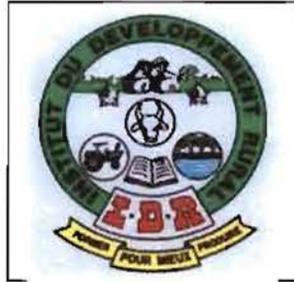


BURKINA FASO
Unité – Progrès – Justice

MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE ET
SUPERIEUR

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DEBOBO-DIOULASSO

INSTITUT DU DEVELOPPEMENTRURAL



MEMOIRE EN FIN DE CYCLE

en vue de l'obtention du

DIPLOME DE MASTER 2

OPTION : SCIENCE DU SOL

SPECIALITE : GESTION INTEGREE DE LA FERTILITE DES SOLS

THEME

**EFFETS DES AMENAGEMENTS EN COURBES DE NIVEAU SUR LE
RENDEMENT DU MIL ET DU SORGHO DANS LA COMMUNE RURALE DE
CINZANA, CERCLE DE SEGOU, AU MALI**

Présenté par : **Souleymane DEMBELE**

Directeur de mémoire : Dr. BACYE Bernard

Maître de stage : Dr. Kalifa TRAORE

N° /MASTER GIFS Février 2013

SOMMAIRE

AVANT PROPOS.....	iii
DEDICACE.....	iv
REMERCIEMENTS.....	v
LISTE DE TABLEAUX.....	vi
LISTE DE PHOTOS.....	vi
LISTE DE CARTES.....	vi
LISTE DE FIGURES.....	vi
RESUME.....	viii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
1.1. Présentation de la zone d'étude.....	3
1.1.1. Situation géographique.....	3
1.1.2. La population.....	3
1.1.3. Climat et sol.....	4
1.1.4. Situation pluviométrique dans la zone et des sites d'étude.....	4
1.1.5. L'hydrographie.....	6
1.1.6. Végétation.....	6
1.2. La dégradation des terres.....	6
1.2.1. Impact de l'érosion sur les terres.....	7
1.2.2. Quelques méthodes de conservation des eaux et des terres agricoles.....	8
1.2.2.1. Procédés culturaux.....	8
1.2.2.2. Procédés mécaniques :.....	11
1.3. Généralités sur le mil et le sorgho.....	12
1.3.1. Le sorgho: <i>Sorghum bicolor</i> L. moench.....	13
1.3.2. Le mil : <i>Pennisetum glaucum</i>	15

CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES	18
2.1. Matériel	18
2.1.1. Matériel végétal.....	18
2.1.2. Les engrais.....	18
2.2. Méthodes	18
2.2.1. Choix de sites	18
2.2.2. Caractérisation physique des sols des parcelles	19
2.2.3. Implantation et suivi des essais	19
2.2.4. Gestion des données	24
CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION	25
3.1. Résultats	25
3.1.1. Caractéristiques Physiques du sol des différentes parcelles.....	25
3.1.2. La dynamique de l'eau dans le sol	25
3.1.3. Effets des aménagements sur le rendement des cultures.....	30
3.2. Discussion	35
3.2.1. Effets des aménagements sur l'état hydrique du sol	35
3.2.2. Evolution du stock d'eau au cours de la campagne	36
3.2.3. Effets des aménagements sur le rendement des cultures.....	36
CONCLUSION SUGGESTIONS.....	39
BIBLIOGRAPHIE	40
ANNEXES	x

AVANT PROPOS

Ce mémoire a été réalisé au Centre Régional de la Recherche Agronomique de Sotuba au Mali, dans le cadre d'une spécialisation en Gestion Intégrée de la Fertilité du Sol en Afrique de l'Ouest. Il a été l'œuvre d'un financement du projet Alliance pour la Révolution verte en Afrique ou the Alliance for a Green Révolution in Africa (AGRA). AGRA est un projet régional qui finance les programmes de recherche et les formations dans le domaine de l'agriculture, en vue d'un développement durable de l'agriculture en Afrique. Dans son volet de formation, il existe plusieurs programmes dont, le programme santé du sol (soil health) qui renferme cette spécialité de Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols. Grâce à AGRA, beaucoup de jeunes se sont spécialisés des les différentes spécialités, afin de donner un nouvel élan à l'agriculture africaine. Cela me donne l'opportunité de remercier AGRA (avec tout son personnel et partenaires) pour toutes ses initiatives de formation des jeunes. Je réitère toute ma satisfaction et reconnaissance à ce projet.

DEDICACE

Je dédie ce mémoire à :

Mon père Feu Mory DEMBELE qui a tout fait pour moi avant que le destin ne l'arrache à mon affection. Que son âme repose en paix.

Ma mère Moussokoro DEMBELE qui m'a aussi tout donné et grâce à son soutien moral et ses bénédictions, j'arrive à réaliser mes objectifs de la vie:

REMERCIEMENTS

Je commence par rendre grâce à Allah le tout puissant de m`avoir accordé la vie et la santé de réaliser ce mémoire.

La réalisation de ce présent mémoire me donne l`opportunité de remercier :

- L`Alliance for a Green Révolution in Africa (AGRA) d`avoir initié ce programme de formation en santé du sol qui constitue un problème majeur dans le développement de l`agriculture ;
- L`Institut de Développement Rural de Bobo Dioulasso (IDR) qui n`a ménagé aucun effort pour mener à bien cette formation ;
- Les coordinateurs de ce Master Pr. Hassan Bismarck NACRO et Dr. Bernard BACYE pour leur engagement et détermination pour la réussite de ce master ;
- Le corps professoral de ce master pour la qualité de leur cours, particulièrement le Directeur de l`INRA Pr. François LOMPO pour ses conseils qui nous ont beaucoup servi ;
- Le Directeur du CRRA de Sotuba Dr. Abdoulaye HAMADOUN et le chef du Labo SEP Dr. Mamadou DOUMBIA pour avoir facilité la réalisation de ce mémoire ;
- Dr. Kalifa TRAORE qui, malgré ses occupations, a accepté m`encadrer et avec qui j`ai beaucoup appris ;
- Dr. Mamy SOUMARE pour son grand appui et son engagement dans la formation des jeunes chercheurs ;
- Mon épouse Aminata OUARTARA qui durant tout ce temps d`absence, s`est bien occupée de ma famille avec tant de patience. Elle m`a beaucoup soutenu ;
- Mr. Abdrahamane YOROTE, Dr. Harouna COULIBALY, Dr. Daouda SIDIBE, Mr. Mohamed TEKETE, Mr. Alassane SAMKE, pour leurs contributions;
- Les frères Sanoussi, Sada, Bamory, Abdoulaye, N`Diaye DEMBELLE et Mme DEMBELLE Anta OUOLOGUEME pour leur grand soutien tout au long de cette formation;
- Tout le personnel du Labo SEP pour leurs contributions ;
- Bréhima TRAORE, Mahamadi KANE, Mohamed DOUMBIA, Mamadou DIAKITTE, Sidi COULIBAY et Diakaridia SANOGO pour leur bonne collaboration sur le lieu du stage (Cinzana) ;
- Tous ceux qui de loin ou de près ont contribué à la réussite de ce travail.

Que Dieu vous bénisse tous

LISTE DE TABLEAUX

Tableau 1: Résultats d'analyses physiques du sol à la profondeur 0-40cm	25
Tableau 2 : Rendement moyen grain des espèces	31
Tableau 3 : Rendement moyen grain des variétés	32
Tableau 4 : Rendement moyen biomasse aérienne des variétés.....	33

LISTE DE PHOTOS

Photo1 : Une parcelle en mulch	9
Photo2 : Une parcelle en zaï.....	10
Photo3 : Parcelle en demi-lune.....	11
Photo 4: Parcelle aménagée en courbe de niveau.....	20

LISTE DE CARTES

Carte 1 : carte de terroir de la commune rurale de Cinzana (DEMBELLE, 2012)	3
---	---

LISTE DE FIGURES

Figure1 : Pluviométrie à la station de Cinzana et moyenne de 10ans	5
Figure 2 : pluviométrie décadaire de Dona, Sorobougou, N'Gakoro et Moussa wèrè	6
Figure 3 : plan de masse de l'essai de N'Gakoro	22
Figure 4 : Variation de l'humidité à la profondeur 0 - 60 cm à la date du 22 juillet.....	26
Figure 5: Variation de l'humidité à la profondeur 0-60 cm à la date du 07/09/2012.....	27
Figure 7 : Variation de l'humidité à la profondeur 0-60 cm à la date du 21/09/2012.....	28
Figure 8: Evolution du stock d'eau dans le temps sur une profondeur de 60 cm.	29
Figure9: Rendement grain des deux espèces mil et sorgho	31
Figure 10: Rendement grain des variétés de sorgho et mil dans 3 villages.	32
Figure 11 : Rendement biomasse aérienne des variétés	34

SIGLES ET ABREVIATIONS

ACN: Aménagements en Courbes de Niveau

AGRA: Alliance for a Green Revolution in Africa

AMEDD: Association Malienne d'Eveil au Développement Durable

AOPP : Association des Organisations paysannes Professionnelles
CCAFS: Climate Change, Agriculture and Food Security
CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CRRA : Centre Régional de Recherche Agronomique DGPC : Direction Générale de la Protection Civile
DNA : Direction Nationale de l'Agriculture,
DNAT : Direction Nationale de l'Administration Territoriale,
DNH : Directions Nationale de l'Hydraulique,
DNM : Direction Nationale de la météorologie,
DNPIA : Direction Nationale des Productions et Industries Animales,
DNSV : Direction Nationale des Services Vétérinaires,
FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FIDA : Fond International de Développement Agricole
ICRAF: International Centre for Research in Agroforestry
ICRISAT: International Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropics
IDR: Institut de Développement Rural
IER: Institut d'Economie Rurale,
JGCRC : Société Japonaise de Ressources Vertes
ONG : Organisations Non Gouvernementales
PANA : Plan D'Action Nationale D'Adaptation aux Changements Climatiques
USDA: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service
WCA: World Agro forestry Centre

RESUME

Les aménagements en courbes de niveau sont une des techniques de lutte contre la dégradation des terres limitant le ruissellement dans les parcelles. Ils ont donné des résultats encourageants dans la zone cotonnière du Mali (climat soudanien) sur la conservation des sols et des eaux de pluie, l'augmentation des rendements des cultures et de leurs réalisations faciles à moindre coût. Cependant, ces aménagements n'ont pas été évalués dans d'autres zones agro climatiques du Mali.

La présente étude a été effectuée dans le but d'évaluer les performances de ces aménagements sur les rendements du mil et du sorgho. Pour cela, des essais ont été conduits en milieu paysan dans la commune rurale de Cinzana (cerele de Ségou). Un dispositif expérimental en blocs dispersés à 4 répétitions a été réalisé. Chaque bloc est divisé en deux parties: une partie aménagée et une partie non aménagée ; 4 variétés ont été utilisées (2 variétés de mil et 2 variétés de sorgho).

Les paramètres mesurés ont concerné les caractéristiques hydriques du sol à profondeur de 60 cm et les rendements des cultures.

Les résultats montrent que l'humidité est plus élevée dans les parcelles aménagées que dans celles non aménagées avec une augmentation de 10,5% dans les parcelles aménagées. La différence d'humidité entre les deux parcelles (aménagée et non aménagée) augmente avec la profondeur. Les rendements grain des cultures ont été améliorés dans les aménagements, avec une augmentation de 19% pour sorgho et 59% pour le mil.

Les aménagements en courbes de niveau ont permis une amélioration de la capacité de rétention en eau du sol et une augmentation des rendements grain des cultures. Ils sont reproductibles car adaptés aussi aux zones agro climatiques sahéliennes. La promotion de ces aménagements, couplée à un choix judicieux des variétés permettra de réduire les effets du ruissellement et d'augmenter le niveau de production des agriculteurs.

Mots clés: Aménagements, courbes de niveau, rendement, humidité du sol, Sahel, sorgho, mil, Mali

ABSTRACT

Contour ridging is an arrangement technique used to reduce effect of land degradation by limiting runoff in farmer's fields. They gave encouraging results in the cotton zone of Mali (Sudanian climate) on the conservation of soil and rainwater, increasing the yield of main rain feed crops which are sorghum and millet. The cost to implement the technique is also low. However, these improvements have not been evaluated in other agro-climatic zones in Mali.

This study was conducted in the Sahel zone of the Cinzana commune (region of Segou) to evaluate the performance of these arrangements on millet and sorghum yields and, soil moisture. To this end, on-farm experiments were implemented in 3 villages. The experimental design was a randomized complete block design with 3 replications corresponding to 3 farmers from 3 villages (Moussawere, Sorobougou, and Ngakoro). Each block was divided into two parts: the first part was arranged in contour lines, and the second one was not arranged. In each part, four varieties were used (2 varieties of millet and 2 varieties of sorghum). The parameters measured were soil characteristics, soil humidity in 60 cm depth, and crop yields.

The results showed that soil moisture is higher in arranged plots than in non-arranged (10,5%) one and the difference between the two plots (arranged and non-arranged) increases with depth.

During the growing season, the stock of water in the arranged plot was higher than the non-arranged one.

Crops grain yields were improved in the arranged plots, with an increase of 19% to 59% for sorghum and millet.

Contour ridging allows an increase of soil moisture and crops yields. It's a reproducible and adapted technique in Sahelian agro-climatic zones. The extension of this technique coupled to a careful choice of improved varieties will help reducing the negative effects of runoff and increase crops production in farmer's field.

Keywords: Arrangements, contour line, yield, sorghum, millet, Sahel, soil moisture, Mali

INTRODUCTION

Le Mali, pays sahélien continental, situé en Afrique de l'Ouest, a une économie basée essentiellement sur l'agriculture, l'élevage et la pêche.

L'agriculture constitue la principale activité, aussi bien en matière d'emploi que de contribution à l'économie du pays. En effet, environ 75% de la population malienne vivent en milieu rural et l'agriculture représente environ 50% du Produit National Brut. L'économie malienne est donc fortement tributaire des performances du secteur agricole. Cependant, de nombreux agriculteurs pratiquent, en conditions strictement pluviales, une culture céréalière extensive coexistant avec un pastoralisme, également extensif (DIALLO et al, 2007).

Dans ces dernières décennies, le pays a été de plus en plus vulnérable aux aléas comme la sécheresse, les inondations, les vents violents et l'ensablement qui sont des effets des changements climatiques. Le secteur agricole est particulièrement sensible aux variations climatiques, aux périodes de longues sécheresses, et au glissement continu du désert vers le Sud (PANA ; 2007). La production céréalière rencontre de plus en plus des contraintes essentiellement d'ordre édaphiques et climatiques. Les facteurs édaphiques concernent la pauvreté des sols en éléments fertilisants (N et P), en matières organiques et l'acidité prononcée.

Dans le Sahel, l'irrégularité des pluies, la faiblesse des hauteurs recueillies, leur mauvaise répartition dans le temps et dans l'espace sont des facteurs qui limitent la production agricole (YANKINGUEM, 2012). Cette situation interpelle tous les acteurs du développement rural pour lever le défi de la sécurité alimentaire qui est d'augmenter la production agricole pour maintenir un taux d'autosuffisance en rapport avec l'importance de l'agriculture dans l'économie, de stabiliser cette production d'une année à l'autre en la rendant moins sensible aux aléas climatiques.

Pour cela, les stratégies pourraient reposer sur des techniques permettant de conjuguer le traitement de la fertilité des sols (éventuellement l'épandage d'engrais minéraux et organiques) et les mesures de conservation des eaux et du sol tels que le choix de spéculations, les cordons pierreux, les fascines le billonnage selon les courbes de niveau, les cultures en terrasses, les billons cloisonnés ou encore l'apport d'une couverture végétale au moyen du paillis. Les chercheurs en collaboration avec les producteurs se soucient de plus en plus, de chercher des voies et moyens pour développer des techniques participatives visant à atténuer les effets des changements climatiques sur la production agricole. C'est dans ce cadre que le projet Changement Climatique Agriculture et Sécurité Alimentaire (Climate Change,

Agriculture and Food Security (CCAFS)) intervient dans la région de Ségou dans le but de promouvoir une agriculture communautaire en harmonie avec le climat à travers la recherche-action participative. Pour répondre aux attentes des producteurs dans l'exécution du projet, des rencontres ont été organisées entre chercheurs, décideurs, producteurs et autres acteurs du développement. A la suite de ces échanges, les activités ont été programmées. Cette démarche, qui implique surtout les bénéficiaires, est très importante dans la réussite des projets. Parmi les différentes techniques disponibles de conservation des eaux et des sols, les aménagements en courbe de niveau et l'association jatropha- mil (agroforesterie) ont été retenues.

