

MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE ET SUPERIEUR

UNIVERSITE POLITECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO

INSTITUT DU DEVELOPEMENT RURAL



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

En vue de l'obtention du

DIPLOME DE MASTER EN SCIENCE DU SOL

Spécialité : Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols

THEME

Effet des techniques de récupération des terres dégradées sur les performances agronomiques des cultures et la réduction de pertes en terres : Cas de Sadoré au Niger

Présenté par : MOUSSA Mariama

Maître de stage : FATONDI Dougdebji

Directeur de mémoire : Pr. Hassan Bismarck NACRO

N°: 00/2013 / MASTER GIFS

Décembre 2013

MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE ET SUPERIEUR

UNIVERSITE POLITECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO

INSTITUT DU DEVELOPEMENT RURAL



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

En vue de l'obtention du

DIPLOME DE MASTER EN SCIENCE DU SOL

Spécialité : Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols

THEME

Effet des techniques de récupération des terres dégradées sur les performances agronomiques des cultures et la réduction de pertes en terres : Cas de Sadoré au Niger

Présenté par : MOUSSA Mariama

Maître de stage : FATONDJI Dougdebji

Directeur de mémoire : Pr. Hassan Bismarck NACRO

N°: 00/2013 / MASTER GIFS

Décembre 2013

TABLE DES MATIÈRES

AVANT PROPOS	vi
SIGLES ET ABBREVIATIONS	ix
LISTE DES FIGURES	x
LISTE DES PHOTOS	x
LISTE DES TABLEAUX	x
RESUME	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	3
1.1. Dégradation des terres en Afrique de l'ouest.....	3
1.1.1. Définition de la dégradation des sols.....	3
1.1.2. Causes de la dégradation des terres.....	4
1.1.3. Ampleur et enjeux de la dégradation.....	5
1.2. Importance de la matière organique dans la récupération de terres dégradées.....	6
1.3. Collecte des eaux de surface pour une utilisation efficiente.....	6
1.3.1. Différentes techniques de conservations des eaux et des sols.....	7
1.3.2. Zaï.....	7
1.4. Généralité sur le Mil.....	10
1.4.1. Origine et production du mil.....	10
1.4.2. Ecologie, botanique et caractéristiques du mil.....	11
1.4.3. Utilisation de l'eau par le mil.....	11
1.4.4. Contraintes à la production du mil.....	12
1.5. Généralité sur le niébé.....	13
1.5.1. Origine et domestication.....	13
1.5.2. Exigences écologiques, botaniques et caractéristiques.....	13
1.5.3. Production du Niébé.....	14
1.5.4. Contraintes à la production du niébé.....	15
CHAPITRE II: PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE	20
2.1. Situation géographique du site d'étude.....	20
2.2. Climat.....	20
2.3. Température.....	21
2.4. Vent.....	21
2.5. Relief et Végétation.....	21
2.6. Population.....	22
CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES	23
3.1. Matériels.....	23
3.1.1. Caractéristiques des sols du site.....	23
3.1.2. Fertilisant utilisé.....	23
3.1.3. Matériel végétal utilisé et densité de semis.....	24
3.2. Méthodes.....	24
3.2.1. Dispositif expérimental.....	24
3.2.2. Conduite de l'essai.....	25
3.2.3. Collecte des données.....	27
3.2.3.1. Collecte des eaux de ruissellement et mesure d'humidité.....	27
3.2.3.2. Mesure du rendement et des composantes de rendement.....	29
3.2.3.3. Caractérisation du sol.....	30
3.2.4. Traitement de données.....	31
CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION	32

4.1. Résultats	32
4.1.1. Distribution des pluies sur le site expérimental.....	32
4.1.2. Caractéristiques initiales de la parcelle expérimentale.....	33
4.1.3. Effet de traitements sur la production du mil	33
4.1.4. Effet de traitements sur la production du niébé.....	35
4.1.5. Effet des traitements sur la production du pois d'angole	36
4.1.7. Dynamique de l'eau dans les différentes techniques de collecte des eaux.....	37
4.1.8. Effet de traitements sur les pertes en terres dans les sédiments	39
4.2. Discussion	40
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	43
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	45
ANNEXES.....	56

DEDICACE

A mes parents,

Pour tous les sacrifices consentis à mon égard.

**Que Dieu vous prête longue vie afin de jouir du fruit de
vos investissements !**

AVANT-PROPOS

Le présent mémoire s'inscrit dans le cadre d'un projet AGRA (Alliance for Green Revolution in Africa). Ce mémoire a pu être réalisé grâce à l'appui de ce projet AGRA qui a financé notre formation à travers l'octroi d'une bourse d'étude, en collaboration avec l'IDR (Institut du Développement Rural). Nous leur adressons nos vifs et sincères remerciements.

Avant tout, nous remercions l'omnipotent, l'omniscient et l'omniprésent Dieu qui nous a gratifié de sa sagesse et de sa protection durant toute cette formation. Nous ne finirons jamais de le glorifier.

Nous voulons aussi saisir l'opportunité qui nous est offerte pour exprimer notre reconnaissance et adresser nos vifs remerciements à tous ceux qui d'une manière ou d'une autre ont contribué au bon déroulement et à la réalisation de ce présent mémoire. Nos remerciements vont particulièrement au :

-Dr MAHAMADOU Gandah le coordonateur régional du projet microdose d'AGRA et représentant résident de l'ICRISAT au Niger qui a bien voulu nous accueillir au sein de la structure. Qu'il trouve ici l'expression de notre profonde gratitude.

-Dr FATONDJI Dougdebji chercheur à l'ICRISAT notre maître de stage pour nous avoir proposé le thème et accepter de nous encadrer durant le stage. Nous vous sommes reconnaissants pour votre soutien car malgré vos multiples occupations, vous avez toujours trouvé le temps pour nous orienter et mettre à notre disposition les moyens matériels nécessaires pour réaliser ce stage ;

-Pr Nacro Hassan Bismarck, Maître de Conférences en Ecologie/Pédologie, Centre régional AGRHYMET/Niamey, notre Directeur de mémoire pour votre collaboration, votre disponibilité, vos multiples échanges fructueux et vos critiques objectives ;

-Dr Bernard Bacyé, enseignant à l'Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, coordonnateur du Master GIFS. Nous lui disons merci pour tous les énormes efforts consentis pour notre formation;

-Nous voulons exprimer notre reconnaissance à Monsieur ALI Ibrahim qui s'est investi, pleinement et bénévolement, dans les analyses statistiques des données recueillies et la mise en forme de ce document. Aussi grâce à sa disponibilité et à ses critiques objectives et constructives, il a contribué beaucoup à l'amélioration de la qualité scientifique du présent document. Qu'il trouve ici l'expression de notre profonde gratitude.

-Madame Samaila Hannatou pour ses critiques objectives du document, et sa contribution dans le traitement des données nous lui disons infiniment merci.

-Nous ne saurons oublier de témoigner ici toute notre reconnaissance au Professeur Irénée Somda, Directeur de l'IDR pour son appui inestimable ;

-Nous adressons également notre profonde gratitude au Pasteur MADOU Mamadou et famille pour le soutien matériel et spirituel à travers leur prière et intercessions qui constituent la clé au succès sans lesquelles nous n'aurons jamais la victoire dans nos entreprises. Qu'ils trouvent ici nos sincères remerciements ;

-Nous adressons nos remerciements au personnel du laboratoire de l'ICRISAT (Sadoré) de Niamey pour l'esprit de collaboration dont ils ont fait montre ainsi que les aides et les précieux conseils dont nous avons bénéficié de leur part ;

-Qu'il nous soit permis aussi d'exprimer nos sincères remerciements à l'endroit de Monsieur ABDOU Mato, technicien de recherche au centre sahélien d'ICRISAT pour ses conseils et soutien tout au long de ce stage ;

-Nous exprimons notre reconnaissance à Messieurs AMBOUTA Karimoun Harouna et MATI Idrissa pour leur contribution à travers des conseils et critiques objectives tout au long de ce stage ;

-Nous voulons adresser nos sincères reconnaissances à nos deux sœurs, amies, et collègues CHAIBOU Zainabou et SAMAKE Marie Louise pour l'esprit de solidarité de fraternité et d'amour qui a régné entre nous durant toute notre formation ;

-Nous adressons nos remerciements particuliers aux co-stagiaires du centre sahélien de l'ICRISAT programme CRP (Consortium Research Program) Madame Esther et Monsieur ABOUBACAR Illiassou pour leur participation, leur soutien morale et leurs conseils inestimables à mon égards qu'ils trouvent ici l'expression de mes sentiments et de ma reconnaissance ;

-A nos camarades de promotion et amis: BELEM Mahamadi, BAYOULOU Soumana, BALBONE Inoussa, BOUGMA Amelie, COULIBALY Omar, GOUNTAN André, CHAIBOU Zainabou, SAMAKE Marie Louise, OUEDRAOGO Boureima, OUEDRAOGO Eric, SIDIBE Baba ;

-A tous nos enseignants et camarades de la première promotion Master GIFS, nous adressons également nos sincères remerciements;

-A l'ensemble de personnel de l'ICRISAT pour leur franche collaboration et soutien multiforme ;

-Merci également à toute ma famille, pour leur soutien multiforme, leur encouragement, leur patience et leur indulgence sans lesquels ce travail n'aurait jamais abouti.

-Nous exprimons enfin nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à la réalisation de ce travail et dont les noms n'ont pas été mentionnés ici, qu'ils trouvent au passage l'expression de notre reconnaissance.

SIGLES ET ABBREVIATIONS

AGRA: Alliance for Green Revolution in Africa

ANOVA: Analysis Of Variance

BDL: Bioreclamation of Degraded Land

BUNASOLS: Bureau National des Sols

CEC: Capacité d'Echange Cationique

CGIAR: Consultative Group for International Agricultural Research

RCBD: Randomized Complete Block Design

DL: Demi-lune

ETP: Evapotranspiration potentielle

FAO: Food and Agriculture Organisation

GIFS : Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols

GLASOD: Global Land Assessment of Degradation

ICMV: ICRISAT Millet Variety

ICRISAT: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics

IITA : International Institut for Tropical agriculture

INERA: Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles

INRAN : Institut National de la Recherche Agronomique du Niger

INS : Institut National de la Statistique

IRD: Institut de Recherche pour le Développement

JAS: Jour Après Semis

MDA : Ministère du Développement Agricole

MEA: Millenium Ecosystem Assessment

pH: Potentiel d'Hydrogène

ROCAFREMI : Réseau Ouest et Centre Africain de Recherche sur le Mil

UE : Utilisation de l'Eau

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Production du mil au Niger de 2004 – 2011. (MDA ,2012).....	10
Figure 2: Carte de la zone d'étude.....	20
Figure 3 Dispositif Expérimental.....	26
Figure 4: Distribution de la pluie sur le site expérimental.....	32
Figure 5: Effet des traitements sur le ruissellement	37
Figure 6: a) stock d'eau dans les différents traitements sur les parcelles du mil, b) stock d'eau sur les parcelles du niébé	38

LISTE DES PHOTOS

Photo 1: Zaï de l'essai.....	8
Photo 2: Demi-lune de l'essai.....	10
Photo 3: dispositif de la collecte des eaux de ruissellement.....	Erreur ! Signet non défini.
Photo 4: Sonde à Neutron.....	17
Photo 5: Résultats des évènements pluvieux qui ont conduit à l'échec du développement du pois d'angole.....	29

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Composition chimique du fumier utilisée.....	23
Tableau 2: Caractéristiques chimiques initiales du sol des parcelles.....	33
Tableau 3: Effet de la gestion du sol sur le rendement du mil.....	34
Tableau 4: Analyse de variance sur les rendements et les composantes du rendement mil.....	35
Tableau 5: Effet de la gestion du sol sur le rendement du niébé.....	35
Tableau 6: Analyse de variance sur les rendements niébé et ses composantes	36
Tableau 7: Effet de traitements sur les pertes en terres.....	39

RESUME

Au Niger, la production agricole a chuté ces dernières décennies. Le pourcentage des terres dégradées augmente et l'insécurité alimentaire s'installe dans tout le pays. C'est pour contribuer à trouver des solutions durables et faciliter l'adoption que la présente étude se propose d'évaluer quelques techniques de récupération de terre. L'étude a été effectuée dans le département de Saye à l'Ouest de Niamey. Elle a concerné une expérimentation sur un terrain dégradé et a abordé l'évaluation du rendement à travers la biomasse, en appréciant les rendements du mil et du niébé selon les traitements, la mesure de ruissellement et la mesure de l'humidité du sol.

Un dispositif en blocs de Fischer complètement randomisé (RCBD) avec douze (12) traitements et quatre répétitions a été utilisé. Les traitements appliqués consistaient à la combinaison de deux facteurs: (1) La gestion du sol avec quatre niveaux qui sont : (i) zaï, (ii) demi-lune, (iii) demi-lune + zaï et (iv) témoin (sans aucune structure de collecte d'eau de ruissellement) et (2) la gestion des cultures comportant trois niveaux (i) mil, (ii) niébé et (iii) le pois d'angole.

Les résultats obtenus avec les trois modes de gestion au niveau du mil ont montré que le rendement est plus élevé avec le zaï + Demi-lune (343kg/ha) suivi du zaï (284kg/ha). Pour le niébé, le rendement le plus élevé est obtenu avec la gestion demi-lune (393 kg/ha) suivi du traitement Zaï (296 kg/ha). Il a été constaté que ces ouvrages réduisent la perte d'eau par ruissèlement. Ainsi le taux de ruissellement était de 24% pour le traitement zaï et 37% pour le traitement demi-lune + zaï par rapport au témoin dont le taux de ruissellement atteint les 54%. Aussi le stock d'eau est plus important dans les ouvrages durant toute la saison de pluie par rapport au témoin. L'analyse des échantillons d'eau et de sol a montré qu'il y a moins de pertes des éléments nutritifs au niveau du zaï par rapport aux autres ouvrages. Les résultats de cette étude ont démontré que le zaï est une technique efficace pour la récupération de terres dégradées non seulement elle freine le ruissellement et la perte d'éléments nutritifs, mais constitue un bon moyen également de stockage d'eau dans le sol durant toute la saison de pluie.

Mots-clés : Dégradation des terres, Zaï, Demi-lune, Rendements agricoles, Mil, Niébé, Pois d'Angole, Niger.

ABSTRACT

In the last decades, agricultural production has drastically dropped in Niger. The percentage of degraded land is increasing so as the pressure of food insecurity. To contribute in finding suitable solutions and to facilitate their adoption, some techniques of land recuperation were tested in the present study. The study was conducted in the municipality of Say situated in Western Niamey. The trials were conducted on degraded land and the main parameters analyzed included: Biomass yield of millet, cowpea and pigeon pea based on different techniques used, run-off and soil water availability measurements.

The trials were set in a Randomized Complete Block design of Fischer consisting of twelve (12) treatments and four (4) replications. The treatments consisted of a combination of two factors: (1) Soil management options with four levels including: (i) zaï, (ii) Half-moon, (iii) Zaï and half-moon and (iv) Control and (2) the type of plants with three levels (i) millet, (ii) cowpea and (iii) pigeon pea.

The result for millet showed that, the yield was high for the combination zaï and half-moon followed by zaï. For cowpea, the yield was high with half-moon (393 kg/ha) followed by zaï (296 kg/ha). Result on run-off showed that 24% and 37% of water were lost in the plots treated with Zaï and those with Zaï and half-moon respectively as compared to 54% for the control. Soil water content in the soil was high throughout the season in the land reclamation techniques than in the control.

The analysis of water and soil samples showed that, less nutrients elements were lost with zaï as compare to other techniques and control.

Results of this study showed that, zaï are an efficient technique for degraded land recovery. It is not only allows reducing water and nutritional elements losses but also is a good way of holding water in the soil throughout the season. Also the combination of these techniques with the application of organic matter increased yield.

Key words: Land degradation, Zaï, Half-moon, Crop yield, Millet, Cowpea, Pigeon peas Niger.

INTRODUCTION

Le sahel est une zone sensible et vulnérable exposée à une diminution accélérée des ressources naturelles et à une aggravation de la pauvreté dans les zones rurales (Ambouta *et al.*, 2004 ; Roose, 2004). En effet, les aléas climatiques, les catastrophes naturelles et les déplacements de populations ont eu des conséquences graves sur l'environnement et ont entraîné, de ce fait, un retard dans le décollage économique de plusieurs régions.

Au Niger comme dans la plus part des pays Sahéliens dont l'économie est basée sur l'agriculture, la production agricole a chuté ces dernières décennies ce qui a impacté la sécurité alimentaire. Plusieurs facteurs expliquent la faible productivité de l'agriculture au Niger. Parmi ces facteurs, on peut citer, la pression démographique qui exerce une pression sur les ressources naturelles, les facteurs climatiques, la dégradation de la fertilité de terres et l'utilisation des pratiques culturales inadéquates. De tous ces facteurs, la dégradation des terres constitue la principale préoccupation pour une production agricole durable et par conséquent une véritable menace pour la sécurité alimentaire. En effet, les conséquences néfastes des actions anthropiques sur les ressources naturelles se conjuguent à une certaine irrégularité annuelle et interannuelle de la pluviométrie augmentant la probabilité d'apparition des saisons de pluies plus ou moins déficitaires et donc de mauvaises récoltes. Dans ces conditions, les ressources en sol deviennent davantage pauvres, et fragiles, face à une érosion et à un ruissellement intenses.

