventionnel. La couverture du sol stimule la macrofaune du sol et l'activité de celle-ci affecte celle des microorganismes responsables de la minéralisation (Doamba, 2007). Nos résultats corroborent ceux de Ouédraogo (2011) qui montre que l'usage du compost ou la combinaison des tiges avec l'urée entraîne un dégagement plus intense de C-CO₂ par rapport à l'usage exclusif de l'urée. Nos résultats sont similaires à ceux de Kohio (2015) qui a trouvé que les traitements AC dégageaient plus de gaz carbonique que le traitement conventionnel sur le même dispositif. Le traitement T1t dégage plus de CO₂ que les traitements T0t, T2t, T4t et T0. En effet, la diversité de la macrofaune est plus élevée dans ce traitement (2,25 au 45^{ème} JAS et 2,39 au 90^{ème} JAS) par rapport aux autres traitements AC. Doamba (2009) a montré une corrélation positive entre la diversité de la macrofaune du sol et l'activité respiratoire du sol. Ce résultat contraste celui de Kohio (2015) qui a trouvé un dégagement plus important de CO₂ au niveau du traitement T4t (dont la diversité était la plus élevée avec 0,22 au 45^{ème} JAS et 0,15 au 90^{ème} JAS). L'évolution du dégagement journalier du CO₂ permet de distinguer deux phases. Une phase de croissance rapide durant les deux premiers jours marquée par une forte minéralisation du carbone dans le sol et une phase de décroissance lente due à une baisse de la quantité de substrat dans le sol. Ce résultat confirme celui de Coulibaly (2006) qui a constaté deux phases de dégagement du CO₂ sur différents types de sol, celui de Asimi (2009) qui a observé également deux phases de dégagement du CO₂ dans les rotations, et celui de Kohio (2015) qui a trouvé le même résultat sur le même dispositif. L'analyse statistique des cumuls du dégagement du CO₂ n'a pas révélé de différence significative entre les traitements. Le paillage n'a pas influencé le dégagement cumulé de CO₂ dans le cadre de notre étude. Cela pourrait s'expliquer par la qualité de paille de sorgho qui a été utilisée pour la couverture du sol. En effet, la paille de sorgho est pauvre en carbone et azote qui sont des sources d'énergies pour les microorganismes du sol. Ce résultat confirme celui de Ryan et Law (2005) qui estiment que la respiration du sol dépend de la qualité de la matière organique du sol.

De façon générale, les résultats de l'analyse de la variance des données chimiques n'ont pas relevé de différence significative entre les traitements pour la profondeur 0-20 cm. Après trois années de pratique, l'AC n'a pas permis d'améliorer significativement certains

paramètres chimiques du sol. L'amélioration des propriétés chimiques du sol s'effectuerait donc de façon progressive en agriculture de conservation. En effet, les études de Scopel *et al.* (2005) ont montré que les systèmes AC permettaient d'améliorer significativement les propriétés chimiques des sols. Ils ont ainsi obtenus sous AC une augmentation du taux de carbone du sol qui est passé de 23 à 29 % au bout de 5 années de mise en culture continue. Les effets bénéfiques de l'AC sur les paramètres chimiques du sol sont constatés après quelques années d'application continue (Dugué, 2014). Les teneurs en carbone organique sont inférieures à 1 % et évoluent peu entre deux années (2014 et 2015) d'expérimentation sur notre site. Ces résultats s'expliquent par une perte rapide du carbone issue de la minéralisation de la matière organique en zone tropicale (Dounias, 2001) Les taux de carbone sont plus importants au niveau de la profondeur 0-5 cm. Cela s'expliquerait par une accumulation de la matière organique au niveau des horizons superficiels. Dounias (2001) estime que sous les tropiques, les systèmes de culture d'AC permettent de conserver ou d'augmenter le taux de matière organique du sol dans les profondeurs du sol inférieures à 10 cm. Les résultats de Scopel *et al.* (2005) ont montré cet état de fait. En effet, ces auteurs ont observé 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 l'AC dans la zone semi-aride de l'ouest du Mexique. Schaller (2013) a trouvé que l'AC favorise un accroissement du taux de matière organique du sol, surtout en surface, et un stockage de carbone dans le sol. Selon le même, auteur ce stockage de carbone dans le sol est estimé à 0,1 à 0,4 tonne de carbone par hectare et par an pour l'horizon superficiel (0-20 cm). Les teneurs en azote du sol varient de 0,03 à 0,05 % et sont significativement élevées sur les traitements AC au niveau de la profondeur 0-5 cm. Au niveau de la profondeur 0-20 cm, la différence entre les traitements n'est pas significative. Ces résultats contrastent avec ceux de Kohio (2015) qui a observé une différence significative entre les traitements en ce qui concerne les teneurs en azote du sol pour la profondeur 0-20 cm. Selon Traoré et Toé (2008), la teneur en azote total est inférieure à 0,06 % pour 95 % des sols du Burkina Faso

