

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

RÉPUBLIQUE DU MALI

Un Peuple-Un But-Une Foi

\*\*\*\*\*



INSTITUT POLYTECHNIQUE RURAL DE FORMATION ET DE  
RECHERCHE APPLIQUÉE (IPR/IFRA) DE KATIBOUGOU

INSTITUT ECONOMIE RURALE (I.E.R)

BP: 06 TEL. (223) 226 20 12 / FAX: (223) 21 26 25 04 Site:  
www.ipr-ifra.edu.ml; E-mail: ipr- fra@ipr-ifra.edu.ml

Laboratoire Sol Eau Plante

Tel +223 20 24 78 53 ou 223 66 79 40 45

Site Web I.E.R www.i.e.r. gov. ml

I.E.R /SOTUBA : Africa RISING

## THEME

**Estimation de l'érosion des sols sous culture en zone  
soudanienne du Mali : cas du village de Kani (cercle de  
Koutiala).**

## MEMOIRE DE MASTER GIFS

*Présenté par : Oumar SAMAKE*

**Pour l'obtention du diplôme de Master en Sciences Agronomiques de  
l'IPR/IFRA de Katibougou**

**Mention :** *Science du sol*

**Spécialité :** *Gestion Intégrée de la fertilité du sol (GIFS).*

**Directeur de Mémoire :**  
**Dr Kalifa TRAORE**  
Chercheur IER / CRRA de Sotuba

**Co directeur :**  
**Dr Aboubakar BENGALY**  
Maître de conférences  
IPR/IFRA de Katibougou

Février 2017

## Table des matières

DEDICACE.....	v
REMERCIEMENT .....	vi
SIGLE DES ABREVIATIONS .....	ix
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
LISTES DES FIGURES.....	xii
RESUME.....	xiii
I. INTRODUCTION .....	1
II. ETATS DES CONNAISSANCES .....	4
2.1. Généralités sur l'érosion hydrique .....	4
2.1.1. Quelques définitions.....	4
2.1.2 Les principes de la lutte contre l'érosion .....	10
2.2. Aménagement en courbe de niveau .....	11
2.2.1. La culture suivant les courbes de niveau.....	11
2.2.2. Principe et Effets de la technique des aménagements en courbe de niveau.....	12
2.3. GENERALITE SUR LES CULTURES (COTON ET MIL).....	12
2.3.1. Généralités sur le cotonnier.....	12
3.3.1.1. Historique .....	12
2.3.1.2. Origine et systématique .....	14
2.3.1.3. Description Botanique.....	15
2.3.1.4. Utilisation .....	17
2.3.1.5. Ecologie.....	17
2.3.1.6. Biologie et Physiologie .....	17
2.3.1.7. Technique culturale .....	18
2.3.1.8. Problèmes phytosanitaires .....	19
2.3.1.9. Ecimage des cotonniers .....	19

2.3.1.10. Récolte.....	20
2.3.1.11. Systèmes de cultures du coton et leur production .....	20
2.3.1.12. Caractéristiques générales des engrais .....	21
2.3.1.12.1. Complexe coton NPK .....	21
2.3.1.12.2. Complexe1 enrichi .....	21
2.3.1.12.3. Complexe2 enrichi .....	21
2.3.1.12.4. Engrais à azote uréique.....	22
2.3.1.13. Matière organique.....	22
2.3.1.14. Avantages, contraintes et inconvénients de la fertilisation organique .....	22
2.3.1.15. Avantages, contraintes et inconvénients de la fertilisation minérale .....	23
2.3.1.16. Avantages, contraintes et inconvénients de la fertilisation organo - minérale .....	24
2.3.2. GENERALITE SUR LE MIL .....	25
2.3.2.1. Origine et répartition : .....	25
2.3.2.2. Importance, composition et utilisation .....	25
2.3.2.3. Systématique .....	25
2.3.2.4. Morphologie .....	26
2.3.2.5. Stades phénologiques .....	26
2.3.2.6. Ecologie.....	26
2.3.2.6.1. Climat .....	26
2.3.2.7. Techniques culturales .....	27
2.3.2.8. Contraintes phytosanitaires .....	27
2.3.2.8.1. Principales maladies .....	27
2.3.2.8.2. Principaux insectes nuisibles.....	28
2.3.2.9. Fertilisation du mil .....	28
2.3.2.10. Récolte - Rendements - Conservation.....	30
III. Objectifs .....	31
3.1. Objectif général .....	31

3.1.1. Objectifs spécifiques .....	31
3.2. Matériel et méthodes .....	32
3.2.1. Milieu d'étude .....	32
3.2.2. Présentation de la zone d'étude .....	32
3.2.3. Historique: .....	32
3.2.4. Situation géographique : .....	32
3.2.5. Population : .....	32
3.2.6. Milieu physique : .....	32
3.2.7. Relief : .....	33
3.2.8. Climat et Végétation : .....	33
3.2.9. Faune : .....	33
3.2.10. Hydrographie : .....	34
3.2.11. Sol : .....	34
3.2.12. Caractéristiques des pluies .....	34
3.3. Matériel .....	34
3.3.1. Méthodologie .....	36
3.3.1.1. Recherche documentaire ou théorique : .....	36
3.3.1.6.3. Estimation du ruissèlement et de l'érosion .....	42
IV- RESULTATS .....	45
4.1. Situation pluviométrique dans la zone de Kani : .....	45
4.2. Description des profils du sol Kani. ....	46
4.2.1. Résultats d'analyse au laboratoire. ....	48
4.3. Résultat des mesures humidité .....	50
4.4. Pour les mesures d'infiltration .....	53
4.5. Densité apparente et porosité .....	54
4.6. Mesure des eaux de ruissellement : .....	55
4.6.1. Le sol érodé dans les champs d'expérimentation à Kani. ....	57

4.6 2. Perte de nutriment dans les parcelles à Kani.....	59
4.7. Résultats des essais agronomiques.....	60
4.8. Discussion des résultats.....	62
V- CONCLUSION ET RECOMMANDATION.....	65
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE.....	67

## **DEDICACE**

Je dédie ce travail à mes parents :

Mon père Bakary Samake, ma mère Aminata Traoré, chers parents, puissent ces quelques pages mériter la reconnaissance de tous les efforts déployés à mon endroit.

## REMERCIEMENT

Nous avons coutume de dire que l'éducation n'a pas de prix, dès lors la seule reconnaissance envisageable ne peut être que celle sincère à l'endroit de tous ceux qui ont contribué à la réalisation du présent document. Celui-ci est l'aboutissement des efforts consentis par de nombreuses personnes, sous des formes très diverses mais complémentaires. A ce titre qu'il me soit ici permis d'exprimer ma profonde reconnaissance à l'endroit du personnel de l'IPR/IFRA en général et au corps professoral en particulier pour l'encadrement pédagogique technique et scientifique reçu durant ces deux années d'étude.

J'ai l'agréable plaisir de remercier :

- la Direction de l'IPR/IFRA de Katibougou, le corps professoral, vos cours sont précieux. Votre attachement aux nobles idées de cet établissement « ils s'instruisent pour aider en l'aimant le paysan d'Afrique » n'est ignoré de personne.

Des heures durant, vous êtes restés à construire en nous des qualités d'un homme valable en cette période de mondialisation et globalisation sans frontière, vos sacrifices inestimables m'ont déjà permis et me permettront de toujours répondre aux exigences d'une vie meilleure.

- Dr Aboubakar Bengaly mon Co –Directeur de stage et professeur à IPR /IFRA de Katibougou pour sa disponibilité et son appui constant dans l'élaboration de ce document.
- à l'équipe de la coordination du Master GIFS (Dr Yacouba DIALLO, Dr Bocar Ahamadou TOURE et Dr Aboubakar BENGALY) pour leur bonne initiative, leur courage et leur dévouement à la réalisation de ce projet de Master GIFS à l'IPR/IFRA de Katibougou.
- les membres du jury, malgré vos occupations, vous avez accepté de siéger parmi les examinateurs de ce document. Recevez toute ma gratitude et mes sincères remerciements.
- le projet Africa Rising composante aménagement et gestion bassin versant pour son appui financier et matériel.
- Dr Traore Kalifa, mon Directeur de stage qui a proposé ce thème de recherche témoignant une fois de plus, son intéressement à la recherche scientifique au service du développement rural dont il a toujours fait preuve à I.E.R et au Mali. Il a également accepté de porter un jugement sur le présent mémoire. Je me souviendrai toujours de lui.

Il a veillé, avec rigueur, au bon déroulement scientifique des travaux et à leur adaptation aux besoins de développement des populations locales. Ses missions sur le terrain, à toutes les étapes m'ont permis de bénéficier de sa grande expérience dans l'analyse des problèmes

d'érosion et de ruissellement. Au-delà de cet encadrement scientifique, il a consenti d'énormes efforts pour que les expérimentations de terrain et de laboratoire se déroulent dans de bonnes conditions matérielles.