Selon Lal (1988), plus de 50 % des terres sont dégradées au Sahel dont le Niger et la plupart de celles-ci sont encroutées, compactées ou latéritiques inappropriées pour les activités agricoles. Cependant pour supporter les besoins de plus en plus croissants en nourriture de la population nigérienne, il est nécessaire d'améliorer la productivité des terres emblavées et mettre en valeur les terres déjà dégradées et abandonnées. A cet effet, de nombreux travaux de recherche ont été réalisés pour la mise en valeur de terres dégradées au Sahel (Hassan, 1996 ; Ouedraogo et Kaboré, 1996 ; Nomao, 2002 ; Fatondji, 2002 ; Zougmore, *et al.*, 2003 ; Rockström, 2004). Nonobstant les résultats obtenus, des études récentes ont montré que le taux d'adoption des techniques de récupération de terres dégradées reste encore faible car les rendements des cultures qui y sont pratiquées (mil, niébé) ne justifient pas les investissements en termes de main d'œuvre et de matériels requis par ces techniques (van der Marck, 1999 ; Wildemeersh *et al.*, 2013). Au regard des problèmes susmentionnés, l'épuisement de la fertilité des sols dans les petites exploitations agricoles constitue la principale cause biophysique de la baisse de la production alimentaire par habitant en Afrique. Les pertes

d'une telle ampleur imposent la prise de certaines mesures, notamment la récupération des terres dégradées pour l'amélioration du rendement et l'utilisation efficace de l'eau. Il faut aussi noter qu'en matière de durabilité de l'environnement, les pratiques de gestion de l'eau à l'échelle de la parcelle et des sols constituent un aspect important à considérer. Il s'agit des pratiques mécaniques telles que les remblais en pierres, les bandes enherbées et les haies vives, qui ne sont utilisées que sur 10 % des parcelles (Mara, 1996) et ensuite les méthodes agronomiques et biologiques moins visibles telles que le paillage, le défrichage sélectif et l'espacement végétal adapté.

Des nouvelles stratégies de production qui améliorent la productivité et qui préservent l'environnement s'avèrent indispensables (Rajot *et al.*, 2002). Dans un tel contexte, la réhabilitation des terres dégradées et l'amélioration de la productivité des terres par les techniques de conservation des eaux et des sols (C.E.S) seraient une alternative. Nous pensons que les techniques de CES principalement le zaï, la demi-lune et leurs combinaisons pourraient contribuer à la récupération des terres dégradées, à travers la réduction du ruissellement et des pertes de terres pour une amélioration de la productivité de ces terres.

C'est dans ce contexte que se situe la présente étude dont l'objectif principal est d'améliorer la productivité des terres dégradées au Niger. Les objectifs spécifiques assignés à cette étude sont :

- 1 Identifier la culture appropriée pour tirer le meilleur des terres marginales.
- 2 Evaluer l'efficacité des différentes techniques de collecte des eaux de ruissellement.
- 3 Evaluer les pertes en terre (et en éléments nutritifs) dues au ruissellement.
- 4 Evaluer la qualité et la quantité de l'eau ruisselée.

Le présent mémoire comprend quatre chapitres dont,

-le premier chapitre, intitulé, revue bibliographique présente essentiellement les travaux sur la dégradation des sols, les techniques de réhabilitation, l'importance de la matière organique et les généralités sur les cultures (mil, niébé, pois d'angole).

- le deuxième chapitre présente le milieu d'étude.

- le troisième chapitre décrit la méthodologie et les matériels de travail.

-le quatrième chapitre est réservé aux résultats et discussion.

CHAPITRE I: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Dégradation des terres en Afrique de l'ouest

1.1.1. Définition de la dégradation des sols

La plupart des sols africains sont issus du granite, résultant des millénaires d'altération superficielle par les agents atmosphériques, et contiennent intrinsèquement de faibles niveaux de nutriments des plantes (Bationo *et al.*, 2006). Il existe de nombreuses définitions de la dégradation des terres, mais la plupart ne font essentiellement référence qu'à une perte de productivité de la terre (Blaikie et Brookfield, 1987). Pour les agronomes, la dégradation des sols est une baisse temporaire ou permanente de la productivité d'un sol. Et selon Blaikie et Brookfield (1987), la dégradation d'un sol dépend de type d'usage auquel il est prédestiné. En effet la dégradation des terres ne se limite pas uniquement aux changements constatés dans les conditions des terres, il convient également de vérifier qu'il existe un lien de cause à effet entre ces changements et un déclin de productivité des terres. Cela s'avère un peu compliquer car la productivité dépend aussi de nombreux facteurs autres que la qualité des terres (ex: pluviosité, main-d'œuvre et technologies) et de plus les changements dans les terres n'apportent pas toujours une baisse de productivité. Du fait de la nature interdépendante de la terre et de sa productivité, il est important de prendre en compte les variables multiples et complémentaires qui mesurent les propriétés de la terre (ex : sol, eau et végétation) en même temps que les indicateurs de productivité (Mazzucato et Niemeijer, 2000) pour définir la dégradation des terres. Ainsi les principaux types de dégradations de terres en Afrique de l'Ouest se résument comme suit l'érosion hydrique (56 %), l'érosion éolienne (28 %), la dégradation chimique (12 %), la dégradation physique (4 %) et la dégradation biologique. La dégradation du sol est causée par le surpâturage (35 %), la déforestation (30 %), les activités agricoles (27 %), la surexploitation de la végétation (7 %) et les activités industrielles (1 %) (Mazzucato et Niemeijer, 2000).

1.1.1.1 Dégradation physique des sols

La forme la plus commune et la plus répandue de la dégradation physique du sol est l'érosion. L'érosion physique se manifeste par un transport des matériaux des couches superficielles du sol par l'eau. L'érosion affecte 84% des sols dégradés. L'érosion est un processus naturel qui se manifeste par le transport des matériaux des couches superficielles du sol par l'eau (érosion

hydrique) et ou par le vent. L'une des principales causes de l'érosion hydrique est l'accroissement du ruissellement. Cette dernière est influencée par la pluviométrie, les activités humaines telles que les pratiques agricoles et la topographie des sols. La compaction est une forme de dégradation physique du sol qui se manifeste par une réduction exagérée de la porosité du sol. Elle réduit la colonisation du sol par les racines. D'où une diminution de la résistance des cultures vis à vis de stress hydrique et une faible capacité de s'approvisionner en éléments minéraux du sol. Il faut aussi mentionner l'encroûtement superficiel du sol.

1.1.1.2 Dégradation chimique du sol

La dégradation chimique du sol se présente sous différentes formes en interaction les unes avec les autres. Les formes les plus rencontrées dans la littérature sont l'épuisement du sol en éléments nutritifs et l'acidification des sols. L'épuisement en éléments nutritifs des sols est causé par une exportation de ces éléments, à travers les cultures et les résidus des cultures sans aucune restitution compensatrice, la lixiviation et l'érosion. L'acidification du sol est due à l'utilisation excessive des produits phytosanitaires (des pesticides) ou des engrais chimiques.

1.1.1.3 Dégradation biologique

Ce type de dégradation se manifeste par une baisse de la matière organique du sol, une diminution des micro-organismes et de la microfaune du sol, plus précisément les termites qui jouent un rôle important dans le recyclage de la matière organique et de la structuration du sol. Les causes de cette dégradation sont multiples. Il s'agit du déboisement, le surpâturage, l'agriculture itinérante, la mauvaise gestion des ressources en sol et eau, la pollution des sols par les produits phytosanitaires (pesticides, herbicides).

1.1.2 Causes de la dégradation des terres

La gestion durable de terres implique l'utilisation de cette terre par l'homme, et la capacité la cette terre à maintenir ses qualités. (Katyal et Vlek, 2000). Ainsi dans la zone sahéenne de l'Afrique de l'Ouest la dégradation de sol a pour causes la surexploitation des ressources naturelles (7 %), la déforestation (30 %), le déséquilibre du bilan des matières organiques et minérales induit par les feux répétés, le surpâturage (35 %), le défrichement et les travaux culturels non adaptés (27 %). Ce déséquilibre est encore accéléré par l'érosion (Roose, 1980; Breman et Uithol, 1986), l'industrie et l'urbanisation. La perte de terre chaque année due à

l'érosion hydrique était de 25 milliards de tonnes de terre environ (FAO, 1996). Quarante (40) millions d'hectares de terre dans le monde sont touchés par la salinisation et la saturation en eau (FAO, 1996). Ce problème est l'une des principales contraintes pour une production agricole durable. A cet effet, les producteurs se voient dans la nécessité d'occuper les terres marginales ainsi que les terres dégradées pour la production agricole. Au Niger le problème de la fertilité du sol s'accroît et nécessite beaucoup d'attention. A part les causes naturelles et anthropiques sus mentionnées, la dégradation de sol est due aussi à un accroissement de la population qui conduit à une limitation des superficies cultivées. Suite à cette croissance démographique, la restauration de la fertilité des sols à travers les systèmes de jachères devient inefficace (Ssali *et al.*, 1985). Ce qui contraint les cultivateurs à occuper les terres marginales (cas de la région de Tahoua et la région du Passoré au Burkina Faso (Fatondji, 2002).

1.1.3 Ampleur et enjeux de la dégradation

La dégradation des terres agricoles est l'une des préoccupations majeures de la production agricole de nos jours et constitue un phénomène planétaire. La dégradation de terres constitue une véritable menace pour la sécurité alimentaire. La superficie de terres cultivées de l'espace CEDEAO est estimée à 55 millions d'hectare (CEDEAO, 2004) dont 11 millions d'hectare sont déjà dégradées (MEA, 2005) soit 20% de la superficie totale.

Cependant, par rapport aux sols des régions tempérées, les sols tropicaux sont particulièrement menacés, d'une part en raison de leur structure moins stable et d'autre part en raison du climat au quel ils sont exposés. La progression de la dégradation des sols favorise le changement climatique et constitue une menace pour l'alimentation de la population mondiale. La matière organique des sols constitue un réservoir important de dioxyde de carbone (CO₂) qui est un gaz à effet de serre. L'exploitation anarchique des sols détruit la matière organique du sol et contribue à la libération de CO₂. En même temps la diminution de la biomasse des sols entraîne une diminution du CO₂. Selon « Global Land Assessment of Dégradation (GLASOD) » (Oldeman *et al.*, 1990), 38% des terres cultivées à travers le monde ont subi une dégradation depuis les années 1950s ; en Afrique, la proportion de terre dégradée est estimée à 65% (Fatondji, 2002). On estime que 23% de l'ensemble des terres utilisables, souffrent de dégradation au point que leur productivité s'en trouve réduite. Il faut noter qu'à travers le monde, 305 millions d'hectares de sols étaient fortement dégradés voir extrêmement dégradés (9 millions d'hectares), dont plus de 5 millions en Afrique (Oldeman, Hakkeling et Sombroek, 1990).

1.2. Importance de la matière organique dans la récupération de terres dégradées

Dans la région Ouest de l'Afrique, l'amendement organique constitue la principale source d'éléments nutritifs pour une agriculture durable. Plusieurs travaux menés sur l'utilisation de la matière organique ont confirmés cela (Piéri, 1989 ; Sedego, 1993). La matière organique est apportée en vue d'optimiser la production des cultures. La gestion de la fertilité des sols à travers l'amendement organique dépend des facteurs pédoclimatiques comme la température, l'humidité, aération promoteur de l'activité biologique du sol. (Sanchez, 1976). Le fumier de bovin est une fumure organique riche en éléments nutritifs car elle assure une production agricole intensifiée et stable (Pichot *et al.*, 1981 ;Pieri ,1989). Des recherches faites sur un sol sableux dans le centre-nord du Sénégal (région à faible pluviosité) ont montré qu'un apport de 2 tonnes/ha du fumier de bovin pendant huit ans a augmenté le rendement de culture de façon très significative par rapport au rendement des terres non amendées (Ganry *et al.*, 1994). Mais face à la faible disponibilité du fumier et au coût des engrais minéraux actuellement pas à la portée des paysans (Ganry et Badiane, 1998), il s'avère nécessaire de trouver des alternatives telle que certaines techniques de collecte d'eau de pluie (Zaï et Demi-lune) associée au fumier pouvant permettre une amélioration de la fertilité des terres de culture.

1.3. Collecte des eaux de surface pour une utilisation efficiente

Les zones arides de l'Afrique de l'Ouest sont confrontées à une dégradation des terres et des variabilités climatiques qui se traduisent par des poches de sécheresses et des inondations. Les sols dégradés des zones arides sont improductifs. Cela est lié au déséquilibre en éléments nutritifs et à l'inadéquat approvisionnement en eau (Usman et Reason ,2004). Pour faire face à cette situation, des techniques de collecte des eaux de surface ont été mis en place. Se sont des techniques par lesquelles les eaux de pluie sont capturées et mis à la disposition des plantes (Ngigi ,2003). Selon Lal (1997), une infiltration et un stockage efficace de l'eau dans le sol pourra accroître la productivité des sols des zones sub-sahariennes.

Le déficit en eau est lié plus à la perte d'eau par ruissellement, à un drainage qui dépasse la zone racinaire et à l'évaporation qu'à la faible efficacité d'utilisation d'eau et à la production végétale (Mando, 1997).

1.3.1. Différentes techniques de conservations des eaux et des sols

Il existe une gamme des techniques de collecte des eaux de sol utilisées dans les régions arides. Selon Reij (1996), on entend par techniques de conservations des eaux et des sols (CES) l'ensemble des pratiques agronomiques culturales et d'agroforesterie qui concourent à la gestion des sols et de l'eau sur le plan agricole. L'application de ces techniques vise à lutter contre la dégradation du sol et à améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, et par conséquent elles permettent d'améliorer la productivité de la terre (Sawadogo, 1995; Reij *et al.*, 1996; Doro, 1991).

Ces techniques peuvent être regroupées en trois catégories (Dakio, 2000):

- les dispositifs physiques à savoir les diguettes, les demi-lunes, les cordons pierreux ;
- les techniques culturales: comme le zaï, le travail du sol (le sous solage, les buttes), la maîtrise de la densité de semis ;
- les procédés biologiques: le paillage, les haies vives, la mise en défend.

Dans la présente étude nous aborderont les cas particuliers du zaï et la demi-lune.

1.3.2 Zaï

Le zaï communément appelé <<zaiegré>> en mooré langue du Burkina Faso (Ouedraogo et Kaboré, 1996 ; Kossogue *et al.*, 1996 ; Fatondji *et al.*, 2001 ; Kaboré et Reij, 2004) et <<Tassa>> au Niger (Hassan, 1996), veut dire <<se lever tôt pour préparer sa terre>>. La technique consiste à creuser des cuvettes d'environ 20 à 40 cm de diamètre et de 10 à 15 cm de profondeur espacés de quatre vingt (80 cm) à cent (100 cm) en ligne ou en quinconce. La terre est rejetée en croissant vers l'aval pour capter les eaux de ruissellement. Le producteur dépose dans le poquet dès les premières pluies ou avant, de la matière organique (fumier, compost, résidus ménagers) réduite en poudre. Les termites, attirés par le matériel, creusent des galeries et l'incorporent au sol (Roose et Rodriguez, 1990; Roose *et al.*, 1993; Reij *et al.* 1996). D'autre part la macro- porosité du sol créée par l'activité biologique rend aussi le sol perméable à l'eau (Ludwig *et al.*, 2005). Le ruissellement recueilli augmente le taux d'humidité du sol (Roose *et al.*, 1995). Les grains de céréales (mil, sorgho) sont semés en culture pure ou bien associées souvent à une légumineuse (niébé).

1.3.2.1. Avantages du zaï

Les principaux avantages du zaï sont la capture des eaux de ruissellement et la concentration des éléments fertilisants et des eaux, disponibles dans les cuvettes. Un autre avantage majeur du zaï est l'amélioration de la fertilité chimique des sols grâce à l'apport de la matière organique effectué au pied des plants (Zougmore *et al.*, 2000). Ces avantages résument la qualité agronomique première du zaï qui est celle de recréer un micro environnement de croissance favorable et persistant aux cultures tout au long de la saison des pluies. Pour les agriculteurs, l'avantage du zaï demeure bien avant toute autre fonction, l'obtention de rendements satisfaisants sur des terres qui paraissaient irrécupérables (Roose *et al.*, 1999).

1.3.2.2. Contraintes du zaï

L'efficacité de la technique du zaï dépend de la bonne répartition des précipitations dans le temps et dans l'espace au cours de la saison des pluies. Malgré ses nombreux avantages, le zaï ne peut pas résoudre toutes les contraintes liées à la production agricole ni au sahel où les pluies sont trop peu fréquentes, ni en zone trop humide (Roose *et al.*, 1995). Ainsi la principale contrainte du zaï pour le producteur reste la charge de travail nécessaire pour creuser les poquets en saison sèche. Selon Roose *et al.* (1995) et Reij *et al.*, 1996), le zaï exige trois cent (300) heures de travail à la pioche, soit environ trois (3) mois de travail pour un homme, pour restaurer un hectare. A cela s'ajoute la disponibilité en fumier, en eau, en main d'œuvre et en moyen de transport.



Photo 1: Zaï de l'essai.

1.3.3 Demi-lune

La technique de la demi-lune a connu ses débuts au Niger dans la région de Tahoua (Rochette, 1989). La technique de demi-lune a été décrite par de nombreux auteurs tels que (Rochette, 1989; Dugué, 1996 ; Zougmore *et al.*, 2000).

Les dimensions et la répartition des demi-lunes sur le terrain varient d'un pays à l'autre et en fonction de la nature du terrain. Les dimensions et les écartements conseillés dans l'aménagement d'une demi-lune sont généralement de 4 m de diamètre, 12 à 30 cm profondeurs, 2 à 4 m d'écartements sur la même ligne et 4 m entre deux lignes voisines. Ce sont des cuvettes en forme de demi cercle creusés perpendiculairement à la pente (Rochette, 1989). La terre de déblais est déposée sur le demi-cercle en un bourrelet semi-circulaire au sommet aplati. Ses cuvettes sont décalées (en quinconce) de sorte que chaque demi-lune ait un impluvium utile de 4 m².

Selon (Moustapha, 2010), elles sont le plus souvent faites sur des glacis pour faciliter l'infiltration des eaux et pour rendre le sol plus meuble en enlevant la partie dure (croûte). L'application de matière organique n'est pas primordiale mais il est conseillé d'apporter si possible 35 kg /ha de matière organique par demi-lune (Mando *et al.*, 2000).