D'une manière générale les sols, sont acides ($\text{pH} < 7$), mais on note une légère amélioration (augmentation de la valeur du pH des sols) du niveau des traitements AC par rapport au traitement conventionnel. Cette légère augmentation serait liée à la teneur en matière organique du sol. En effet, la teneur en matière organique est de 0,75 ; 0,75 ; 0,90 ; 0,86 ; 0,94 % respectivement pour les traitements T0, T0t, T1t, T2t, T4t. Dounias (2001) a noté que l'augmentation du taux de matière organique dans le sol diminue l'acidité du sol. Kohio

(2015), a observé une amélioration du pH sur les systèmes AC par rapport au système conventionnel sur le même dispositif.

Certains paramètres chimiques du sol tels que la teneur en phosphore total, en potassium total et en potassium disponible présentent des résultats statistiquement différents au niveau de la profondeur 0-5cm. Les teneurs en phosphore total et assimilable, d'une manière générale, ne diffèrent pas statistiquement entre les traitements pour la profondeur 0-20 cm. Mais celles du potassium total et disponible, diffère entre les traitements pour la profondeur 0-5 cm. Dans le système conventionnel, les valeurs du phosphore total, du phosphore assimilable, du potassium total sont plus élevées qu'en AC. Ces résultats confirment ceux de Kohio (2015) qui a trouvé des résultats semblables sur le même site avec le même dispositif. Par contre, les valeurs du potassium disponible sont plus élevées en AC qu'en conventionnel. La teneur en phosphore et celle du potassium sont plus élevées au niveau de la profondeur 0-5 cm que 0-20 cm. Les travaux de Wright *et al.* (2007) ont montré que le phosphore et le potassium s'accumulent en surface dans les systèmes de conservation et diminuent en profondeur tandis qu'ils sont répartis de façon homogène sur la couche de sol labourée.

3.2 .3. Effet de l'agriculture de conservation sur les rendements des cultures

Les résultats sur les composantes du rendement et le rendement du maïs indiquent un effet significatif du labour conventionnel sur le nombre de plants/ha, le nombre moyen de grains/ épis et le rendement grains du maïs. Concernant le nombre d'épis/ha, le poids de 1000 grains, le rendement paille, l'analyse de la variance n'a pas relevé de différence significative entre les traitements. De façon générale, les rendements des cultures sont inférieurs aux rendements escomptés et le système conventionnel est plus efficient en termes de rendement que les systèmes AC. Nos résultats sont similaires à ceux de Koné (2009) et de Kohio (2015). Ces études réalisées dans la même zone que la nôtre, ont utilisé la même variété maïs. Les caractéristiques d'une zone donnée pourraient donc influencer les effets de l'AC sur les rendements. Selon Schaller (2013), les rendements des cultures dans un système d'AC peuvent être améliorés ou dégradés suivant la culture et le contexte. Selon le même auteur, les parcelles sans aucun labour ont un rendement un peu inférieur à celles qui sont retournées chaque année. Nos valeurs de rendements en grains et fanes du niébé sont semblables à ceux de Koné (2009) et Kohio (2015). Les rendements faibles obtenus dans les systèmes d'AC s'expliqueraient par le fait que notre étude n'est qu'à sa 3^{ème} année d'expérimentation, donc