Notre travail a porté sur le thème « **Effets des aménagements en courbes de niveau sur le rendement du mil et du sorgho dans la commune rurale de Cinzana, cercle de Ségou** ».

L'objectif global de cette étude est de réduire les pertes d'eau de pluies par ruissellement dans les champs pour améliorer les rendements des cultures. Plus spécifiquement il s'agit de :

- évaluer les effets des aménagements en courbe de niveau sur le rendement des variétés de mil et sorgho, dans les conditions de culture des parcelles paysannes ;
- étudier la dynamique de l'eau dans le sol durant la campagne agricole;

✓ **Questions de recherche**

- L'aménagement en courbes de niveau permet-il dans la situation agro climatique du sahel d'augmenter le rendement des cultures ?
- L'aménagement en courbes de niveau permet-il une meilleure conservation des eaux de pluies ?

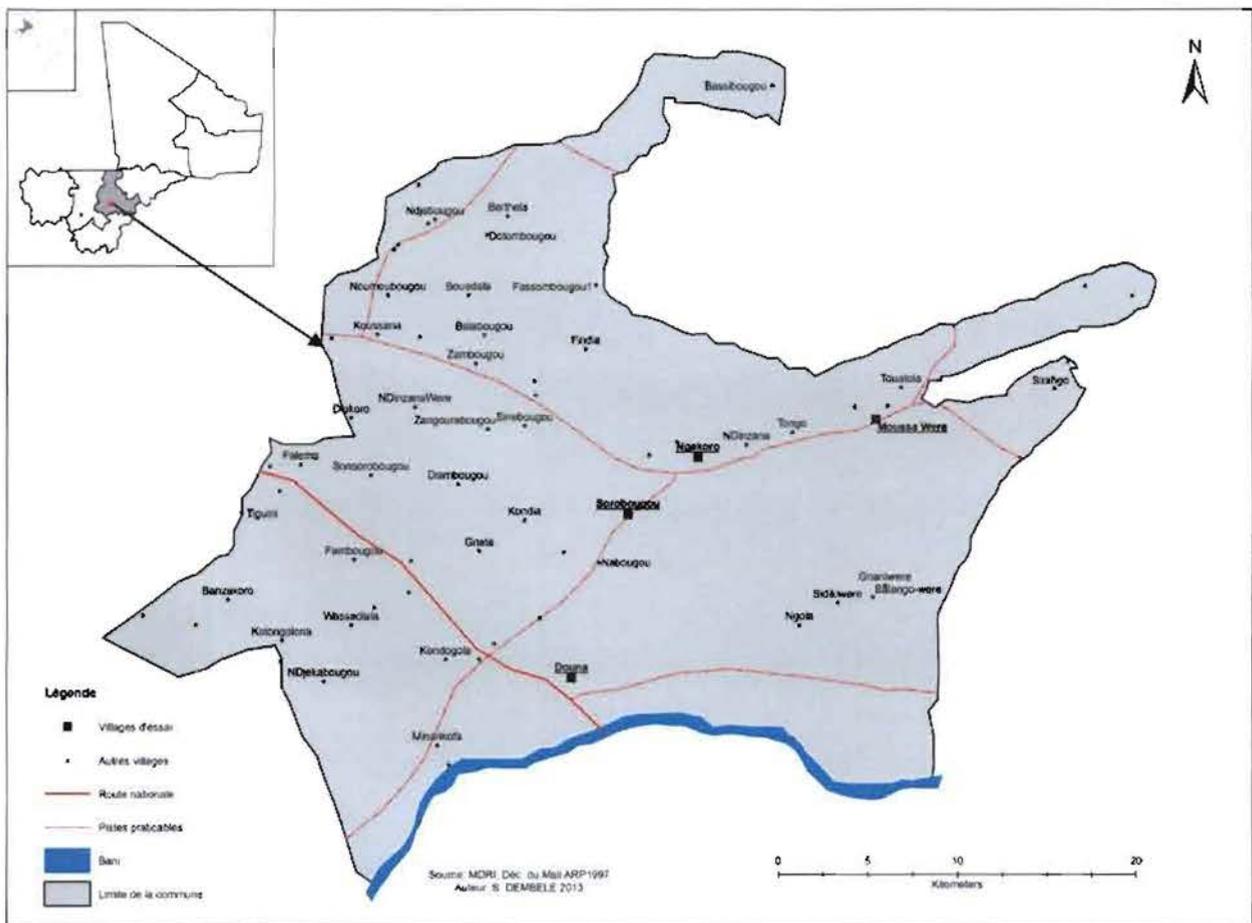
Le mémoire est présenté en trois parties : une première partie porte sur une synthèse bibliographique faisant le contour du sujet, une deuxième partie présente les méthodes et le matériel utilisés pour parvenir aux résultats et une troisième partie qui présente les résultats et discussions et ouvre des pistes de réflexion sur la gestion durable de la production des cultures après avoir conclu sur l'étude.

CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Présentation de la zone d'étude

1.1.1. Situation géographique

La commune de Cinzana, Traversée par la route nationale 6 (RN6), est située à la latitude 13°10 - 13°20 Nord et la longitude 5°55 - 6°00 Ouest avec une altitude de 280 m dans la région de Ségou, au centre du pays. Elle est à 37 km au sud-est de la ville de Ségou, limitée au nord par la commune de Boussin, au sud par le fleuve Bani qui la sépare de la commune de Touna, à l'ouest par les communes de Saminé, Sakoïba et Pelengana.



Carte 1 : carte de terroir de la commune rurale de Cinzana (DEMBELE, 2012)

1.1.2. La population

La commune rurale de Cinzana, composée de 72 villages, compte une population de 37 572 habitants dont 18 727 hommes et 18 844 femmes. Elle est composée en majorité de Bambara.

D'autres ethnies comme les Sarakolés, les Peulhs, les Bobos, les Somonons et les Mossis coexistent en parfaite harmonie.

La population, surtout sa frange jeune, est soumise à un vaste courant migratoire à destination de la capitale et de la Côte d'Ivoire.

La commune rurale de Cinzana enregistre la présence de certains organismes de développement rural, des projets et des ONG tels que : l'institut d'Economie rurale (IER) à travers la Station de recherche Agronomique, APSRU (ROCAMII, PGP), tièsiridjala . SDI.

1.1.3. Climat et sol

Du point de vue climatique, la commune de Cinzana est située sur la latitude 13°5'-13°20'Nord et 5°5'- 6°Ouest. ce qui en fait une zone semi - aride de type sahélien. La caractéristique essentielle est l'alternance d'une saison sèche longue de Novembre à Mai et d'une saison pluvieuse de Juin à Octobre. La moyenne annuelle des précipitations des dix dernières années est comprise entre 650 et 750 mm. Cette quantité mal répartie sur la période est insuffisante pour les besoins des cultures ce qui justifie largement les années successives de mauvaise récolte.

La température moyenne annuelle est de 28°C avec des extrêmes variant entre 22°C en janvier et 33°C en mai. L'évapotranspiration varie annuellement de 2 500 à 2 750 mm.

Les sols sont de types ferrugineux tropicaux, peu lessivés à lessivés et hydromorphes dans les zones basses. Dans le cercle de Ségou, les sols sont composés comme suit : 36% de dunes dont 18% aplanies ; 27% sols hydromorphes faiblement ou non inondés ; 18% de sols de plaines ; 14% de terrain sur cuirasse latéritique (USAID, 2011).

1.1.4. Situation pluviométrique dans la zone et des sites d'étude

La pluviométrie d'une même zone diffère d'un village à un autre (la répartition dans l'espace), d'une période à une autre (répartition dans le temps) et d'une année à une autre (variabilité). Ainsi, les données pluviométriques de la station de Cinzana ont été prises comme référence, non seulement ces données sont fiables, mais également la station est entourée par les villages d'étude.

A la station, la pluviométrie annuelle 2012 a été de 937mm, 1143mm pour le village de Dona, 811mm pour le village de Sorobougou, 839mm pour le village de N'Gakoro et 874mm pour le village de Moussawere (figure 2). A Dona particulièrement, elle a été excédentaire atteignant la moyenne des zones humides (1000mm). Par rapport à la répartition dans le

temps, elle a été presque normale de juin à mi-septembre dans les villages de Sorobougou, N’Gakoro et Moussawere, et de juin à septembre à Dona. Cependant, il y a eu un excès d’eau à Dona de mi juillet à mi septembre. Les deuxièmes décades des mois de juin et septembre ont été déficitaires à Sorobougou. Les deux dernières décades du mois de septembre ont été déficitaires à N’Gakoro. Les décades 1, 3 du mois de juin, 2 du mois d’août et 3 du mois de septembre sont été déficitaires (figure 3).

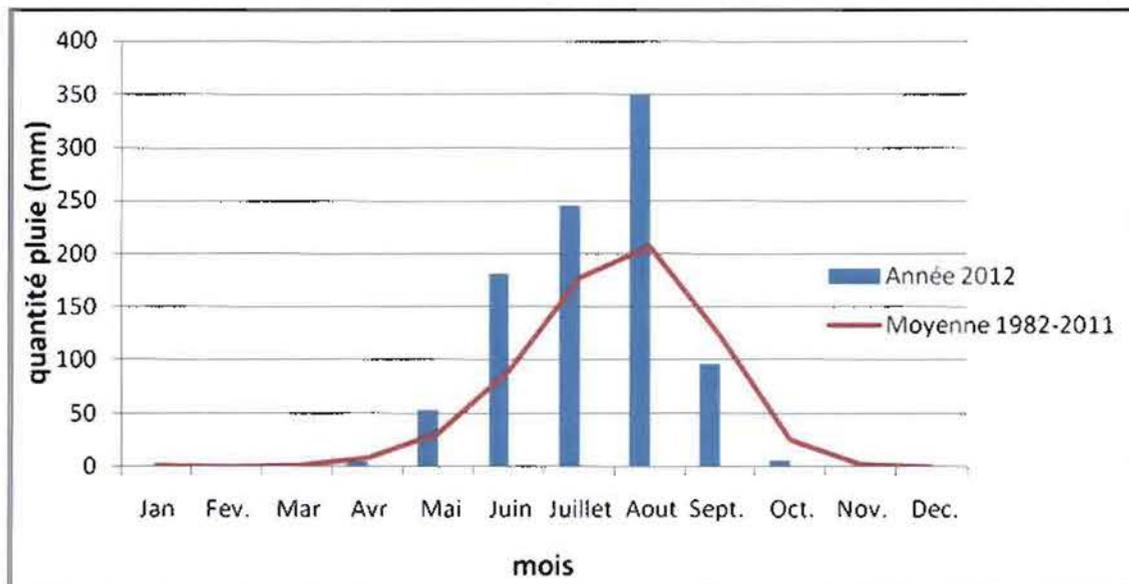


Figure1 : Pluviométrie à la station de Cinzana et moyenne de 10ans

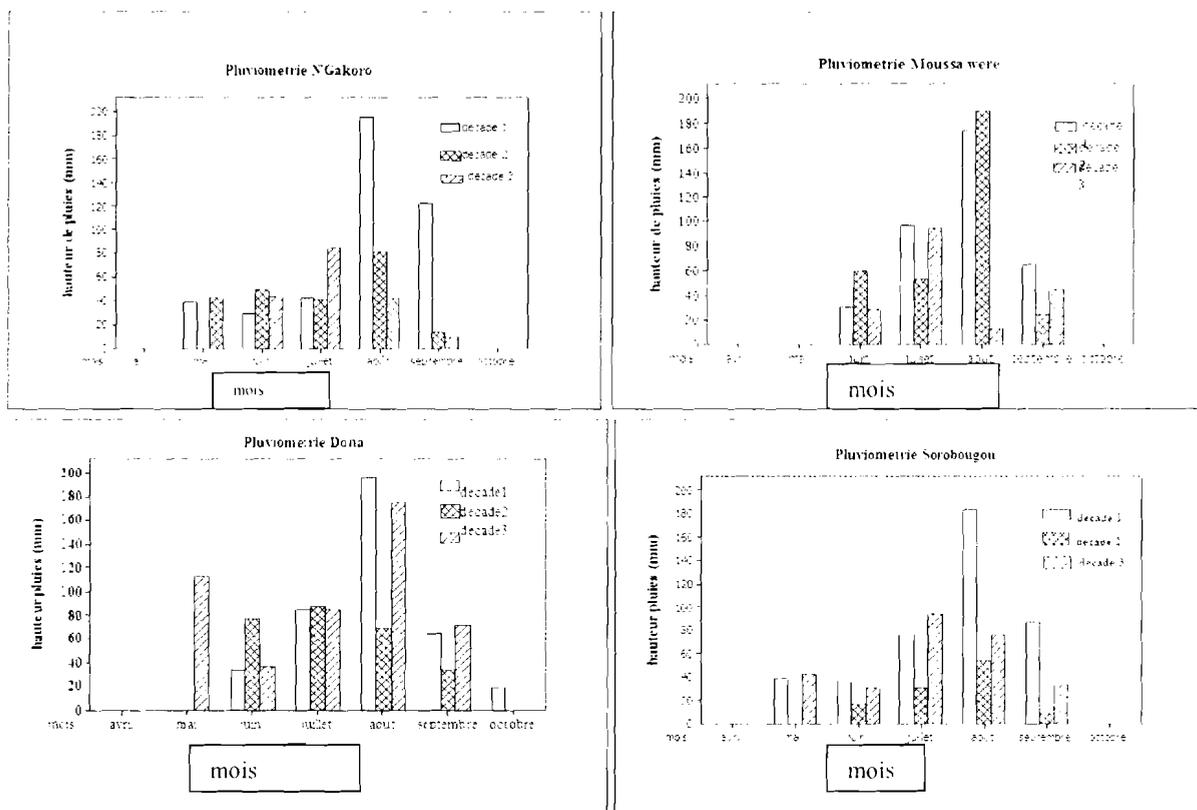


Figure 2 : pluviométrie décadaire de Dona, Sorobougou, N'Gakoro et Moussa wère

1.1.5. L'hydrographie

La situation hydrographique est dominée par la présence du fleuve Bani et de la rivière Koulandiè qui traverse une grande partie du terroir en direction du Bani. La rivière qui garde l'eau jusqu'au mois de janvier constitue le lieu d'abreuvement du bétail. Il y a également quelques petits cours d'eau temporaires (mares et bas-fonds) alimentés par les eaux de pluie et qui s'assèchent après l'hivernage généralement en novembre.

1.1.6. Végétation

La végétation est une savane dégradée faiblement arborée à l'exception des forêts classées protégées (l'ambougou, Douna). Les espèces ligneuses dominantes sont le Karité, Baobab, le Tamarinier, le Dattier du désert (USAID, 2011).

1.2. La dégradation des terres

Toutes les sociétés rencontrent des problèmes de dégradation du milieu par divers types d'érosion et ont tenté d'apporter des solutions par des stratégies traditionnelles adaptées aux pressions foncières (ROOSE, 2004). Cette dégradation des terres a beaucoup affecté la

production agricole à travers les pertes de terres, des eaux de pluie, amenant les acteurs du développement rural à développer des stratégies de lutte contre la dégradation des terres.

1.2.1. Impact de l'érosion sur les terres

Lorsque la force des précipitations excède la capacité d'absorption du sol, l'excès d'eau ruisselle à la surface et descend le long des pentes. Ce phénomène de transport du sol par le ruissellement est appelé érosion. L'érosion hydrique comprend deux processus : le détachement du sol et son transport. L'énergie nécessaire à ces processus provient des précipitations et du ruissellement (JGRC, 2001).

Dans la zone Soudano-Sahélienne d'Afrique occidentale, la plupart des sols sont encroûtés en surface et donnent naissance à un ruissellement superficiel, qui emporte sélectivement les matières organiques et les nutriments des horizons superficiels (ROOSI, 1989). La conséquence de ce phénomène est la dégradation des terres. La dégradation des terres se traduit par une modification de leurs caractéristiques physico-chimiques, ce qui déstabilise leur structure et modifie leur topographie et tous les systèmes de drainage des eaux. Dans les régions soudano-sahéliennes, la dégradation des états de surface, provoquée principalement par les activités de populations croissantes induit une augmentation du ruissellement, même si les pluies diminuent (MAHI et al., 2003). Pour évaluer les pertes de terres, une équation universelle a été établie appelée équation universelle des pertes en Terre (EUP) $A = R \times K \times LS \times C \times P$ (ROBERT et al., 2000)

A exprime les pertes de terre annuelles moyennes possibles à long terme en tonnes par ha par année.