Les demi-lunes sont aussi pratiquées sur les plateaux, les terrains à forte pente et aux bas de versants. Le creusage tel que conseillé par la recherche a lieu pendant la saison morte (généralement vers avril). Les demi-lunes sont soit agricoles lorsqu'elles servent pour les cultures, et forestières lorsque ce sont des arbres qui y sont plantés ou pastorales quand elles sontensemencées par des herbacées.

1.3.3.1 Objectifs pratiques de la demi-lune

- Entraver l'action érosive des eaux de ruissellement et provoquer une sédimentation afin de récupérer des terres dégradées pour une exploitation agricole, pastorale ou forestière; d'émettre une stabilisation des sols sur les pentes fortes et aux abords des ravins,
- Palier la faiblesse et dans une moindre mesure l'irrégularité des pluies en captant les eaux de ruissellement provenant de l'impluvium. La demi-lune collecte, deux fois et demi plus d'eau que ce qu'elle ne reçoit directement (Selon Rochette 1989). De ce fait on peut obtenir une production de culture pluviale dans une région insuffisamment arrosée et une amélioration des rendements agricoles.



Photo (2) : Demi-lune de l'essai

1.4. Généralité sur le Mil

1.4.1. Origine et production du mil

Originnaire de l'Afrique de l'Ouest le mil (*Pennisetum glaucum*) (L.)R.Br.) est l'une des plantes les plus cultivées dans les régions tropicales sèches (Romain, 2001). Le mil constitue l'alimentation de base des régions sahéliennes comparé aux autres cultures tropicales. C'est la principale culture vivrière du Niger avec près de 7253200 hectares emblavés en 2010 pour une production de 3, 843,350 tonnes soit 529 kg/ha (figure 1). La culture de mil conditionne la sécurité alimentaire au Niger puisque près de 85% de la population l'ont comme constituant majeur de la ration alimentaire journalière et constitue aussi une denrée de référence pour l'agriculture de subsistance.

Environ 90% de la production du mil provient des régions tropicales de l'Afrique de l'Ouest dont les principaux pays producteurs du mil sont le Nigeria (40%), le Niger, le Burkina Faso et le Mali (Rocafremi-wcamrn ,2002).

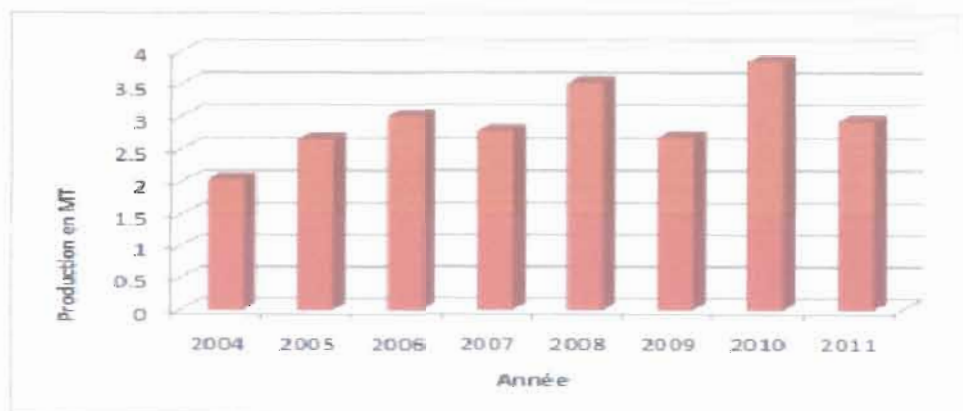


Figure (1) : Production du mil au Niger de 2004 à 2011. (MDA ,2012)

1.4.2. Ecologie, botanique et caractéristiques du mil

Le mil (*Pennisetum glaucum* (L.)R.Br.) est une graminée annuelle appartenant à la classe des monocotylédones, à la Famille des Poaceae, à la Tribu des Paniceae, au Genre *Pennisetum* et à l'Espèce *glaucum* ou typhoïde.

Espèce diploïde ($x=7$ et $2n=2x=14$), le mil a un cycle de développement qui peut varier de 60 jours pour les variétés précoces à 180 jours pour les variétés tardives. Le choix de l'implantation des variétés se fait en fonction de leur comportement périodique. Les variétés tardives et semi tardives demeurent les plus nombreuses dans la zone Soudano Sahélienne. Les variétés précoces prédominent dans la région sahélienne. Le mil est une culture adaptée aux contraintes du milieu sahélien. Il a l'aptitude de développer un mécanisme physiologique qui lui permet d'être tolérant à la sécheresse en ralentissant des pertes d'eau, et en maintenant un niveau hydrique favorable au bon remplissage des graines (Winkel *et al.*, 1997). Une moyenne de température de 28° C est nécessaire pendant la phase végétative (Bolozogola, 2004). Le mil peut résister à la sécheresse en début de végétation et manifeste un besoin important en eau depuis la montaison jusqu'à la maturité avec un maximum à la phase d'épiaison. Toute sécheresse qui survient au cours de la montaison, ou à la floraison peut entraver la formation des graines (Samba *et al.*, 2004). La croissance s'effectue en trois phases principales: La phase végétative, la phase reproductive, la phase remplissage des graines. Le mil s'adapte mieux au sol limoneux légers et les sols sableux par rapport aux sols lourds. Il tolère la faible fertilité des sols, les températures élevées et les sols acides.

1.4.3. Utilisation de l'eau par le mil

Le mil (*Pennisetum glaucum*) constitue l'une des principales céréales et fourrages des régions arides et semi arides (Yadav et Bhavnagar, 2001). Le mil est une plante qui résiste à la sécheresse plus que les autres plantes telle que le sorgho, d'où son adaptation aux régions chaudes et sèches (Singh, 1995). Dans ces régions, le manque d'eau et la carence en azote constituent les facteurs limitants pour la production (Diouf *et al.*, 2004 ; Zagada-Lizarazu et Iijima, 2005). La gestion effective des ressources en appliquant moins d'eau, pour accroître les rendements économiques est l'objectif principal des régions arides (Panda *et al.*, 2004). La plus part des chercheurs ont découvert une importante augmentation de l'utilisation de l'eau sous les conditions de stress (Zegada Lizarazu et Iijima, 2005); (Seghatoleslami *et al.*, 2008; Nagaz *et al.*, 2009) . D'autre part des recherches ont montré que les stress en eau ont un effet

négalif sur le rendement en fourrage ainsi que sur la production de la matière sèche du mil (Diouf *et al.*, 2004 ; Winkel *et al.*, 2001; Van Oosterom *et al.*, 2003). Cela se traduit par une réduction du feuillage (Golombek et Al-Ramamneh, 2002 ; Nagaz *et al.*, 2009).

1.4.4. Contraintes à la production du mil

Comme toute autre culture, la production du mil est soumise à de nombreuses contraintes qui sont d'ordre abiotique, biotique et socio-économique (Samba *et al.*, 2004) repartis comme suit :

a) Les contraintes abiotiques :

Tels que la pluviométrie mal répartie dans l'espace et dans le temps, la pauvreté des sols dans les zones semi-arides, les températures élevées (sol et atmosphère), les vents violents pouvant perturber les cultures en début comme vers la fin de la saison hivernale et les sécheresses. Le mil résiste à la sécheresse. Néanmoins un manque de pluie survenu au stade de floraison peut affecter la croissance des plantes (Samba *et al.*, 2004). Pour ces problèmes liés aux facteurs climatiques, des variétés améliorées ou précoces qui se développent bien dans les régions où la pluviométrie est faible doivent être préconisées.

b) Les contraintes biotiques :

Se sont les plantes parasites des cultures (*Striga hermontica*), les maladies causées par des champignons, des bactéries, des virus et des nématodes ainsi que les ravageurs. En Afrique de l'ouest les dégâts causés par le *Striga* varient de 1 à 80% (Konaté, 1986). Les enquêtes effectuées en champs paysans au Niger ont montré que le *Striga* est présent presque dans toutes les zones de production du mil. Au Burkina, l'infestation du *Striga* a variée de 0,1 à 52,7 pieds / m² dans les 512 champs observés en 1984. De même des nombreux virus, champignons et bactéries sont à la base de certaines maladies sur le mil en croissance. Le mildiou (*Sclerospora graminicola* (Sacc.) Schroet) est la maladie la plus dangereuse du mil dans le Sahel et cause d'énormes dégâts chaque année. Dans les zones arides les pertes causées par le mildiou ou lèpre du mil s'élèvent à (20 à 30%) dont 0,1-7% au Niger et 1-10% au Burkina Faso (Rocafremi, 2002).

Le charbon du mil causé par *Tolyposporium penicilluriae* est la deuxième maladie redoutable après le mildiou dans le Sahel. L'ampleur de son infestation varie d'une région à l'autre et d'une année à l'autre (4% à Magaria).

L'ergot du mil causé par *Claviceps fusiformis*, occupe la troisième place après le mildiou et le charbon. Les oiseaux granivores et les rongeurs provoquent aussi des ravages dont l'importance varie d'une année à l'autre et d'une région à l'autre.

c) Les contraintes socio-économiques :

- La pression démographique dans les zones semi-arides de l'Afrique de l'Ouest a entraîné une diminution de la période de jachère et une expansion des superficies cultivées du mil qui conduit les cultivateurs à occuper les terres marginales. Ceci a entraîné une baisse de rendement, dans ces dernières années ;

- Les moyens très limités des populations problème lié à la pauvreté ;

Le problème d'écoulement des produits agricoles par les producteurs, l'inadéquation entre le prix des intrants agricoles et le produit récolté (le mil), les difficultés d'accès aux équipements et aux crédits agricoles ;

- L'accentuation de l'exode rural.

1.5. Généralité sur le niébé

1.5.1. Origine et domestication

Le niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) est une légumineuse originaire de l'Afrique de l'Ouest qui constitue le principal centre de diversité et de domestication. Le niébé est d'une importance capitale pour la nutrition et la subsistance de beaucoup de population dans les pays sous développés de la zone tropicale. Une importante variabilité génétique survenue dans cette région a fait que l'Inde apparait comme étant le second centre de diversité après l'Afrique. Légumineuse résistante à la sécheresse, le niébé est une plante qui est adaptée aux régions semi-arides des tropiques (Henriet *et al.*, 1997; Mortimore *et al.*, 1997; Singh *et al.*, 1997).

1.5.2. Exigences écologiques, botaniques et caractéristiques

Le Niébé appartient à la Classe : Dicotylédone, ordre : Fabales, à la famille : Fabaceae, à la Sous famille : Faboideae, à la Tribu : Phaseolae, Sous tribu : Phaeolinea, au Genre : *Vigna* et à l'espèce : *unguiculata* (Marechal *et al.*, 1978). Le Niébé (*Vigna unguiculata*) est une

herbacée annuelle autogame, diploïde ($2n=22$ chromosomes) à morphologie très variable et bien adaptée aux conditions climatiques et édaphiques des régions semi arides (moins de 600 mm) et subhumides (1000 à 1500 mm) d'Afrique. Certaines variétés ayant un cycle très court montrent une adaptation à la sécheresse et une tolérance aux températures élevées. Néanmoins, une chaleur excessive peut affecter la croissance et compromettre ainsi le rendement si elle intervient au stade de floraison. L'optimum de température se situe entre 25 à 35° C. Le Niébé est une légumineuse qui a un potentiel de fixation biologique de l'Azote atmosphérique sur les terres cultivées à travers ses nodules et se développent bien sur les sols pauvres (85% de sable et 0,2% de matière organique) avec un faible niveau de phosphore (Kolawale *et al.*, 2000; Sanginga *et al.*, 2000). Le niébé s'adapte aux différents pH du sol (4,5 à 9,0) et a un développement végétatif rapide. Le niébé est cultivé sur une large variété de sols à savoir sableux, légèrement argileux et sablo-limoneux (Bal, 1999). Cependant il se développe mieux sur les sols légers, sableux, aérés, suffisamment drainés et de faible fertilité ayant un pH compris entre 6,5 et 7,5. Le niébé est une plante peu exigeante en eau. Ce qui permet de le cultiver dans les zones sahéliennes à pluviosités variant de 300 à 800 mm. Selon Kay (1979) cité par Adam (1986), les trois espèces du genre *Vigna* sont classées en trois groupes en fonction de leur réaction à la photopériode.

- Les variétés hâtives, peu sensibles à la photopériode et dont le cycle se poursuit pendant la saison sèche froide ;
- Les variétés sensibles à la photopériode ;
- Les variétés insensibles à la photopériode.

On distingue trois (3) types de variétés de niébé en fonction du port de la plante à savoir les types érigé, semis-érigé et rampant.

1.5.3. Production du Niébé

La production mondiale du Niébé est estimée à trois (3) millions de tonnes dont 64% proviennent d'Afrique (Anonyme, 2002). Douze millions et demi (12,5) d'hectares sont cultivés annuellement dans le monde dont environ 9,8 millions sont réalisés en Afrique de l'Ouest. Cela a fait que l'Afrique de l'Ouest occupe la première place mondiale en matière de production et de consommation du Niébé dans le monde (CGIAR, 2001). Les principaux pays producteurs du Niébé en Afrique de l'Ouest sont par ordre de production décroissant le

Nigéria, le Niger, le Mali, le Burkina Faso, le Sénégal et le Ghana. La production des deux premiers producteurs (Nigéria, Niger) de l'Afrique de l'Ouest est estimée à deux (2) millions de tonnes et 270000 tonnes respectivement en 2000 soit près de 50% de la production mondiale (Anonyme, 2002). Mais les rendements moyens changent en fonction des variétés utilisées, du système de culture adopté, du niveau d'utilisation des intrants (pesticides engrais) ainsi que les conditions agro-climatiques. En culture pure par exemple le niébé est cultivé en ligne à raison de 22000 plantes par hectare pour la variété rampante, 50000 plantes par hectare pour la variété semi-érigée et enfin 100000 plantes par hectare pour la variété érigée.

1.5.4. Contraintes à la production du niébé

Les contraintes liées à la production du Niébé sont multiples et variées. Ses contraintes sont d'ordres abiotiques, socio-économiques et biotiques.

a) Les contraintes abiotiques:

Le niébé est une légumineuse peu exigeante en eau. Par conséquent il résiste à la sécheresse. Les carences en éléments nutritifs tels que le phosphore, le soufre, le magnésium, le calcium, le fer perturbent la croissance des cultures. Ceci se traduit par la manifestation des symptômes comme les chloroses, les jaunissements. D'autre part les sols sont acides, salins ou pauvres en matières organiques. Les températures trop élevées affectent les croissances des cultures surtout pendant le stade de la floraison et la fructification. Le Niébé est cultivé à 90% en association avec les céréales dans les zones sahéliennes. Il est semé deux à trois semaines après la céréale. Ce retard influe non seulement sur la croissance des certaines variétés à cycle long qui arrivent difficilement à boucler leur cycle, mais aussi entraîne une forte compétition pour les facteurs de croissance (éléments nutritifs, lumière) (Singh *et al*, 1979).

b) Les contraintes socio-économiques:

Il s'agit des coûts élevés des intrants, l'absence de crédits agricoles et de structure de commercialisation fiable. A cela s'ajoute la rigidité des habitudes alimentaires des populations qui apprécient plus les céréales (mil, sorgho, riz.).

c) Les contraintes biotiques:

Les contraintes biotiques constituent le majeur problème lié à la production du Niébé en Afrique occidentale. Elles occasionnent des pertes de rendement considérables pour le rendement (30 à 100%) (Singh et Allen, 1979).

Ces dégâts sont causées par:

- des insectes : Une gamme d'insectes nuisibles causent d'énormes dégâts au niébé à tous les stades de sa croissance du semis jusqu'à la récolte et pendant la conservation. Un certain nombre des ravageurs sont communs à toutes les régions dans lesquelles le Niébé est cultivé à travers le monde (Jackai *et al*, 1988). Les plus importants sont les pucerons (*Aphis craccivora* (Koch)), les thrips des fleurs, les bruches (*Callosobruchus maculatus* (Fabricius)), les punaises de gousses (*Acanthomia horrida* (Germar)), les foreurs de gousses (*Maruca vitrata* (Meyer) et les *Clavigralla tomentosicollis*.

- des plantes parasites telle que les *striga gesnerioides* : C'est une plante parasite très répandue en Afrique de l'Ouest (Singh et Allen, 1979). Selon les mêmes auteurs, elle se développe au dépend d'une plante hôte durant tout son cycle. Il affecte son hôte en provoquant le rabougrissement, le jaunissement des portions du limbe compris entre les nervures, le flétrissement des plants en cas d'insuffisance des pluies. Une forte infestation par ce parasite pourrait conduire à des pertes considérables de plus de 50% de superficie cultivées.

- des agents pathogènes. Quatre types de pathogènes existent au Niger. Il s'agit de *Macrophomina phaseolina*, *Xanthomonas vignicola* et diverses viroses (Adam, 1986). Ces pathogènes sont responsables de la perte des qualités des semences et bien d'autres maladies du niébé dans la zone sahélienne. Les dégâts causés varient entre 60 et 100% selon les régions (Singh et Allen, 1980 ; Singh *et al.*, 1979).

1.5. Généralité sur le pois d'angole

1.6.1. Origine et domestication

Le pois d'Angole communément appelé pois cajan, est la seule espèce domestiquée du genre *Cajanus* qui en compte 34 (Van Der Maesen, 2006). Le pois d'angole résulterait de l'hybridation interspécifique entre ses parents proches sauvages que sont *C. cajanifolia* et *C. scarabaeoides* (Nadimpalli *et al.*, 1992). Le pois d'angole est originaire de l'Inde qui constitue son centre de domestication. Après sa domestication, le pois d'Angole a été introduit successivement en Malaisie, en Afrique de l'Est puis en Egypte à travers la vallée du Nil; et puis, il a été introduit en Afrique de l'ouest (Van Der Maesen, 1990). On estime qu'à la traite négrière, sa culture a été exportée de la République démocratique du Congo et de l'Angola vers l'Amérique et plus tard vers les Antilles où il a été nommé pois des pigeons en 1962 (Van Der Maesen, 1986).