nos systèmes n'ont pas encore atteint leur équilibre. La plupart des travaux sur AC, ont montré que l'amélioration des rendements dans ce système est perceptible qu'après plusieurs années d'expérimentation (5 à 10 ans) de pratique, lorsque ce système aura atteint un équilibre écologique. C'est dans ce sens que nos résultats contrastent ceux de Scopel *et al.* (2005) qui ont observé en 5 années une augmentation des rendements en grains du maïs de l'ordre de 170 à 190 % en AC en comparaison au labour conventionnel. Naudin *et al.* (2005) ont observé au bout de 3 années également, des rendements du cotonnier légèrement plus élevés en AC qu'en labour. Les résultats des travaux de Angar *et al.* (2011), ont montré que le rendement de blé dur conduit en semis direct est en moyenne supérieur de 8 q/ha par rapport au semis conventionnel dans les zones subhumides et de 7 q /ha en zones semi-arides de la Tunisie après dix années d'expérimentation. C'est également dans ce sens que nos résultats contrastent également ceux des travaux de Bougoum (2012) et de Ouattara (2014) qui ont montré que l'AC permet un accroissement des rendements du sorgho dans la zone sahélienne du Burkina Faso. Pour Bougoum (2012), cet accroissement du rendement du sorgho est de 9,4 à 41,6% respectivement en situation de paillage réel et de paillage renforcé.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Ce présent travail a été conduit en vue d'approfondir les recherches sur l'agriculture de conservation et à produire des référentiels technico-économique. L'objectif global était d'améliorer la fertilité du sol et les rendements des cultures via l'agriculture de conservation, afin de réduire l'insécurité alimentaire des populations.

De nos études, nous pouvons retenir que l'agriculture de conservation permet d'améliorer l'humidité du sol, et de réduire le ruissellement et l'érosion du sol. Cette augmentation de l'humidité du sol a été plus importante quand la quantité de paille utilisée pour la couverture du sol est importante. Elle a été également significative pendant une période de poche de sécheresse et est devenue non significative lorsque la pluviosité est devenue importante. En ce qui concerne l'humidité du sol les systèmes d'agriculture de conservation avec deux et quatre tonnes de paille ont permis de l'améliorer par rapport au conventionnel. L'agriculture de conservation a permis de réduire significativement le ruissellement et l'érosion du sol. Cette réduction a été plus perceptible en début de campagne et dépendait de la saturation du profil hydrique et de la quantité de paille utilisée pour la couverture du sol. A ce niveau les systèmes d'agriculture de conservation avec deux tonnes et quatre tonnes de paille ont permis de réduire significativement le ruissellement et l'érosion. Bien que l'agriculture de conservation ait eu des effets positifs sur l'humidité du sol, le ruissellement et l'érosion du sol ; certaines paramètres chimiques, biologiques et les rendements n'ont pas connu une amélioration significative par rapport au conventionnel. Néanmoins, les systèmes d'agriculture de conservation avec deux et quatre tonnes de paille ont permis d'améliorer la teneur en azote, en potassium disponible et le pH. Au regard de nos résultats, les perspectives suivantes peuvent être suggérer :

- Poursuivre l'expérimentation sur plusieurs années vu que les effets positifs de l'AC s'installent de façon progressive ;
- Mettre en place une autre spéculacion à la place du maïs dans le cadre de la rotation qui est une des principes de l'agriculture de conservation ;
- Evaluer l'effet de l'agriculture de conservation sur d'autres paramètres tels que le développement racinaire, l'évaporation, l'humidité du sol en fonction du stade de développement de la culture principale.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adekalu K.O., Olorunfemi I.A., Osunbitan J.A., 2007.** Grass mulching effect on infiltration, surface runoff and soil loss of three agricultural soils in Nigeria. *Bio resource Technology*, 98: 912–917.
- Afnor, 1981.** Détermination du pH. (Association Française de Normalisation) NF ISO 103 90. In *AFNOR, qualité des sols*, Paris, France, 339-348.
- Amos R. N., Jens B. A., Symon M., 2012.** On-farm evaluation of yield and economic benefit of short term maize legume intercropping systems under conservation agriculture in Malawi. *Field Crops Research* 132, 149-157.
- Angar H., S. Ben Haj, M. Benhammouda. 2011.** Semis direct et semis conventionnel en Tunisie: les résultats agronomiques de 10 ans de comparaison. *Options Méditerranéennes* 96: 53-59.
- Anderson J M., Ingram J., 1993.** Tropical soil biology and fertility (T.S.B.F): a handbook of methods. 2nd edition. *CAB*, oxford. 221.
- Asimi S., 2009.** Influence des modes de gestion de la fertilité des sols sur l'activité microbienne dans un système de culture de longue durée au Burkina Faso. Thèse de doctorat d'Etat. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 215 p.
- Bacye B., 1993.** Influence des systèmes de culture sur l'évolution du statut organique et minéral des sols ferrugineux et hydromorphes en zone soudano-sahélienne (Province du Yatenga, Burkina Faso). Thèse de doctorat en sciences. Université de Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille III, France, 243 p
- Bado B. V., 2002.** Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéennes et soudaniennes du Burkina Faso. Thèse de Doctorat (PhD), Université Laval, Quebec, Canada, 145 p.
- Bagnian I., 2006.** Effets de différents traitements organiques sur la croissance du maïs et l'activité de la macrofaune en zone soudanienne. Mémoire d'ingénieur. Institut du Développement Rural. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 101 p.