R correspond au facteur de pluie et de ruissellement par secteur géographique

K représente le facteur d'érodibilité du sol

LS est le facteur de longueur et d'inclinaison de la pente.

C correspond au facteur de culture (végétation) et de gestion.

P correspond au facteur de pratique de conservation.

L'érosion est un problème dont la gravité varie beaucoup d'un site à un autre. Au Mali, les pertes annuelles moyennes en terres arables du fait de l'érosion sont de l'ordre de 6,5 tonnes/ha/an, variant de 1 tonne au Nord à plus de 10 tonnes au Sud (BISHOP et ALLEN, 1989).

Des chiffres bien plus dramatiques donnèrent l'alarme dans les pays tropicaux. COMBEAU (1977), rapporte que 4/5 des terres de Madagascar sont soumises à l'érosion accélérée; 45 %

de la surface de l'Algérie est affectée par l'érosion, soit 100 ha de terre arable perdus par jour de pluie (FAO, 1994).

KANWAR (1982), au congrès de l'Association Internationale des Sciences du Sol à New Delhi, a montré que sur 13.500 millions d'hectares de surface exondés dans le monde, 22 % sont cultivables et seulement 10 % sont actuellement cultivés (soit 1.500 millions d'ha). Ces dix dernières années, les pertes en terres cultivables ont augmenté jusqu'à atteindre 7 à 10 millions d'ha/an, suite à l'érosion, la salinisation ou l'urbanisation. A ce rythme, il faudrait trois siècles pour détruire toutes les terres cultivables (FAO, 1994). L'érosion est donc un problème sérieux à l'échelle mondiale.

1.2.2. Quelques méthodes de conservation des eaux et des terres agricoles

Pour assurer la conservation des terres agricoles, il est nécessaire de comprendre les phénomènes pour pouvoir agir de façon efficace.

Il existe aujourd'hui des exemples de réussite par l'application d'ensembles de techniques pour la conservation des eaux et des terres agricoles dans la région du Sahel. Cependant, nombre de ces actions sont limitées à l'apprentissage et non à l'application à cause de leur coût élevé ou à leur inadéquation aux conditions socio-économiques de certaines zones. Le choix des méthodes de conservation des eaux et des sols dépend de plusieurs facteurs comme la topographie, le type de sol, le type d'érosion, la pluviométrie, l'équipement etc.

Les méthodes et techniques d'aménagement les plus utilisées pour limiter au maximum les effets de l'érosion et la récupération des sols dégradés sont entre autres:

1.2.2.1. Procédés culturaux

Ils confèrent à la surface travaillée une configuration et structure qui freinent le ruissellement et favorisent l'infiltration.

➤ Le paillage (mulching)

Il consiste à étaler des résidus de culture ou des feuilles et branches d'arbustes sur la surface du sol. C'est une technologie introduite par la recherche basée essentiellement sur l'utilisation des résidus de culture. Elle vise la prévention de la dégradation des terres ainsi que la réhabilitation des terres dégradées à travers la protection du sol contre l'érosion éolienne et hydrique (LOMPO et OUEDRAOGO, 2009). Le paillage permet aussi d'apporter de la matière organique au sol, de conserver l'humidité diminuant ainsi l'évaporation, de stimuler l'activité des termites de manière, à induire un ameublissement du sol et une augmentation de

sa porosité d'où une meilleure infiltration de l'eau. La contrainte de l'utilisation de cette méthode est la compétition pour les résidus de récolte (aliment bétail, matériel de compostage, bois de chauffe) (ROOSE, 1989) et est inadéquate en cas de semis avec le rayonnage des lignes de semis (LOMPO et OUEDRAOGO, 2009).



Photo1 : Une parcelle en mulch

➤ Le billonnage

Le billonnage est une technique qui permet de conserver l'humidité dans le sol. Nous avons vu que le labour suivi d'un billonnage pouvait augmenter les risques d'érosion par le simple fait qu'il augmente la pente du terrain. Mais, si on oriente les billons perpendiculairement à la plus grande pente, ceux-ci peuvent stocker dans le sillon une quantité non négligeable d'eau et de matériaux sableux ou limoneux en suspension. Le billonnage est deux fois plus efficace que le simple labour, il réduit l'érosion à environ 30 % du témoin travaillé à plat pour des pentes de 1 à 8 %. Mais, l'efficacité du billonnage diminue lorsque la pente augmente (FAO, 1994).

C'est ainsi que le système de billonnage a été amélioré pour donner **des aménagements en courbe de niveau** qui consistent à réaliser dans la parcelle des ados de terre suivant les courbes de niveau, avec la charrue tractée par les bœufs, et à les conserver sous un enherbement permanent. Ces ados sont réalisés dans la parcelle perpendiculairement à la pente généralement à un écartement de 50 m mais, dépend du niveau de pente. Avec une grande parcelle et une dénivelé de pente égale à 80 cm, les ados sont espacés de 50 m. Les cultures sont réalisées sur des billons qui suivent ces courbes de niveau entre les ados (GIGOU et al., 1997).

Le billonnage cloisonné est aussi une pratique agronomique introduite par la recherche.

La technologie consiste à faire des levées de terre à différents intervalles dans l'interligne des billons. Il permet la conservation de l'eau dans des bassins de micro captage. La mise en œuvre de la technologie passe par :

- la réalisation des billons selon les courbes de niveau

- la réalisation des cloisons.

Elle vise à accroître le rendement des cultures par une meilleure rétention des eaux de pluies. Cependant cette technologie (billonnage cloisonné) a un effet négatif sur les rendements sur sols lourds (LOMPO et OUEDRAOGO, 2006)

➤ **Les cultures associées**

Les cultures associées sont un système de culture consistant à pratiquer avec chevauchement dans le temps et dans l'espace deux ou plusieurs cultures. Les cultures successives et les cultures intercalaires entrent dans cette catégorie. (ANDREWS et KASSAM, 1976 cités par FAO, 1989). On distingue plusieurs types de cultures associées dont, la plus simple consiste à cultiver en même temps deux cultivars d'une même espèce végétale en même temps. Il y a aussi la culture de deux ou plusieurs espèces végétales semées en même temps ou en différé. On peut également distinguer des cultures annuelles associées à des cultures pérennes (l'agroforesterie) où des céréales sont cultivées entre des rangées d'arbres permanents.

➤ **Le zaï**

Le zaï est une technique de culture traditionnelle au Burkina Faso et au Niger. C'est une technique qui consiste à creuser des trous d'un diamètre d'environ 30 cm entre les espaces de culture du mil, puis les remplir de nouveau en mélangeant 500 g de fumier à la terre. Les trous ne sont pas toutefois complètement remplis, mais seulement jusqu'à une profondeur d'environ 10 cm. L'excédent de terre est accumulé du côté le plus bas, pour contribuer à la capture du ruissellement (photo2). Il s'agit d'une forme de récolte de l'eau qui permet de concentrer l'eau aux endroits où le mil est cultivé, et d'éviter la perte du fumier par le ruissellement (JGRC, 2001). Cependant, il demande un travail intensif d'où son abandon dans plusieurs régions.



Photo2 : Une parcelle en zaï

➤ Les demi-lunes

La méthode des demi-lunes consiste en la récolte d'eau par la construction de diguettes de terre en forme de demi-lune et dont l'ouverture est orientée vers le haut de la pente (Photo 3). Dans une région dont la pluviométrie est d'environ 400 mm, on recommande un diamètre de 3 mètres, et une densité de 625 demi-lunes par hectare (espacements horizontal et vertical de 4 m) (JGRC, 2001). Il est préférable de mélanger du fumier au sol à l'intérieur de la demi-lune, pour y améliorer la condition du sol. Tout comme le zaï, la méthode des demi-lunes a pour avantage la possibilité de faire les travaux de manière individuelle. Mais, la méthode est consommatrice de main d'œuvres et généralement réalisée sur des plateaux durs demandant un sous solage. La réalisation de 313 demi-lunes a un coût estimé à 45.000 CFA correspondant à 80 hommes par jour à OURAMIZA au Niger (ROOSE, 1989). On peut aussi creuser des cuvettes de $3 \times 0,6 \times 0,6 = 1 \text{ m}^3$ drainant 10 m^2 au fond desquels on plante 1 ou 2 arbres



Photo3 : Parcelle en demi-lune

1.2.2.2. Procédés mécaniques :

Ils permettent le contrôle du ruissellement, et par conséquent de l'érosion, par la réduction ou la suppression de l'incidence de la pente.

➤ Les Cordons de pierres

La technique des cordons de pierres consiste à enfoncer environ du tiers des pierres ferreuses le long des courbes de niveau, avec pour résultats la diminution de la vitesse du ruissellement et la limitation des pertes en sol et en matières organiques. La combinaison des cordons avec le zaï permet d'obtenir de meilleurs résultats dans la conservation des eaux et des sols (JGRC, 2001). Les pierres ferreuses qui forment le matériau des cordons sont transportées des plateaux. La contrainte que représente le transport des pierres pour faire les cordons et la distance qui sépare le lieu de cueillette du lieu des travaux constitue un facteur limitatif.

➤ **Les diguettes en terre**

Les diguettes en terre sur les courbes de niveau sont formées par élévation puis par pilonnage du sol. Leur plus grand avantage est qu'elles ne nécessitent pas de transport de matériaux. Cette méthode permet une bonne conservation de l'humidité du sol aux alentours des diguettes, puisque le ruissellement s'y accumule. L'amont des diguettes ne convient pas pour la culture du mil, mais il est adéquat pour y planter des arbres qui consomment beaucoup d'eau. En aval des diguettes, la croissance du mil est excellente. Par ailleurs, à la différence des cordons de pierres, elles empêchent parfaitement le ruissellement. Par contre, les diguettes sont facilement détruites lorsque le ruissellement les déborde. Pour cette raison, il importe que les courbes de niveau soient bien mesurées et que le pilonnage soit effectué pendant la saison des pluies alors que le sol est humide. Du point de vue topographique, l'application de cette méthode n'est donc possible que dans les régions où le ruissellement en provenance de l'amont n'est pas considérable (JGRC, 2001). A long terme, on peut s'attendre à ce qu'elle permette le nivelage de la pente et la formation de terrasses.

Sur les terres planes telles que les plateaux, il faut espacer les diguettes de 20 à 50 mètres, et utiliser les espaces entre ces dernières comme zones de ruissellement pour la collecte des eaux. Quant aux versants, il est souhaitable d'espacer les diguettes de 15 mètres ou moins, en prévision de la formation de terrasses.

1.3. Généralités sur le mil et le sorgho

Le sorgho est la cinquième plus importante céréale dans le monde, qu'il s'agisse du volume de la production ou des superficies cultivées. Le mil se classe au septième rang (FAO/ICRISAT, 1997). Environ 90 pour-cent des superficies cultivées en sorgho et 95 pour-cent des superficies cultivées en mil se trouvent dans les pays en développement, surtout en Afrique et en Asie. Ces cultures sont généralement pratiquées dans un écosystème où la pluviométrie est faible, donc prédisposé à subir la sécheresse. Le sorgho est utilisé en alimentation humaine et animale, alors que le mil est presque exclusivement utilisé en alimentation humaine (FAO/ICRISAT, 1997).

Le sorgho et le mil sont d'une importance vitale dans le monde, car ils contribuent à l'alimentation des familles dans les régions les plus pauvres et où la sécurité alimentaire est la plus précaire. Dans les principales régions productrices d'Afrique et d'Asie, plus de 70 pour-cent du sorgho et 95 pour-cent du mil sont consommés par l'homme (FAO et ICRISAT 1997).

Les paysans qui y vivent n'espèrent souvent que produire suffisamment de grain pour satisfaire les besoins alimentaires de leurs familles.

1.3.1. Le sorgho: *Sorghum bicolor* L. moench

1.3.1.1. Origine et classification

Le sorgho originaire d'Afrique, est actuellement répandu dans toute la zone intertropicale et déborde largement dans la zone tempérée. Le sorgho appartient à la famille des Poacées, au tribut des Andropogonaceae, genre *Sorghum*, espèce bicolor. C'est une plante préférentiellement autogame, avec un nombre chromosomique de base : $2n = 20$ (PROTA, 2006). Cependant il existe des espèces sauvages tétraploïdes, rhizomateuses et pérennes (AHMADI et al., 2002). Il appartient à une grande variabilité génétique et morphologique. Près de 30000 variétés sont réunies dans la collection mondiale de sorgho à l'ICRISAT, en Inde. Cette variabilité génétique est mise à profit par les sélectionneurs pour améliorer les caractéristiques agronomiques, technologiques et nutritionnelles (CIRAD, 1996). La grande diversité morphologique du sorgho a conduit les botanistes à proposer diverses classifications du sorgho. La plus récente et la plus fonctionnelle est celle de Harlan et de Wet rapportée par CHANTEREAU et NICOU (1991). Elle regroupe le sorgho cultivé en cinq races principales et deux races intermédiaires en fonction des caractéristiques morphologiques du grain et de la panicule.

- La race bicolor : se retrouve dans toute l'Afrique, mais est surtout répandue en Asie : ce sont les sorghos aux caractères les plus primitifs ; la panicule est généralement lâche et le grain petit est entièrement couvert par des glumes. Les guinea sont les sorghos typiques d'Afrique de l'ouest ; la panicule est lâche et porte des épillets dont les glumes sont généralement baillantes renferment de grain elliptique. Ce sont des sorghos généralement de grande taille et photosensibles

- La race Kafir : est surtout répandue en Afrique du sud ; le grain est symétrique et les glumes de tailles variable ; la panicule est relativement compacte et cylindrique. Ce sont des sorghos de petite taille.

- La race Durra : se retrouve essentiellement en Afrique de l'Est, du Moyen orient et en Inde : la panicule très compacte est généralement portée par un pédoncule croisé ; les glumes sont petites collées sur un grain globuleux.

- La race Caudatum : est surtout cultivés en Afrique centrale et en Afrique de l'Est, elle est caractérisée par un grain dissymétrique, aplati sur la face ventrale, bombé sur la face dorsale ; la forme de la panicule peut être très variable.

Les dix races intermédiaires présentent des combinaisons de caractères empruntés à plusieurs races principales.

1.3.1.2. Caractéristiques de la plante

Le sorgho est une plante annuelle qui peut atteindre à maturité une hauteur de 5 m à talles unique ou multiples. Il est caractérisé par un système racinaire puissant concentré dans les 90 premiers centimètres et pouvant atteindre 1,5m dans le sol (PROTA, 2006), ce qui explique sa capacité à résister aux grandes périodes de sécheresse.

La plante présente une tige principale érigée, accompagnée de talles, dont le nombre varie en fonction des conditions de cultures et des caractéristiques variétales.

L'inflorescence est une panicule qui peut être lâche, ou dense et compacte.

La germination a lieu 3 à 4 jours après semis si le sol est chaud et humide (température supérieure à 20°C). L'initiation florale se produit généralement lorsque la plante atteint 50 à 60 cm, 30 à 40 jours après l'émergence. A cette période, la demande en eau est importante. Un stress hydrique au cours ou juste après l'initiation florale peut réduire la taille de la panicule et le nombre de fleurs. La culture est génétiquement adaptée aux agro écologies chaudes et sèches (AHMADI et al., 2002).

1.3.1.3. Répartition géographique

En Afrique occidentale et centrale, l'aire de culture du sorgho s'étend du désert du Sahara au Nord, jusqu'aux forêts équatoriales au Sud. En Afrique orientale et australe, il est produit dans les régions sèches, où les précipitations sont trop faibles pour permettre la culture du maïs.

Le Nigeria et le Soudan sont les deux principaux pays producteurs de sorgho en Afrique. Le sorgho s'étend donc sur une grande partie du continent africain et il est, dans plusieurs régions, une denrée alimentaire essentielle. En Asie, la production est beaucoup plus concentrée. Deux pays, la Chine et l'Inde, produisent ensemble 94 pour-cent de la production régionale.

En Amérique centrale et dans les Caraïbes, la culture du sorgho est concentrée au Mexique (90 pour-cent de la production régionale). En Amérique du Sud, elle est particulièrement

importante en Argentine (60 pour-cent de la production régionale) et présente dans des régions sèches du Brésil, du Nord de la Colombie et du Venezuela.