- Dr Bouréma Dembélé Directeur général de l'IER pour son sens élevé du devoir et du travail bien fait; et pour avoir autorisé mon inscription à cette formation diplômante
- Dr Mamadou D Doumbia, chef du Laboratoire Sol Eau Plante Sotuba, a qui je souhaite un prompt rétablissement.
- Dr Hamidou KONARE, Chargé de Recherche, Chef du laboratoire sol-eau-plante par intérim et Chef de l'unité d'analyses, pour son appui technique et son soutien dans la conduite de mes activités.
- Dr Mama KONE, Maître de Recherche, pour ses conseils pratiques pour la bonne marche de ce stage.
- Dr Harouna Yossi, Dr Harouna Coulibaly, pour leur disponibilité dans l'encadrement du présent mémoire.
- Dr Cheik Hamala Diakité, Dr Alassane Maïga, Dr Lassana Toure, Mr Makan Sissoko, Dr Abdou Ballo, Mr Cheick Oumar Dembélé, Mr Souleymane Dembélé, Mr Fotigui Cissé, et Mr Lassana Dioni pour leurs soutiens et appuis lors de la conduite des travaux.
- Dr Daouda Sidibé, Mr Mamadou Bassy Sympara, Mr Drissa Traore, Mr Souleymane Traore, Mr Alou Diabaté pour vos conseils pratiques.

Mes collègues de services : Salifou Sissoko, Abdramane Yoroté, Yaya Coulibaly, Sekouba Sanogo, Aliou Sissoko, Souleymane Dambé, Dr Alassane Samake, Sidi Dembélé, Tiéman Diakité, Oumar Senou, pour leur intervention, vos conseils et votre compagnie sincère.

- Les populations de Kani, les membres des familles Madou Berthé et Seckou Berthé pour l'accueil chaleureux durant mes travaux de terrain.
- Mes salutations et remerciements à tous mes collègues étudiants de la deuxième Promotion Master GIFS 2015 -2017 de l'IPR/IFRA de Katibougou et aussi à tout le personnel de l'établissement.
- A Tous mes amis dont les aides ne m'ont jamais fait défaut.
- Que tous les membres de ma famille soient remerciés de tous les efforts consentis.

A mes frères et sœurs : Dr Alou Samake, Mr Koke Samake, Mr Mamadou Samake, Mr Modibo Samake ; Maïny Samake, yah Samake, Awa Samake, Coura Samake, Salimata

Samake, Aïssata Samake, Oumou Samake et Macoumba Samake pour leurs soutiens et conseils.

A mon épouse Sanata Niambelé pour son esprit de compréhension à mon égard et son indulgence envers nos enfants.

A mes cinq (5) enfants : Aminata, Fatoumata; Zoumana, Bakary et Assétou à qui je souhaite beaucoup de courage et pleine réussite dans leurs vies.

A tous les amis et connaissances mon plaisir est de dire merci.

## **SIGLE DES ABREVIATIONS**

**ACN** : Aménagement en courbe de niveau

**Africa RISING**: (Africa Research in Sustainable Intensification for the Next Generation)

**AGRA** : **Alliance for Green Revolution in Africa** (AGRA), (Alliance pour la Révolution Verte en Afrique).

**AMEDD** : Association Malienne Eveil pour la Démocratie et le Développement

**ANOVA** : Analyse de Variance.

**CAAD** : centre d'appui à l'autopromotion pour le développement.

**CMDT** : Compagnie Malienne du Développement des Textiles.

**CRRA** : centre Régional de Recherche Agronomique.

**CV** : coefficient de variation,

**Dr** : Docteur

**DRA** : Direction Régionale de l'Agriculture.

**EPST** : Etablissement Public à caractères Scientifique et Technologique.

**GRAADCOM** : Groupe de Recherche et d'Action Agricole pour le Développement Communautaire

**GIFS** : Gestion Intégrée de la Fertilité du Sol.

**IER** : Institut d'Economie Rurale.

**IPR/IFRA** : Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliqué.

**JAS** : Jour Après Semis.

**KIP** : Kit In Put.

**LER**: Land Equivalent Ratio.

**LNA** : Laboratoire de Nutrition Animale.

**LSEP** : Laboratoire Sol-Eau-Plante.

**LTA** : Laboratoire de Technologie Alimentaire.

**MDR** : Ministère du Développement Rural.

**MPC** : Mali Protection des Cultures.

**MVP** : Projet des Villages du Millénaire.

**NACN** : Non Aménagement en courbe de niveau

**NPK** : Azote-Phosphore-Potassium.

**OHVN** : Office de la Haute Vallée du Niger.

**ONG** : Organisation Non Gouvernementale.

**PASE II** : Projet Appuis au système Exploitation II.

**pH** : potentiel Hydrogène.

**PIB** : Produit Intérieur Brut

**Rdt** : Rendement

**SIG** : Système d'Information Géographique.

**SMECMA** : Société Malienne d'Etudes et de Construction de Matériel Agricole.

**URG** : Unité des Ressources Génétiques.

**USAID** : Agence d'Aide au Développement des Etats Unis d'Amérique

**R&D** : Recherche Développement

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1 : Besoin en eau du cotonnier au Mali et ses différentes phases végétatives.....	18
Tableau 2 Calendrier culturale des opérations .....	44
Tableau 3 : Récapitulatif des résultats d' analyse des échantillons de sol (profil:1) chez Seckou Berthé .....	49
Tableau 4 : Récapitulatif des résultats d' analyse des échantillons de sol (profil:2) chez Madou Berthé .....	49
Tableau 5 Classe de la perméabilité des sols à Kani (champ Seckou et Madou Berthé).....	53
Tableau 6 Densité et la porosité mesuré dans les parcelles expérimentales. ....	54
Tableau 7: Récapitulatifs des résultats analyse statistique de l'essai coton à Kani 2016. ....	
Tableau 8: Récapitulatifs des résultats analyse statistique de l'essai mil à Kani 2016.....	62

## LISTES DES FIGURES

Figure 1 : Matériels utilisés pour les mesures de ruissellement et d'érosion.....	3535
Figure 2 : Appareil de mesure d'humidité. Figure 3 : Séance de lecture avec l'humidimètre. .....	388
Figure 4 Dispositif de mesure d'infiltration Figure:5 photo séance de lecture pour mesure d'infiltration .....	3939
Figure 6 et 7 De la gauche vers la droite séance de prélèvement de sol pour la densité.....	400
Figure 8 : Mis en place du dispositif de mesure : crépissage de la fosse (a), placement des barriques (b) et dispositif fermé à Kani, Koutiala. (c).....	411
Figure 9 - Pluviométrie de Kani en 2016 comparé à la normale.....	4646
Figure 10 : Profil 1 : parcelle mil chez Seckou Berthé source : 4747	
Figure 11 : Profil 2 sol parcelle coton chez Madou Berthé source .....	4848
Figure 12:Distribution verticale de l'humidité du sol dans le champ de Seckou Berthé à Kani, (Koutiala). 512	
Figure 13: Distribution verticale de l'humidité du sol dans le champ de Madou Berthé à Kani, (Koutiala). .....	523
Figure 14 Infiltration champs Madou à Kani ACN et NACN. ....	54
Figure 15 Infiltration champs Seckou Berthé à Kani ACN et NACN .....	5454
Figure 16 : Ruissellement par parcelle en (litres) chez Madou Berthé à Kani,.....	555
Figure 17 : Ruissellement par parcelle en (litres) chez Seckou Berthé à Kani. ....	566
Figure 18 Coefficient de à Kani 2016	57
Figure 19 : Pertes de terres à Kani 2016 .....	58
Figure 20 Pertes des nutriments à Kani en 2016	60
Figure 21 Pertes des nutriments mensuels .....	600

## RESUME

Le village de Kani bénéficie d'un régime pluviométrique annuel important permettant une bonne hydraulicité dans un environnement sensible au ruissellement. Cette recherche est basée sur la gestion conservatoire des eaux et du sol qui implique des stratégies qui réduisent les pertes d'eau par ruissellement, érosion, évaporation, infiltration et percolation profonde et augmentent la productivité.

L'objectif de cette étude est de Contribuer à l'amélioration de la production des cultures par une meilleure maîtrise du ruissellement et des pertes de nutriments du sol dans les champs cultivés.

Une expérimentation a été réalisée pour estimer en champ paysan le ruissellement, l'érosion des sols et les pertes de nutriments qui vont avec. Dans chaque site, la parcelle expérimentale était divisée en deux parties : l'une aménagée (ACN) et l'autre non aménagée en courbe de niveau (NACN). Il en a été de même pour l'évaluation du rendement du cotonnier et du mil. Une sonde DTR a été utilisée pour mesurer l'humidité du sol à l'aide de 6 tubes implantés dans les parcelles expérimentales. Aussi des fosses pédologiques ont été creusées et décrites, des mesures d'infiltration et de densité apparente ont été réalisées.

Dans tous les sites d'étude l'infiltration et l'humidité du sol étaient toujours supérieures dans les parcelles ACN que dans celles NACN. La description des fosses pédologiques nous à permis d'identifier deux sols : un sol ferrugineux tropical lessivé à tâches et un sol ferrugineux tropical lessivé à gley de profondeur. Le coefficient de ruissellement variait de 42,37 à 45,39% dans les parcelles NACN et de 23,16 à 26,29% dans les parcelles ACN. Les pertes de terre ont été estimées à 3556 Kg/ha<sup>1</sup> à 4242 Kg/ha<sup>1</sup> dans les parcelles NACN et de 1339 Kg/ha<sup>1</sup> à 1796 Kg/ha<sup>1</sup> dans les parcelles ACN, et le maximum de perte de nutriments était observé au mois de juillet et Août.

Ainsi la technologie mise en place a permis de maîtriser le ruissellement et l'érosion et aider les paysans à augmenter le rendement de leurs cultures. Les rendements coton graine étaient de 2150 kg ha<sup>-1</sup> dans les parcelles ACN contre 1 035 Kg /ha<sup>1</sup> pour NACN, et celui du mil 1123 kg ha<sup>-1</sup> et 807 Kg/ha<sup>1</sup> respectivement en ACN et NACN.