Bationo A., Koala S., Ayuk E., 1998. Fertilité des sols pour la production céréalière en zone sahélo-soudanienne et valorisation des phosphates naturels. *Cahiers Agricultures* 7(5), 365-371.

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., Waswa B., Abdou A., Bado B. V., Bonzi M., Iwuafor E., Kibunja C., Kihara J., Mucheru M., Mugendi D., Mugwe J., Mwale C., Okeyo J., A. Olle A., Roing K., Sedogo M., 2012. Lessons learned from Long-term Soil Fertility Management Experiments in Africa, *Springer Science+Business Media Dordrecht*. 201 224.

Baudron, F., Mwanza, H.M., Tiomphe, B., Bwalya, M., 2007. Conservation Agriculture in Zambia: A Case Study of Southern Province, Nairobi. African Conservation Tillage Network, Centre de Coopération Internationale de Recherche Agronomique pour le Développement, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 28 p

Baudron F., Tittonell P., Corbeels M., Letourmy P., Giller K. P., 2012. Comparative performance of conservation agriculture and current smallholder farming practices in semi arid Zimbabwe. *Field Crops Research*, 132, 117-128.

Berger M., 1996. L'amélioration de la fumure organique en Afrique Soudano-sahélienne, Agriculture et développement, *numéro hors-série 1996 CIRAD-CA*, Montpellier, France, 10 p.

Bougoum H., 2012. Analyse des effets spécifiques et combinés des principes de l'agriculture de conservation sur la conduite et les performances technico-économiques des parcelles de sorgho [*Sorghum bicolor*(L). Moench]. Mémoire d'Ingénieur, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 97 p.

Bray R I. I., Kurtz L. T., 1945. Determination of total organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59, 39-45.

Coulibaly K., 2012. Analyse des facteurs de variabilité des performances agronomiques et économiques des cultures et de l'évolution de la fertilité des sols dans les systèmes culturaux intégrant les légumineuses en milieu soudanien du Burkina Faso : approche expérimentale chez et par les paysans. Thèse de doctorat. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Bobo-Dioulasso Burkina Faso, 149 p.

Dancette C., 1984. Contrariétés pédoclimatiques et adaptation de l'agriculture à la sécheresse en zone intertropicale, In *La sécheresse en zone tropicale pour une lutte intégrée. CIRAD - GERDAT & ISRA*, 27-41.

Derpsch R., 2001. Conservation tillage, no-tillage and related technologies. In: Garcia-Torres, L., Benites, J., Martinez-Vilela, A. (Eds.), 1st World Congress on Conservation Agriculture, vol. 1: *Key note Contributions*. FAO, Rome, Italy, 161-170.

Derpsch R. and Friedrich T. 2009. Global Overview of Conservation Agriculture Adoption. In *Proceedings 4th World Congress on Conservation Agriculture*, February, 4–7, 2009, *New Delhi, In-dia. New Delh.* . 429-438.

Djamen Nana P., Ashburner J., Maraoux 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 3 au 7/10/2005, FAO. Nairobi, Kenya, (10). 63-76.