1.6.2 Zone de production

A l'instar des autres types de légumineuses, le pois d'angole est présent sous tous les tropiques et occupe plus de 4 millions d'hectares dans le monde. Mais, sa culture est mieux adaptée et plus productive sous les tropiques semi-arides. Le sous-continent indien est le plus grand producteur du pois d'angole au monde avec plus de 70% de la production mondiale (FAOSTAT, 2007). Le pois d'angole est cultivé dans plus de vingt cinq (25) pays tropicaux et subtropicaux, soit en monoculture, ou en rotation avec des céréales telles que le sorgho (*Sorghum bicolor*), le mil (*Pennisetum glaucum*), ou le maïs (*Zea mays*), ou avec d'autres légumineuses comme l'arachide (*Arachis hypogaea*) ou le niébé (*Vigna unguiculata*). Comme toutes les légumineuses, le pois d'Angole enrichit le sol en azote grâce à la fixation symbiotique de l'azote. Le continent africain, particulièrement le Kenya, le Malawi, la Mozambique, la Tanzanie et l'Ouganda, constituent sa deuxième plus grande zone de production (Singh, 1991). Les autres zones de production d'importance sont le sud-est du continent asiatique, l'Afrique centrale et de l'ouest et enfin le continent américain (Nene et Sheila, 1990).

La production mondiale de pois cajan entre 1999 et 2003 s'élevait à 3,1 millions de tonnes par an sur 4,3 millions d'hectares (ha) (FAO, 2007). L'Inde principal pays producteur, avait

produit 2,5 millions de tonnes (t) sur 3,4 millions d'ha. Les autres principaux pays producteurs d'Afrique ont été le Malawi (79 000 t), l'Ouganda (78 000 t), le Kenya (59 000 t) et la Tanzanie (47 000 t) (Van Der Maesen, 2006).

1.6.3. Utilisation

Le pois d'angole est à la fois une culture vivrière (pois secs, farine, pois frais ou légumes verts) et une culture fourragère de couverture. Le pois d'angole est une importante légumineuse à grains de la tribu des Phaseoleae et des genres *Phaseolus* et *Vigna* (Van Der Maesen, 1990). Le pois d'angole est utilisé pour l'alimentation humaine et animale, l'agriculture et la médecine etc.

Le pois d'angole est principalement cultivé pour ses grains dont la valeur nutritive est comparable à celle du haricot commun (*Phaseolus vulgaris*) (Niyonkuru, 2002). En effet, les grains murs constituent une excellente source de protéines (21,7%), une bonne source d'énergie (343 kcal par 100 g de partie comestible), de vitamines (A 28 UI, B₆) et d'acides aminés essentiels (lysine, phénylalanine, valine, leucine et isoleucine (Van Der Maesen, 2006).

Pour l'alimentation animale, les feuilles constituent, un bon fourrage pour le bétail. En effet, ces feuilles sont riches en protéines (21-25% / Matière Sèche (MS)) et en fibres (30-35% de cellulose brute/MS) (Grimaud, 1988). Pour les animaux de pâturage, l'on peut réaliser des coupes tous les deux ou trois mois avec une productivité de 1,5 à 3,5 t de MS/ha/par coupe et une valeur azotée de 100 à 120 g de Matière Azotée Digestible (MAD)/100 kg de matière sèche (Anonyme, 2002). Des essais, conduits en station, ont montré qu'une introduction de graines de pois cajan ayant subi un broyage comme seule transformation dans l'aliment des porcs et des volailles n'entraînait aucun trouble de croissance chez ceux-ci (Grimaud, 1988).

D'autre part, le pois d'angole offre de nombreux avantages aux pauvres paysans. Il peut être utilisé comme brise-vent et comme plante de couverture (Barrios *et al.*, 1997 ; Bashir *et al.*, 1998). La matière ligneuse des tiges de pois d'angole peut également être utilisée comme combustible, ou comme matériel de clôture. Le pois d'angole améliore la fertilité du sol et est utilisé dans la lutte contre l'érosion des sols (Siambi *et al.*, 1992 ; Van Der Maesen, 2006 ;). Le pois d'angole est également un engrais vert fournissant jusqu'à 40 kg d'azote par hectare.

Conclusion partielle

Un sol dégradé est un sol qui a perdu ses capacités de soutien et ou de nutrition de la plante. La dégradation du sol peut être physique, chimique, biologique ou une combinaison des trois. Chacune des trois catégories de dégradation comporte différentes formes en interrelation. Les facteurs naturels et les activités anthropiques sont les principales causes de la dégradation des sols. Elle entraîne une baisse de la productivité des terres et constitue un obstacle à l'attente de l'autosuffisance alimentaire dans la plus part des pays sahéliens. La lutte contre la dégradation des sols consiste à l'application de méthodes ou de procédés permettant de réduire l'impact des agents de dégradation sur le sol, d'améliorer les propriétés physique, chimique et biologique des sols. Cela permettra d'atteindre l'objectif visé, celui de la récupération des terres dégradées des zones sahéliennes et une augmentation de la productivité des terres pour une agriculture durable.

CHAPITRE II: PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE

2.1. Situation géographique du site d'étude

Le centre Sahélien de l'ICRISAT (Sadoré) d'une superficie de cinq cent hectares (500 ha) est situé dans la partie Sud-ouest du Niger plus précisément à 22 km au Nord-Ouest du département de Say, 7 km à l'ouest du fleuve Niger situé à 13°45' Latitude Nord et 2°18'Longitude Ouest. La carte (1) montre la zone d'étude.



Figure (2): Présentation de la zone d'étude

2.2. Climat

La zone sud ouest du Niger appartient à la zone sud sahélienne (durée de saison 60 à 100 jours, et 400 à 600 mm de pluie par an) selon le découpage des zones climatiques réalisé par Sivakumar (1993). La zone est caractérisée par une saison hivernale très courte qui dure quatre mois (juin-septembre) au maximum, souvent marquée par des poches de sécheresse et une longue saison sèche qui s'étend sur le reste de l'année.

2.3. Température

En général, les températures moyennes annuelles de cette zone sont élevées durant toute l'année sauf pendant la période froide (octobre-janvier) caractérisée par des températures plus basses (14 à 15 °C). Ses températures moyennes varient de 31,1 °C pendant la saison sèche et retombent à 28,5 °C en saison de pluie. Les températures sont très élevées avec une moyenne en période de semis pouvant excéder 40 °C. Les températures de la surface du sol en Juin peuvent atteindre 45 à 50 °C ce qui peut affecter les plants ou leur croissance. L'évapotranspiration potentielle annuelle (ETP) est de 2000 à 2800 mm (Sivakumar *et al.*, 1993).

2.4. Vent

Le vent est un facteur qui favorise la pollinisation, la dispersion des végétaux et aussi l'érosion des sols. Au Niger, deux principaux types de vent sont distingués à savoir l'harmattan qui est un vent continental chaud et sec venant du secteur Nord-est (Sahara). Il souffle pendant toute la période sèche de l'année (Novembre à Février) et la mousson vient après l'harmattan pendant l'hivernage. C'est un vent frais et chargé d'humidité. Ce vent souffle dans la direction Sud- Ouest. La vitesse du vent avoisine 100 km/h juste avant le début de la saison des pluies ce qui pourrait entraîner l'ensevelissement des plants (Amadou *et al.*, 1999).

2.5. Relief et Végétation

Le relief de Sadoré est essentiellement composé des plateaux discontinus à faible pente recouverts de sable et des plaines sablonneuses en forme de terrasses engendrées par l'érosion (hydrique ou éolienne).

La végétation est de type sahélo-soudanienne composée des buissons épineux et de graminées avec quelques espèces d'arbres. La végétation naturelle de Sadoré comprend essentiellement :

- des arbustes tels que: *Guiera senegalensis*, *Prosopis africana*, *Anona senegalensis* ;
- des arbres tels que : *Combretum glutinosum*, *Balanites egyptiaca*, *Parkia africana*, *Sclérocarya bierrea*, *Faidherbia albida*, *Piliostigma reticulatum* ;
- des herbacées vivaces comme : *Eragrotis trémula*, *Andropogon gayanus*, *Cenchrus biflorus*.

2.6. Caractéristiques pédoclimatiques

Les sols du centre sahélien de l'ICRISAT sont des sols peu fertiles. Ils sont sableux, acides, rougeâtres caractéristiques des sols ferrugineux tropicaux peu lessivés pauvres en matière organique avec une faible capacité d'échange cationique (CEC): $3,43 \text{ cmol kg}^{-1}$ de sol (West *et al.*, 1984). Ces sols appartiennent à la classe des Alfisols de la classification américaine. Ces sols pauvres en éléments fertilisants ont besoin des amendements organiques ou minéraux pour un rendement meilleur. On y trouve aussi des sols hydromorphes, halomorphes, des sols lessivés à concrétion et des sols peu évolués. La teneur en sable de la grande majorité de ces sols dépasse généralement 85% et celle en argile dépasse rarement les 10%.

2.6. Population

La région de Tillabéry est subdivisée en six départements: Tillabéry, Fillingé, Kollo, Ouallam, Say et Téra. Elle a pour chef-lieu la ville de Tillabéry. Selon les résultats du recensement général de la population et de l'habitat effectué en 2011 par l'Institut National de la Statistique (INS). Sa population est de deux million cinq cent soixante douze mille cent vingt cinq (2, 572,125) habitants et elle couvre une superficie de quatre vingt dix sept mille deux cent cinquante un (97,251) kilomètres carrés. La population de la région est composée de peuples Djermas-Sonraï, de Peuls, de Touaregs, de Gourmantchés, d'Arabes et de Haoussas. Elle est très jeune et particulièrement pauvre puisque 68,9 % des habitants vivent en dessous du seuil de pauvreté. Dans le domaine de l'eau et de l'assainissement, la couverture dans cette région reste basse et relativement inférieure au reste du pays.

L'agriculture est l'activité dominante et occupe 90 % de la population. Cette région connaît des difficultés quant à la satisfaction de ses besoins céréaliers, même si elle renferme le tiers des ressources naturelles du pays.

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES

3.1. Matériels

3.1.1. Caractéristiques des sols du site

L'essai a été conduit sur le site de la Bio récupération des terres dégradées du centre sahélien de l'ICRISAT, situé entre 13° 14' latitude Nord et 2° 15' longitude Ouest avec 245 m d'élévation. La pluviométrie annuelle moyenne du site est de 550 mm et la température moyenne annuelle de 29 °C. Le sol appartient à la sous classe des sols ferrugineux tropicaux, groupe des sols lessivés, sous groupe des sols indurés superficiels.

Leur réserve en minéraux altérables et leur capacité d'échange cationique sont faibles ainsi que le taux de matière organique (CPCS, 1967). Le site d'expérimentation présente une pente plus ou moins faible. La charge en gravillon varie d'un endroit à un autre. Ces sols apparaissent donc potentiellement pauvres en éléments minéraux et organiques essentiels pour la croissance et le développement des plantes. Ainsi, ce site semble être adapté à l'application des certaines techniques de récupération des eaux et des sols telle que le zaï et les demi-lunes.

3.1.2. Fertilisant utilisé

Le substrat fertilisant utilisé est le fumier. Une quantité de 200 g par poquet de fumier est appliqué dans tous les poquets avant la mise en place des cultures. Les teneurs en azote, en phosphore, en potassium et en matière organique du fumier utilisé sont données dans le tableau 1.

Tableau 1: Composition chimique du fumier utilisé.

Paramètres	Teneurs(%)
Azote total	1,47
P total	0,41
K total	1,25
Carbone org	39,41
Rapport C/N	26,81

3.1.3. Matériel végétal utilisé et densité de semis

Pour tester l'efficacité des traitements sur les cultures, trois types de spéculations ont été utilisés au champ. Il s'agit de :

- la variété ICMV IS 89305 pour le Mil (*Pennisetum glaucum*) En culture pure, son cycle semis-maturité est de 95 à 100 jours avec un rendement moyen en grain de 2 t / ha. C'est une variété qui est résistante à la sécheresse, et au mildiou.
- la variété TN5-78 pour le Niébé (*Vigna unguiculata*). Son cycle semis-maturité est compris entre 59 à 65 jours. Son rendement grain moyen est de 677,67 kg/ha et le rendement gousse moyen s'élève à 849,72 kg/ha.
- la variété ICPL 88039 du pois d'angole (*Cajanus cajan*). Son cycle semi-maturité est de 85 jours.

Les caractéristiques détaillées de ses trois spéculations sont présentées en annexe 3. Les semis ont été réalisés à la densité de 0,80 m entre les lignes et sur les lignes.

3.2. Méthodes

3.2.1. Dispositif expérimental

L'essai a été installé pendant la campagne hivernale 2013 sur un site de récupération de terres dégradées situé à Sadoré dont les activités de recherche sur ce site ont été initiées en 2008 par l'ICRISAT. Le dispositif expérimental est en blocs de Fischer complètement randomisé (RCBD) avec quatre (4) répétitions. Chaque répétition comprend douze unités expérimentales. Les répétitions sont séparées entre elles par une allée de 2 m et les parcelles élémentaires d'une même répétition sont séparées entre elles par une allée de 1 m. Les dimensions d'une répétition sont de 14 m x 32 m soit 448 m². Chaque parcelle élémentaire a une superficie de 30 m² soit 6 m x 5 m. La superficie du champ expérimental est de 1792 m².

Les traitements appliqués consistent à la combinaison de deux facteurs: (1) La gestion du sol avec quatre niveaux qui sont : (i) demi-lunes, (ii) zaï, (iii) zaï + demi-lune et (iv) témoin sans aucune structure de collecte d'eau de ruissellement et (2) la gestion des cultures comportant trois (3) niveaux (i) mil, (ii) niébé (iii) pois d'angole. Nous avons douze traitements au total.

La densité de semis est de 0,80 m sur les lignes et entre les lignes qui correspond à l'écartement entre les zaï creusés en quinconce dont les dimensions sont de 20 cm de diamètre

et 15 cm de profondeur. Le nombre de poquets par parcelle élémentaire varie de 38 poquets avec les demi-lunes à 44 poquets dans les parcelles à zaï et les terrains sans ouvrage.

Le semis a eu lieu le 02 Juillet 2013 pour les parcelles de mil et le 20 Juillet 2013 pour les parcelles du niébé. Au démariage deux plants sont laissés par poquet. La figure 3 représente le dispositif expérimental.

3.2.2. Conduite de l'essai

Le travail du sol a consisté au creusage de cuvettes de zaï et de demi-lunes. Les trous de zaï ont un diamètre de 20 cm de 15 cm de profondeur; Quant aux demi-lunes, elles ont un diamètre de 4 m et une profondeur de 15 cm. Les semis ont été réalisés pour le mil le 02 juillet 2013 et pour le Niébé et le pois d'angole, le 20 juillet 2013. La densité de semis est de 0,8 m entre les lignes et sur la ligne soit 15625 poquets / ha. Pour les opérations culturales, le premier sarclage a été effectué dans l'ensemble des parcelles le 12 Août 2013. Le nombre de sarclage est fonction du niveau d'enherbement. En effet, un deuxième sarclage a été réalisé le 27 Aout 2013. La fumure organique a été apportée le 17 mai 2013 à la dose de 200 g par poquet dans toutes les parcelles soit environ 3t / ha. Pour le traitement phytosanitaire deux produits ont été utilisés à savoir le Dimethoate et le Décis à la dose de 2 ml pour un litre d'eau et 40 ml pour 15 litres d'eau respectivement. Le traitement a été effectué le 23 Août 2013 et ensuite deux semaines plus tard et a concerné uniquement la culture du niébé.

3.2.3. Collecte des données

3.2.3.1 Collecte des eaux de ruissellement et mesure d'humidité

a) Collecte des eaux de ruissellement

Dix carrés de ruissellement en aluminium de dimensions 3,60 m x 2,50 m ont été installés dans les parcelles du mil des trois premières répétitions. Ces carrés sont munis chacun d'un entonnoir placé en aval qui canalise l'eau de ruissellement vers des futs d'une capacité de 120 litres (Photo 3). Les dimensions des futs sont de 54 cm de diamètre et 42 cm de hauteur. Un pluviomètre permet de mesurer la hauteur des épisodes pluvieux. Ainsi après chaque épisode pluvieux on procède à la lecture de la hauteur d'eau tombée dans le pluviomètre, à la collecte et mesure du volume d'eau et des sédiments contenues dans les futs et enfin au prélèvement d'une aliquote (échantillon), pour la détermination de la charge en suspension.



Photo (3): dispositif de la collecte des eaux de ruissellement

b) Fonctionnement de la sonde

Une sonde à neutrons (ou humidimètre à neutrons) est un appareil qui sert, en pédologie, à mesurer l'humidité des sols.

La sonde, que l'on descend dans un tube d'accès, est composée de deux parties : une source de neutrons rapides (radium+béryllium ou, mieux, américium 241+béryllium dont les radiations gamma sont moins dangereuses) et un détecteur de neutrons lents. Les neutrons rapides, émis

perpendiculairement à la sonde sont progressivement ralentis lors des collisions avec les atomes du sol. Ce ralentissement est maximum lorsqu'ils rencontrent des atomes d'hydrogène qui ont une masse comparable. Les collisions les renvoient dans tous les sens et il se crée donc un nuage de neutrons autour de la sonde. Une partie pénètre dans le détecteur. Le détecteur est, par exemple, composé d'un tube rempli de Trifluorure de bore-10. Lorsqu'un neutron thermique est absorbé par un atome de bore-10, il émet une particule alpha qui crée une impulsion sur un fil électrique chargé. Le compte des impulsions par unité de temps renseigne sur la quantité d'hydrogène et donc d'eau dans le sol.