**Mots clé :** Aménagement en courbe de niveau, ruissellement, érosion, nutriment, rendement, coton, mil.

## ABSTRAT

The village of Kani benefits from a high yearly rainfall which allows a good hydraulic in an environment sensitive to runoff. This research is based on the conservation management of soil and waters that requires strategies for reducing water losses by runoff, erosion, evaporation, infiltration and deep percolation and increases productivity.

The objective of this study is to contribute to the improvement of crop production by a better control runoff and soil nutriments losses in cultivated fields.

An experiment has been achieved to estimate in farmer's field runoff, erosion and related nutriments losses in two sites. In each site, the experiment plot was divided in two parts: one under contour ridge tillage (CRT) and the other in the control (NCRT)). The same disposal was used to assess cotton and millet yields. A TDR probe has been used to measure soil humidity using 6 tubes implanted in the experiment plot. Also, pedological pits have been dug and described; infiltration and bulk density measurement have been achieved.

In all study sites infiltration and soil humidity were always greater in CRT plot than in the control. The description of the pedological pits allowed identification of two soils types: a tropical ferruginous soil with spots and a tropical ferruginous hydromorphic soil with gley in deeper soil layer. The runoff rate varied from 42, 37 to 45, 39% in the control plot and 23, 16 to 26, 29% in the CRT ones. Soil losses have been estimated to 26350 Kg/ha<sup>1</sup> and 35750 Kg/ha<sup>1</sup> in the control and 7063 Kg/ha<sup>1</sup> and 7389 Kg/ha<sup>1</sup> s in the CRT plot respectively in site 1 and 2. High nutrients losses was observed in the month of July and August.

The CRT technology implemented reduced runoff and erosion and increase crop yield. Cotton yield was 2150 kg ha<sup>-1</sup> in the CRT plot and 1 035 Kg ha<sup>1</sup> for the NCRT plot. Millet yield was 1123 kg/ha<sup>1</sup> and 807 Kg Kg/ha<sup>1</sup> respectively in the CRT and NCRT plot.

Key words: Contour ridge tillage, runoff, erosion, nutrient, cotton, millet, yield

## **I. INTRODUCTION**

Le continent africain est vulnérable face au changement climatique. A cela s'ajoutent la désertification, la sécheresse, la dégradation des sols et des ressources naturelles, les inondations et la pauvreté qui sont les défis environnementaux et sociaux les plus importants des pays africains en général et ceux du Sahel en particulier. Une grande partie de la population dépend des ressources naturelles et de l'agriculture pour sa subsistance (ABDO, 2014).

Selon les estimations d'une étude réalisée en 1995 par Lal R., cité dans le mémoire de thèse Bengaly 2009, les diminutions de rendements liées à l'érosion seraient, en moyenne de 8,2% pour le continent africain, et de 6,2% pour l'Afrique subsaharienne. Si l'érosion accélérée se poursuit sans frein, d'ici 2020 les diminutions de rendement seraient de 16,5% pour tout le continent et de 14,5% pour l'Afrique subsaharienne. Les indications relevées dans cinq pays de l'Asie du Sud-est et trois pays du Moyen Orient signalent une chute de la productivité de plus de 20% du fait de la dégradation des sols.

Le Mali est un pays à vocation agro-pastorale avec l'agriculture comme activité principale occupant 80 % de la population (DNA, 2012).

L'économie malienne repose principalement sur le secteur primaire dominé par une agriculture extensive et un élevage transhumant. L'agriculture contribue à l'économie pour 34% du PIB, procure 23% des exportations du pays et occupe 80% de la population active. En dépit de cette importance socioéconomique, la production agricole se fait dans un contexte assez difficile. Il y a une baisse continue de la productivité des cultures suite à la dégradation graduelle des ressources naturelles et un appauvrissement rapide des sols en éléments nutritifs (MDR., 2014).

Malheureusement les ressources naturelles qui constituent la base des systèmes de production subissent, d'année en année, sous l'influence des aléas climatiques et de la croissance démographique humaine et animale, une pression sans cesse continue qui se traduit par leur surexploitation (Plan National pour la Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols au Mali, 2012).

Au Mali, les 3,5 à 5 millions d'hectares de terres cultivées annuellement sont marqués par un niveau de fertilité moyen à faible, avec des carences en azote et en phosphore et par une forte sensibilité à l'érosion éolienne et/ou hydrique. Ces superficies cultivées croissent à un rythme de 4,7%/an et entament largement les terres marginales (26% des superficies cultivées) (MEAM, 2015) qui sont très sensibles au ruissellement des eaux de pluies.

Le ruissellement est important dans les zones soudano-sahéliennes et les dégâts sont énormes. Guillobez *et al.* (1995) rapporte que des intensités de 80 à 100 mm h<sup>-1</sup> pour des durées de 5 à 10 minutes sont fréquemment enregistrées au Burkina Faso dans des zones agro-écologiques voisines de celles de Kani. Par ailleurs, Bertrand et Gigou (2000) mentionnaient que dans les zones nord soudaniennes et celles soudano-sahéliennes, l'intensité sur 30 minutes pourrait atteindre 56 mm h<sup>-1</sup> en moyenne une fois chaque année et 78 mm h<sup>-1</sup> tous les 10 ans.

La disponibilité en eau est l'une des principales contraintes à la production des cultures (Breman et Kessler, 1995) car elle influe directement sur les plantes, expliquant ainsi l'importance de réduire l'eau de pluie perdue par ruissellement dans l'agriculture pluviale (Gigou *et al.* 2006). A cela s'ajoute l'érosion hydrique accentuée par les forts ruissellements. Le ruissellement est néfaste à la production agricole parce que, d'une part il réduit les disponibilités en eau pour les cultures et les arbres du parc arboré et, d'autre part, il peut entraîner l'appauvrissement du sol par décapage des horizons superficiels. (Bertrand et Gigou, 2000). Les pertes ont été estimées dans les sols cultivés au Sud du Mali par Van Der Pol (1991) à 25 kg/ha/an de N et 20 kg/ha/an de K. Il a conclu que 44% des pertes de revenus des agriculteurs sont dus à l'épuisement des sols. La perte de revenus agricoles due à l'érosion varie entre 4239 FCFA/ha/an en zone sahélienne jusqu'à 90.000 FCFA/ha/an en zone soudanienne selon les cultures et les pentes de terrain (Bishop et Allen, 1989). Pour l'économie du Mali, les coûts liés à la dégradation des terres oscillent entre 20,9 et 26,5% du PIB, soit deux fois la dette extérieure du Mali.

Les pertes annuelles moyennes en terres arables, du fait de l'érosion, sont de l'ordre de 6,5 tonnes/hectare par an, variant d'une tonne au nord à plus de 10 tonnes au sud. Face à cette situation, l'État malien a su réunir ses partenaires à travers la mise en place d'une coalition visant à mutualiser les efforts de chacun pour lutter contre la désertification et la pauvreté tout en favorisant l'adaptation au changement climatique et le commerce grâce à la gestion durable des terres (MEAM, 2015).

De façon générale, durant les trente dernières années, les recherches sur le ruissellement et l'érosion des sols en Afrique de l'Ouest ont mis l'accent sur les études à l'échelle parcelle en vue d'une meilleure gestion des agro systèmes tandis qu'elles avaient été entreprises depuis les années 1950 aux USA (Wischmeier et Smith, 1965). Les travaux en Afrique de l'Ouest et particulièrement dans les écosystèmes soudano-sahéliens ont permis de proposer des méthodes de gestion conservatoire des sols et des eaux pluviales (Bengaly, 2009). En outre, Diallo *et al.*, (1999) ont montré que la variation de la quantité de terre érodée à l'échelle

parcellaire est fonction du type de sol et de son mode d'utilisation (jachère, culture), de sa teneur en carbone organique et la présence éventuelle d'éléments grossiers.

Dans les systèmes à faible intrants agricoles dans les zones semi-arides, comme celles du Mali, le développement des techniques de conservation de l'eau est essentiel pour assurer la durabilité des systèmes agricoles (Traore, 2003) ; le cas de l'aménagement des champs en courbes de niveau est un exemple édifiant. L'aménagement en courbes de niveau est une technique qui permet d'orienter l'ensemble des façons culturales suivant la courbe de niveau préalablement construite à l'aide d'un instrument topographique

La technologie d'Aménagement en Courbes de niveau a considérablement augmenté les rendements de maïs de 24% et le C organique du sol de 26% en Gambie, de 12% de C et 30% sur la production des mil-sorgho Siguidolo (Mali), et de 14% sur la production en systèmes arachidier de Nioro, Sénégal. Ces augmentations de C organique des sols et de rendement des cultures sont probablement dues à trois facteurs: (1) la réduction de l'érosion du sol, (2) la croissance accrue des cultures, résultant de la plus grande capture des précipitations, et (3) l'augmentation de la croissance et la densité des arbustes et arbres, résultant de l'eau du sous-sol qui a augmenté, avec une réduction du ruissellement (Doumbia *et al.* 2009).