Doamba W.S.M.F., 2007. Effet du zaï forestier sur l'évolution de la biodiversité et des paramètres physiques, chimiques et biologiques du sol. Mémoire d'Ingénieur IDR/UPB, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 111 p.

Doamba W.S. M.F., 2009. Impact des techniques et technologies paysannes (mise en défens cordons pierreux) sur l'évolution de la fertilité des sols de quatre bassins versants (Soum, Sanmatenga, Kouritenga et Kompienga). Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies en Gestion Intégrée des Ressources Naturelles. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. Institut du Développement Rural. BurkinaFaso.76 p.

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.

Doorenbos J., Kassam A.H., 1979. Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage. Paper No. 33. FAO, Rome, Italy.

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. 164 p.

Douzet J M., Scopel E., Muller B., Rakotoarisoa J., Albrecht A, et Drazafindramanana N C., 2009. Effets des systèmes de cultures en semis direct avec couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion des cultures pluviales des hautes Terres de Madagascar. *Etude et gestion des sols*. (17). 131-142.

Dugué P., 2014. Semis direct, Système de culture sur couverture végétale et Agro-écologie, vers où va-t-on ? Quelques enseignements de l'atelier de capitalisation sur les impacts et effets des systèmes de culture sous couvert végétal. Programme d'appui multi-pays à l'agro-écologie (Montpellier, Agropolis, 6 au 8 novembre 2013). *Alternatives Rurales* (1), 5 p.

Dugué P., Roose E., Rodriguez I., 1993. L'aménagement de terroirs villageois et l'amélioration de la production agricole au Yatenga (Burkina Faso) : Une expérience de recherche-développement. *Cah. Orstom, Sér. Pédol.*, 28(2): 385-402.

FAO, 2007. Rapport d'AG sur l'agriculture de conservation. 42p.

Feller C., 1995. La matière organique du sol : un indicateur de la fertilité. Application aux zones sahélienne et soudanienne. *Agriculture et développement*, ORSTOM, 34032 Montpellier Cedex 1, France, 35-41.

Findeling A., 2001. Étude et modélisation de certains effets du semis direct avec pailles de résidus sur les bilans hydrique, thermique et azoté d'une culture de maïs pluvial au Mexique. Thèse de Doctorat de l'ENGREF. Spécialité: Sciences de l'eau. Université de Montpellier, France, 355 p.

Findeling A., Ruy S., and Scopel E., 2003. Modeling the effects of a partial residue mulch on runoff using a physically based approach. *J. Hydrol.* 275, 49-66.

Fisher J., Tozer P., Abrecht D., 2012. Livestock in no-till cropping systems – a story of trade-offs. *Animal Production Science*, 52, 197 – 214.

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); 53 p.

Florentin M.A., Peñalva M., Calegari A., Derpsch R., 2010. Green manure/cover crops and crop rotation in conservation agriculture on smalls Farm. *Integrated Crops Management* (12), 103 p.

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

Hien F.G., 1995. La régénération de l'espace sylvo-pastoral au sahel : une étude de l'effet de mesures de conservation des eaux et des sols au Burkina Faso. Thèse de l'université Agronomique de Wageningen, 219 p.

INERA. 2000. Rapport sur les acquis scientifiques 1992-1999 du département gestion des ressources naturelles et systèmes de productions. (GRN/SP)/ Ouagadougou, 139 p.

INERA., 2014. Plan Stratégique de Recherches Environnementales et Agricoles (PSREA) 2014- 2022, 45 p.

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.

Justes E., Bedoussac L. et Prieur L., 2009. Est-il possible d'améliorer le rendement et la teneur en protéines du blé en Agriculture Biologique au moyen de cultures intermédiaires ou de cultures associées ? *Innovations Agronomiques*, (4) : 165-176

Kambou F.N, Zougmore R., 1995. Evolution des états de surface d'un zipellé soumis à différentes techniques de restauration des sols? Yilou, Burkina Faso. 12ème journée du Réseau Erosion, Paris, France, 14 p.