Les pays développés produisent près du tiers de la production mondiale de sorgho. En Amérique du Nord, le sorgho est cultivé dans les plaines du centre et du Sud des Etats-Unis, où la pluviométrie est faible et variable. Les Etats-Unis sont le premier pays producteur de sorgho au monde (plus de 25 pour-cent de la production mondiale). En Europe, le sorgho est cultivé localement en France, en Italie et en Espagne. En Océanie, l'Australie est le seul pays producteur important (AHMADI et al., 2002).

1.3.1.4. Production et utilisation du sorgho

Le sorgho est la cinquième plus importante céréale dans le monde, qu'il s'agisse du volume de la production ou des superficies cultivées (66 millions de tonnes et 44,5 millions d'hectares en 1992). Il vient après le Blé (557 millions de tonnes), le riz (521 millions de tonnes), le maïs (512 millions de tonnes) et l'orge (155 millions de tonnes). La production de sorgho en Afrique est de 14 millions de tonnes et arrive en deuxième rang après le maïs (CIRAD, 1996). Dans les pays développés, la totalité de la production en sorgho est consacrée à l'alimentation animale. Au contraire, dans les pays en développement, le sorgho constitue la base de l'alimentation humaine. Il est consommé traditionnellement sous forme de bouillie, galettes, beignets ou couscous, préparé à partir de farine ou semoule.

1.3.2. Le mil : *Pennisetum glaucum*

1.3.2.1. Origine et classification

Le continent Africain est considéré comme étant le centre d'origine du mil. Selon BILQUEZ et al. (1969), ce centre d'origine serait précisément dans la région du Haut Nil à partir de laquelle l'espèce aurait évolué vers l'ouest et l'est. Il fut introduit en Afrique Orientale et dans le sous-continent Indien il y a 2000 ans. Il existe une unanimité concernant la localisation du foyer de domestication mais, des controverses subsistent quant à la période (MURDOCK, 1969 ; MUNSON, (1972). BRUNKEN (1977) pense que l'espèce aurait été domestiquée dans le Sahara entre 2000 et 3000 ans avant Jésus Christ.

Les mils américains viendraient du Nigeria et du Ghana.

Le mil appartient à l'embranchement des Angiospermes, à la classe des Monocotylédones, à l'ordre des Cyperales, à la famille des Poaceae et au genre *Pennisetum*.

Il comprend plusieurs espèces cultivées et sauvages. Selon BILQUEZ et al. (1969), le mil appartient à la section *Pennicillaria*.

A partir des travaux de BRUNKEN et al. (1979), l'espèce *Pennisetum americanum* peut être divisée en trois sous espèces :

- *Pennisetum americanum* regroupant toutes les formes cultivées suivant la forme du grain ;
- *Pennisetum monodii* comprenant toutes les formes sauvages ;
- *Pennisetum sténostochym* correspondant aux formes intermédiaires toujours associées aux formes cultivées.

Quelques espèces rencontrées en Afrique occidentale sont :

- *Pennisetum nigritarum* qui est rencontrée au Sénégal et au Nigéria ;
- *Pennisetum pycnostachyum* qui est rencontrée au Sénégal, Guinée et Gambie ;
- *Pennisetum maiwa* rencontrée au nord Nigéria, et la région du lac Tchad ;
- *Pennisetum gambiense* rencontrée en Gambie, Guinée, Sénégal et le nord du Ghana ;
- *Pennisetum leonis* rencontrée en Guinée, Sierra Léone ;
- *Pennisetum. cinereum* qui se rencontre au Togo ;
- *Pennisetum. ancylochaete* rencontrée au Nord du Nigéria.

1.3.2.2. Caractéristiques de la plante

Le mil est une graminée érigée, à tallage relativement important et dont la taille varie entre 1 et 3 m, pouvant atteindre 4m. Les talles apparaissent environ 2 semaines après le semis. Les $\frac{1}{4}$ des talles sont productives. L'inflorescence chez le mil est un faux épi (ou chandelle). L'épi a une longueur comprise entre 10 cm à plus de 100 cm. Le système racinaire est de type fasciculé. Dès le stade de 2 à 3 feuilles, plusieurs couronnes de racines adventives apparaissent au niveau du collet dépassant rapidement en importance les racines initiales. En sol meuble et profond, les racines peuvent atteindre 3m. Cependant, 80% des racines sont localisées dans les 30 premiers cm (AHMADI et al., 2002). Il présente une grande allogamic, ce qui entraîne la multiplication des individus intermédiaires. La plante est sensible au photopériodisme excepté la variété souna. L'épiaison se fait 10 semaines après semis pour les variétés hâtives et 13 à 14 semaines pour les variétés tardives. Le mil présente une bonne tolérance à la sécheresse, à la faible fertilité des sols et aux températures élevées. Il est cultivé dans les zones où la pluviométrie est comprise entre 150 et 800 mm.

1.3.2.3. Répartition géographique et écologie

Le mil est la céréale la plus tolérante à la sécheresse. Il est cultivé en abondance en Afrique dans les zones sahéliennes des hémisphères nord et sud et c'est également en Afrique qu'on

rencontre en nombre important des espèces sauvages. Il est cultivé sur des sols légers (sablo argileux ou sablo limoneux) dans les régions où la pluviosité se situe entre 200 et 800 mm (CIRAD, 2002). En Afrique, 70% de la production provient de l'ouest du continent. Les principaux pays producteurs sont, par ordre d'importance: le Nigeria, le Niger, le Burkina, le Tchad, le Mali, la Mauritanie et le Sénégal. En Afrique de l'Est, le Soudan et l'Ouganda sont les plus gros producteurs. Le mil est aussi cultivé en Inde où il occupe la quatrième place après le riz, le blé et le sorgho.

1.3.2.4. Production et utilisation du mil

Dans le monde, les superficies cultivées en mil sont relativement stables depuis deux décennies, soit environ 38 millions d'hectares. La production mondiale du mil est actuellement d'environ 28 millions de tonnes et le rendement moyen de 0,75 t/ha. L'Afrique est la seule région du monde où la production du mil augmente, ayant passé de 8 millions de tonnes en 1979-81 à plus de 11 millions de tonnes en 1992-94 ((FAO/ICRISAT, 1997).

La consommation du mil par habitant varie grandement d'un pays à l'autre. Elle est plus élevée en Afrique, où il constitue une denrée de base essentielle dans les régions les plus sèches.

Le mil à chandelle ou mil penicillaire reste une culture alimentaire de base très importante dans les régions semi arides de l'Afrique et de l'Inde. Presque toute la production de mil est destinée à l'alimentation humaine. Il existe une multitude de produits alimentaires à base de mil généralement plus appréciés que ceux du sorgho. Le mil est décortiqué et réduit en farine ou semoule, consommé sous forme de bouillie, boule, pâte ou couscous.

Après les récoltes, les tiges sont utilisées dans la fabrication des cases, des greniers, dans l'alimentation du bétail et dans le compostage.

CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel

2.1.1. Matériel végétal

-V1 = **Sorgho (Jacumbè)** : le nom de sélection est CSM 63 E, cette variété a un cycle (semis - maturité) de 100jours. La taille moyenne de la plante est de 2 m, le poids moyen de 1000graines est de 21g. L'aire d'adaptation de la variété se situe entre 400 et 700 mm de pluies par an, sa productivité en station est 2t/ha.

-V2 = **Sorgho (Séguifa)** : le nom de sélection est MALISOR 92-1, son cycle (semis - maturité) est de 100jours. La taille moyenne de la plante est de 2m et le poids de 1000graines est de 30g. La variété s'adapte dans les zones de 400-700mm par an et sa productivité en station est de 3t/ha.

- V3 = **Mil Toroniou C1** : la variété a un cycle (semis - maturité) de 105 – 110 jours. La taille moyenne de la plante est comprise entre 2,5 et 3m et le poids de 1000graines est entre 9 et 10g. L'aire d'adaptation de la variété est les zones de 400 – 800mm de pluies par an et sa productivité à la station est de 1,5 à 2t/ha.

- V4 = **Mil Syn 0006** : la variété a un cycle (semis-50% floraison) de 80 jours, la taille moyenne de la plante est de 280 cm. Le poids de 1000 grains est de 10g et un rendement en Station de 2785kg/ha et en milieu paysan de 1950 kg/ha. L'aire d'adaptation se situe dans les zones sahéliennes et soudaniennes

2.1.2. Les engrais

Deux types d'engrais ont été utilisés : le complexe céréale (15-15-15) et l'urée (46%)

2.2. Méthodes

2.2.1. Choix de sites

Les essais ont été implantés dans la commune rurale de Cinzana Gare sur 3 sites : villages de Moussawèrè, Sorobougou et de N'gakoro.

Le choix des villages s'explique par la connaissance préalable de leurs terroirs et de leurs pratiques agricoles. Les paysans ont été choisis par rapport à leur motivation à participer aux travaux de recherche et la disponibilité en terres cultivables. Un paysan a été choisi par village.

2.2.2. Caractérisation physique des sols des parcelles

Des prélèvements de sol ont été faits dans chaque essai suivant un système diagonal, pour constituer des échantillons composites. Ces prélèvements n'ont concerné que les 40 premiers centimètres de profondeur pour caractériser les propriétés physiques du sol chez chaque paysan. Ces échantillons ont été analysés dans le laboratoire d'analyse du laboratoire Sol-Eau-Plante du CRRA de Sotuba. L'analyse a porté sur la granulométrie.

L'analyse granulométrie a pour but de donner la composition élémentaire du sol en classant les particules minérales constituant les agrégats dans un certain nombre de fraction et en dosant la quantité de particules appartenant à chacune d'elles.

Cette opération nécessite au préalable la destruction des agrégats par dispersion des colloïdes floculés. La dispersion est obtenue par la destruction de la matière organique collant les particules les unes aux autres, par addition d'une solution dispersante de pyrophosphate de sodium, et par agitation mécanique.

Les groupes de diamètre supérieur à 0.05 mm sont séparés à l'aide de tamis d'ouverture de mailles différentes, et pesés. Pour les particules de diamètre inférieur à 0.05 mm, les tamis ne sont plus efficaces. Leur séparation est basée sur la différence de dépôt dans l'eau des particules de diamètre différent.

2.2.3. Implantation et suivi des essais

2.2.3.1. L'aménagement en courbes de niveau des parcelles

Dans la commune de Cinzana, toutes les cultures des paysans sont en billons, soit les semis sont faits sur billons, soit les cultures sont buttées après un semis à plat. L'aménagement en courbe de niveau proposé est conçu à l'échelle du champ. L'eau qui ruisselle depuis l'amont doit être collectée dans un fossé à faible pente (0,3, 0,5%) et conduite vers un exutoire naturel. En raison des pentes, il suffit d'une petite bande enherbée de chaque côté de cet exutoire pour éviter le risque d'érosion. Les courbes de niveau sont piquetées directement dans le champ. L'agriculteur construit les ados de niveau suivant les piqués, en faisant 2 ou 3 passages aller-retour avec sa charrue à bœufs. Les ados sont couverts d'une végétation spontanée ou plantée (*Angropogon gayanus*) pour maintenir les courbes de niveau de façon permanente. Les agriculteurs font leurs cultures sur des billons, en suivant les ados permanents (photo 5).

Chaque sillon inter-billons devient un réservoir d'eau qui force une infiltration maximum des eaux de pluies. Les billons restent ouverts aux extrémités du champ afin que l'excès d'eau

puisse s'évacuer lentement. Les ados permettent aussi de marquer la courbe de niveau de façon permanente.

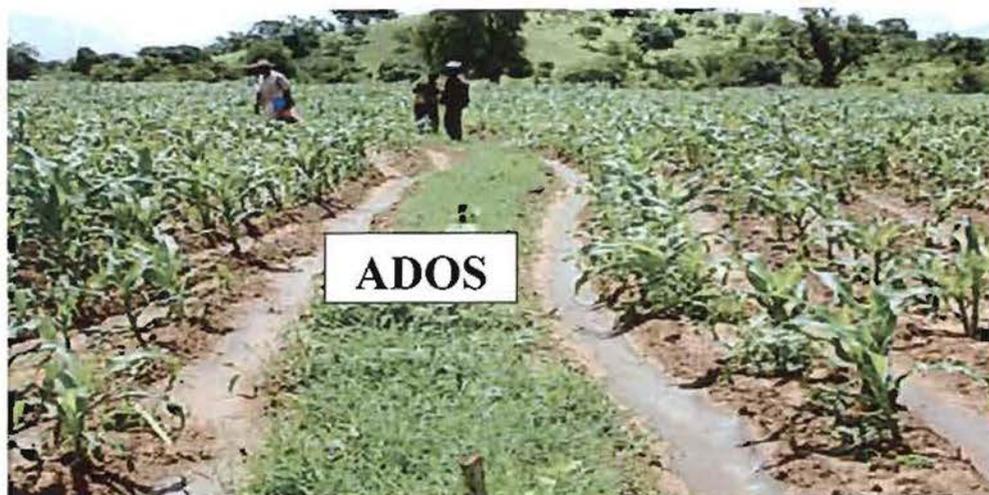


Photo 4: Parcelle aménagée en courbe de niveau

La réalisation de l'aménagement comprend 4 étapes principales :

- **diagnostic de situation** : une visite dans le champ, avec le paysan, permet de repérer les voies de ruissellement de l'eau et les problèmes d'érosion ou d'excès d'eau qui se posent. On propose alors un schéma global d'aménagement du champ comprenant : si nécessaire, un fossé de garde pour collecter les eaux venant de l'amont et un exutoire pour évacuer les eaux en excès ; puis les courbes de niveau en commençant à l'amont du champ. Le paysan peut choisir parmi les solutions possibles.

- **le Piquetage des courbes de niveau** : par définition, une courbe de niveau est la ligne joignant tous les points situés à la même altitude. Les courbes de niveau ont été réalisées à l'aide d'un niveau topographique. Elles sont réalisées perpendiculairement à la pente. Elles sont d'abord matérialisées par piquetage suivant des mesures topographiques (levée topographique). Le travail de piquetage doit être fait en fin de saison sèche, quand la végétation de l'année précédente a été récoltée ou rabattue, et assez tôt pour que l'on puisse utiliser les premières pluies pour réaliser les ouvrages sans retarder les travaux agricoles.

- **la réalisation des ouvrages** : Les ados sont faits avec une charrue à bœufs dès les premières pluies, afin de ne pas retarder les semis. Dès que cet ouvrage permet d'orienter sans ambiguïté les lignes de semis, l'aménagement peut fonctionner correctement. On laisse en général les herbes spontanées pousser sur cet ados de niveau. Les années suivantes, on préfère des plantes pérennes, par exemple *Andropogon gayanus* qui peut facilement être planté à partir de

souches sauvages. Des lignes de cailloux permettraient aussi de marquer les lignes de niveau, mais les paysans préfèrent les ados à la charrue à bœufs qui sont plus faciles et plus rapides à réaliser.



Photo 5 : réalisation d'un ados suivant la ligne de niveau

-Entretien : Dans presque tous les cas, il se produit des cassures dans les ouvrages, au moins la première année quand la terre fraîchement remuée est meuble. Les réparations sont d'autant plus faciles qu'elles sont faites rapidement.

Par contre, la parcelle non aménagée qui est travaillée selon les pratiques paysannes où ni des courbes de niveau, ni le sens de la pente n'est pris en compte. Le labour conventionnel, avec confection de billons, est pratiqué en début de saison (fin juin à mi-juillet). Il est généralement fait dans le sens de la pente, d'où des risques élevés de ruissellement et d'érosion des sols (DIALLO et al, 2007).

2.2.3.2. Dispositif expérimental

Dans chaque champ, il a été réalisé deux essais semblables : l'un dans la partie avec aménagement (A), et l'autre dans la partie sans aménagement (NA). Ces essais élémentaires sont des essais classiques, en blocs dispersés chez 3 paysans, évaluant les rendements de différentes spéculations. Chaque paysan constitue une répétition et représente un village donc, 3 villages (Sorobougou, NGakoro et Moussawèrè). Il s'agit des essais avec deux facteurs : variétés et aménagement.

Le facteur principale qui est l'aménagement est de 2 niveaux (aménagé et non aménagé) et le facteur secondaire qui est la variété est de 4 niveaux (les 4variétés) donc, 8 traitements par répétition.

Les variétés utilisées sont : le CSM63 ou Jacumbè (V1), le Séguifa (V2) qui sont des variétés de sorgho, le Toroniou C1(V3), et la Syn 0006 (V4) qui sont des variétés de mil.