Dans le cadre de cette étude, des mesures hebdomadaires d'humidité du sol ont été effectuées grâce à une sonde à neutrons (Photo 4). Ainsi, soixante douze tubes d'aluminium de 4.8 cm de diamètre intérieur ont été installés en raison de deux tubes par parcelle. Le bout du tube est fermé hermétiquement après chaque séance de mesure. Le premier tube est placé dans le trou de zaï et le second est placé entre les trous de zaï. Au niveau des demi-lunes, le premier tube est placé dans la demi-lune et le second tube est placé en dehors de celle-ci. Les deux tubes en aluminium sont distants entre eux d'environ 1,5 m. Ces tubes sont utilisés pour la mesure de l'humidité du sol. La mesure consiste donc à compter pendant quatre secondes le nombre de neutrons lents qui reviennent vers la source radioactive de la sonde. La source radioactive de la sonde est introduite dans le tube d'accès à l'aide d'un câble à des intervalles réguliers jusqu'à une profondeur désirée.

Calcul du stock d'eau.

Les données obtenues sont converties en humidité volumique du sol (Θ_v) exprimée en pourcentage (%), grâce à l'étalonnage de la sonde qui donne l'équation suivante :

$$\Theta_v = a + b \times (C/C_s)$$

Où **a** est l'intercepte, **b** est la pente. Ces valeurs sont sans unité, x est le compte relatif. C'est le rapport entre le compte actuel des neutrons (C) effectué au champ et le compte standard des neutrons (Cs) effectué dans l'eau pure à l'aide d'un tube d'accès.

Stock d'eau (Sw en mm) dans les couches de sol compris entre 0 – 15 cm.

$$S_w = (\Theta_v / 100) \times (\Delta z \times 10)$$

Où, Sw est le stock d'eau (en mm) dans les couches de sol compris entre 0 – 15 cm, Θ_v exprimée en pourcentage (%) est l'humidité volumique du sol dans les 15 premiers centimètres de profondeur,

Δz est l'épaisseur des couches de sol. Δz est convertit en mm en multipliant par 10.

Sw est le stock d'eau (en mm) dans les couches de sol > 15 cm.

$$S_w = (\Theta_v(a) + \Theta_v(b)) / 200 \times (\Delta z \times 10)$$

Où, $\Theta_v(a)$ est l'humidité volumique du sol en une profondeur donnée a,

$\Theta_v(b)$ est l'humidité volumique du sol en une profondeur donnée b,

Δz est l'épaisseur des couches de sol. Δz est convertit en mm en multipliant par 10.

Détermination de l'humidité de sol



Photo (4) : Sonde à neutron

3.2.3.2. Mesure du rendement et des composantes de rendement

a) Mesure de rendements

Le rendement des cultures a été mesuré à partir des composantes suivantes: le nombre de poquets récoltés par parcelle, le nombre d'épis récoltés par parcelle, le poids d'épis par parcelle, le poids des grains par parcelle, le poids de tiges par parcelle et le poids de 1000 grains.), l'évaluation de rendement grains et de la biomasse sèche totale.

- Les rendements en gousses, en graines récoltées ainsi que celui des fannes sèches produites du niébé ont été évalués en fonction des traitements.

- Le poids, des tiges, a été évalué à l'aide d'une balance en suspension après deux semaines de séchage au soleil et les grains et les gousses ont été pesés à l'aide d'une balance de 25 kg après une semaine de séchage au soleil également.

- Le poids de 1000 grains: à l'aide d'un appareil de comptage automatique, nous avons pu obtenir les 1000 grains pour chaque parcelle. Ces 1000 grains ont été pesés à l'aide d'une balance.
- Les 100 grains pour le niébé sont comptés manuellement pour chaque parcelle. Après, nous nous sommes servis d'une balance pour le pesé des grains comptés.

b) Paramètres observés

Les phases de croissance des cultures: ont été observées. Il s'agit de la levée, du tallage, de la montaison, de la floraison le stade laiteux et de la maturité. Ces différentes phases sont déterminées par une appréciation de 50% des plants ayant atteint un même niveau de croissance dans chaque parcelle élémentaire des différents traitements (zaï, demi-lune, zaï + demi-lune et le terrain sans ouvrage).

Le nombre des poquets à la levée ont été comptés. Ce qui nous a permis de calculer le taux de levée.

3.2.3.3. Caractérisation du sol

a) Echantillonnage des sols

Des échantillons des sols ont été prélevés par répétition avant la mise en place des cultures. Ainsi chaque répétition est divisée en deux parties et chaque partie a constitué un point de prélèvement soit deux points de prélèvement par répétition. Les prélèvements du sol ont été effectués à des profondeurs de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm suivant les diagonales du point de prélèvement à l'aide d'un tube en aluminium gradué de 4,8 cm de diamètre. Les échantillons de même profondeur ont été mélangés de façon à obtenir un échantillon composite pour chaque profondeur. Huit échantillons sont prélevés par répétition, soit au total 32 échantillons collectés dans les quatre répétitions.

b) Méthodes d'analyse au laboratoire

Les échantillons de sol ont été séchés à l'air libre. Puis tamisés, à l'aide d'un tamis de 2 mm pour séparer la terre fine des particules grossières de terre.

Les analyses chimiques ont été effectuées au laboratoire de l'ICRISAT de Niamey. Les analyses ont porté sur l'acidité du sol, le taux de matière organique, l'azote total, le phosphore assimilable, le potassium disponible, les bases échangeables, la granulométrie.

- La méthode internationale (pipette Robinson) est employée pour la détermination de la granulométrie (5 fractions). Les pourcentages des éléments de ces cinq fractions sont les suivants: sable grossier, sable fin, limon grossier, limon fin et argile.
- L'acidité est déterminée par la mesure du pH-eau à partir d'un mélange de terre avec de l'eau distillée dans un rapport 1/2,5 selon la norme d'AFNOR (1981), puis le pH est mesuré à l'aide d'un pH-mètre.
- Le taux de la matière organique est déterminé indirectement par le dosage du carbone selon la méthode de Walkey et Black (1934). Le carbone organique est oxydé en milieu sulfurique concentré par le bichromate de potassium en excès. L'excès du bichromate est ensuite titré par une solution de sel de Mohr en présence de diphenylamine. Pour passer du taux de carbone au taux de matières organiques totales, on utilise un coefficient multiplicateur qui est de 1,724. On estime que la matière organique contient 58% de carbone.
- L'azote total est déterminé par minéralisation de l'échantillon de sol avec un mélange d'acide sulfurique-Sélénium-acide salicylique en le chauffant progressivement à (100 °C à 340 °C) jusqu'à minéralisation totale. Après cette minéralisation, la solution aqueuse est mélangée au carbone actif et filtrée. L'azote total est déterminé directement à l'auto-analyseur (SKALAR).
- Le phosphore assimilable est déterminé selon la méthode Bray 1. L'Extraction du phosphore est réalisée avec une solution mixte de fluorure d'ammonium et d'acide chlorhydrique. L'extrait est ensuite passé au spectrophotomètre à 720 nm en utilisant le molybdate d'ammonium.
- Les bases échangeables: le principe de la détermination des bases échangeables est basé sur leur déplacement par un autre cation. L'acétate d'ammonium est utilisé pour effectuer ce déplacement. Le percolât obtenu contient les cations libérés et la détermination de la CEC se fait ensuite au photomètre à flamme.

3.2.4. Traitement de données

L'analyse des données collectées a été effectuée à l'aide du logiciel statistique GenStat Discovery 4^{ème} édition. Le logiciel Microsoft Office Excel 2007 a servi à la saisie des données, au calcul des moyennes, à la réalisation des graphiques. L'analyse de variance (ANOVA) et le test de StudentNewman Keuls (plus petite différence significative, au seuil de 5%) sont utilisés pour comparer les moyennes des variables observées.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

4.1. Résultats

4.1.1. Distribution des pluies sur le site expérimental

La quantité de pluies totale enregistrée sur le site expérimental était de 548 mm. Ces pluies sont inférieures à la moyenne annuelle enregistrée à Sadoré qui est de 560 mm. La saison de pluie a commencé en fin juin. Mais les pluies utiles ont débuté le 01 juillet après quoi les semis ont été faits. Les pluies ont duré quatre mois (Juin –Septembre), et le mois d’Août a été le plus pluvieux avec 408 mm de pluie enregistrée soit les $\frac{3}{4}$ de la quantité totale des pluies tombées. La plus forte hauteur de pluie est de 71 mm enregistré dans le mois d’Août ; un mois après semis c’est à dire le 30^{ème} jour après semi **figure (4)**. Les quantités des pluies obtenues ont été abondantes et aucune poche de sécheresse n’a été constatée. Mais la distribution des pluies a été irrégulière. Un arrêt brusque de pluie a été survenu au 72^{ème} jour après semis (JAS) (stade floraison), correspondant à la phase productive. Le mois de septembre a été le moins arrosé avec trois événements pluvieux dont la plus forte pluie était de 8 mm et la quantité totale de pluie tombée était de 18.5 mm.

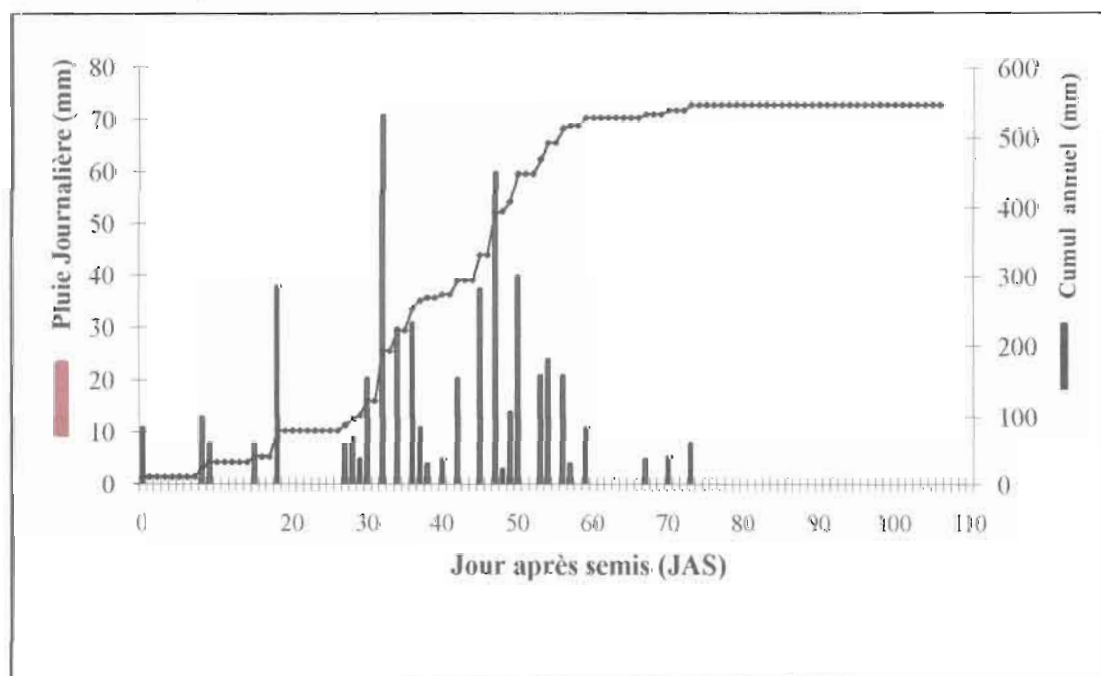


Figure (4) : Distribution de la pluie sur le site expérimental

Tableau II : Caractéristiques chimiques initiales du sol des parcelles

Paramètres	Prof (cm)		
	10	20	40
Sable (%)	76 ± 2	73 ± 2	69 ± 1
Argile (%)	12 ± 1	13 ± 1	15 ± 1
Limon (%)	12 ± 1	14 ± 1	16 ± 1
pH-H ₂ O (1:2,5)	4,6 ± 0,1	4,3 ± 0,1	4,2 ± 0,1
pH-KCl (1: 2,5)	4,3 ± 0,1	4,0 ± 0,1	4,1 ± 0,1
Carbone Org (%)	0,34 ± 0,3	0,30 ± 0,0	0,20 ± 0,0
N-total (%)	0,28 ± 15,1	0,22 ± 1	0,19 ± 14
P assimilable (%)	0,06 ± 0,9	0,04 ± 0,7	0,03 ± 0,5
H ⁺ (cmol/kg)	0,1 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,1
Al ³⁺ (cmol/kg)	0,19 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,5 ± 0,1
Bases échang. (cmol/kg)	2,0 ± 0,1	1,6 ± 0,2	1,5 ± 0,2

La valeur qui suit le signe ± représente l'Erreur standard

4.1.2. Caractéristiques initiales de la parcelle expérimentale

Il apparaît nettement que les sols décrits au niveau du **tableau II** présentent de grosses contraintes à la production agricole. Les caractéristiques montrent que le sol est de texture limon-sableuse avec un pH-eau acide de 4,6 et une teneur en ions Al³⁺ élevée (0,19 cmol/kg) d'où le risque de toxicité en Aluminium. Les teneurs en carbone organique et en azote sont respectivement de 0,34% et 0,28% toujours dans les 10 premiers centimètres. La teneur en phosphore disponible est de 0,06% teneur insuffisante pour un développement optimum de la plante. Ces sols du site sont fortement perturbés et ont atteint une extrême dégradation. Ils sont nus, à valeur agronomique nulle et ne peuvent pas être exploités sans technique adaptée.

4.1.3. Effet de traitements sur la production du mil

Les résultats sur les rendements du mil sont présentés dans le **tableau III**.

- **Effet sur la production de graine:** Il ressort de ces résultats que le rendement le plus élevé en grain est enregistré au niveau du traitement 'témoin' (sans aucune structure de collecte des eaux de ruissellement). Ce qui pourrait être expliqué par une stagnation des eaux de pluie

observée dans les structures de collecte de eaux au cours du cycle de développement de la plante qui aurait entravé la croissance de plants et affecté négativement les rendements. Aussi, dans les autres traitements on observe que l'augmentation des rendements en grain suit la tendance suivante : zaï + demi-lune > zaï > demi-lune. Nonobstant le rendement relativement plus élevé obtenu au niveau de zaï + Demi-lune (343 kg/ha), l'analyse statistique a montré qu'il n'existe pas de différence significative entre les différents ouvrages sur le rendement en grains (**tableau III**). Cela se justifie par le degré de variabilité dans le rendement grains due aux facteurs non contrôlables dans l'expérimentation comme l'indique la somme de carrés des écarts de résiduelle plus élevé qui est de 95787 comparativement à celle des traitements qui s'élève à 64221 (**tableau IV**).

- **Effet sur la production de la tige et de la biomasse:** Pour les rendements tige et biomasse, totale, l'analyse statistique révèle des différences significatives entre le témoin et les différents traitements.

Tableau III : Effet de la gestion du sol sur le rendement du mil

	% de levée	Rdt grains (kg/ha)	Rdt tiges (kg/ha)	Biomasse (kg/ha)	totale Poids 1000 grains(g)
Zaï	86	284 ^{ab}	1966 ^b	2250 ^b	8,3
demi-lune	44	206 ^b	1261 ^b	1467 ^c	7,4
DL+Zaï	64	343 ^a	1804 ^b	2146 ^{bc}	7,4
Témoin	66	372 ^a	2744 ^a	3116 ^a	7,4
Ppds	20	165	799	806	1,2

Les moyennes affectées de la même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes.

Aussi, excepté au niveau du traitement témoin qui a montré une performance productive relativement plus élevée (3116 kg/ha) par rapport aux autres traitements pour des raisons évoquées ci-dessus, la biomasse totale est plus élevée au niveau du traitement zaï avec 2250 kg/ha et la biomasse relativement faible est enregistrée au niveau de demi-lune (1467 kg/ha). La même tendance se maintient au niveau du rendement en tiges entre le témoin (2744 kg/ha) et les autres traitements mais entre ces derniers il n y a pas de différence significative. Il est à noter que les ouvrages de collecte des eaux de ruissellement n'ont pas eu d'effet significatif sur le poids de 1000 grains (**tableau III**).

Tableau IV: Analyse de variance sur les rendements et les composantes du rendement du mil

Source de variation	<i>s.c.e.</i>	<i>m.e.</i>	<i>variance</i>	<i>F.pr.</i>
Taux de levée				
Gestion du sol	3643	1214	7,20	0,009
Résiduelle	1534	171		
Rendement graines				
Gestion du sol	64221	21404	2,01	0,183
Résiduelle	95787	10643		
Rendement tiges				
Gestion du sol	4505425	1501808	6,02	0,016
Résiduelle	2246546	249616		
Biomasse totale				
Gestion du sol	5493477	1831159	7,21	0,009
Résiduelle	2286600	254056		
Poids 1000 graines				
Gestion du sol	2,75	0,72	1,75	0,226
Résiduelle	4,70	0,52		

S.c.e. = somme de carrés des écarts, *m.e.* = moyenne des écarts, *F.pr.* = Probabilité.

4.1.4. Effet de traitements sur la production du niébé

L'utilisation de la technique de collecte des eaux de ruissellement n'a pas significativement augmenté les rendements du niébé (**tableau V**). En effet, l'analyse de sources de variation sur les rendements montre une forte valeur de carrés des écarts au niveau de résiduelle par rapport aux traitements eux même (**tableau VI**). Ceci montre l'intervention d'autres facteurs non contrôlables dans l'expérimentation qui expliquent ces résultats. Tout de même, le rendement du niébé le plus élevé est obtenu au niveau du traitement avec la demi-lune (393 kg/ha) suivi du traitement zaï (296 kg/ha) et le plus faible rendement est enregistré au niveau de zaï + DL (**tableau V**).