L'amélioration des moyens de subsistance à travers l'augmentation de la production dans ces agricultures à faibles intrants a besoin de prendre en compte les différents niveaux de paysage à savoir le haut, le milieu et le bas de la toposequence avec tous leurs composants les cultures, le bétail, les arbres, les sols, l'eau, les systèmes d'utilisation des terres, les systèmes de production, les systèmes d'agroforesterie, etc.(Traore et al, 2012)

L'objectif principal de la présente étude est de Contribuer à l'amélioration de la production des cultures par une meilleure maîtrise du ruissellement et des pertes de nutriments du sol dans les champs cultivés. La technologie appliquée est l'aménagement en courbes de niveau pour faire face aux problèmes de ruissellement, d'érosion hydrique et de déficit hydrique des cultures. C'est dans une perspective de contribuer à la recherche de solutions aux problèmes causés par le ruissellement et l'érosion que le thème : **«Estimation du ruissellement et de l'érosion sous culture en zone soudanienne du Mali cas de Kani cercle de Koutiala» a été proposé comme sujet de recherche.**

Outre la conclusion et l'introduction qui traitent également de la problématique de l'étude, le présent mémoire comprend 3 (trois) grandes parties :

La première partie traite des généralités sur le milieu d'étude et la structure d'accueil

La deuxième partie se concentre sur l'état des connaissances

La troisième partie est consacrée sur l'étude pratique du thème.

## **II. ETATS DES CONNAISSANCES**

Au Mali l'agriculture dans la zone cotonnière est confrontée à plusieurs contraintes d'ordre agronomique parmi lesquels on peut citer : l'irrégularité des pluies, les risques d'érosion élevés, la faible disponibilité en eau, les mauvaises conditions de germination, les difficultés d'enracinements, la faible disponibilité en éléments nutritifs et la faible disponibilité de biomasse pour l'alimentation des animaux. Une stagnation voire une baisse des rendements des cultures est constatée depuis plusieurs années. La baisse de la fertilité des sols et la faible efficacité de l'utilisation des eaux de pluie par les cultures ont été identifiées comme faisant partie des raisons de la baisse des rendements. Les aménagements en courbes de niveau (facile à mettre en œuvre) sont une bonne stratégie de conservation et de gestion de l'eau, d'amélioration de la fertilité du sol, permettant d'améliorer le rendement des cultures. (PASE II, 2015).

### **2.1. Généralités sur l'érosion hydrique**

#### **2.1.1. Quelques définitions**

Le mot érosion vient du verbe latin "ERODERE" qui signifie "ronger" (Roose, 1994).

L'érosion ronge la terre. Elle résulte de nombreux processus qui jouent au niveau de trois phases : le détachement des particules, le transport des matériaux (sous formes solide et ionique) et la sédimentation.

L'érosion a toujours existé et continuera à exister (Hudson, 1981). La surface terrestre est en changement perpétuel et les formes de relief actuelles ne sont pas généralement le résultat d'un cataclysme particulier. Ces formes résultent de changements infiniment lents dont les effets sont notables, le plus souvent, après des siècles ou des millénaires. L'érosion est simplement un aspect de ce constant processus de changement. Elle est responsable, entre autres, de la formation des dépôts détritiques.

Il existe divers types d'érosion et le dictionnaire des sciences de la terre (Michel et Fairbridge, 1992) en donne une liste impressionnante. La distinction entre les différents types d'érosion peut se faire à partir de critères divers. Une des distinctions les plus utilisées est celle faite à partir des facteurs actifs de l'érosion, c'est-à-dire la source d'énergie : érosions par le vent, par l'eau, par la glace et par la gravité. Hudson (1981) distingue l'érosion géologique et l'érosion accélérée. Il est question "d'érosion géologique", ou "érosion normale" ou "érosion naturelle" sont les processus morpho dynamiques résultent seulement des forces de la nature. Quand les processus sont influencés par les activités humaines, on parlera d'érosion accélérée.

Roose (1994), a donné des chiffres indicatifs sur les pertes en terre par l'érosion normale, l'érosion accélérée et les situations catastrophiques :

- Erosion normale: 0,1 à 10 t ha<sup>1</sup> an<sup>-1</sup>.
- Erosion accélérée: 10 à 700 t ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>
- Ravinement: 700 à 1000 t ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>
- Erosion catastrophique: décapage d' 1 mètre en quelques heures
- Glissement en masse: 1000 à 100000 t ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>

Notre objet d'étude est l'érosion accélérée en condition pluviale (érosion hydrique).

L'érosion hydrique est l'un des six groupes de processus de dégradation des sols distingués par la FAO (1980). Les autres groupes sont: l'érosion éolienne, la dégradation par excès de sel (salinisation et alcalinisation), les dégradations chimique, physique et biologique.

Rappelons que la dégradation du sol est un processus qui diminue la capacité actuelle ou potentielle du sol de produire (quantitativement et ou qualitativement) des biens ou services (FAO, 1980). La dégradation du sol n'est pas nécessairement continue. Elle peut avoir lieu pendant une période relativement brève entre deux états d'équilibre écologique. Parmi les formes d'érosion hydrique, on distingue généralement: l'érosion en nappe, l'érosion linéaire et l'érosion en masse. Une forme d'érosion évolue le plus souvent vers une autre. Par exemple, l'érosion en nappe évolue en rigoles puis en ravines, deux formes d'érosion linéaire.

#### \* Erosion en nappe

On parle d'érosion en nappe ou aréolaire parce que l'énergie des gouttes de pluie s'applique à toute la surface du sol et le transport des matériaux détachés s'effectue par le ruissellement en nappe. C'est le stade initial de la dégradation des sols par l'érosion hydrique. L'érosion en nappe observée sur parcelle d'érosion dépend à la fois de :

- l'intensité maximale des pluies qui déclenche le ruissellement,
- l'énergie des pluies qui détache les particules susceptibles de migrer,
- la durée des pluies et/ou de l'humidité avant la pluie.

Plusieurs chercheurs ont observé que seules les pluies intenses provoquent de l'érosion (Hudson, 1965 et 1983; Elwell et Stocking, 1975) cités par Roose (1994). On peut cependant penser que toutes les pluies laissent une trace en dégradant la surface du sol (Roose, 1994).

Même si toutes les pluies ne ruissellent pas, elles favorisent la naissance de croûtes peu perméables et accélèrent le ruissellement lors des averses suivantes.

#### \* Erosion linéaire

L'érosion linéaire apparaît lorsque le ruissellement en nappe s'organise et creuse des formes de plus en plus profondes:

- les griffes, profondes de quelques centimètres;
- les rigoles dont la profondeur atteint 10 cm ;
- la nappe ravinante où les creux ne dépassent pas 10 à 20 cm mais la largeur atteint plusieurs mètres;
- les ravines où les creux atteignent plusieurs dizaines de cm (plus de 50 cm).

L'érosion linéaire a pour cause l'énergie du ruissellement, laquelle dépend à la fois du volume ruisselé et de la vitesse de celui-ci.

#### \* Erosion en masse

Les phénomènes de mouvement de masse sont très nombreux et comprennent principalement divers types de glissements dont les coulées boueuses.

Du fait de l'ampleur du problème et de la gravité de ses répercussions sur le terrain et hors du terrain, l'érosion hydrique est au cœur des efforts de conservation des sols au Mali. La vitesse et l'ampleur de l'érosion causée par l'eau dépendent des facteurs suivants :

- **Pluie et ruissellement**

Plus grandes sont l'intensité et la durée d'un épisode de pluie, plus grand est le risque d'érosion. L'impact des gouttes de pluie sur la surface du sol peut briser les agrégats et disperser les particules de sol. Les particules les plus légères, dont les particules très fines de sable, de limon, d'argile et de matière organique, sont facilement emportées par les éclaboussures d'eau de pluie et les eaux de ruissellement. Il faut davantage d'énergie transmise par les gouttes de pluie et un écoulement plus important pour emporter les particules plus grossières de sable et de gravier. (Roose, 1994).

Sur les terrains en pente, l'eau commence à ruisseler à la surface du sol lorsque l'excédent d'eau ne peut plus être absorbé par le sol ou que l'eau est piégée à la surface. Le ruissellement s'intensifie lorsque le taux d'infiltration diminue sous l'effet du gel, de l'encroûtement ou du compactage du sol. Sur les terres agricoles, le ruissellement le plus considérable est observé au mois de juillet et août lorsque, normalement, les sols sont saturés, et le couvert végétal est minimal.

- **Érodibilité du sol**

D'après Roose (1994), l'érodibilité d'un sol en tant que matériau plus ou moins cohérent, est sa résistance à deux sources d'énergie : d'une part, la battance des gouttes de pluies à la surface du sol et d'autre part, l'entaille du ruissellement entre les mottes, dans les griffes ou rigoles. Le facteur d'érodibilité du sol, K, est une valeur quantitative et sans unité, déterminée de façon expérimentale (Wischmeier et Smith, 1978):

$$K = \frac{E}{R \times SL \times CP \times 2,24}$$

E = érosion en tonne par hectare

R = érosivité des pluies

K = érodibilité

L= longueur de la pente et S = son inclinaison

C = couvert végétal et P = pratique culturale

L'érodibilité d'un sol est une estimation, fondée sur les caractéristiques physiques du sol, de la vulnérabilité de ce sol à l'érosion. L'érodibilité est surtout influencée par la texture du sol, mais elle l'est également par sa structure, sa teneur en matière organique et sa perméabilité. En général, les sols qui affichent une plus grande résistance à l'érosion sont ceux dans lesquels l'eau s'infiltré plus rapidement, ceux qui sont riches en matière organique et ceux dont la structure est améliorée. Les sables, ont tendance à être moins vulnérables à l'érosion que les limons, les sables très fins et certains sols argileux.