Les parcelles élémentaires étaient de 4.2m soit 7 billons sur 10m de longueur, avec une superficie de 42m². Les écartements étaient de 50cm entre poquets et 70cm entre les lignes (50cm x 70cm). Une ligne de bordure a été laissée de part et d'autre de chaque parcelle élémentaire.

La parcelle utile était de 5 lignes de 10 m, soit 35m².

A titre d'illustration nous présenterons le plan de masse du village de N'Gakoro. Ceux des autres villages sont mentionnés en annexe.

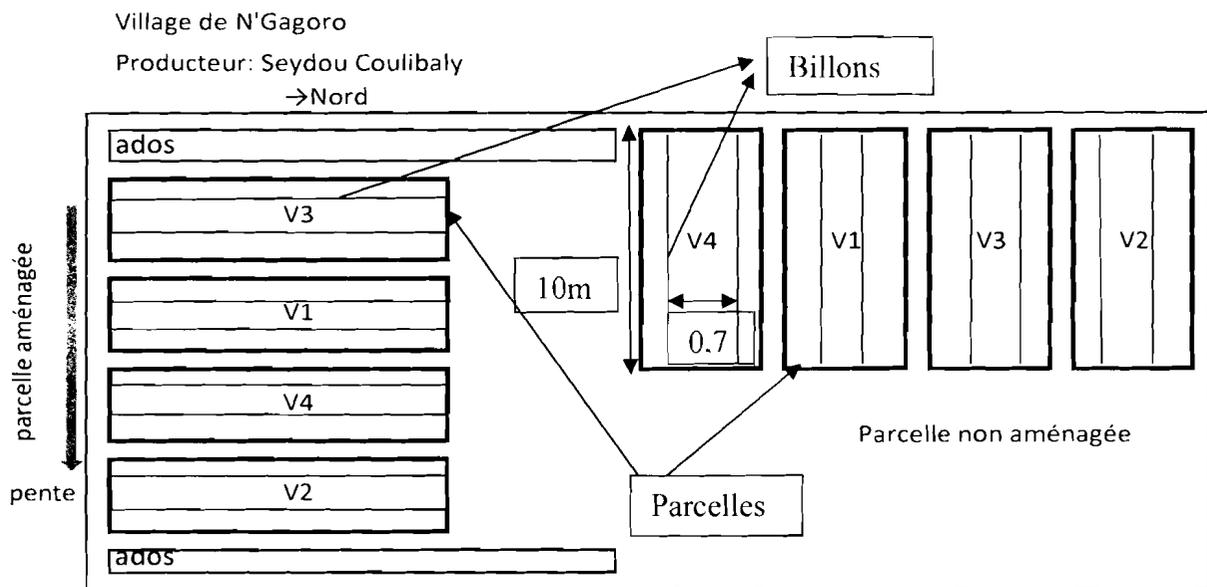


Figure 3 : plan de masse de l'essai de N'Gakoro

2.2.3.3. Fertilisation

Un apport d'engrais a été fait sur l'ensemble des parcelles. L'apport a été fait par microdose qui est en train d'être vulgarisé dans la zone. Deux types d'engrais ont été apportés :

- le complexe céréale (NPK) 15-15-15 en microdose comme le font d'habitude les paysans, 15 jours après semis. La dose est de 1.5 g/poquet. Il a constitué l'engrais de fond ;
- l'urée en microdose 30 jours après semis à la dose de 1.5 g/poquet.

2.2.3.4. Observations et mesures

Les mesures ont surtout porté sur les paramètres de rendement et de la dynamique de l'eau dans le sol.

➤ **Evaluation de rendement :**

Le rendement a été évalué dans la parcelle utile (35m²) puis, extrapolé à l'hectare. Il a concerné non seulement la production des cultures en grain, mais aussi en matière sèche (biomasse aérienne). Pour la production de cette biomasse, les tiges des cultures ont été

pesées 15 jours après la récolte. Les composantes directement concernées pour le calcul de rendement grain du sorgho et du mil sont:

- le poids moyen d'un grain,
- le nombre de grains par panicule,
- le nombre de panicules par unité de surface.

La formule suivante a été utilisée pour calculer le rendement:

$$\text{Rdmt grain} = \frac{\text{Nombre d'épis}}{\text{unité de surface}} \times \frac{\text{Nombre de grains}}{\text{Épis}} \times \text{Poids moyen d'un grain}$$

Le rendement est exprimé en $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

Ceci a conduit à la réalisation d'un certain nombre de mesures sur les variétés au moment et après la récolte :

- le comptage des panicules ;
- la pesée des panicules après séchage à l'air ;
- la pesée des grains après battage et vannage des panicules pleines
- le poids de 1000graines par parcelle utile ;
- la pesée des tiges après séchage à l'air pendant 15 jours, par parcelle utile.

➤ **Suivi de la Dynamique de l'humidité**

Pour mesurer l'humidité du sol, les prélèvements ont porté sur la profondeur 0-60 cm dans les deux parcelles. L'idée qui sous-tend cela, est que la profondeur la plus explorée par le mil et le sorgho se localise dans les 40 premiers centimètres du sol (CIRAD, 2004)

Pour suivre l'évolution de l'humidité et la comparer dans les deux parcelles (aménagée et non aménagée), des mesures régulières de l'humidité ont été faites par la méthode de la perte au feu (CIRAD, 2004). Cette méthode consiste à peser les échantillons de sol fraîchement prélevés dans la parcelle, à les mettre dans une étuve à 105°C pendant 24 h jusqu'à obtention d'un poids constant puis, les pesés. La différence de poids entre le poids humide et le poids sec constitue la réserve en eau de l'échantillon ou poids massique. Cette différence de poids divisée par le poids sec donne le poids pondéral (humidité pondérale) (JABIOL., 2001). Pour ce faire, trois profils ont été réalisés par parcelle à chaque date. Ces prélèvements ont été faits alternativement vers le haut, vers le bas ou vers le milieu de la parcelle, afin d'éviter que tous les échantillons d'une même date proviennent de la même situation. Une distance d'au moins 50 cm entre les prélèvements anciens et le nouveau prélèvement a été considérée. Le trou de tarière est bien refermé après le prélèvement pour éviter l'infiltration préférentielle. Les

prélèvements ont été effectués toutes les deux semaines, à partir du 22 juillet jusqu'au 23 décembre 2012. L'humidité pondérale et le stock d'eau ont été calculés.

- **Teneur en eau massique ou humidité pondérale (Hp)** : la teneur en eau massique appelée aussi pondérale (Hp) correspond au rapport entre la masse d'eau (Mw) contenue dans le sol et la masse du sol sec (Ms) où $Mw = \text{poids frais} - \text{poids sec}$ (BRUAND, 2005)

$$HP(\%) = \frac{\text{Poids frais} - \text{Poids sec}}{\text{poids sec}} * 100 \text{ ou } Hp(\%) = \frac{Mw}{Ms} * 100$$

- **Le stock d'eau** : le stock d'eau (S) s'exprime par le produit de l'humidité pondérale, de la densité apparente et de l'épaisseur du sol.

$$S_{(mm)} = Hp * Da * E * 10$$

Da : densité apparente

HP : humidité pondérale

E_(m) : épaisseur du sol

Des études en 2011 sur les mêmes types de sol et les mêmes types de travail du sol ont donné une moyenne de densité apparente de 1,5 que nous avons considérée dans le cadre de nos travaux. Cette densité apparente a la même valeur dans la parcelle aménagée et dans celle non aménagée, toutes deux ayant subi le billonnage et le buttage.

Un profil sec a été réalisé le 8 Avril 2012 pour servir de témoin à l'évolution de l'humidité dans les parcelles d'expérimentation au cours de la campagne agricole.

2.2.4. Gestion des données

Pour la gestion des données, nous avons utilisé trois logiciels. La saisie des données a été faite sous Excel 2007, les analyses statistiques des données dont la variance et le test de Student-Newman-Keuls au seuil de 5% ont été faites par Genstat (General statistic) et en fin, le logiciel MINITAB14. a été utilisé pour la production des graphiques.

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats

3.1.1. Caractéristiques Physiques du sol des différentes parcelles

Les résultats d'analyse des échantillons de sol des sites expérimentaux sont mentionnés dans le tableau 1.

Tableau 1: Résultats d'analyses physiques du sol à la profondeur 0-40cm

Villages	Sorobougou	N'Gakoro	Moussa Wèrè
Paysan	Soumaïla Tangara	Seydou Coulibaly	Arouna Dao
Sable % > 0.05mm	92	89	92
Limon % 0.05-0.002mm	4	9	4
Argile % < 0.002mm	4	2	4

Le sol de N'Gakoro est moins sableux avec une teneur en limons deux fois supérieure comparé aux autres sites où la teneur en sable était d'environ 90%. Les sols des sites d'étude sont de façon générale sableux.

3.1.2. La dynamique de l'eau dans le sol

3.1.2.1. Effet de l'aménagement sur l'état hydrique du sol à différentes dates

Le champ du village de Sorobougou a été choisi pour évaluer l'impact des aménagements sur la rétention en eau du sol. Le sol de ce champ étant le plus sableux et le plus pauvre en matière organique, représente les vraies caractéristiques de la majorité des sols de la zone.

Les figures 4, 5, 6 et 7 présentent la variation de l'humidité dans la profondeur 0 - 60 cm du sol.

Cette évaluation du taux d'humidité a été faite à 4 dates qui sont les 8 JAS, 53 JAS, 67 JAS et 86 JAS, correspondant à des périodes de début de la saison des pluies lorsque le profil est moins humide et des périodes d'humidité élevée, le profil étant largement humecté. Ces périodes gouvernent plusieurs stades de développement des cultures. Il s'agit :

- du stade semis- levée, où le manque d'humidité peut jouer défavorablement sur le taux de germination et la vigueur des plants ;
- du stade initiation paniculaire-floraison, où un stress hydrique peut jouer sur la taille des panicules et l'avortement des fleurs. SENE (1995) a montré que le stress hydrique pendant la phase gonflement- floraison provoque l'avortement des fleurs.

- du stade de remplissage - maturation physiologique des grains. Le stress hydrique à cette phase peut provoquer un mauvais remplissage des panicules, ce qui est confirmé par les résultats de SENE (1995) sur l'application du stress hydrique sur le sorgho.

✓ **La variation de l'humidité à la date du 07 juillet 2012**

La figure 4 présente la variation de l'humidité avec la profondeur à 8 JAS dans la parcelle aménagée et dans celle non aménagée

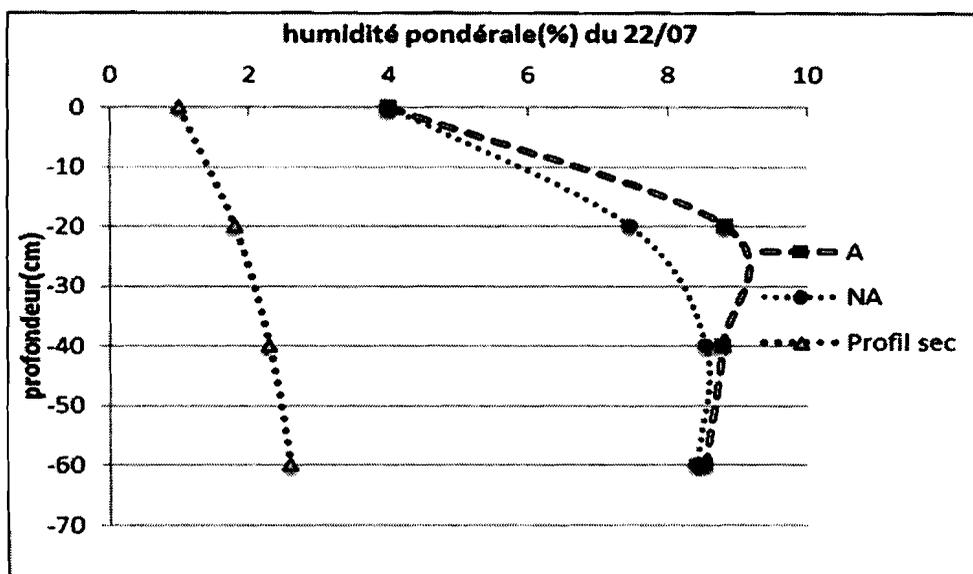


Figure 4 : Variation de l'humidité à la profondeur 0 - 60 cm à la date du 22 juillet

Ces résultats montrent que l'humidité du sol a augmenté de la profondeur 20 cm à la profondeur 40 cm, mais n'a pas varié de 40 cm à 60 cm. Par contre, au niveau de la parcelle aménagée, l'humidité a diminué avec la profondeur. Cependant, elle reste supérieure à celle dans la parcelle non aménagée quelque soit la profondeur, avec une différence importante dans la profondeur 20 cm (1,38%) et très faible dans les profondeurs 40 et 60 cm respectivement (0,24% et 0,12%), où les deux profils ont tendance à se confondre. Cette première mesure de l'humidité a été faite après la première pluie reçue après la réalisation des aménagements. L'eau retenue par l'aménagement n'avait pas encore eu le temps de s'infiltrer en profondeur jusqu'à créer une différence d'humidité dans les couches profondes entre les deux parcelles, l'humectation du profil se faisant graduellement vers les profondeurs.

Un profil réalisé sur sol sec a servi de témoin aux profils réalisés au cours de la campagne agricole. Malgré l'état sec du sol, nous assistons à une légère augmentation de l'humidité avec la profondeur. Ce qui explique que le sol renferme toujours un minimum d'humidité quelque soit la saison. Le plus faible taux d'humidité durant la campagne a été enregistré le 67^e JAS à la profondeur de 20cm (4, 58%), il est supérieur de 2,78% seulement à celui du profil de sol sec à la même profondeur.

✓ **La variation de l'humidité à la date du 07 Septembre 2012**

La figure 5 présente la variation de l'humidité avec la profondeur à 53 JAS dans la parcelle aménagée et dans celle non aménagée

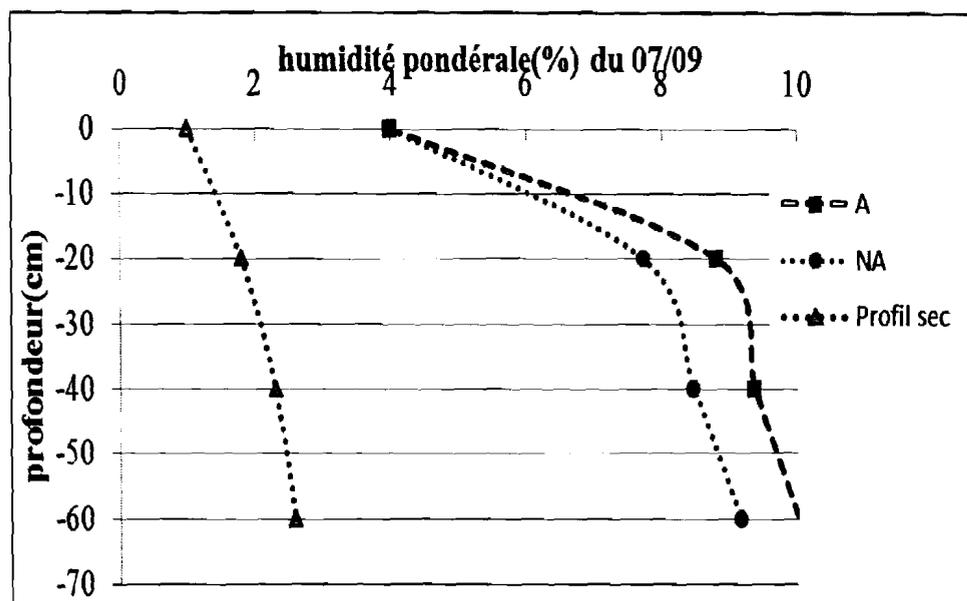


Figure 5: Variation de l'humidité à la profondeur 0-60 cm à la date du 07/09/2012

Les résultats de cette deuxième date de mesure montrent que l'humidité augmente avec la profondeur dans toutes les deux parcelles (aménagée et non aménagée). L'humidité est plus grande dans la parcelle aménagée que dans celle non aménagée quelque soit la profondeur. La différence de taux d'humidité entre les deux parcelles est importante au niveau de toutes les trois profondeurs avec une différence de 1,08% dans la profondeur 20cm, 0,89% dans la profondeur 40 cm et 0,86% dans la profondeur 60 cm. Ces résultats s'expliquent par le fait que l'eau a été mieux retenue dans la parcelle aménagée, avec le temps, elle s'est infiltrée, créant ainsi une différence d'humidité entre les deux parcelles.