Katyal J.C, Vlek P.L.G., 2000. Desertification concept, causes and amelioration ZEF- Discussion Papers N°33 on Development Policy. Bonn, October 2000. Center for Development Research (ZEF). Bonn, Germany. 65 p.

Karambiri S. M., 2014. Organisation territoriale et modalités d'insertion de l'agriculture de conservation à Koumbia (Burkina Faso). Mémoire de Master, Université de Franche-Comté, France. 43 p.

Kassam A., Friedrich T., Shaxson F., Pretty J., 2009. The spread of Conservation Agriculture: Justification, sustainability and uptake. *International Journal of agriculture sustainability* 7(4), 292-320.

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.

Koné B., 2007. Effet du zéro labour sur la production agricole et la fertilité des sols dans les systèmes de culture à base de céréales, et de légumineuses dans la zone Ouest du Burkina Faso. Mémoire d'ingénieur. Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou. Mali. 59 p.

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

Masse D., 2007. Changements d'usage des terres dans les agrosystèmes d'Afrique subsaharienne. Propriétés des sols et dynamique des matières organiques. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'Habilitation à Diriger des Recherches, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse, 83 p.

Ministère de l'Agriculture de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques, 2007: Document guide de révolution verte. 98 p.

Naudin K., Balarabe O. et Aboubakary, 2005. Systèmes de culture sur couverture végétale Résultats campagne 2004. SODECOTON, Projet ESA, Nord Cameroun, 65 p.

Ouattara M., 2014. Effets des principes de l'agriculture de conservation sur les performances des cultures en zone semi-aride : étude de cas à Yilou (province du Bam, Burkina Faso). Mémoire d'ingénieur. Institut du Développement Rural. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. 82 p.

Ouédraogo J.T., Drabo I., Tignégré J.B., Dabiré C., Serémé P, et Konaté G., 2003. Fiches techniques du niébé variétés K VX.745-11p, K VX.442-3-25-SH, INERA Burkina Faso, 2 p.

Ouédrago E., Mando A et Brussard I., 2004. Soil macrofaunal-mediated organic resource disappearance in semi arid West Africa. *Applied Soil Ecology*. 27. 259-267.

Ouédraogo J., 2009. Evaluation de la contribution de la macrofaune du sol sur la performance des mesures de conservation des eaux et des sols. Mémoire d'Ingénieur du

Développement Rural option Agronomie Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Institut du Développement Rural Burkina Faso.79 p.

Ouédraogo J., 2011. Etude de l'impact de la macrofaune et des modes de gestion de la fertilité sur quelques caractéristiques chimiques et microbiennes d'un sol ferrugineux tropical lessivé sous climat semi-aride au Burkina Faso. Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies en Gestion Intégrée des Ressources Naturelles. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. Institut du Développement Rural. BurkinaFaso. 89 p.

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, UPB, Burkina Faso. 54 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. *Bunasols*. Soltrops. 307-327.

Penot E., Husson O., et Racotondramanana, 2010. Les bases de calcul économiques pour l'évaluation des systèmes SCV. Manuel pratique de semis direct en Madagascar. Annexe 2, CIRAD. 28 p.

Pieri C., 1989. Fertilité des terres de savanes : Bilan de trente ans de recherche et développement agricoles au sud du Sahara. Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT, ISBN 2-87614-02461, 444 p.

PCD, 2008. Plan Communale de Développement de la Commune de Bama 2008-2012.

Ryan M.G.& Law B.E., 2005. Interpreting, measuring, and modeling soil respiration. *Biogeochemistry*73. 3-27.

Sancouley R., 1989. Systèmes d'alimentations basés sur les résidus de récolte de céréales et les sous-produits agro-industriels fibreux, In « Intégration de l'élevage à l'agriculture en réponse à la pression démographique croissante sur les ressources disponibles », CTA-Actes de séminaires 11-14 Juillet 1989 Ile Maurice, 181-191.

Sanou J., 2009. Variétés de maïs vulgarisées au Burkina Faso, actualisation 2009. INERA/CT, 2 p.