Les pratiques aratoires et culturales qui appauvrissent le sol en matière organique, nuisent à la structure du sol ou provoquent le compactage du sol contribuent à accroître l'érodabilité. Par exemple, les couches de sol compactées sous la surface peuvent faire obstacle à l'infiltration de l'eau et contribuer au ruissellement. La formation d'une croûte de sol, qui a tendance à « sceller » la surface, nuit aussi à l'infiltration de l'eau. Si, à certains endroits, l'encroûtement peut réduire les pertes de sol causées par l'impact des gouttes de pluie et des éclaboussures d'eau, il entraîne quand même une augmentation correspondante du volume des eaux de ruissellement qui risque de provoquer des problèmes d'érosion plus graves encore.

L'érosion passée influence aussi l'érodabilité du sol, car, bien souvent, les couches de sol sous-jacentes à la couche arable qui se trouvent exposées ont tendance à être plus vulnérables à l'érosion que les couches de sol originales en raison de leur moins bonne structure et de leur faible teneur en matière organique. Elles sont aussi moins fertiles, ce qui se répercute sur le

rendement des cultures. Les peuplements étant alors généralement plus clairsemés, la protection du sol offerte par les cultures se trouve compromise.

D'après Wischmeier et Smith aux USA, cités par Roose (1994), il s'avère que l'érodabilité d'un sol dépend essentiellement:

- ✓ du taux de matière organique,
- ✓ de la texture, en particulier les taux des fractions granulométriques de 2 à 100 microns,
- ✓ et enfin de la structure et de la perméabilité.

### **Equation de Wischmeier et Smith**

Équation universelle des pertes en terre (EUPT)

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

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

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

**K** représente le facteur d'érodibilité du sol. Le facteur K est une mesure de la vulnérabilité des particules de sol au détachement et au transport par la pluie et le ruissellement. La texture est le principal facteur qui influence le facteur K, mais la structure, la teneur en matière organique et la perméabilité du sol ont aussi un rôle à jouer.

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

**C** correspond au facteur de culture (végétation) et de gestion. Ce facteur sert à déterminer l'efficacité relative des systèmes de gestion du sol et des cultures en termes de prévention des pertes de terre.

**P** correspond au facteur de pratique de conservation. Il reflète les effets des pratiques qui réduisent la quantité d'eaux de ruissellement et la vitesse de ruissellement et qui réduisent de ce fait l'importance de l'érosion.

- **Pente et longueur de pente**

Plus la pente d'un champ est raide et plus cette pente est longue, plus les risques d'érosion sont grands. L'érosion hydrique augmente aussi avec la longueur de la pente à cause de l'augmentation du ruissellement. La fusion de petits champs pour en faire de plus grands a souvent pour conséquence d'allonger les pentes. Le débit de l'eau étant alors plus rapide, le transport des sédiments augmente, ce qui donne lieu à des risques accrus d'érosion et d'affouillement.

Les risques d'érosion des sols en fonction de la pente sont évalués de la façon

Suivante :

**Entre 0 et 1% :** ruissellement des eaux mais sans érosion

**Entre 1 et 3% :** érosion diffuse et formation de rigoles

**Entre 3 et 5% :** érosion forte avec ravinement

**Plus de 5% :** érosion très forte avec ravinement profond. Ces chiffres sont bien sûr à relativiser en fonction du type de sol. (Ontario, 2016).

- **Cultures et végétation**

Le risque d'érosion augmente si le sol n'est pas suffisamment protégé par le couvert végétal et/ou une couche de résidus de culture. Les résidus et la végétation protègent le sol de l'impact des gouttes de pluie et des éclaboussures d'eau. Ils ont aussi tendance à réduire la vitesse d'écoulement de l'eau et à favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol.

L'efficacité de la végétation et des résidus à réduire l'érosion dépend du type, de l'étendue et de la densité du couvert végétal. La meilleure façon de combattre l'érosion est de miser à la fois sur un couvert végétal et sur des résidus de culture (par. exemple, forêts et pâturages permanents) qui couvrent complètement le sol et qui interceptent les gouttes de pluie à la surface du sol et près de celle-ci. Les résidus partiellement incorporés et les vieilles racines ont aussi leur importance, parce qu'ils facilitent l'infiltration. (Guide d'érosion des sols, 2003).

L'efficacité d'un couvert végétal à réduire l'érosion dépend aussi de la protection qu'il offre à différentes périodes de l'année en fonction de l'importance des précipitations érosives reçues au cours de ces périodes. Les cultures qui procurent un couvert végétal complet durant la majeure partie de l'année permettent de beaucoup mieux maîtriser l'érosion que les cultures qui laissent le sol nu pendant plus longtemps, particulièrement pendant les périodes de précipitations très érosives, comme le printemps et l'été. Les systèmes de conduite des cultures qui favorisent les techniques de culture selon les courbes de niveau et de culture en bandes peuvent réduire encore davantage l'érosion. Pour freiner le gros de l'érosion dans les cultures en rangs, laisser des résidus couvrant plus de 30 % de la surface du sol après la récolte et pendant les mois d'hiver, ou semer une culture de couverture sous couvert. (Guide d'érosion des sols, 2003).

- **Pratiques culturales**

L'érosion hydrique est influencée par les opérations culturales, notamment par la profondeur de travail du sol, le sens dans lequel celui-ci se fait, le moment des labours, le type d'instruments aratoires et le nombre de passages. Généralement, moins le travail du sol perturbe la végétation ou la couche de résidus en surface ou près de la surface, moins le travail du sol engendre d'érosion hydrique. Le travail réduit du sol et le semis direct sont des moyens efficaces de limiter ce type d'érosion. (Guide d'érosion des sols, 2003).

Au contraire, les pratiques aratoires réalisées dans le sens de la pente favorisent l'érosion hydrique en offrant des voies d'écoulement aux eaux de ruissellement. Le travail du sol à contre-pente et les techniques de labour suivant les courbes de niveau s'opposent à la concentration des eaux de ruissellement et limitent les déplacements de sol.

- **Formes d'érosion hydrique**

- ✓ Érosion en nappe

L'érosion en nappe s'entend du déplacement des particules de sol provoqué par le choc des gouttes de pluie et les eaux de ruissellement. Elle se produit habituellement d'une manière égale sur une pente uniforme et passe inaperçue jusqu'à ce que la quasi-totalité de la couche arable productive ait été enlevée. Le sol fertile détaché par l'érosion se retrouve au bas de la pente (<http://www.omafra.gov.ca/french/29/07/16> 22h17mm) ou dans des terres basses. On reconnaît aussi ce type d'érosion à la couleur claire du sol sur les buttes, aux changements dans l'épaisseur des couches de sol et aux faibles rendements sur les épaulements et les buttes.

### **2.1.2 Les principes de la lutte contre l'érosion**

En connaissant les causes de l'érosion, l'évolution du processus et les relations entre l'érosion et l'état du sol, on peut choisir les mesures d'amélioration. En résumant, les mesures de lutte contre l'érosion sont toujours basées sur les principes suivants :

- ✓ La réduction de la force de l'impact des gouttes de pluies, c'est-à-dire la protection du sol contre la violence directe de la pluie.
- ✓ L'amélioration de la stabilité (ou résistance) du sol, c'est-à-dire du degré auquel le sol conserve sa structure malgré l'impact de la pluie.
- ✓ La réduction de la quantité d'eau entraînant le ruissellement, ce qui permet une meilleure infiltration de l'eau dans le sol.
- ✓ La réduction de la vitesse de l'eau et le contrôle de l'évacuation des eaux de ruissellement. ( Hil Kuypers et al., 2004)

- ✓ La présente étude technique s'attarde aux causes et aux effets du ruissèlement et d'érosion des terres agricoles par l'eau de pluie, et le travail du sol.

## **2.2. Aménagement en courbe de niveau**

L'aménagement consiste à réaliser des ados de terre suivant les courbes de niveau, avec la charrue tractée par les bœufs, et à les conserver sous un enherbement permanent. Les cultures sont réalisées sur des billons qui suivent ces courbes de niveau : l'eau des pluies est retenue entre les billons, où elle s'infiltré, et l'excès d'eau s'écoule lentement aux extrémités du champ. (Traore et al, 2012).

### **2.2.1. La culture suivant les courbes de niveau**

La culture suivant les courbes de niveau est une technique de conservation comprenant billonnage et plantation des cultures, en suivant les courbes de niveau du terrain.

L'agriculture suivant les courbes de niveau, a pour but de réduire l'eau de ruissellement ainsi que d'augmenter l'infiltration et la conservation de l'eau dans le sol. Elle s'applique sur des pentes qui ne dépassent pas 10%, mais qui ont une longueur de plus de 100 mètres. C'est une mesure simple et efficace qui peut être combinée avec d'autres techniques de conservation et de restauration des sols pour en augmenter l'efficacité (Samake, 2013).

La fertilisation doit mener à un bon développement des cultures, qui ainsi, résistent mieux à l'érosion.

La largeur entre les ados doit être établie en fonction du gradient de la pente et de la capacité d'infiltration du sol, de façon que la vitesse de ruissellement de l'eau à travers les billons n'atteigne pas une vitesse qui provoquerait l'érosion érosive. La largeur entre les ados, dépend de la "correction" qu'on doit réaliser, c'est-à-dire de la nécessité d'arrêter complètement l'eau de ruissellement dans les billons, pour que les billons d'en bas en reçoivent moins d'eau de ruissellement venant de l'amont.