✓ **La variation de l'humidité à la date du 21 Septembre 2012**

La figure 6 présente la variation de l'humidité avec la profondeur à 67 JAS dans la parcelle aménagée et dans celle non aménagée

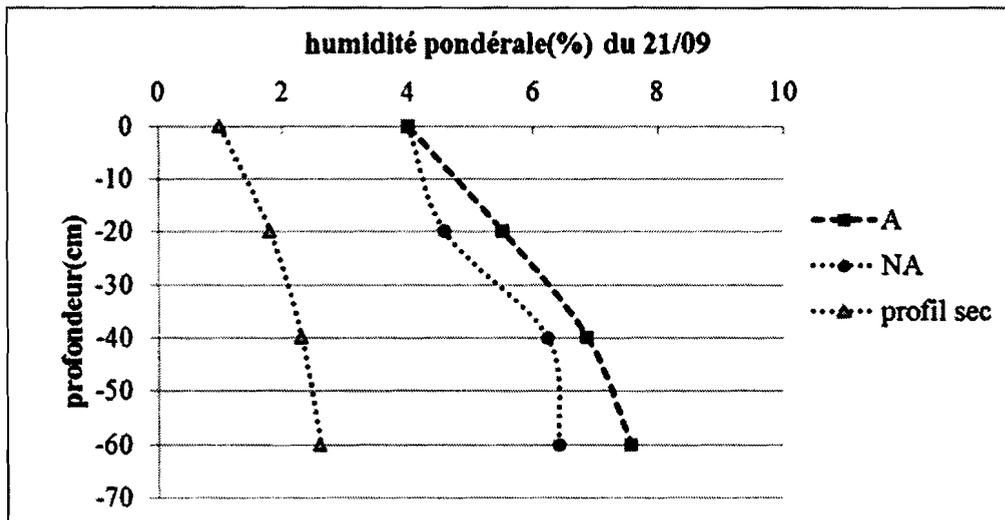


Figure 6 : Variation de l'humidité à la profondeur 0-60 cm à la date du 21/09/2012

Les résultats de la troisième date (67 JAS) montrent que la différence de taux d'humidité entre les deux parcelles augmente avec la profondeur mais, avec une différence moins importante à la profondeur 40 cm (0,65%) contre 0,93% à la profondeur 20 cm et 1,16% à la profondeur 60 cm. Ce qui explique une hétérogénéité de la parcelle non aménagée qui renfermerait des poches d'argile ou de matière organique, sachant que l'argile a une bonne capacité de rétention en eau.

✓ La variation de l'humidité à la date du 10 Octobre 2012

La figure 7 présente la variation de l'humidité avec la profondeur à 86 JAS dans la parcelle aménagée et dans celle non aménagée

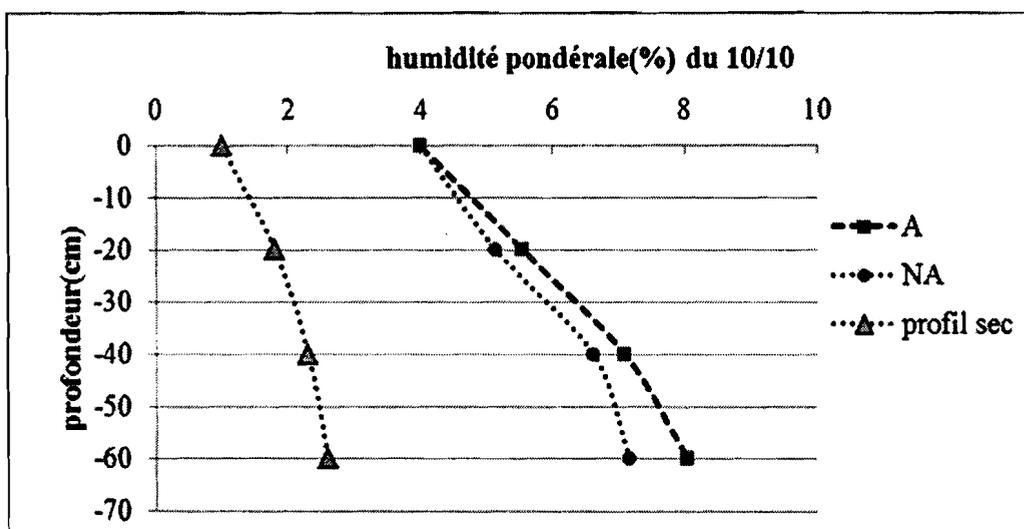


Figure 7 : Variation de l'humidité à la profondeur 0-60 cm à la date du 21/09/2012

A la quatrième date (86 JAS), les résultats montrent que la différence d'humidité entre les deux parcelles augmente avec la profondeur mais, cette différence n'est pas importante dans

les profondeurs 20 et 40 cm (respectivement 0,40%, 0,48%) contre 0,90% dans la profondeur 60 cm. Toute la première décade du mois d'octobre étant passée sans pluie, le sol a perdu une quantité de son stock d'eau. Plus on monte vers la surface, plus cette perte d'eau s'accroît, ce qui s'explique par le fait que les premières couches du sol sont exposées aux phénomènes d'évapotranspiration.

3.1.2.2. Evolution du stock d'eau au cours de la campagne

L'évolution du stock d'eau dans le temps a été évaluée dans les deux parcelles aménagée et non aménagée) sur une profondeur de sol de 0-60 cm, du 22/07 au 23/12/2012. La figure 8 illustre l'évolution du stock d'eau durant la campagne agricole.

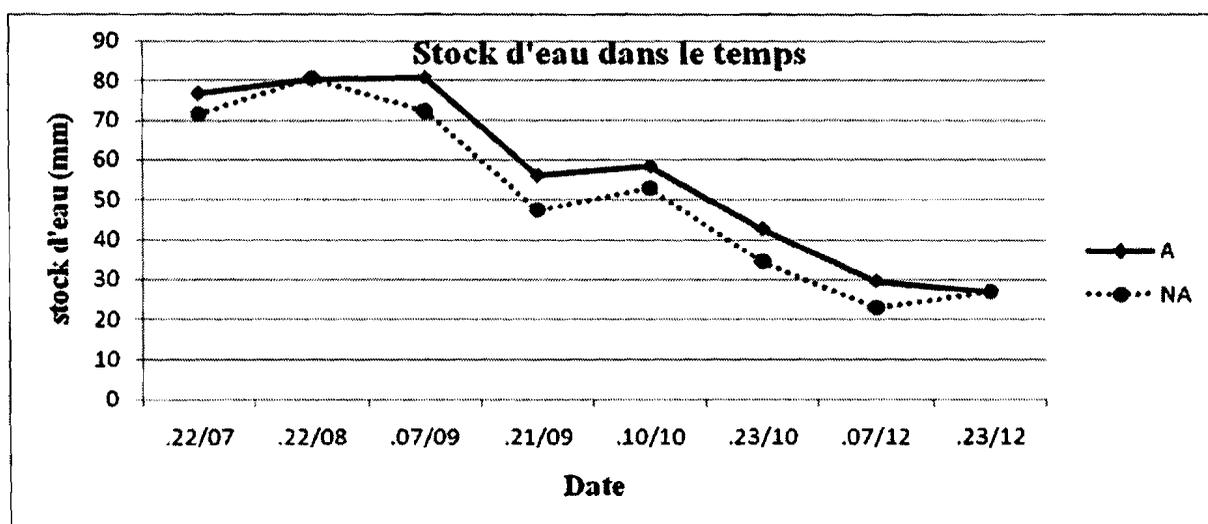


Figure 8: Evolution du stock d'eau dans le temps sur une profondeur de 60 cm.

Ces résultats montrent :

- une augmentation du stock d'eau dans la parcelle aménagée du 22 juillet au 07 septembre, alors que dans celle non aménagée, cette augmentation s'est limitée du 22 juillet au 22 Août. Cette période a été la plus pluvieuse de la campagne
- une baisse importante de ce stock entre le 07 septembre et le 21 septembre dans les deux parcelles (aménagée et non aménagée). A cette période, les quantités de pluie avaient diminué ;
- une légère augmentation de stock dans la période du 21 septembre au 10 octobre puis, ce stock baisse jusqu'au 23 décembre. La baisse de stock se fait en fonction de la diminution des quantités d'eau de pluies.

- le stock d'eau dans la parcelle aménagée est toujours supérieur à celui de la parcelle non aménagée mais, la différence de stock entre les deux parcelles diminue rapidement avec l'arrêt des pluies.

Un stock d'eau a été occasionné par l'aménagement tout au long du cycle des cultures. Ce stock varie d'une période à une autre selon la quantité de pluie tombée. Ainsi, il est presque nul aux dates du 22 août et du 23 décembre. Aux dates du 07/09/, 21/09 et 23/10, le stock d'eau occasionné a été important. La date du 22 août correspond à la période d'abondance de pluies où le sol pouvait atteindre sa saturation en eau dans toutes les parcelles, ce qui permet de diminuer la différence entre les deux parcelles. La date du 23 décembre correspond à la date, où le sol était censé perdre sa plus grande quantité de réserve en eau (84 jours sans pluie). De façon générale, le stock dans la parcelle aménagée est toujours supérieur à celui de la parcelle non aménagée tout le long du cycle des cultures. Cependant, ce stock diminue rapidement avec le temps si les pluies ne sont pas régulières. Le sol étant de texture sableuse et très pauvre en matière organique (0,1%), sa capacité de rétention en eau est faible, ce qui fait que la différence de taux d'humidité entre parcelle aménagée et parcelle non aménagée est relativement faible sur cette parcelle de Sorobougou. Cependant, l'aménagement a induit un stock d'eau supplémentaire de 10,5%.

3.1.3. Effets des aménagements sur le rendement des cultures

Une analyse statistique a permis de faire une comparaison entre les rendements obtenus dans les parcelles aménagées et ceux obtenus dans les parcelles non aménagées. Cette analyse a été faite par la méthode Student-Newman-Keuls au seuil de 5%. Le tableau 2 renseigne sur les résultats d'analyse des rendements grain du mil et du sorgho.

Ces résultats montrent une différence significative, au seuil de 5%, entre les rendements grain des parcelles aménagées et celles non aménagées ($F_{pr} > 0.02$). L'aménagement a permis d'augmenter le rendement grain de 221 kg ha⁻¹. Les rendements moyens sont de 782 kg ha⁻¹ pour le mil et 461 kg ha⁻¹ pour le sorgho (tableau 2). Cette différence entre les espèces est statistiquement significative au seuil de 5% ($F_{pr} = 0,002$) (tableau 2). Ceci explique un effet positif des aménagements sur le rendement des cultures à travers sa capacité de rétention en eau pour une bonne alimentation en des cultures.

Tableau 2 : Rendement moyen grain des espèces

Aménagements	Rdmt moyen grain(kgha ⁻¹)
Aménagé(A)	732 a
Non aménagé(NA)	511 b
Fpr.	0,02
Signification	S
Espèces	Rdmt moyen grain (kgha ⁻¹)
mil	782 a
sorgho	461 b
Fpr.	0,002
Signification	S
ET	225
CV (%)	36

ET = Ecart Type

CV = Coefficient de Variation

Fpr = Probabilité

S = Significatif

NS = Non Significatif

La figure 9 présente clairement l'effet des aménagements sur le rendement de chacune des deux spéculations

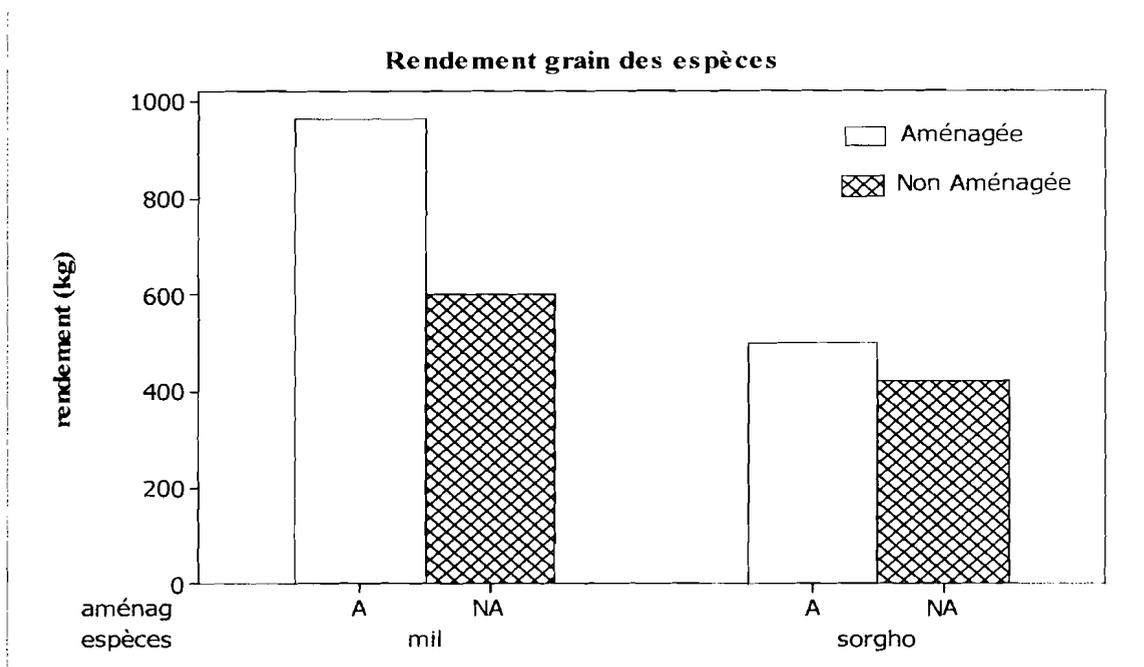


Figure 9: Rendement grain des deux espèces mil et sorgho

Les résultats montrent également que, quel que soit l'espèce, le rendement obtenu dans la parcelle aménagée est supérieur à celui obtenu dans la parcelle non aménagée, avec une augmentation de 19% pour sorgho et jusqu'à 59% pour le mil. Les aménagements ont plus

profité au mil qu'au sorgho. Ceci s'expliquerait par une meilleure adaptation du mil aux conditions environnementales du milieu.

3.1.3.1. Effets des aménagements sur la production grain des variétés

Comme pour les espèces, la même analyse a été faite pour comparer les rendements des quatre variétés. Le tableau 3 illustre les résultats d'analyse de ces rendements.

Tableau 3 : Rendement moyen grain des variétés

Aménagements	Rdmt moyen grain(kgha ⁻¹)
Aménagé(A)	714 a
Non aménagé(NA)	493 b
Fpr.	0,01
Signification	S
Variétés	Rdmt moyen grain (kgha ⁻¹)
Jacumbc	583 b
Seguifa	339 c
Toroniou	697 b
Synt.006	867 a
Fpr.	0,002
Signification	S
ET	225
CV (%)	36

La figure 10 illustre davantage le rendement grain des variétés en conditions d'aménagement ou non.

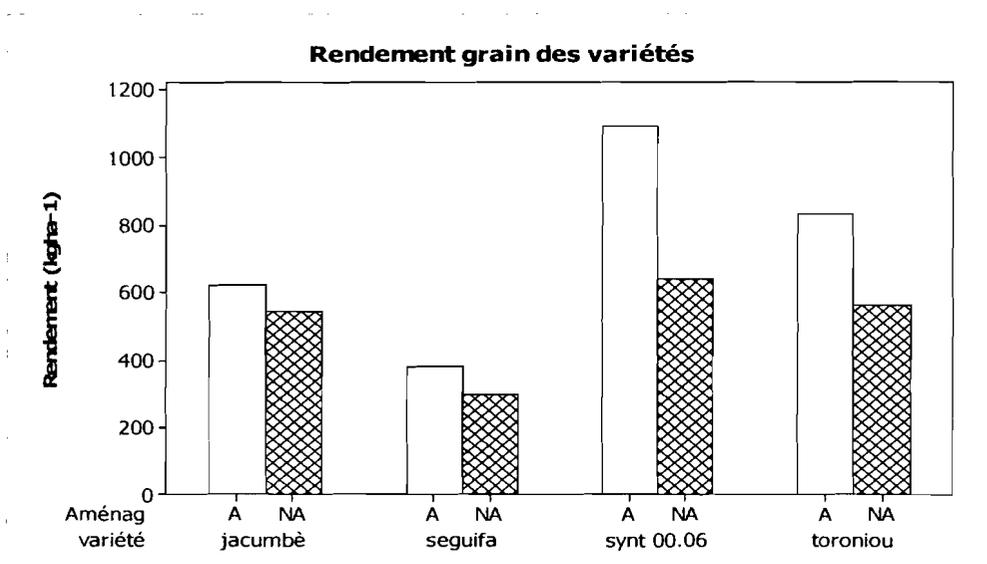


Figure 10: Rendement grain des variétés de sorgho et mil dans 3 villages.