Tableau V: Effet de la gestion du sol sur le rendement du niébé

	% de levée	Rendement grains (kg/ha)	Rendement fanes (kg/ha)	Biomasse totale (kg/ha)	Poids 100 grains(g)
Zaï	60	296	391	687	17,97
demi-lune	70	393	622	1015	17,21
DL+Zaï	42	115	280	395	16,88
Témoin	80	215	298	513	16,89
ppds	23.49	264	336	538	2,233

ppds : plus petite différence significative, DL : Demi-lune

Le rendement est relativement élevé au niveau de la demi-lune. Contrairement aux résultats observés au niveau du mil, la tendance des rendements au niveau du niébé est la suivante : DL > Zaï > Témoin > Zaï + DL. L'analyse statistique n'a révélé aucune différence significative entre les traitements et sur la biomasse totale. De ces résultats, on observe que le traitement avec la demi-lune semble être plus performant du point de vue amélioration du rendement.

Tableau VI : Analyse de variance sur les rendements du niébé et les composantes de rendement

Source de variation	<i>s.c.e.</i>	<i>m.e.</i>	<i>Variance</i>	<i>F pr.</i>
Taux de levée				
Gestion du sol	3258	1086	5,04	0,026
Résiduelle	1941	216		
Rendement graines				
Gestion du sol	167915	55972	2,05	0,177
Résiduelle	245189	27243		
Rendement Fanes				
Gestion du sol	296026	98676	2,23	0,154
Résiduelle	397820	44202		
Biomasse totale				
Gestion du sol	873383	291128	2,57	0,119
Résiduelle	1020518	113391		

4.1.5. Effet des traitements sur la production du pois d'angole

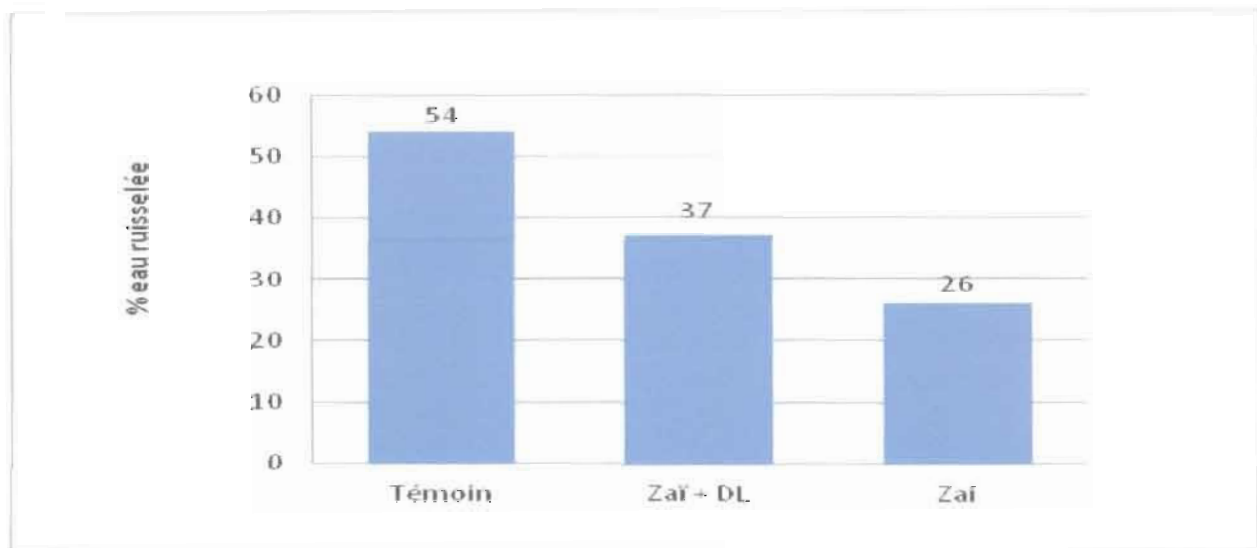
Suite à l'irrégularité des pluies suivis d'un arrêt brusque des pluies, la troisième culture c'est-à-dire le pois d'angole n'a pas pu boucler son cycle de développement. L'arrêt de pluie est survenu bien avant même la floraison. Ce qui nous a contraints à nous concentrer sur les deux premières spéculations (mil et niébé) plus tolérantes à la sécheresse.



Photo(5) : Résultats des événements pluvieux qui ont conduit à l'échec du développement du pois d'angole

4.1.6. Effet de traitement sur le ruissellement

La quantité totale de pluie ruisselée au niveau de chaque traitement est indiquée sur la figure (5). Il ressort de cette figure que la réduction de ruissellement sur un sol dégradé varie en fonction de la technique de captage de ruissellement utilisée. Ainsi, on observe moins de pertes d'eau par ruissellement au niveau zaï (26%) et zaï + dl (37%) comparativement au témoin (54%) c'est-à-dire sans aucun ouvrage. Ces résultats démontrent l'importance des ouvrages de collecte des eaux de ruissellement dans la réduction de perte de l'eau de pluie. Aussi, on observe que sans la mise en place de structure de collecte des eaux de ruissellement environ 54% de la quantité de la pluie totale est perdue ; ce qui sans doute affecte l'utilisation efficiente de la pluie déjà insuffisante pour assurer une meilleure production agricole.



DL = Demi-lune

Figure (5) : Effet des traitements sur le ruissellement

4.1.7. Dynamique de l'eau dans les différentes techniques de collecte des eaux

La figure (6) donne le stock d'eau dans les 45 premiers centimètres de profondeur sur les parcelles du mil. Il ressort de cette figure que le stock d'eau dans cette couche est inférieur à 60 mm du semis jusqu'au stade tallage, stade à partir duquel on observe une augmentation progressive de celui-ci jusqu'au stade élongation où le pic a été atteint à 110 mm pendant le mois d'Août. Au stade floraison, le stock d'eau diminue progressivement et maintient ce rythme jusqu'au stade récolte. Cette diminution du stock s'explique par l'arrêt de la pluie qui explique le faible rendement obtenu de manière générale au niveau de tous les traitements.

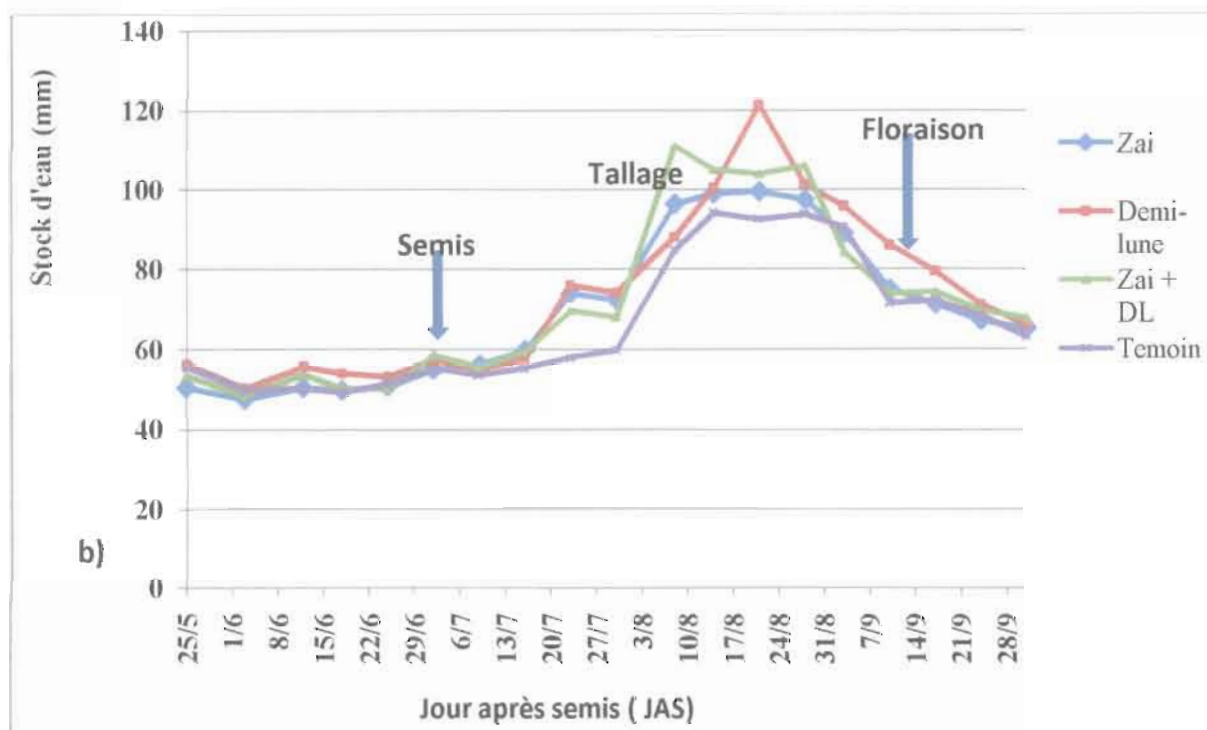
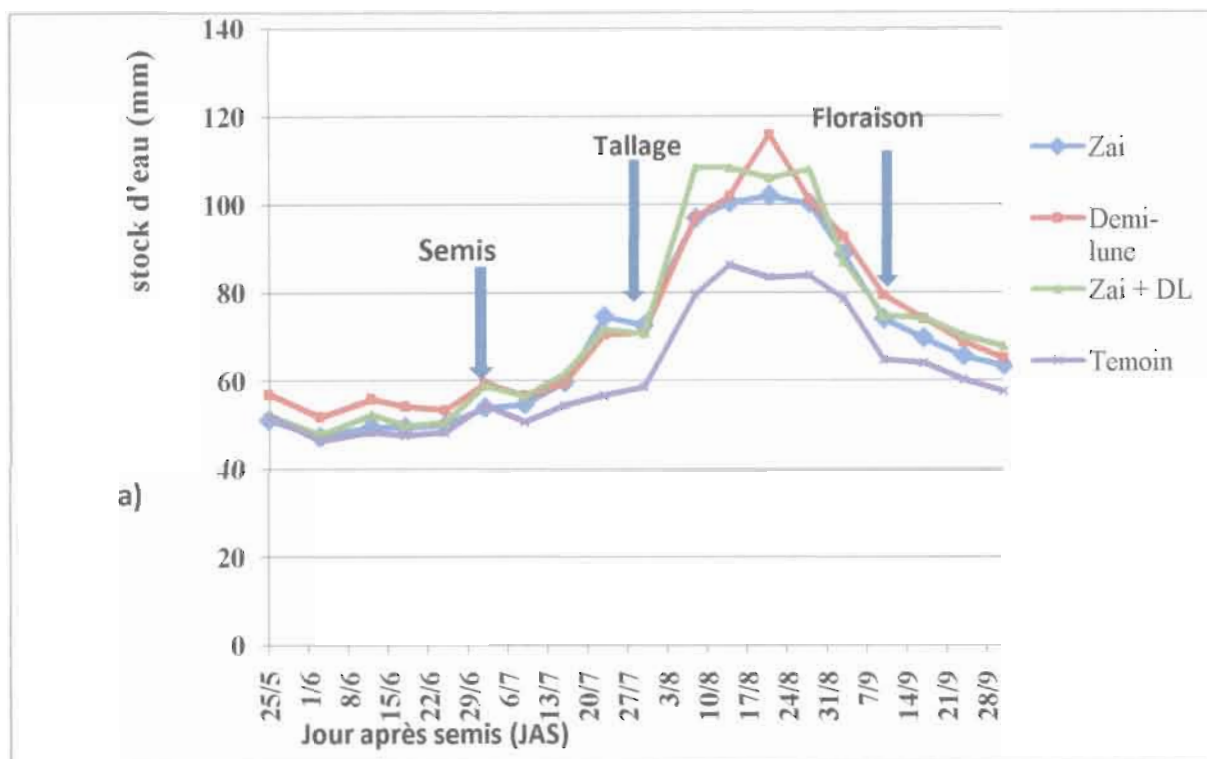


Figure (6) : a) Stock d'eau dans les différents traitements sur les parcelles du mil, b) Stock d'eau sur les parcelles du niébé.

Il ressort aussi de la **figure (6)** que la dynamique de l'eau au niveau de Zai, demi-lune et la combinaison de ces deux ouvrages reste similaire et relativement plus importante comparativement au traitement témoin c'est-à-dire sans ouvrage où l'infiltration de l'eau reste faible d'où un stock d'eau plus faible. Sur le stock d'eau, contrairement aux parcelles du mil,

on n'observe pas une différence significative entre les parcelles avec ouvrage de collecte des eaux de ruissellement et celles sans ouvrage au niveau du niébé. Aussi comme pour le mil, le stock d'eau pour le traitement Zaï est inférieur à celui de la demi-lune et de zaï + demi-lune. Ces résultats démontrent davantage l'importance de ces ouvrages de collecte des eaux de ruissellement dans l'amélioration du régime hydrique dans les sols dégradés.

4.1.8. Effet de traitements sur les pertes en terres dans les sédiments

Il ressort des résultats sur les pertes en terres que la quantité des éléments nutritifs perdus dans les sédiments ruisselés varie en fonction du traitement (tableau VII). Les pertes en NPK, ammonium et nitrate les plus importantes sont enregistrées au niveau de traitement témoin c'est-à-dire sans structure de collecte de ruissellement.

Tableau VII : Effet des traitements sur les pertes en terres

	Quantité sol Perdu kg/ha	N- total kg/ha	P Ass. kg/ha	NH ₄ ⁺ kg/ha	NO ₃ ⁻ kg/ha	K ⁺ cmol/ha
Témoin	853,2	0,41	0,004	1,00	1,00	0,16
Zaï	294,6	0,10	0,0008	0,37	0,56	0,05
Zaï + DL	267,8	0,08	0,0006	0,58	2,10	3,18

DL : Demi-lune

On observe d'une manière générale une réduction relativement très importante de pertes en N et P disponible avec le traitement Zaï + DL par rapport au traitement zaï. Par contre les pertes les plus élevées en ammonium et nitrate sont enregistrées au niveau de ce traitement ce qui s'explique par les pertes en eau plus importante obtenues au niveau de ce traitement comparativement au Zaï.

4.2. Discussion

Cette étude a été initialement conduite pour comparer les performances de différentes cultures (mil, niébé, pois d'angole) dans les ouvrages de collecte des eaux de ruissellement. En effet, un bon choix de culture et une bonne technique de récupération de terre permet non seulement de récupérer les terres marginales mais aussi d'accroître le rendement et par conséquent améliorer le revenu des petits producteurs. Dans cette étude, le mil, le niébé et le pois d'angole ont été utilisés avec quatre techniques qui sont le Zaï, la demi-lune, la combinaison Zaï + demi-lune et enfin le témoin sans ouvrage de collecte d'eaux de ruissellement.

Les rendements relativement plus élevés du mil obtenus au niveau du témoin (sans ouvrage), par rapport aux traitements avec ouvrage s'explique par l'effet dépressif de l'eau stagnée dans les ouvrages asphyxiant la plante et entravant ainsi son développement.

Les rendements dans le Zaï sont plus élevés comparé à la demi-lune. Ces résultats confirment ceux obtenus par Fatondji (2002) qui a aussi montré une performance de Zaï dans l'amélioration du rendement de mil bien que ce dernier n'a pas de traitement avec demi-lune dans son étude. Le zaï favorise une meilleure germination et une bonne croissance des cultures, comme nous avons pu le constater avec les taux de levée dans les parcelles de zaï (86%). Le rendement relativement faible obtenu dans la demi-lune se justifie en partie par le faible taux de levée (44%) qui a pour cause principale l'excès des pluies et leur stagnation pendant longtemps dans l'ouvrage.

Cependant au Burkina Faso des rendements du sorgho plus élevés ont été obtenus sur le traitement avec la demi-lune comparé au Zaï (Zougmore *et al.*, 2004). Sur les rendements du niébé il semble très difficile d'apporter un jugement de valeur sur les résultats obtenus compte tenu de l'intervention de facteurs non contrôlables qui ont affecté les rendements de cette culture (tableau VI).

Les résultats des différentes techniques utilisées ont montré l'efficacité de Zaï et de Zaï + Demi-lune sur la réduction du ruissellement. Il y a eu moins de ruissèlement avec ces deux techniques. Ce qui confirme les résultats de Moustapha (2010) qui ont montré que le Zaï modifie la structure du sol par un stockage localisé des eaux de ruissellement contrairement aux terrains sans ouvrage et aux Demi-lunes qui sont à moitié ouvertes qui sont susceptibles au ruissellement. Dans cette étude le ruissellement a commencé dans les Zaï pendant le mois d'Août quand la quantité de pluie devient importante comparativement aux autres traitements ou le ruissellement a débuté avec les premières pluies.

L'analyse de stock d'eau dans la couche de 45 cm a montré une faible disponibilité avec le témoin par rapport aux autres traitements, et une légère supériorité de la demi-lune en début de saison. Dans l'ensemble, les différences entre les trois traitements (zaï, demi-lune et demi-lune+zaï) sont négligeables. Quand on regarde les résultats sur le rendement en grain du mil, le témoin qui a un faible stock d'eau disponible a donné un rendement supérieur aux autres suivis de la demi-lune + zaï. Le plus faible rendement est enregistré avec le traitement demi-lune. Ce qui veut dire que, le mil est une culture sahélienne n'a pas besoin de beaucoup d'eau pour donner un bon rendement, mais une pluie bien répartie dans l'espace et dans le temps.

Les résultats obtenus au niveau du niébé montrent qu'il n'y a pas une nette différence entre les traitements du début jusqu'à la fin du cycle. Mais la demi-lune a une tendance d'avoir plus de stock d'eau disponible que les autres traitements. Cela peut être dû au bourrelet placé en aval de la demi-lune et à sa hauteur, ainsi la quantité d'eau retenue y est plus importante que dans le zaï. Cependant on a constaté qu'il y a un risque d'engorgement plus important avec les demi-lunes qu'avec le zaï. L'arrêt de pluie survenue au stade de floraison a eu un effet négatif sur les rendements globaux des cultures notamment sur le rendement du mil même si par ailleurs le mil est une plante qui résiste au stress hydrique (Sivakumar, 1992).

Les résultats sur les caractéristiques du site utilisé ont montré que les caractéristiques du site utilisé sont typiques des sols dégradés qui sont acides et caractérisés par un faible niveau de matière organique et des éléments nutritifs pour le développement optimal de la plante (Bationo, 1998). La texture est limon-sableuse avec un pH-eau acide, et une faible teneur en carbone organique, en azote et en phosphore. En effet, selon Bationo *et al.* (1991), 8 mg/kg de P disponible sont nécessaires pour atteindre un rendement optimum chez le mil.