- Saidani S., 1995.** L'évaluation de l'impact des termites du genre *Cubitermes* sur la conservation du stock organique de parcelles cultivées de la vallée du Niari (République du Congo) DESS. Université Paris XII Val De marne. 63 p.
- Sangaré S., 2002.** Evaluation des performances agro-écologiques des techniques de lutte contre la désertification dans les provinces du Passoré et du Yatenga. Cas du zaï, de la demi-lune et du tapis herbacé. Mémoire de fin d'études, UPB/IDR, 85 p.
- Schaller N., 2013.** L'agriculture de conservation. Analyse Centre d'Etudes et de Prospective n° 61. 4 p.
- Scopel E., Chavez G. E., Arreola T. J.M., 1999.** Le semis direct avec paillis de résidus dans l'ouest mexicain : une histoire d'eau ? *In Agriculture et Développement n° 21*. 71-86.
- Scopel E., Findeling A., 2001.** Conservation tillage effects on runoff reduction in rainfed maize of semi-arid zones of western Mexico.
- Scopel E., Macena F., Corbeels M., Affholder F., Maraun F., 2004.** Modelling crop residue mulching effects on water use and production of maize under semi-arid and humid tropical conditions, *Agronomie 24*, 383–395.
- Scopel E., Findeling A., Guerra Chavez E., Corbeels M., 2005.** Impact of direct sowing mulch-based cropping systems on soil carbon, soil erosion and maize yield. *Research article. In Agron. Sustain. Dev. 25 (2005)*, 425-432
- Scopel E., Douzet J-M., Da Silva F-A. M., Cardoso A., Aloisio J., Moreira A., Findeling A., 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.(14), n° 1*: 71-75.
- Scherr S.J., 1999.** Soil degradation, a threat to developing-country food security by 2020? Food, Agriculture, and the Environmental Discussion. Paper 27. International Food Policy Research institute, Washington, DC.
- Sébillotte M. 1974.** Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. *Cah. ORSTOM, sér. Biol.,(24)* : 3-25
- Sedogo M.P., 1993.** Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture. Incidences des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de doctorat en sciences. Université Nationale de Côte d'Ivoire, 333 p.

- Sempore A.W., 2008.** Analyse de la production et de l'utilisation de la biomasse du maïs et du coton en zone ouest du Burkina Faso : Cas de Koumbia et de Kourouma. Mémoire de fin de cycle IDR/UPB. 81p.
- 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.
- 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, 169 p.
- Somé L., 1989.** Diagnostic agroclimatique du risque de sécheresse au Burkina Faso. Etude de quelques techniques agronomiques améliorent la résistance pour les cultures de sorgho, de mil et de maïs. Thèse de Doctorat en Agronomie, Université de Montpellier II, 321 p.
- 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.
- Stroorvogel J.J, Smaling E.M.A., 1990.** Assessment of soil nutrient depletion in subsahara Africa. 1983-2000, vol 1- 4- Report n°28, vol. 2. Winand stiring centre, Wageningen.
- Thiombiano L. et Dianou D. 1999-** Activité biologique globale dans trois états de surface de sols sahéliens. *Annales de l'Université de Ouagadougou, série B, 8* : 175-187.
- Thiombiano L., Meshack M., 2009.** Scaling-up conservation agriculture in Africa: strategy and approaches. FAO Subregional Office for Eastern Africa, Addis Ababa.
- Traoré K., Toé A. M., 2008.** Capitalisation des initiatives sur les bonnes pratiques agricoles au Burkina Faso. 11-31.
- Wright, A.L., Hons, F.M., Lemon, R.G., McFarland, M.L., Nichols R.L. 2007.** Stratification of nutrients in soil for different tillage regimes and cotton rotations. *Soil and Tillage Research* 96: 19-27.

Walkley A., Black I. A., 1934. An examination method of the det jareff and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science. Vol. 37.* 29-38.

Zerbo I., 2012. Analyse des effets potentiels de l'agriculture de conservation sur les performances technico-économiques des exploitations agricoles de Sindri (Province du Bam, Burkina Faso). Mémoire d'ingénieur Institut du Développement Rural. Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, Burkina Faso, 113 p.

Zombré P. N., 2006. Variation de l'activité biologique dans les zipella (sols nus) en zone subsahélienne du Burkina Faso et impact de la technique du zaï (techniques des poquets). *Biotechnol.Agron.Soc.Environ.(BASE),10(2):139–148*