Les résultats du tableau 3 montrent qu'il existe une différence significative entre les rendements des variétés dans les parcelles aménagées et celles non aménagées ($p > 0.01$). Les

variétés de céréales sont également différentes statistiquement entre elles ($p > 0.002$). Cette différence est visiblement illustrée dans la figure 10. Il est à signaler que la variété Séguifa a été légèrement endommagée par les oiseaux et petits ruminants dans les trois villages (Sorobougou, N'Gakoro et Moussawere), ce qui la pénalise dans sa comparaison avec les autres variétés. Cependant, malgré cette situation, cette variété a donné un rendement plus grand dans la parcelle aménagée que dans celle parcelle non aménagée. Ainsi, l'aménagement a induit une augmentation des rendements grain de 13% pour la variété Jacumbè, 28% pour la variété Séguifa, 47% pour la variété Toroniou et 70% pour la variété de synt00.06. La variété synt00.06 s'est mieux exprimée dans les aménagements que les autres. Ainsi, la variété synt00.06 a donné le plus grand rendement, suivie de la variété Toroniou pour le mil. Pour le sorgho c'est Séguifa qui l'emporte sur le Jacumbè.

3.1.3.2. Effets des aménagements sur la production de biomasse aérienne des variétés

Une analyse statistique a permis de faire une comparaison entre les rendements de biomasse aérienne obtenus dans les parcelles aménagées et ceux obtenus dans les parcelles non aménagées. Cette analyse a été faite par la méthode Student-Newman-Keuls au seuil de 5% comme le cas des rendements grain. Les résultats d'analyse montrent que les aménagements n'ont pas permis de créer une différence significative entre les rendements de biomasse des variétés (tableau 4). Il n'existe pas une différence significative entre les quantités de biomasse produite des variétés (tableau 4). Ceci s'expliquerait par le fait qu'une grande quantité de biomasse a été produite dans une période où les cultures n'ont pas connu un stress hydrique important.

Tableau 4 : Rendement moyen biomasse aérienne des variétés

Aménagements	Rdmt moyen biomasse (kgha⁻¹)
Aménagé(A)	5496 a
Non aménagé(AN)	4419 a
Fpr.	0.12
Signification	NS
Variétés	Rdmt moyen biomasse (kgha⁻¹)
Jacumbe	4623 ab
Seguifa	6410 a
Toroniou	3965 b
Synt.006	4831 ab
Fpr.	0.02
Signification	S
ET	2676
CV (%)	54

La figure 11 ci-dessous présente la production de biomasse des variétés en condition aménagée et non aménagée.

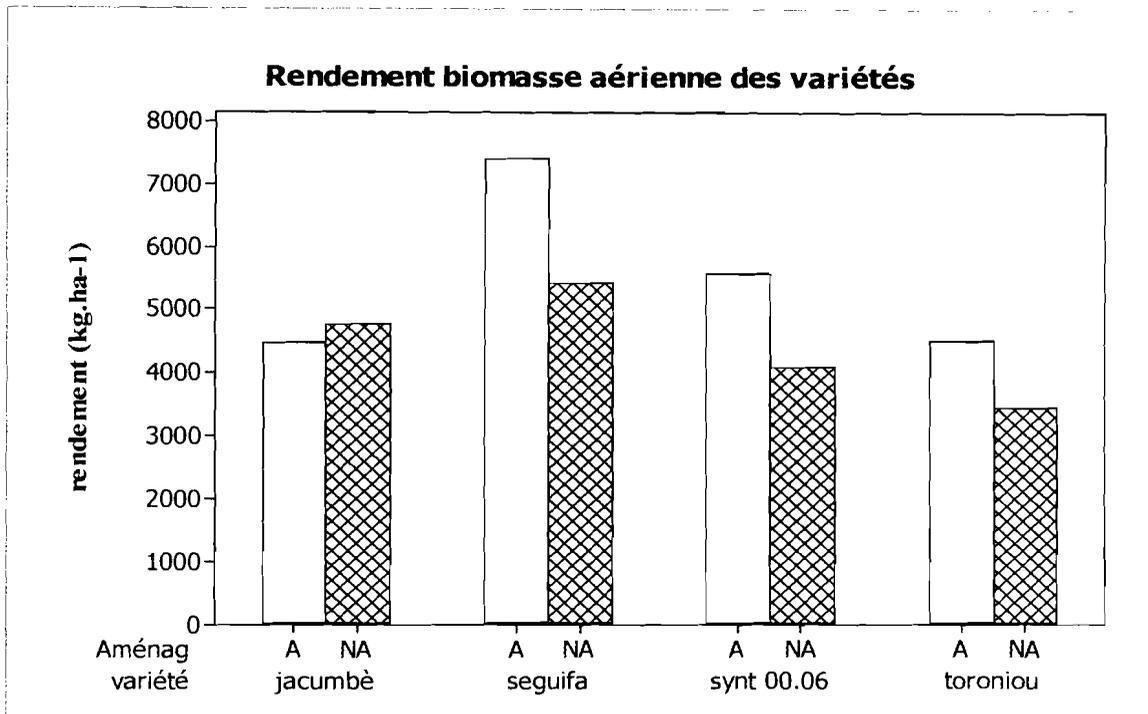


Figure 11 : Rendement biomasse aérienne des variétés

Les résultats montrent que la quantité de biomasse produite par chaque variété dans la parcelle aménagée est arithmétiquement supérieure à celle produite dans la parcelle non aménagée mais, cette différence n'est pas statistiquement significative au seuil de 5%. Ceci s'explique par la disponibilité en eau dans la parcelle aménagée qui a servi à l'élaboration de plus de biomasse par rapport à la parcelle non aménagée. La quantité de la matière sèche produite dépend fortement de la quantité d'eau consommée, même si, d'autres paramètres comme les éléments nutritifs et la photosynthèse peuvent interagir.

La variété Séguifa a produit le plus grand rendement paille, suivie de la variété synt00.06. L'aménagement a permis d'accroître la production de paille par une alimentation normale et continue des plants en eau. Cette variété de Séguifa a une grande capacité de production de biomasse et c'est d'ailleurs pour cette raison qu'elle est aussi considérée comme sorgho fourrager par le programme sorgho de l'IER du Mali. Cependant, la variété Jacumbè a produit plus de biomasse dans la parcelle non aménagée que dans la parcelle aménagée. cela s'expliquerait par l'hétérogénéité des parcelles de cette variété dans une répétition. ou de la physiologie même de la variété, qui n'a pas un besoin élevé en eau.

3.2. Discussion

3.2.1. Effets des aménagements sur l'état hydrique du sol

Les résultats de mesure d'humidité présentés ont montré de façon générale que, le taux d'humidité dans la parcelle aménagée est toujours supérieur à celui de la parcelle non aménagée quel que soit la date et la profondeur du sol. Après la première date, le taux d'humidité augmente avec la profondeur que l'on soit en parcelle aménagée ou non aménagée et la différence d'humidité des deux parcelles augmente avec la profondeur lorsque les pluies deviennent de plus en plus déficitaires.

Dans la parcelle aménagée, l'eau de pluie a été retenue entre les billons et uniformément dans la parcelle, la forçant ainsi à s'infiltrer sur place. Par contre, dans la parcelle non aménagée, une partie des eaux de pluie s'infiltrer et une partie est perdue par ruissellement.

Pour la première date (8 JAS), le taux d'humidité est plus élevé dans la parcelle aménagée que dans la parcelle non aménagée dans la profondeur de 0 - 40 cm. Au-delà de 40 cm, cette différence devient moins importante. Cet état de l'eau dans le sol, à cette date, s'explique par le fait que, l'eau retenue dans la parcelle aménagée n'avait pas encore atteint les grandes profondeurs de façon à créer une grande différence avec la parcelle non aménagée. Il fallait une première pluie après la réalisation des aménagements pour qu'il se crée une différence d'humidité entre les deux parcelles (aménagée et non aménagée). Après cette première pluie, la première mesure de l'humidité a été effectuée, ce qui a permis de créer cette différence en premier lieu dans les couches supérieures puis, progressivement dans les couches profondes, sachant que l'infiltration de l'eau dans le sol se fait progressivement avec le temps. Cette vitesse d'infiltration dépend de la texture et de la structure du sol. Lorsque les quantités de pluie diminuent considérablement, la différence d'humidité entre les deux parcelles augmente avec la profondeur car, les couches supérieures perdent plus d'eau parce qu'elles sont exposées aux phénomènes d'évapotranspiration.

Cette disponibilité de l'eau créée par les aménagements est très importante dans l'alimentation hydrique des plantes en cas de sécheresse. Pendant la période de sécheresse, l'eau des couches profondes du sol alimente les plantes par remontée capillaire et à travers les racines qui ont atteint des grandes profondeurs. Ces résultats sont en accord avec ceux de LOMPO et OUEDRAOGO (2006), qui rapportaient que l'aménagement de cordons pierreux permet en année de pluviosité déficitaire, d'augmenter le gain de production en grain par rapport au témoin de 58% pour un écartement de 50 m contre 1% en année de bonne pluviométrie.

3.2.2. Evolution du stock d'eau au cours de la campagne

Il s'est créé une différence de stock d'eau entre la parcelle aménagée et la parcelle non aménagée le long du cycle des cultures où, ce stock dans la parcelle aménagée est toujours supérieur à celle de la parcelle non aménagée. Les aménagements ont permis une rétention de l'eau dans les parcelles favorisant ainsi une bonne infiltration et donc une bonne alimentation en eau des cultures. Ces résultats sont en accord avec ceux de LOMPO et OUEDRAOGO (2006) qui rapportaient que l'aménagement de cordons pierreux entraîne une réduction du ruissellement de 5% avec un écartement entre cordons pierreux de 50 m. Cependant, ce stock diminue rapidement avec le temps, ce qui serait dû aux propriétés physico chimiques du sol dont, sa pauvreté en matière organique, sa grande profondeur et sa texture sableuse favorisant une bonne infiltration des eaux, ou même une percolation. La texture conditionne largement l'énergie de rétention de l'eau. Cette énergie est d'autant plus grande que les pores sont de petite taille (BIGORRE, 2000). Des résultats rapportés par BERGAOUI (2006) n'ont pas trouvé de différence significative entre l'humidité de la parcelle aménagée et celle de la parcelle non aménagée sur sol sableux et profond. Cependant le stock d'eau en profondeur est suffisant pour alimenter les plantes en période de stress hydrique par remontée capillaire. Le fait que nous n'avons pas dépassé les 60 cm de profondeur, cela pourrait limiter nos résultats par rapport au niveau du stock.

3.2.3. Effets des aménagements sur le rendement des cultures

Les aménagements ont permis d'améliorer le rendement des cultures à travers leur capacité à retenir l'eau de pluie et favoriser sa bonne infiltration, permettant ainsi une bonne alimentation en eau des cultures surtout en période courte de sécheresse. Ils ont permis une augmentation des rendements grain de 19% pour le sorgho et jusqu'à 59% pour le mil, ce qui va dans le même sens que les résultats de GIGOU et al. (2006), où ces mêmes types d'aménagements avaient donné une augmentation de 30% de rendement grain en zone sud (soudanienne) et plus en année de sécheresse.

Des augmentations de rendement des cultures de 30 à 50 % sur cotonnier et céréales en zone mali-sud ont été rapportées par GIGOU et al. (1999), TRAORE et al. (2007), suite à une meilleure conservation des eaux de pluies.

Cette capacité de rétention de l'eau par les aménagements a favorisé les cultures des parcelles aménagées par rapport à celles des parcelles non aménagées, qui perdent une grande quantité de leur eau par ruissellement.

Dans la zone de Cinzana, les aménagements ont profité au mil plus qu'au sorgho, ce qui pourrait s'expliquer par les facteurs suivants :

- une meilleure adaptation du mil aux conditions environnementales du milieu ;
- des besoins en eau plus élevés chez le sorgho que le mil où, le sorgho a besoin de 300g d'eau par gramme de matière sèche et 250g d'eau par gramme de matière sèche pour le mil (PROMISO, 2011) ;
- le sorgho est plus exigeant en éléments fertilisants que le mil. Or, les sols des villages de Sorobougou, N'Gakoro et Moussawere sont généralement pauvres en matière organique et éléments nutritifs.

A ceci, s'ajoute la texture des sols qui est sableuse ou sablo limoneuse, et par conséquent se prête moins à la culture des variétés de sorgho de notre étude. A ce sujet, SENE (1995) mentionnait que le sorgho est cultivé sur des sols variés mais, exige une teneur minimale de 6% en argile. Par contre, le mil est moins exigeant en éléments fertilisants et mieux adapté aux sols sableux. Ces résultats sont en accord avec ceux de N'DIAYE (2009) qui montrent que les aménagements améliorent les rendements de mil que ceux du sorgho sur sol sableux où le rendement grain du mil a été augmenté de 47% par rapport au témoin et seulement de 25% par rapport au témoin pour le sorgho.

Le rendement grain des espèces et variétés montrent une différence significative alors qu'elle ne l'est pas pour les rendements paille. Cela voudrait dire que la valorisation de l'eau est surtout perceptible dans les organes reproducteurs que dans les organes végétatifs. SENE (1995) rapportait à ce sujet que la formation des grains dépendrait beaucoup des dernières pluies et la réserve en eau. Cette situation a également été mentionnée par GIGOU et al. (2006) qui ont montré que des ACN ont donné un effet spectaculaire sur les rendements de mil avec 60% d'augmentation alors que les plants ont subi une sécheresse de fin de saison ou seulement 17 mm de pluies ont été enregistrés en septembre à Konobougou. Les résultats rapportés par SISSOKO (2007) vont dans le même sens, montrant que les ACN valorisent mieux l'humidité du sol en année de mauvaise pluviométrie. Ceci est d'autant vrai que d'autres résultats rapportés par GIGOU et al (2006) ont montré qu'en année très pluvieuse, les ACN n'ont pas d'effets statistiquement significatifs sur les rendements des cultures. SISSOKO (2007) mentionnait que l'efficacité des aménagements en courbe de niveau dépendrait aussi de la pluviométrie, du type de sol, de la répartition des pluies dans le temps.

et du niveau de pente. La connaissance des résultats au niveau variétal est encore plus importante, permettant au paysan de faire un bon choix de variété pour mieux valoriser les ACN. Il existe une différence significative entre les variétés que l'on soit sur parcelle aménagée ou non aménagée mais, cette différence est plus grande quand on compare les rendements de chaque variété en parcelle aménagée et parcelle non aménagée. Ces résultats montrent qu'au-delà des caractéristiques physicochimiques du sol qui influencent beaucoup le rendement des cultures, interviennent aussi des caractéristiques physiologiques et génétiques intrinsèques des variétés dans la production de rendement. D'après DANCETTE (1978), la satisfaction des besoins hydriques n'est pas seulement d'ordre quantitatif, elle recouvre aussi des exigences d'ordre physiologique dont il ne faudrait pas sous-estimer. DANCETTE (1978) avance aussi que, le facteur eau n'est qu'une des composantes de l'élaboration du rendement potentiel (tant de la matière sèche que du grain).

Les aménagements en courbes de niveau (ACN) sont une technique reproductible et adaptée à différentes zones agro climatiques. Elle a été testée dans les zones humides où elles ont données de bons résultats dans la conservation des eaux et des sols et dans l'amélioration des rendements des cultures. Leur efficacité vient d'être confirmée en zone sahélienne sur sols profonds et majoritairement sableux à sablo-limoneux.

Ces résultats seront restitués aux producteurs en collaboration avec les agents de vulgarisation en vue d'une bonne vulgarisation de la technique dans la zone. D'après l'AOPP (2012), l'amélioration de la production au niveau des exploitations agricoles repose en grande partie sur l'assurance d'un large service d'appui-conseil et de vulgarisation de proximité.