Comme normes pour la largeur des bandes; les dimensions suivantes sont à suivre :

- ✓ pente de 0-2% largeur de 40 à 50 mètres
- ✓ pente de 2-4% largeur de 30 à 40 mètres
- ✓ pente > 4% largeur de 15 à 30 mètres
- ✓ dans les régions très humides largeur de 15 à 30 mètres

En procédant à l'installation des ados on doit faire coïncider la bordure des billons avec la courbe de niveau. Mais comme souvent la pente est irrégulière, cela signifie que la largeur entre les ados sera différente (Traore et al, 2012).

### **2.2.2. Principe et Effets de la technique des aménagements en courbe de niveau**

La réalisation de l'aménagement en courbes de niveau comprend 4 étapes (Diagnostic, Piquetages, Réalisation des ouvrages ; et Entretiens).

Les effets suivants peuvent être attendus de l'aménagement en courbes de niveau :

- Réduction du ruissellement de 20-50% donc de l'érosion ;
- Amélioration du front d'humectation des sols,
- L'infiltration supplémentaire est d'environ 10 % du total des pluies ;
- Augmentation de l'efficacité du fumier et des engrais ;
- Augmentation du rendement des cultures de 30% en moyenne;
- Amélioration du niveau de la nappe phréatique ;
- Amélioration de la régénération naturelle dans les champs ;
- Amélioration de la séquestration du carbone (sol et végétation) ;
- Amélioration du revenu du paysan.
- Le niveau d'adaptabilité de la technique est très élevé, de sorte qu'en dehors des sols très sablonneux, elle peut être appliquée sur la plupart des sols quel que soit le type de travail (manuel, attelé, motorisé) utilisé. Mais il faut prendre suffisamment en considération les chevauchements avec les autres travaux agricoles, et le niveau d'équipement des paysans (charrue, multicultureur, bœufs de labour, daba etc.) (Traore et al, 2010)

## **2 .3. GENERALITE SUR LES CULTURES (COTON ET MIL)**

### **2.3.1. Généralités sur le cotonnier**

#### **3.3.1.1. Historique**

La culture du cotonnier remonte à une date ancienne, des fragments de tissus découverts au Pakistan ont été situés à 3000 ans avant Jésus christ, confirmant ainsi la littérature de la Chine qui relate que le cotonnier y était déjà exploité 3.000 ans avant notre ère. Un tissu de coton datant de 2 500 ans avant J. C a été découvert dans le Nord du Pérou. Le cotonnier a toujours été cultivé essentiellement pour les graines qui sont recouvertes de fibres pouvant être filées et tissées. Vers le début de notre ère déjà, le coton brut est transporté de l'Inde à la mer rouge en nombreuses caravanes; pour y être vendu, du temps des pharaons, l'Egypte était un grand importateur de cette fibre. Cependant, la culture et le commerce du coton ont également pris une grande envergure dans le nouveau monde au XVIème siècle. Les Mexicains cultivaient le cotonnier et utilisaient sa fibre pour leur habillement. Au XVIIème siècle, des graines de coton originaire du Moyen Orient et des Antilles sont introduites en Amérique du nord Grâce

aux liens existant entre les Etats Unis et l'Angleterre, sa culture mène à une commercialisation de la fibre. Une manufacture de coton très importante fut implantée au Royaume Uni.

Au XVIIIème siècle, la première égreneuse est inventée par Whitney. Ce qui conduit à un développement sans précédent de la culture et de l'industrie cotonnière dans tout le monde. Actuellement, nous sommes très loin de la culture extensive des cotonniers semis sauvages pérennes tels qu'ils ont été pendant des milliers d'années. Cette pratique culturelle dite ancestrale s'est vue substituée par la culture intensive moderne répondant aux exigences socio-économiques du monde actuel dont, le marché de production et de commercialisation est non seulement victime de la règle rudimentaire de la loi de l'offre et de la demande, mais aussi de celle de la compétitivité.

Au XIXème siècle, l'Angleterre perd sa place prépondérante dans la commercialisation du coton et les Etats Unis deviennent les premiers producteurs et marchands de coton, grâce à l'énorme extension de la culture. La 2<sup>ème</sup> moitié du XIXème siècle est marquée par l'apparition d'industries cotonnières dans un grand nombre de pays du tiers monde. En Afrique tropicale, elle tient pour l'instant une place encore assez modeste, mais il ne fait guère de doute que dans les années à venir la production et l'industrialisation cotonnière prendra un grand essor sur ce continent en raison des grandes disponibilités en superficie et des conditions favorables à sa culture et à l'amélioration de sa productivité. La rupture avec la culture extensive est de rigueur avec la mise en place des structures d'encadrement et la réorganisation des réseaux de commercialisation et l'approvisionnement en intrants (Mazo 2015). Le Mali n'est pas restée en marge de l'expansion de la culture cotonnière à travers le monde. Depuis l'antiquité, le coton a pénétré dans nos sociétés au point d'influencer les mœurs et coutumes de certains peuples. Le Mali est spécifiquement concernée par la production cotonnière car il occupait la 2<sup>ème</sup> place en Afrique après l'Egypte pendant plusieurs années. La campagne 2003/2004 a été un record avec une production de 612500 tonnes plaçant pour la première fois le Mali au premier rang des producteurs africains. Ce niveau « record » de la récolte s'explique notamment par le relèvement du prix d'achat aux producteurs (de 180 FCFA à 200 FCFA). Mais malheureusement, la production cotonnière de 2004-2005 n'a pas comblé les attentes à cause de la mauvaise pluviométrie sur toute l'étendue du pays et le Mali devient encore le 2<sup>ème</sup> producteur du coton en Afrique subsaharienne. Actuellement, la volonté du gouvernement est d'augmenter des usines d'égrainage et de filature pour encore bénéficier d'avantage la production cotonnière et augmenter le revenu des producteurs de coton. La campagne cotonnière 2005-2006 a été prometteuse avec une

estimation de 620000 tonnes plaçant le Mali au 2<sup>e</sup> rang des producteurs de l'Afrique subsaharienne (CMDT, 2007).

Le cotonnier est la principale culture de rente au Mali. A cet effet diverses organisations et structures ont évolué depuis de longues dates pour la sauvegarde de la production (CFDT ; CMDT ; BDPA ; OHVN) du temps colonial à nos jours. L'agriculture en général et la culture cotonnière en particulier a toujours bénéficié de la protection classique basée sur l'utilisation aigue des pesticides chimiques avec toutes ses conséquences sur l'agro système.

### **2.3.1.2. Origine et systématique**

Le cotonnier est une dicotylédone de la famille des Malvacées auquel appartiennent de nombreuses autres plantes textiles tropicales. De la famille des Malvacée, tribu des Hibiscée, et du genre *Gossypium*. L. Dans le genre *Gossypium*, on compte environ 30 espèces annuelles et constants, arbustes et arbrisseau xérophytes dans les régions tropicales de l'Afrique, d'Asie, de l'Australie et de l'Amérique. Chaque espèce est assez limitée dans sa distribution. A l'intérieur des espèces, il existe une grande variabilité morphologique. Parmi toutes ces espèces 4 constituent le groupe des cotonniers cultivés caractérisés par la présence sur les graines des poils cellulosiques utilisés dans l'industrie textile. Les espèces *G. Herbaceum* et *G. arborium* donnent le coton dit indien à fibre épaisse et courte ;

*G. Barbadense* donnent les fibres longues et fines du coton Egyptien et *G. hirsutum* à fibre intermédiaire fournit près de 95% de la production mondiale actuelle.

Les caractéristiques de ces quatre espèces sont les suivantes :

*G. Herbaceum*, originaire d'Afrique ou d'Asie ; Les graines sont recouvertes d'un duvet et de fibres courtes et gosses à petites capsules rondes, taches rouges à la base des pétales. La plante atteint 2 m de haut.

*G. Arboreum*, originaire d'Afrique ou d'Asie à capsules allongées, à feuilles aux lobes profondément marquées tachés rouge à la base des pétales ; les graines recouvertes d'un épais duvet et des fibres courtes et blanches. La plante atteint 5m de haut.

*G. Barbadense*, originaire d'Amérique du sud (le Pérou) ; Capsule allongée fortement pustulée, feuilles lisses, fleurs à colonnes staminales longues, le stigmate dépassant largement les étamines, taches rouges à la base des pétales jaunes, les fibres sont longues et fines. La plante atteint 2 à 4m de haut.

*G. hirsutum*, originaire d'Amérique Centrale, a capsules rondes et lisses, fleurs à colonnes staminales courtes, au niveau des étamines 5 pétales de blanc à crème ; Feuilles velues. Les graines sont recouvertes de duvets et de fibres courtes. La plante atteint 1,5m de haut.

En ce qui concerne les considérations cytologiques ; il semblerait que les premiers travaux de cytologie cotonnière soit dû à Cannon (1907 ) qui étudiait les conséquences génétiques ( avec J. Schwendimai, cytogénéticien ) du croisement *G. Hirsutum* par *G. Barbadense* suivi presque aussitôt par Ball en (1910 ) sur la recherche de la division nucléaire du *Gossypium*. Ces travaux ont été suivis de beaucoup d'autres en raison de l'importance de plus en plus grandissante que prenait cette plante dans le monde entier. Connaître les relations cytogénétiques qui lient les espèces de cotonniers se révèle particulièrement utile pour comprendre les tendances évolutives du genre ; mais surtout pour évaluer les possibilités de transfères interspécifiques des caractères utiles présent chez les espèces sauvages ou primitives et en particulier les formes de résistances aux stress (climat, maladies, insectes, etc). Les études cytologiques ont permis de classer les cotonniers en deux grands groupes : soit diploïde  $2n = 2x = 26$  ; Soit tétraploïde  $2n = 4x = 52$ .