On constate une perte en terre par ruissellement plus élevée avec le témoin (terrain sans ouvrage) qu'avec les terrains avec ouvrages. Ce qui rend le sol pauvre en éléments nutritifs. Cette étude a montré que la quantité de terres perdues est faible pour le traitement zaï suivi du traitement zaï + Demi-lune mais élevée pour le témoin. Ces résultats confirment les travaux de Zougmore *et al.* (2009) sur l'évaluation des pertes en éléments nutritifs et en sol dans les techniques antiérosives qui ont montré une perte importante des éléments nutritifs et de sol en absence des techniques antiérosives.

Vu ses résultats de pertes en éléments nutritifs mentionnés ci-dessus et l'analyse faite sur la quantité d'eau ruisselée, nous pouvons conclure que la technique de zaï a été la plus efficace à comparer aux autres techniques utilisés.

Cela confirme les travaux de (Pichot *et al.*, 1981) ; Pierri,1986 ; Roose, 1989 ; Zombré, 2003). Ils montrent que le zaï améliore la structure du sol en rendant le sol plus meuble et en assurant aussi une bonne infiltration et le stockage d'eau. L'apport d'une quantité suffisante de la fumure organique augmente la production agricole. Selon Cissé (1988), l'application du fumier au champ améliore la fertilité du sol en réduisant le pH, le taux de l'Aluminium échangeable et augmente le nombre des bases échangeables.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'objectif principal de cette étude était d'améliorer la productivité des terres dégradées au Niger. Il ressort des résultats obtenus pour le mil que l'augmentation des rendements suit la tendance suivante : zaï + Demi-lune > zaï > Demi-lune. Nonobstant le rendement relativement plus élevé obtenu au niveau de zaï + Demi-lune (343 kg/ha), l'analyse statistique a montré qu'il n'existe pas de différence significative entre les différents ouvrages sur le rendement en grains du mil. La biomasse totale est plus élevée au niveau du traitement zaï avec 2250 kg/ha et la biomasse relativement faible est enregistrée au niveau de demi-lune (1467 kg/ha). La même tendance se maintient au niveau du rendement en tiges. Les demi-lunes suivies du zaï ont le rendement le plus élevé pour le niébé.

Le deuxième objectif de cette étude est d'évaluer l'efficacité des différentes techniques de collecte des eaux de ruissellement. Il ressort des résultats que la perte en eau et en terre est plus faible au niveau du traitement zaï + Demi-lune.

Le troisième objectif de cette étude est de déterminer la dynamique de stockage de l'eau par les traitements. Les résultats ont montré que le traitement sans ouvrage (témoin) a moins de stock durant toute la saison de pluie par rapport aux traitements avec ouvrage.

Le quatrième objectif est de tester les effets des traitements sur la perte des éléments nutritifs avec le ruissèlement d'eau et la perte en terre. Les paramètres pris en compte sont l'ammonium (NH_4^+), les ions nitrates (NO_3^-), l'Azote total (N), le Phosphore (P) assimilable et les ions potassium (K^+). Les pertes les plus élevées ont été enregistrées au niveau du témoin. La plus faible perte en nitrates et ammonium a été observée au niveau de zaï.

Il ressort que la technique de zaï est la meilleure technique en termes de réduction du ruissèlement et les pertes d'éléments nutritifs. La technique des demi-lunes combinées au zaï s'avère plus performante pour la conservation de l'humidité du sol. Cependant l'utilisation du zaï sera préférable pour le paysan car moins couteuse et réduit le temps de travail comparé à la combinaison zaï + Demi-lune.

Pour bien valider ces résultats, d'autres essais devront porter sur d'autres spéculations, testées sur plusieurs campagnes agricoles. Surtout quand on considère les résultats obtenus avec cette technique pour le mil, Il est nécessaire que :

- ✓ d'autres essais soient conduits sur deux ou trois ans pour en tirer des conclusions plus pertinentes.

- ✓ le niveau de pluviosité au-delà duquel ces techniques cessent d'être performantes, soit déterminé ;
- ✓ des variétés de cycles différents (hâtif et tardif) soient testées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- # **Adam T., 1987.** Contribution à la connaissance des maladies du Niébé au Niger avec mention spécial au *Macrophomina phaseolina*, 128p.
- # **Amadou M., Gandah M., Biolders C. L, and Van Duivenbooden N., 1999.** Optimizing Soil Water Use in Niger: Research, Development and Perspectives. pp. 143-164.
- # **Ambouta J.M.K., Bouzou M.I., 2004.** Expériences de récupération des sols sahéliens dégradés grâce à l'incorporation de doses variables de fumier et d'un hydro rétenteur fertilisant. *Sécheresse*, **15**(1), 49-55.
- # **Anonyme, 2002.** Mémento de l'agronome. Ministère française des affaires étrangères, Paris. 1691p.
- # **Bal A.B., 1999.** Les insectes et autres arthropodes nuisibles du niébé du sésame, de la canne à sucre et du cotonnier. Fascicule de cours, CRA ; Niamey, Niger, 33p.
- # **Barrios E., Kwesiga F., Buresh R.J., Sprent J.I., 1997.** Light fraction soil organic matter and available nitrogen following trees and maize. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **61**, 826-831.
- # **Barry B., Sonou M., 2003.** Best practices in rain fed agriculture in West Africa. In: Proceedings of the Symposium and Workshop on Water Conservation Technologies for Sustainable Dry land Agriculture in Sub-Saharan Africa, Bloemfontein, South Africa. ARC-Institute for Soil, Climate and Water, Pretoria, South Africa, pp. 60-74
- # **Bashir J., Buresh R.J., Place F.M. 1998.** Sesbania tree fallows on phosphorus-deficient sites: Maize yield and financial benefit. *Agron. J.*, **90**, 717-726.
- # **Bationo A. and Mokwunye, A. U., 1991:** Alleviating Soil Fertility Constraints to Increased Crop Production in West Africa - the Experience in the Sahel. *Fertilizer Research*, 29:95- 115.
- # **Bationo A., Hartemink A., Lungu O., Naimi M., Okoth P., Smaling E., Thiombiano L. (2006).** African Soils: their productivity and profitability of fertiliser use. Document de base présenté à l'occasion du Sommet africain sur les engrais, 9-13 juin 2006, Abuja, Nigeria.

- # **Bationo A., Lompo F., Koala S. 1998:** Research on Nutrient Flows and Balances in West Africa: State-of-the-Art. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 71:19–35.
- # **Blaikie P., Brookfield H., 1987.** Land Degradation and society. Methuin London, UK.pp.296.
- # **Bolozogola Y., 2004.** Système de production et évaluation des pratiques préférences paysannes pour des variétés de mil à l'Ouest du Niger. Mémoire de fin d'études pour l'obtention de D.E.S.S ; 89p.
- # **Breman H., Uitholp., 1986.** Projet de production primaire au Sahel: survol du Centre de recherches agrobiologiques (Cabo). Wageningen, 115p.
- # **Breman, H. (1998).** "Amélioration de la fertilité des sols en Afrique de l'Ouest: Contraintes et perspectives." In: G. Renard, A. Neef, K. Becker and M. von Oppen (eds). *Soil fertility management in West African land use systems*, pp. 7-20. Margraf Verlag, Weikersheim.
- # **CGIAR, 2001.** Cowpea (*Vigna unguiculata*). CGIAR online/CGIAR Research: Areas of Reasearch, <<http://www.cgiar.org/research/res-cowpea.html>>, washingtonDC.
- # **Critchley W.R.S., Mutunga K., 2003.** Local innovation in a global context: documenting farmer initiatives in land husbandry through WOCAT. *Land Degrad. Develop.* 14, 143–162.
- # **Dakio L., 2000.** Contribution à l'analyse des critères de durabilité du zaï dans le Yatenga: Effets du zaï sur le niveau organique et minéral des sols et sur les rendements du sorgho dans le Yatenga et le Zandoma. Mémoire de fin de cycle Institut du Développement Rural (IDR), Université Polytechnique Bobo-Dioulasso, B.F.96p.
- # **Diouf O., Brou Y.C., Diouf M., Sarr B., Eyletters M., Roy-Macauley H., Delhaye J.P., 2004.** Response of Pearl Millet to nitrogen as affected by water deficit. *Agronomy* 24, 77–84.
- # **Doro T.T., 1991.** La conservation des eaux et des sols au sahel: l'expérience de la province du Yatenga, Burkina. CILSS, Ouagadougou, B.F.73p.
- # **Falkenmark M., Fox P., Persson G., Rockstrom J., 2001.** Water Harvesting for
- # **FAOSTAT.** (Page consultée en août 2007) <<http://faostat.fao.org/faostat/collections?>

- # **Fatondji D., 2002.** Organic fertilizer decomposition, nutrient release and nutrient up take by millet crop in traditional land rehabilitation techniques (Zaï), in the Sahel. In: ZEF Ecology and Development Series No. 1, Cuvillier Verlag, Bonn ,Germany. 117p.
- # **Fatondji D., Martius C., Vlek P., 2001.** Zaï a traditional technique for land rehabilitation in Niger. ZEF news 8, 1-2
- # **Ganry F. and Cissé L. 1994.** L'amendement organique des sols sableux: Une assurance contre les préjudices de la sécheresse. Cas de Thilmakha (isohyète 300 mm). Bilan hydrique Agricole et sécheresse en Afrique tropicale. Ed. John Libbey Eurotext. Paris. pp. 263-272.
- # **Ganry F., Badiane A., 1998.** La valorisation agricole des fumiers et des composts en en Afrique soudano-sahélienne. Diagnostic et perspectives. Agriculture. et Développement. ; 18, pp 73-80.
- # **Golombek S., Al-Ramamneh E.A.-D., 2002.** Drought Tolerance Mechanisms of Pearl Millet. Challenges to Organic Farming and Sustainable Land Use in the Tropics and Subtropics. University of Kassel, Institute of Crop Science, Germany.
- # **Grimaud P., 1988.** Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire de Nouvelle-Calédonie (11), pp29-36.
- # **Hassan A., 1996.** Improved traditional planting pits in the Tahoua department, Niger. An example of rapid adoption by farmers. In sustaining the soil. Indigenous soil and water conservation in Africa, 56-61 (Eds C. Reij, I. Scoones and C. Toulmin). London: Earth scan.
- # **Henriet J., van Ek G.A., Blade S.F., Singh B.B., 1997.** Quantitative assessment of traditional cropping systems in the Sudan savanna of northern Nigeria. I. Rapid survey of prevalent cropping systems. Samaru J. Agric. Res. 14, 37-45.
- # **Henriet J., van Ek G.A., Blade S.F., Singh B.B., 1997.** Quantitative assessment of traditional cropping systems in the Sudan savanna of northern Nigeria. I. Rapid survey of prevalent cropping systems. Samaru J. Agric. Res. 14, 37-45.
- # **ICRISAT, 1987.** Soil, Crop and Water Management in the sudano-Sahélien Zone.
- # **IITA ,1982.** Le niébé. Manuel de formation. Série de manuels N° II, IITA, Ibadan, Nigéria, 155p.
- # **IITA., 2004.** Rapport annuel 2-3-4-p.

- ✠ **Jackai L.E.N.; Singh S.R., 1988.** Etude sur les techniques de criblage pour la résistance de la plant-hôte aux insectes nuisibles du niébé PP : 23-49 dans les légumineuses à graines (ed. Prof Y. Demarly), IFS, Madagascar, 1989.
- ✠ **Kaboré D., Reij C., 2004.** The emergence and spreading of an improved traditional soil and water conservation practice in Burkina Faso. International Food Policy Research Institute, Washington. [http://www.ifpri.org/pubs/workingpapers/eptdp114.pdf](#) (online).
- ✠ **Kabore V., 1995.** Amélioration de la production végétale des sols dégradés (Zipellé) du Burkina Faso par la technique des poquets (“zaï”). PhD Thesis. Lausanne, pp.1–242.
- ✠ **Kassogue A., Komota M., Sagara J., Schutgens F., 1996.** Traditional SWC techniques on the Dogon Plateau, Mali. In: Reij, C., Scoones, I., Toulmin, C., (Eds.), *Sustaining the Soil. Indigenous Soil and Water Conservation in Africa*, pp. 69–79.
- ✠ **Kato, M., 2001.** Intensive cultivation and environment use among the Matengo in Tanzania. *ASM* 22, 73–91.
- ✠ **Kolawale G.O., Tian G., Singh B.B., 2000.** Differential response of cowpea varieties to aluminum and phosphorus application. *J. Plant Nutr.* 23, 731–740.
- ✠ **Lal R., 1988.** Soil degradation and the future of agriculture in Sub Saharian Africa. *Soil and water conservation* 43,445-451.
- ✠ **Lawson T.L. and Sivakumar M.V.K., 1991.** Climatic constraints to crop production and fertilizer use. *Fertile. Res.* 29, 9-20.
- ✠ **Ludwig J.A., Wilcox B.P., Breshears D.D., Tongway D.J., Imeson A.C., 2005.** Vegetation patches and runoff-erosion as interacting ecohydrological processes in semiarid landscapes. *Ecology* 86, 288–297.
- ✠ **M.D.A., 2011.** La Direction des Statistiques, Ministère du Développement Agricole.
- ✠ **Mando A, Zougmore R, Zombré NP, Hien V., 2001.** Réhabilitation des sols dégradés dans les zones semi-arides de l'Afrique subsaharienne. In : Floret C, Pontanier R, eds. *La jachère en Afrique Tropicale; de la jachère naturelle à la jachère améliorée. Le point des connaissances.* Paris: John Libbey Eurotext: 311-39.
- ✠ **Mando A., 1997.** Effect of termites and mulch on the physical rehabilitation of structurally crusted soils in the Sahel. *Land degradation and development* 8:269-278.
- ✠ **Mara, 1996.** "Enquête nationale de statistiques agricoles E.N.S.A.1993: Rapport général." Direction des Statistiques Agro-pastorales, Ministère de l'Agriculture et des Ressources Animales, Ouagadougou, B.F.

- # Millenium Ecosystem Assessment (MEA). (2005). Living beyond our means, natural assets and humanwell-being, World Resources Institute, Washington, 20 p.
- # **Mortimore, M.J., Singh, B.B., Harris, F., Blade, S.B., 1997.** Cowpea in traditional cropping systems. In: Singh, B.B., Mohan Raj D.R., Dashiell, K., Jackai, L.E.N. (Eds.), *Advances in Cowpea Research*. Co-publication of International Institute of Tropical Agriculture (IITA) and Japan International Centre for Agricultural Sciences (JIRCAS), IITA, Ibadan, Nigeria, pp. 99–113.
- # **Moustapha, A.D., 2010.** Rapport sur les techniques de captage de l'eau des pluies au Niger. SEI (Stockholm Environment Institute), 29p.
- # **N'diaye M., 1999.** Gestion intégrée des légumineuses et autres cultures industrielles. Fascicule de cours ; Aout 1999, CRA ; Niamey, Niger, 52p.
- # **Nadimpalli B.G., Jarret R.L., Pathak S.C., Kochert G., 1992.** Phylogenetic relationships of pigeon pea (*Cajanus cajan*) based on nuclear restriction fragment length polymorphisms. *Genome*, **36**, 216-223.
- # **Nagaz K., Masmoudi M.M., Mechila N.B., 2009.** Yield and water use-efficiency of Pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) under deficit irrigation with saline water in arid conditions of Southern Tunisia. *J. Agron.* **3**, 9–17.
- # **Nene Y.L., Sheila V.K., 1990.** Pigeon pea: geography and importance. In *The Pigeon pea*. Nene Y.L., Hall S.D. and Sheila V.K. eds., CAB International, UK, pp. 1-14.
- # **Ngigi S.N., 2003.** Rainwater Harvesting for Improved Food Security: Promising Technologies in the Greater Horn of Africa. GHARP, KRA, Nairobi, Kenya.
- # **Niemeijer D. and Mazzucato V., 2001.** "Moving beyond indigenous soil taxonomies: Local theories of soils as an alternative way to use local soil knowledge for sustainable development." *Geoderma* submitted for publication.
- # **Niyonkuru D. N., 2002.** *La culture du pois cajan*. SAILD, Cameroun, 23 p.
- # **Nomao, 2004.** Le Tassa: Une technique de conservation des eaux et de sols bien adaptée aux conditions physiques et socio-économique des glacis des régions semi-arides (Niger).

- ✦ **Oldeman, L.R., Hakkeling, R.T.A., Sombroek, W.G. 1990.** World map of the status of human-induced soil degradation: An explanatory note, revised ed. Wageningen: International Soil Reference and Information Center. Nairobi: United Nation Enviroment Program.
- ✦ **Ouedraogo M., Kaboré V., 1996.** The “zai”: a traditional technique for the rehabilitation of degraded land in the Yatenga, Burkina Faso. In C Reij,I. Scoones, C. Toulmin (Eds.). *Sustaining the soil. Indigenous Soil and Water Conservation in Africa.* pp. 80–92.
- ✦ **Panda R.K., Behera S.K., Kashyap P.S., 2004.** Effective management of irrigation water for maize under stressed conditions. *Agric. Water Manage.* 66, 181–203.
- Passioura, J.B., 1983. Roots and drought resistance. *Agric. Water Manage* 7, 265–280.
- ✦ **Pichot J., Sédogo M. P., Poulain J.F., Arrivets J., 1981.** Evolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence de fumures minérales et organiques.36: 122-133.
- ✦ **Piéri C., 1989.** Fertilité des terres de savane. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Cirad, Ministère de la Coopération; Paris, France 444 p.
- ✦ **Prinz D., Oweis T., Oberle A., 1998.** Rainwater harvesting for dry land agriculture. Developing a methodology based on remote sensing and GIS. XIII. International Congress of Agricultural Engineering, Rabat, Morocco. ANAFID<http://digbib.ubka.uni-karlsruhe.de/volltexte/48798> (online).
- ✦ **Rajot J.L., Ribolzi O. & Thiebaut J.P., 2002.** Wind erosion in a small catchment of grazing area in northern Burkina Faso: influence of surface features. In: Lee J.A. & Zobeck T.M., eds. *Proceedings of the ICAR5/GCTE-SEN joint meeting, 22-25 July, Lubbock, Texas, USA.* Lubbock, Texas: International center for arid and semi arid lands studies, pp 185-190.
- ✦ **Reij C., Ians, Camillat, 1996.** Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique. Edition Karthala, CDCS et CTA, 351.
- ✦ **Rocafremi, 2002.** Sélection et Mise à Disposition des Paysans de Variétés et de Semences Appropriées. Des Résultats du Projet P1 : 1991-1996.
- ✦ **Rochette R.M., 1989.** Le Sahel en lutte contre la désertification: leçons d'expériences. CILSS-GTZ.592p.