CONCLUSION SUGGESTIONS

Au Mali, particulièrement dans la commune de Cinzana, les céréales constituent la base de l'alimentation. Ces céréales sont produites dans un système extensif et dans des conditions pluviales dans une zone où la pluviométrie est très variable et le ruissellement important, limitant ainsi la production agricole. Les techniques permettant de réduire les pertes d'eau ont été jugées nécessaires pour améliorer la productivité des cultures dans cette zone. Notre étude qui a porté sur les aménagements en courbes de niveau avait comme objectif général de réduire les pertes d'eau de pluie par ruissellement dans les champs afin d'améliorer les rendements des cultures. Ainsi un dispositif en blocs dispersés a été mise en place en trois répétitions c'est-à-dire chez trois paysans de villages différents. Chaque bloc était composé d'une partie aménagée et une partie non aménagée qui est la pratique paysanne et considérée comme témoin. Les mêmes variétés au nombre de quatre ont été utilisées dans les deux parties.

Les résultats ont montré que la technique du billonnage en courbe de niveau appliquée dans la zone sahéenne permettait de retenir l'eau et d'augmenter le rendement des cultures. Ainsi, le taux d'humidité dans les aménagements a été augmenté par rapport à celui des parcelles non aménagées de 10,5%. Cette différence d'humidité entre les deux parcelles augmente avec la profondeur. Les eaux de pluies ainsi retenues dans la parcelle aménagée se sont infiltrées sur place et ont permis d'augmenter le stock d'eau dans le sol pouvant alimenter les cultures en période de sécheresse. La différence de rendement de biomasse entre les deux parcelles n'a pas été significative, par contre, celui du grain a de façon significative augmenté de 13% pour la variété Jacumbè, 28% pour la variété Séguifa, 47% pour la variété Toroniou et 70% pour la variété de synt00.06 en faveur des parcelles aménagées. Les variétés améliorées de mil ont mieux valorisé les effets des aménagements en comparaison avec celles de sorgho dans les conditions de culture de la zone sahéenne.

L'étude des effets des aménagements en courbes de niveau devrait être élargie à plusieurs localités de la zone sahéenne pour une confirmation des résultats et une meilleure vulgarisation de la technique. Les effets de ces aménagements pourraient être améliorés en les combinant avec les fumures organique et minérale. Cependant pour une bonne adoption de la technique, les producteurs devraient être formés et accompagnés.

BIBLIOGRAPHIE

AGRHYMET, 2010. Le sahel face aux changements climatiques, Enjeu pour un développement durable, Bulletin Mensuel, Numéro spécial, 17-25.

AHMADI N., CHANTEREAU J., LETHEVE C., MARCHAND J. L.

et OUANDEBA B., 2002. Les céréales, Les plantes comestibles. Agriculture spéciale, Mémento de l'agronome, CIRAD-GRET, 773-829.

AOPP., 2012. Une semaine à l'AOPP / vol.2, numéro 82, Novembre 2012, 6p.

BELEMVIRE A., MAIGA A. et SAWADOGO H., 2008. Evaluation des impacts biophysiques et socioéconomiques des investissements dans les actions de gestion des ressources naturelles au nord du plateau central du Burkina Faso, Rapport de synthèse, Etude Sahel Burkina Faso, 94 p.

BISHOP et ALLEN, 1989. Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique, livre,

BOLI B. Z., ROOSE E. et ZIEM B. BEP., 1993. Effets des techniques culturales sur le ruissellement, l'érosion et la production de coton et maïs sur un sol ferrugineux tropical sableux. Cahier ORSTOM, Série Pédagogique, XXVIII, (2) : 309-325.

BRAUND A. et COQUET Y., 2005. Les sols et le cycle de l'eau, chapitre 15, CNRS-ISTO et INRA, 23P.

CAIRE International, 2003. Analyse de la vulnérabilité et des systèmes de vie des ménages en milieu rural de la région de Ségou : cas des cercles de Ségou et Niono, CAIRE International au Mali. 183p.

CHANTEREAU J. et NICOU R., 1991. Le sorgho.(Maisonneuve et Larose, 1991). Centre technique de Coopération agricole et rurale (CTA). NL 6700 AJ WAGENINGEN

CIRAD, 1996. Caractérisation et valorisation du sorgho, les bibliographies du CIRAD, 34032 Montpellier cedex, France, 6, 349p.

CIRAD, 2004. Les systèmes racinaires des cultures tropicales : rôle, méthodes d'étude *in situ*, développement, fonctionnement. Document de synthèse, JL Chopart¹, 43P.

CIRAD, 2004. Catalogue d'analyses courantes, 28 pages

COULIBALY A., JENS B., AUNE et SISSOKO P., 2010. Etablissement des cultures vivrières dans les zones sahéniennes et soudano sahéniennes du Mali, GCoZA Rapport No. 60. 65p.

DIALLO D., 2007. Efficacité des pratiques de gestion de l'eau et des sols en agriculture céréalière pluviale au Mali : cas du secteur de Banamba, 6 p.

DUGUE P., 2002. L'aménagement des zones cultivées et la lutte contre l'érosion. Mémento de l'agronome, CIRAD-GRET, 239-255.

FAO, 1989. Conservation des sols et des eaux, façons culturales appropriées. Bulletin pédologique de la FAO N°50, N-51 ISBN 92-5-202154-X, 184-189.

FAO, 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bulletin pédologique de la FAO, Version 70, M-57, ISBN 92-5-203451-X, livre.

FAO, 2011. La pratique de la gestion durable des terres : directives et bonnes pratiques pour l'Afrique subsaharienne, TERRAFRICA, 8-15.

FAO et ICRISAT, 1997. L'économie mondiale du sorgho et du mil: faits, tendances et perspectives, livre, FAO - ICRISAT, 39-40.

FAO, 2002. Proposition d'investissement dans le domaine de la sécurité alimentaire. UEMOA-Mali, 40P.

GIGOU J., TRAORE K.B., WENNINK B., COULIBALY L., 1997. Aménagement des parcelles pour la culture en courbes de niveau au sud du Mali, Agriculture et Développement, 14 : 47-57.

GIGOU J., TRAORE K. B., COULIBALY H., VAKSMANNE M. et KOURESSY M., 1999. Aménagement en courbes de niveau et rendement des cultures : Influence de l'homme sur l'érosion, Bulletin réseau érosion 19, volume 1 : à l'échelle du versant, 15p.

GIGOU J., TRAORE K., GIRAUDY F., COULIBALY H., SOGOBA B. et DOUMBIA M., 2006. Aménagement paysan des terres et réduction du ruissellement dans les savanes africaines. Durabilité écologique de la filière, publication, 7p. cahier de l'agriculture, vol.5, n°1, 116 - 122.

JGRC, 2001. Guide technique de la conservation des terres agricoles. Vol.5, 43pages

KONATE S., 2008. Quelques impacts des Changements Climatiques au Mali, Mise en œuvre de la convention cadre des Nations Unies et du protocole de KYOTO au Mali, Bamako, Mali, 6 p.

LOMPO F. et OUEDRAOGO S., 2006. Rapport de l'étude pilote d'évaluation de l'impact des recherches en GRN en zone Sahélienne de l'Afrique de l'ouest, 162 p.

MAHE G., LEDUC C., AMANI A., GIRARD S., PATUREL J., SERVAT E., DEZERTTER A., 2003. Augmentation récente du ruissellement de surface en région soudano-sahélienne et impact sur les ressources en eau, article, 8pages

- MAIGA, Y. A., 2012.** Contribution à la mise au point d'une technique d'enrobage des graines de sorgho avec le phosphore, Mémoire de fin de cycle, IPR/IFRA de Katibougou, Mali 80 p.
- MALI METEO, 2009.** Bulletin d'information Agro-Hydro-Météorologique Décadaire. Généralités sur le Mali, 25 p.
- M'BIANDOUN M., THEZE M. et ABOU A., 2002.** Maintien ou amélioration du potentiel productif des sols en région soudano-sahélienne du Nord-Cameroun, Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis, Actes du colloque, Garoua, Cameroun. 27-31, 11 p.
- N'DIAYE S., 2009.** L'évolution de l'impact des cordons pierreux et de la fertilité des sols dans deux micro projets financés par CILLS au Sénégal, Rapport d'étude, GREEN-SENEGAL, Thiès, Sénégal, 30 pages.
- PANA, 2007.** Programme d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques, Global Environment Facility, Direction nationale de Météorologie, Mali, 100p.
- PROMISAM, 2007.** Plan de sécurité alimentaire de la commune de Cinzana, Rapport, 16P.
- PROMISO, 2011.** Le potentiel de rendement du mil et du sorgho en Afrique de l'ouest, 2P.
- PROTA, 2006.** Céréales et légumes secs, Ressources végétales de l'Afrique tropical 1. livre, 187-194.
- ROOSE E. et BASIR, M.,** Stratégies Traditionnelles de conservation de l'eau et des sols dans le bassin méditerranéen: classification en vue d'un usage renouvelé, Réseau érosion, IRD-ORSTOM, 33-44, 12p.
- ROOSE E., 2006.** Evolution des techniques antiérosives dans le monde, Efficacité de la gestion de l'eau et de la fertilité des sols en milieux semi-arides, Actes de la session VII, 25-34, 105 p.
- ROOSE E., 1989.** Méthodes traditionnelles de gestion de l'eau et des sols en Afrique occidentale soudano-sahélienne, Montpellier, France .10p.
- ROOSE E., 2004.** N° 1, Vol 15. Évolution historique des stratégies de lutte antiérosive Vers la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Sécheresse. 9-18, 10 p.
- SENE L., 1995.** Réponse de la variété de variété de sorgho CE 145-66 à l'alimentation en eau : effet du Stress hydrique sur le rendement et la qualité des semences, mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur des travaux agricoles, ENCR, Sénégal, 66P
- SISSOKO M., 2007.** Impact des aménagements en courbes de niveau sur les propriétés physiques du sol au Mali : Cas de Siguidolo Bamanan dans la commune rurale de

Konobougou, cercle de Kati, Mémoire de fin d'études, spécialité : agro pédologie, DELTA-C, Mali 159P.

STONE R. P. et HILBORN D. al., 2000. Équation universelle des pertes en terre (USLE), Manuel, 8 pages

TRAORE A., BENGALY A., OUEDRAOGO A., TRAORE A., 1991. Erosion et lutte anti-érosive sur parcelle de culture dans la région de Bidi, Burkina Faso, mémoire de maîtrise, Institut des Sciences Humaines et Sociales, Université de Ouagadougou, Burkina Faso 137P.

USDA., 2003. Key to Soil taxonomy. Govt. Print. Office, Washington, DC.

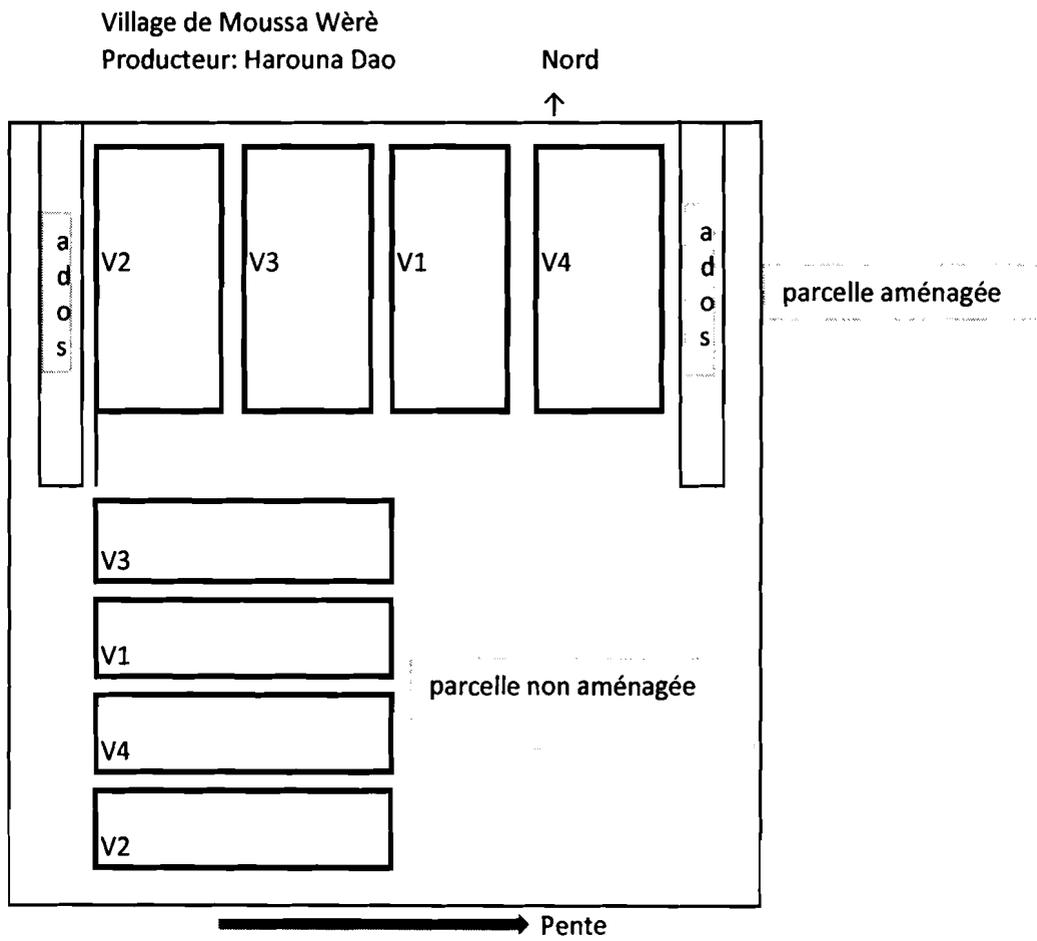
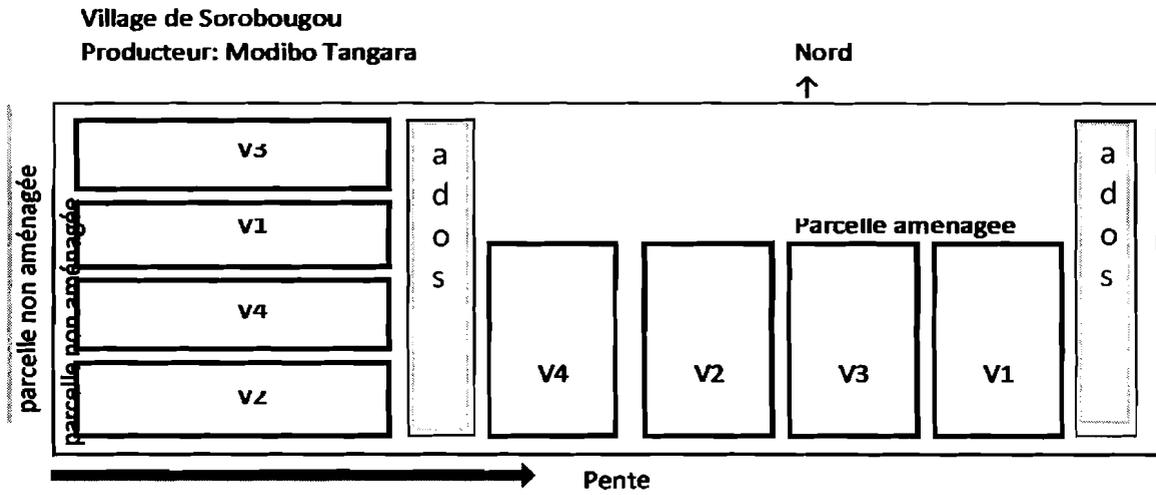
YANKINGUEM D. A., 2010. Evaluation agronomique d'une population de sorgho à Sotuba au Mali, Mémoire de fin de cycle, Spécialité agronomie, 83 p.

http://www.changementsclimatiques-mali.org/vulnerabilite_adaptation.php, 19/10/12,

Vulnérabilité du Mali face aux changements climatiques, L'adaptation aux changements climatiques, PANA/PANC Mali.

ANNEXES

Annexel



Annexe 2

Tableau 2 : Opérations culturales

village	Billon nage	Semis	Resemis	Apport d'engrais	sarclage	Apport urée	buttage	Récolte
Sorobougou	15/07/	15/07/	7 JAS	15 JAS	18 JAS	45 JAS	52 JAS	107 JAS
N'Gakoro	15/07/	15/07/	7 JAS	15 JAS	18 JAS	45 JAS	51 JAS	108 JAS
Moussawere	17/07/	17/07/	7 JAS	15 JAS	19 JAS	46 JAS	52 JAS	107 JAS