*G.arboreum* et *G.herbaceum* sont diploïdes avec  $2n = 26$ ;

*G.barbadense* et *G.hirsutum* sont tétraploïdes avec  $2n = 52$ .

### **2.3.1.3. Description Botanique**

Le cotonnier est une plante pérenne exploitée comme culture annuelle en vue de limiter son parasitisme, car de toutes les plantes cultivées elle reste le genre botanique le plus attaqué (Parryg ,1982).

#### **2.3.1.3.1. Morphologie**

Petit arbuste de 1 à 1,5m environ, la plante comporte une tige principale à croissance monopodiale portant 2 à 3 branches végétatives (monopodes) suivies des branches fructifères (sympodes). Le polymorphisme du cotonnier dépend des espèces et des conditions du milieu. Toutes les espèces ont une croissance indéterminée ; C'est pour cela que l'on suppose qu'elles peuvent toutes être pérennes (Parryg., 1982).

##### **✓ Racine**

Le système racinaire comprend une racine principale, pivotante et puissante pouvant atteindre 3m de profondeur et des racines latérales. Pour un arrêt de la principale, on observe le plus souvent le développement d'une secondaire horizontale pouvant pénétrer en profondeur et dépasser les 2 m. Cette aptitude est très importante en cas de sécheresse.

##### **✓ Feuilles**

Après la germination, les deux cotylédons opposés tombent et laissent deux cicatrices servant de repère pour le comptage des nœuds. Le pétiole présente deux stipules et le limbe, des nervures à nectaires. Les feuilles ont une pilosité plus ou moins importante selon les espèces

et leur forme est très variable. Les hirsutum ont un limbe mince, celui des Barba dense est épais et cassant (Parryg. ,1982).

#### ✓ **La fleur**

Elle comprend un pédoncule, un involucre de 3 à 4 bractées entourant le bouton floral, un calice avec 5 sépales et une corolle avec 5 pétales. Les étamines sont soudées par leurs filets en un tube entourant le pistil ou colonne staminale. Celle -ci plus courtes que les stigmates rendent difficile les autofécondations. Chaque carpelle comporte 8 à 12 graines.

#### ✓ **Le fruit**

Le fruit est une capsule de forme variable à parois externes lisses chez les hirsutum et rugueuses chez les Barbadense. Le caractère d'adhérence de la fibre à la capsule est généralement génétique et fait l'objet de sélection selon que l'on désire une résistance au vent ou une facilité à la récolte.

#### ✓ **La graine**

La graine est riche en protéines, farine et renferme une substance toxique (le gossypol) pour l'homme et les animaux monogastriques. Au nombre de 3 à 10 par loge, la grosseur des graines est variable. La graine comprend : l'amende formée d'un embryon et de deux cotylédons enveloppés d'un tégument. C'est cette amende qui sert de matière première à l'extraction de l'huile et d'autres usages alimentaires humains et animaux (Mazo, 2015)

#### ✓ **Fibre et duvet**

Les fibres formées à la suite du développement des poils unicellulaires dès l'anthère. Cinq jours après la fécondation se forment les duvets (ou linter) dont l'élimination (délintage) facilite l'extraction de l'huile. Les fibres sont constituées de cellulose, de cire etc. Elles se prêtent aux transformations industrielles textiles.

#### ✓ **Glandes**

Elles sont de deux sortes : l'une externe (nectaire) sécrète un liquide sucré attirant les insectes et provient de la nervure, au niveau des fleurs, des pédoncules et de la base des bractées. L'autre interne produit le gossypol, qui est une substance toxique pour l'alimentation humaine et animale; mais ayant un rôle de protection contre les ennemis surtout les insectes. Pour cette raison, certains programmes de recherches considérant surtout le côté toxique sont orientés vers la création de variétés sans glande à gossypol pouvant être d'une large utilisation alimentaire.

#### **2.3.1.4. Utilisation**

Le cotonnier est cultivé pour ses fibres utilisées dans la confection des tissus, des couvertures, de coton hydrophile de l'entoilage des pneus etc. La graine cotonnière entre de plus en plus dans l'alimentation humaine et animale bien que le gossypol présente une certaine toxicité. D'autres usages non moins importants sont faits du coton : papier fin, combustible, feutre, vernis etc.

#### **2.3.1.5. Ecologie**

Plante tropicale, le cotonnier est exigeant en chaleur, la température optimale pendant tout le cycle se situe au tour de 28° - 30° C. Les conditions hydriques permettent dans bien de cas de régulariser les problèmes de température excessive. La culture du cotonnier est pratiquée au Mali dans les isohyètes de 800 mm et les besoins en eau de la culture sont très importants à tous les stades de développement (Tableau 1). Tout comme la sécheresse, la plante ne tolère pas un excès d'eau prolongé. La plante est aussi très sensible à la lumière, les hautes intensités lumineuses favorisent la croissance végétative, une réduction de la chute des organes floraux, alors que la réaction de la plante à la durée de la longueur du jour est moins accentuée.

#### **2.3.1.6. Biologie et Physiologie**

Le cotonnier est une plante à caractéristiques vivaces dont le comportement physiologique s'adapte à des conditions de culture annuelle. Il préfère les basses altitudes, les sols homogènes profonds assurant un meilleur développement des racines. Il est très exigeant en eau et les besoins varient de 600 à 900 mm et plus, mais c'est surtout la répartition des pluies qui présente un grand intérêt. Des pluies intenses peuvent causer la collure. La germination du cotonnier peut s'étaler sur 6 à 10 jours ou plus si les conditions sont défavorables. Le minimum de température est de 12 à 13°C pour les *Barbadense* et de 15 à 16°C pour les *Hirsutum*; l'optimum étant de 30°C. L'étalement des cotylédons au stade 4 feuilles (20<sup>ème</sup> jour) est très important et toute perturbation de cette phase ne sera que rarement compensée. Le sol doit être humide aéré et riche en azote. Pour une croissance rapide, l'eau et les éléments nutritifs ne doivent faire défaut. On a pour le port deux à trois branches végétatives, 10 à 15 branches fructifères. Le premier bouton floral apparaît généralement vers le 40<sup>ème</sup> jour après la levée. Chaque branche fructifère porte de 6 à 8 boutons floraux (bourgeons floraux ou squares). La fleur est entière 20 à 25 jours après la différenciation du square. La pollinisation se fait entre 9h et 12h et l'allogamie peut atteindre ou même dépasser les 50%. Le processus de germination du grain de pollen – fusion des noyaux prend 20 à 30 heures. Le lendemain de l'anthèse, la corolle rougit puis tombe, il ne reste plus que l'ovaire devenu jeune fruit. La

capsule atteint sa taille finale en trois semaines après formation. Entre le 20 et le 30<sup>ème</sup> jour, la teneur en huile augmente et les poiles situés à la surface de l'épiderme de la graine s'allongent dès le jour de l'anthèse pour former les fibres de coton dont la longueur est définitive 21 à 24 jours après l'anthèse. La chute des organes fructifère est un phénomène très important chez le cotonnier et est causé par diverses piqûres des insectes, vents, sécheresse, avortement, etc. Cependant ce phénomène est globalement appelé abscission ou le « shedding » est généralement suivi par l'apparition des nouveaux organes floraux. La plante très parasitée mérite un contrôle obligatoire et rigoureux (Mémoire Mazo, 2015).

**Tableau 1** : Besoin en eau du cotonnier au Mali et ses différentes phases végétatives

Phages végétatives	Âges après semis en jours	Besoin en eau (mm/j)
Levée - 1 <sup>er</sup> bouton floral	10-45	1 à 2,5
1 <sup>er</sup> bouton floral – 1 <sup>ère</sup> fleur	45-75	2,5 à 7
Maximum floraison	75-120	5,7 à 6
Fructification	+120	4,7

Source : Dognin O. 1981

### 2.3.1.7. Technique culturale

Le cotonnier est une plante pérenne cultivée annuellement pour limiter les dégâts surtout parasites. L'extrême sensibilité de cette plante aux ennemis des cultures proscrit la monoculture. Le cotonnier rentre en parfaite rotation avec les autres cultures (surtout les cultures céréalières) aux quelles il donne un coup de fouet par les arrières effets des fumures qui lui sont apportées. Ainsi, l'objectif de la rotation est la protection de la culture contre les ravageurs, les adventices, de maximiser les avantages de l'emploi des fertilisants et la diversification des cultures. Culture de rente, le cotonnier doit bénéficier de l'application correcte des techniques culturales. Le semis se fait le plutôt possible après les premières pluies utiles aux écartements de 0,80m entre les lignes et 0,30m entre les poquets à raison de 5 à 10 graines par poquet. Le resemis se fait 15 jours après le semis. Le démariage à 2 plants par poquet correspond à une densité optimale de plantes (30.000 à 80.000 pieds par hectare). La chaîne classique des travaux d'entretien est la suivante :

15 jours après le semis : premier épandage d'engrais, premier sarclo- binage ;

30 jours après le semis : démariage à deux plants par poquet, deuxième sarclo-binage ;

50 jours après le semis : binage après épandage d'engrais ;

75 jours après le semis : dernier sarclo-binage suivi de buttage si nécessaire.

Le cotonnier étant une plante exigeante en fumure, celle vulgarisée au Mali est la suivante : 5 à 15 tonnes par hectare de compost, le complexe coton de 150 à 200 Kg / ha (en fumure de fond) et deux apports d'urée pour une dose globale de 50 Kg / ha. Selon la demande des exploitations ou de l'encadrement, la formulation du complexe coton a enregistré une variation par rapport au pourcentage en divers éléments constitutifs (N.P.K.S.B.) Ainsi, l'ancienne formulation du complexe était 28- 46 -5- 0- 13- 0,3 ; Puis a suivi le 14-22-12-13-2,2. Celle adaptée au titre de la campagne 99 /2000 est 14-22-7-1(CMDT, 2010).