- # **Rockstrom J., 2004.** Making the best of climatic variability: options for upgrading rain fed farming in water scarce regions. *Water Sci. Technol.* 49, 151–156.
- # **Romain H., 2001.** Agriculture en Afrique tropicale. Pp 368-382. Agriculture en Afrique tropicale. Direction Générale de la Coopération Internationale (D.G.C.I.) ; Ministère des affaires étrangères, du commerce extérieur et de la coopération internationale, Bruxelles, Belgique.1634p.
- # **Roose E., 1980.** Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Docteur ès Sciences, Orléans, 569 p.
- # **Roose E., 2004.** La gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols : une stratégie nouvelle de la lutte antiérosive pour le développement durable. *Sécheresse*, 15(1), 5-7.
- # **Roose E., Kaboré V., Guenat C., 1993.** Le zaï: Fonctionnement, limites et amélioration d'une pratique traditionnelle africaine de réhabilitation de la végétation et de la productivité des terres dégradées en régions soudano-sahéliennes (Burkina Faso). *Cah. Orstom, sér. Pédol.* 2, 159–173.
- # **Roose E., Kabore V., Guenat C., 1995.** Le zaï, une technique traditionnelle africaine de réhabilitation des terres dégradées de la région soudano-sahélienne (Burkina Faso) pp: 249-265. In: R. Pontanier, A. M'Hiri, N. Akrimi, J. Aronson, E. Le Floch'h. (eds). *L homme peut-il refaire ce qu'il a défait* John Libbey Eurotext, Paris.
- # **Roose E., Kaboré V., Guenat C., 1999.** Zaï practice: A West African traditional rehabilitating system for semi arid degraded lands, a case study in Burkina Faso. ORSTOM.16p.
- # **Roose E., Rodriguez L., 1990.** Aménagement de terroirs au Yatenga (Nord-Ouest du Burkina Faso): quatre années de gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols (GCES) bilan et perspectives. INERA, CIRAD-DSA, ORSTOM, Montpellier, 40p.
- # **Samba T., Minamba B., Birama S. C. et Adama C., 2004.** Amélioration de la gestion de la fertilité des sols et celle des cultures dans les zones sahéliennes de l'Afrique de l'Ouest: une condition sine qua none pour l'augmentation de la productivité et de la durabilité des systèmes de culture a base de mil.
- # **Sanchez P.A., 1976.** Properties and management of soils in the tropics. John Wiley and Sons, USA, 618p.
- # **Sanginga N., Lyasse O., Singh B.B., 2000.** Phosphorus use efficiency and nitrogen balance of cowpea breeding lines in a low P soil of the derived savanna zone in West Africa. *Plant Soil* 220, 119–128.

- # **Sawadogo H., 1995.** La lutte antiérosive dans la zone Nord Ouest du Burkina Faso; Cas des villages de Baszaïdo et Lankoé. IN.E.R.A. Réseau S.A.D.A.O.C. Burkina Faso. 22p.
- # **Sedego M.P., 1981.** Contribution à la valorisation des résidus culturaux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi- aride (Matière organique du sol et nutrition azotée des cultures). Thèse de Docteur-Ingénieur sciences agronomiques. Institut National Polytechnique de lorraine-Nancy, 198p.
- # **Sedogo M., 2006.** Aménagement participatif des forêts classées de Kuinima et de Kua. Rapport provisoire, BKF 007, 42p.
- # **Sedogo P.M., 1993.** Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture : incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de doctorat .Univ. Cocody. Cote d'Ivoire, 285 p.
- # **Seghatoleslami M.J., Kafi M., Majidi E., 2008.** Effect of deficit irrigation on yield, WUE and some morphological and phenological traits of three millet species. Pak. J. Bot. 40, 1555–1560.
- # **Siambi M., Omanga P.G.A., Songa W., 1992.** Status and needs of the national pigeon pea research program in Kenya. *Int. Pigeon pea Newslett.*, **16**, 31-36.
- # **Singh B.B., Cambliss O.L., Sharma B., 1997a.** Recent advances in cowpea breeding. In: Singh, B.B., Mohan Raj, D.R., Dashiell, K., Jackai, L.E.N. (Eds.), *Advances in Cowpea Research*. Co publication of International Institute of Tropical Agriculture (IITA) and Japan International Centre for Agricultural Sciences (JIRCASA), IITA, Ibadan, Nigeria, pp. 30–49.
- # **Singh B.R., Singh D.P., 1995.** Agronomic and physiological responses of sorghum, maize and pearl millet to irrigation. *Field Crops Res.* **42**, 57–67.
- # **Singh L., 1991.** Overview of pigeon pea improvement research: objectives, achievements and looking ahead in the African context. In: Laxman S, Silim SN, Ariyanayagam RP, Reddy MV (eds). *Proceedings of the first East and southern Africa regional legumes (Pigeon pea) workshop. 25-27 June 1990, Nairobi, Kenya.* pp. 5-6. East Africa Regional Cereals and Legumes (EARCAL) Program, International Crops Research for the Semi-Arid Tropics.

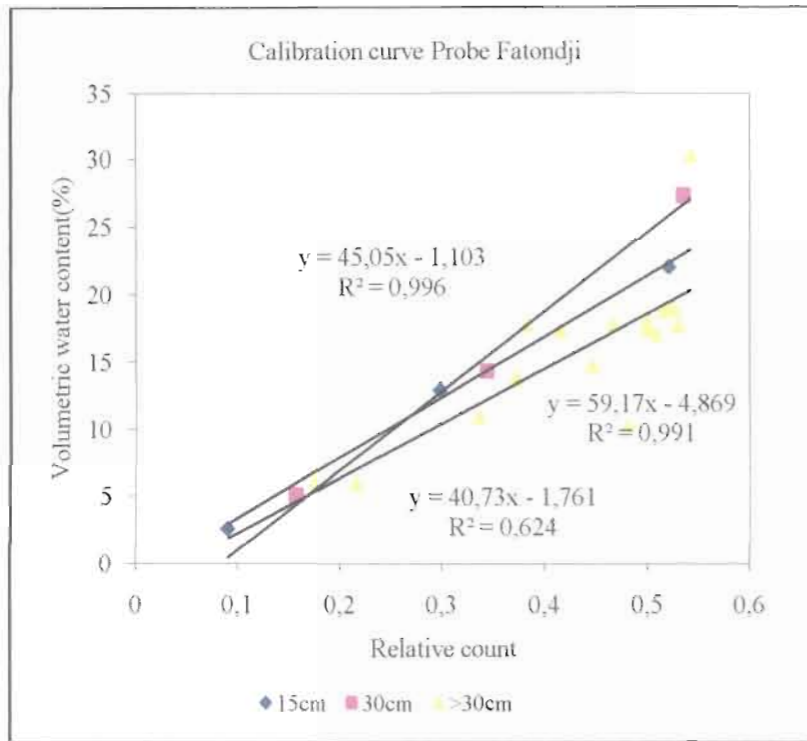
- # **Singh S.R.; Allen D .J. 1979.** Les insectes nuisibles et les maladies du niébé, Manuel n°2, IITA, Ibadan, Nigéria, 113p.
- # **Singh, B.B., Ajeigbe, H., Mohammed, S.G., van Gastel, A.J.G., 1997b.** Farmer to farmer diffusion of cowpea seed in northern Nigeria. In: Rohrbach, D.D., Bishaw, Z., van Gastel, S.J.G. (Eds.), *Alternative Strategies for Smallholder Seed Supply*. ICRISAT, Patancheru, India, pp. 180–187.
- # **Sivakumar M. V. K., 1992.** Empirical-Analysis of Dry Spells for Agricultural Applications in West Africa. *Journal of Climate*, 5:532–539.
- # **Sivakumar M. V. K., Salaam, S. A. 1999.** Effect of year and fertilizer on water-use efficiency of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) in Niger. *Journal of Agricultural*
- # **Sivakumar, M.V.K., Maidukia, A. and Stern, R.D.1993.** *Agroclimatology of West Africa: Niger. 2nd edition*. Information Bulletin 5. ICRISAT, Patancheru, A.P. 502324, India. pp. 116.
- # **Ssali H., Ahn PM and Mkwunye A.1985.** Fertility of soils of tropical Africa: a historical perspective. In *Management of nitrogen and phosphorus fertilizers in Sub-Saharan Africa*. Proceeding of Symposium held in Lomé, Togo. pp.59-82.
- # **Stroosnijder L., 2003.** Technologies for improving rain water use efficiency in semiarid Africa. In: *Proceedings of the Symposium and Workshop on Water Upgrading of Rainfed Agriculture. Problem Analysis and Research Needs*. SIWI
- # **Usman M.T., Reason C.J.C., 2004.** Dry spell frequencies and their variability over southern Africa. *Clim. Res.* 26, 199–211.
- # **Van den Marck E.J., 1999.** *A Model for the Optimization of Water Harvesting Schemes*. University of Twente, Enschede.
- # **Van Der Maesen L.J.G., 1986.** *Cajanus* DC and *Atylosia* W&A (Leguminosae). In *Agricultural University Papers 854*. Agricole University eds., Wageningen, p. 225.
- # **Van Der Maesen L.J.G., 1990.** Pigeon pea: origin, history, evolution, and taxonomy. In *The Pigeon pea*. Nene Y.H., Hall S.D., Sheila V.K. eds., CAB International UK, pp15-46.
- # **Van Der Maesen, L.J.G., 2006.** *Cajanus cajan (L.) Millsp* (page consultée le 16 octobre 2010) <http://www.prota4all.org/protaxonomy/Species/Cajanus_cajan.html>.
- # **Van Dijk J., Ahmed M.H., 1993.** Opportunities for expanding water harvesting in sub-Saharan Africa: the case of the teras of Kassala. *Gatekeeper Ser.* 40, 1–18.

- ✦ **Van Ek G.A., Henriët J., Blade S.F., Singh B.B., 1997.** Quantitative assessment of traditional cropping systems in the Sudan savanna of northern Nigeria. II. Management and productivity of major cropping systems. *Samaru J. Agric. Res.* 14, 47–60.
- ✦ **Van Oosterom E.J., Bidinger F.R., Weltzien E.R., 2003.** A yield architecture framework to explain adaptation of pearl millet to environmental stress. *Field Crops Res.* 80, 33–56.
- ✦ **Wakindiki I.I.C., Ben-Hur M., 2004.** Indigenous soil and water conservation techniques: effects on runoff, erosion, and crop yields under semi-arid conditions. *Aust. J. Soil Res.* 40, 367–379.
- ✦ **Walkley A. & Black I.A., 1934.** An examination method of the detjareff and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
- ✦ **Wildemeersh J.C.J., Timmerman E., Sabiou M., Ibro G., Garba M., amel cornelis, W., 2013.** Addressing the constraints to adopte water and soil conservation techniques in Tillaberi, Niger.
- ✦ **Winkel T., Payne W., Renno, J.F., 2001.** Ontogeny modified the effect of water stress on stomata control, leaf area duration and biomass partitioning of *Pennisetum glaucum*. *New Phytol.* 149, 71–82.
- ✦ **Winkel T., Renno J.F., Payne W.A., 1997.** Effect of the timing of water deficit on growth, phenology and yield of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) (L.) R.Br.) grown in Sahelian conditions. *J. Exp. Bot.* 48, 1001–1009.
- ✦ **Yadav O.P., Bhatnagar S.K., 2001.** Evaluation of indices for identification of pearl millet cultivars adapted to stress and non-stress conditions. *Field Crops Res.* 10, 201–208.
- ✦ **Zegada-Lizarazu W., Iijima M., 2005.** Deep root water uptake ability and water use efficiency of pearl millet in comparison to other millet species. *Plant Prod. Sci.* 8, 454–460.
- ✦ **Zombré P., 2003.** Les sols très dégradés «zipella» du Centre-Nord du Burkina Faso: Dynamique, caractéristiques morpho bio-pédologiques et impacts des techniques de restauration sur leur productivité, Université de Ouagadougou, doctorat d'Etat Sciences naturelles.
- ✦ **Zougmoré R., Guillobez S., Kambou N.F., Song., 2000.** Run off and sorghum performance as affected by the spacing of stone lines in the semi arid Sahelian zone .*Soil & Tillage Research* 56; 175-183.

- # **Zougmore R., Zida Z., Kamboua N.F., 2003.** Role of nutrient amendments in the success of half-moon soil and water conservation practice in semiarid Burkina Faso. *Soil Tillage Res.* 71, 143–149.

ANNEXES

Annexe 1: Calibration de la sonde 2012



Annexe 1: Opérations culturales effectuées au cours de la campagne

Opérations culturales(2013)	Mil	Niébé	Pois d'Angole
Creusage de ZAI/DL	03/2013	03/2013	03/2013
Application fumier	17/05/2013	17/05/2013	17/05/2013
Date de semi	02/07/2013	20/07/2013	20/07/2013
Date de résemi	20/07/2013	29/07/2013	29/07/2013
Densité de semis	0.80cmX 0.80cm(plt/ha)	0.80cm X 0.80cm	0.80cm X 0.80cm
Sarclages	12/08/2013 et 28/08/2013	12/08/2013 et 28/08/2013	12/08/2013 et 28/08/2013
Démariage	24/07/2013(3plts/poquets).		
Traitements insecticides		23 /08 /2013 et 06 :09 :2013	23 /08 /2013 et 06 :09 :2013
Récolte (Mil) et Ramassages des gousses (Niébé).	07/10/13	30/09/13 et 07/10/13	

Annexe 2: Caractéristiques du matériel végétal utilisé

Annexe 3 a): Caractéristiques de la variété du mil ICMV IS 89305 (variété améliorée obtenue en 1989).

Origine	Caractéristiques de la plante.	Caractéristiques graines.	Rendements	Recommandation	Sensibilité
Croisement ¾HKB-78, Sounna-3 et CIVT.	-Floraison : 70j -Maturité 95 à 100j -Taille /Plte : 250cm -Talles/Plte : 4 -Longueur Epis : 55cm -Circonf : 9cm -Compacité : compacte	-Couleur : brun- jaunâtre -Forme : Obovale -Poids de mille grs : 10g	-Grain : 2t/ha -Matière sèche : 6.5t /ha -Indice de récolte : 27%	-Aire de culture : 450 à 800mm, sols sableux ou semi argileux -semis : début à mi-juin -écartement entre poquets : 1x0.6m -démariage à trois plts/Poquet	-Foreur de tige : Tolérante -Chenille de l'épi : sensible -Mildiou : Résistante

Annexe 3 b) : Caractéristiques de la variété du niébé TN5-78 (variété améliorée)

Variété	nbre jrs à 50% émergence	1ere floraison jrs	50%florais on jrs	1ere maturité jrs	50%matu- té jrs	long branche cm	1ere gousse jrs	% décorticage	rend gousse kg/ha	rend graines kg/ha	Rend fane kg/ha
TN 5-78	11	40	43	59	65	55	42	80	849.72	677.67	1161.10

Annexe 3 c) : Caractéristiques de la variété du pois d'angole ICPL 88039 (variété précoce)

Variété	nbre-jours floraison	Nbre-jours maturation	Hauteur (cm)	Diameter (cm)
ICPL 88039	58	85	140	77

Annexe 3: Analyse de variance sur le niébé

Analysis of variance

Variate: Grain_kg_ha

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Blocks stratum	3	137958.	45986.	1.69	
Blocks.*Units* stratum					
Gestion_du_sol	3	167915.	55972.	2.05	0.177
Residual	9	245189.	27243.		
Total	15	551062.			

Analysis of variance

Variate: biomasse_total

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Blocks stratum	3	318837.	106279.	0.94	
Blocks.*Units* stratum					
Gestion_du_sol	3	873383.	291128.	2.57	0.119
Residual	9	1020518.	113391.		
Total	15	2212739.			

Analysis of variance

Variate: Fannes_kg_ha

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Blocks stratum	3	57184.	19061.	0.43	
Blocks.*Units* stratum					
Gestion_du_sol	3	296029.	98676.	2.23	0.154
Residual	9	397820.	44202.		
Total	15	751033.			

Tables of means

Variate: Fannes_kg_ha

Grand mean 398.

Gestion_du_sol	1	2	3	4
	391.	622.	280.	298.

Analysis of variance

Variate: %_de_germination

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Blocks stratum	3	564.3	188.1	0.87	
Blocks.*Units* stratum					
Gestion_du_sol	3	3258.0	1086.0	5.04	0.026
Residual	9	1940.9	215.7		
Total	15	5763.2			

Annexe 5:

Photos montrant les types et stades de développement de cultures sur les différents types de gestion de sol.



Parcelle témoin mil



Parcelle témoin niébé



Parcelle témoin pois d'angole



Parcelle zai + mil



Niébé dans la demi-lune



Pois d'angole dans la demi-lune



Mil stade floraison



Niébé stade floraison et début fructification



Pois d'angole stade floraison

Séance de collecte des eaux et sols ruisselés par carré de ruissellement



1



2



3

Un carré de ruissellement inondé après une forte pluie