#### **2.3.1.8. Problèmes phytosanitaires**

Malgré les menaces pesant sur l'homme, la biodiversité et l'environnement, la culture cotonnière reste grande consommatrice de pesticides à l'heure actuelle. Pour cela, il faut qu'on établisse la preuve d'un moyen de lutte efficace alternatif à l'utilisation de produits chimiques de synthèses à cause du parasitisme élevé du cotonnier. Sa culture nécessite des traitements insecticides plus ou moins fréquents et cela est favorisé par les sécrétions des glandes nectaires. Le programme calendaire standard comporte 5 à 7 traitements tous les 14 jours. Le premier est effectué dès l'apparition des fleurs pour être répété toutes les deux (2) semaines ; soit un intervalle de 14 jours. Il faut environ deux litres de produit par hectare pour le premier traitement, trois litres par hectare pour le deuxième et troisième traitement, quatre litres par hectare pour les derniers avec les appareils ULV. Récemment la lutte étagée ciblée, alternative au programme calendaire, qui assure un même niveau de protection mais avec une forte réduction de la quantité d'insecticides appliquées.

Les industries de production des pesticides renouvellent constamment les formulations à cause de l'adaptation des ennemis et les exigences de la réglementation phytosanitaire pour la protection de l'environnement et de l'homme.

#### **2.3.1.9. Ecimage des cotonniers**

C'est une technologie qui Permet de Diminuer l'utilisation d'insecticides, améliorer la qualité de la production, d'augmenter les revenus des producteurs, faciliter l'appropriation des stratégies par les producteurs, pour une durabilité de la culture cotonnière avec une, meilleure protection de l'environnement et de la santé.

Mettre à la disposition des producteurs des stratégies de protection phytosanitaire intégrée de la culture cotonnière en les associant à d'autres innovations techniques pour contribuer à une intensification écologique de cette production agricole.

Réduction des populations de chenilles de la capsule sur cotonniers écimés et leurs voisins non écimés. 20% de cotonniers écimés suffisent pour garder en totalité ces propriétés vis-à-vis de chenilles de la capsule, possibilité d'économiser 4 traitements insecticides, transmission en deux jours des, propriétés des cotonniers écimés à leurs voisins non écimés, faible influence variétale dans ces propriétés biologiques, extension des effets de l'écimage aux chenilles phyllophages. (PASE II, 2016)

#### **2.3.1.10. Récolte**

Lorsque le cotonnier floconne, il est bon à récolter. On prélève le coton graine de la capsule sans arracher cette dernière ni les branches. Dès la fin de la récolte, les cotonniers doivent être arrachés, séchés puis brûlés pour détruire les nombreux insectes et larves qui y trouvent refuge. Le brûlis est de plus en plus décrié. De nos jours, il est plutôt utilisé comme litière dans les parcs de stabulation pendant l'hivernage.

#### **2.3.1.11. Systèmes de cultures du coton et leur production**

Au point de vue des systèmes de culture, il existe tous les niveaux d'intensification possible de la culture du cotonnier : de la monoculture complètement mécanisée avec apport d'intrants dans le cadre d'exploitations de grande taille ; avec une production de 5760000T, soit 3906 kg/ha pour la Chine en 2008 ; 3127683T pour USA , soit 2250kg/ha (faostat, 2008) jusqu'à l'agriculture familiale de petite taille, où les opérations culturales sont complètement réalisées à la main ou avec la traction animale, avec un apport limité d'intrants (977kg/ha ,en moyenne) La culture peut être irriguée ou pluviale. Cependant l'irrigation est le mode de culture dominant dans la plupart des grands pays producteurs. C'est ainsi qu'elle concerne 53% des surfaces cotonnières et participe pour 73% de la production (FAO, 2010).

Le cotonnier est une plante pérenne cultivée annuellement pour limiter les dégâts surtout parasites. Ainsi, l'objectif de la rotation est la protection contre les ravageurs et les adventices, l'augmentation de la fertilité et la diversification. Aux USA et dans certains pays Africains, on a constaté que la monoculture du cotonnier ne baissait pas singulièrement les rendements; cependant, des précautions sont à prendre (apport de matière organique et d'éléments minéraux, pesticides, destruction des résidus de récolte). La rotation reste tout de même conseillée. Ainsi, le cotonnier est cultivé en rotation avec les céréales au Mali et surtout le sorgho, puis récemment le maïs. Dans la zone cotonnière du Mali, les rotations suivantes sont conseillées:

- ◆ 2 cultures: Coton (C)- Maïs; ou C - Sorgho (S)
- ◆ 3 cultures: C - S - S; ou C - S - Maïs
- ◆ 4 cultures: Jachère (J) - Maïs - C - S; ou C - S - Maïs - S.

L'introduction au Mali de nouvelles légumineuses fourragères (*Bracharia*, *stylosanthes*, *Cajanus cajan*) avec un rendement moyen de 1000 à 1200kg/ha, soit 580.000T en 2004 (CMDT, 2010) ; et devra certainement modifier ou enrichir ce dispositif en vue de mieux associer l'agriculture à l'élevage. Toutefois, certains agriculteurs non encadrés par la CMDT pratiquent l'association du cotonnier avec d'autres céréales ou même des légumineuses (FAO, 2010).

### **2.3.1.12. Caractéristiques générales des engrais**

Les engrais complexes sont des engrais composés contenant deux ou trois éléments fertilisants majeurs obtenus par la voie des réactions chimiques à partir des matières premières de base telles que les phosphates naturels, l'ammoniaque, l'acide nitrique, l'acide phosphorique et les sels de potassium (on parle alors de d'engrais complexe) ou par simple mélange mécanique de deux ou trois engrais simples (on parle d'engrais composés de mélange).

#### **2.3.1.12.1. Complexe coton NPK (14-18-15- 6 - 1)**

C'est un engrais complexe contenant trois éléments fertilisants majeurs et deux mineurs. Il est caractérisé au moyen d'une formule de trois nombres indiquant dans l'ordre N-P-K S-B le nombre d'unité fertilisantes, c'est- à- dire la masse d'éléments contenue dans 100kg d'engrais, ces éléments étant exprimés respectivement en azote total pour l'azote, en  $P_2O_5$  pour le phosphore, en  $K_2O$  pour le potassium, en S pour le soufre et B pour le bore. Ainsi, il est composé de 14-18-15-6-1 renferme 10% d'azote, 18% de  $P_2O_5$ , 15%  $K_2O$ , 6% de S et 1% de B, soit au total 54% d'unités fertilisantes.

#### **2.3.1.12.2. Complexe1 enrichi 4N-20P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 4,5S + 31CaO + 3MgO**

C'est un engrais complexe (binaires) contenant deux éléments fertilisants majeurs .Il est caractérisé au moyen d'une formule de deux nombres indiquant dans l'ordre (N-P) S-CaO-MgO le nombre d'unité fertilisantes, c'est- à- dire la masse d'éléments contenue dans 100 kg d'engrais, ces éléments étant exprimés respectivement en azote total pour l'azote, en  $P_2O_5$  pour le phosphore, S pour le soufre, CaO pour le calcium et MgO pour le magnésium. Ainsi, il est composé de 4-20-4,5-31- 3 renferme 4% d'azote, 20% de  $P_2O_5$ , 4,5% de S ,31%CaO, 0,2% de Zn et 1% B soit au total 65 ,5% d'unités fertilisantes.

#### **2.3.1.12.3. Complexe2 enrichi 22N - 3P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 24K<sub>2</sub>O + 1,5S + 0,5MgO + 0,2Zn + 1B**

C'est un engrais complexe contenant trois éléments fertilisants majeurs .Il est caractérisé au moyen d'une formule de trois nombres indiquant dans l'ordre N-P-K, S, MgO, Zn et B le nombre d'unité fertilisantes, c'est- à - dire la masse d'éléments contenue dans 100kg

d'engrais, ces éléments étant exprimés respectivement en azote total pour l'azote, en  $P_2O_5$  pour le phosphore, en  $K_2O$  pour le potassium, en S pour le soufre et B pour le bore. Ainsi, il est composé de 22 - 3-24 -1,5- 0,5- 0,2 - 1 renferme 22% d'azote, 3% de  $P_2O_5$ , 24% $K_2O$ , 1,5% de S, 0,5% de  $MgO$ , 0,2% de Zn et 1% de B soit au total 51,2% d'unités fertilisantes.

#### **2.3.1.12.4. Engrais à azote uréique**

Les engrais à azote uréique ont également des propriétés voisines de celles des engrais ammoniacaux.

L'urée  $CO(NH_2)_2$  46% N est un sel blanc dosant 46% d'azote qui se présente sous forme de granulé se conservant bien. Dans le sol, l'azote uréique se transforme en azote ammoniacal en quelques jours, sous l'action d'une uréase sécrétée par divers micro – organismes (Aho et Kossou, 1997).

#### **2.3.1.13. Matière organique**

Compost: il est formé de tous les déchets végétaux mis à fermenter en tas ou dans des trous. Ces déchets végétaux sont majoritairement constitués des résidus de récolte (chaumes et racines des céréales, fanes d'arachides), des déjections d'animaux et des ordures ménagères (Traore et al, 2016).

#### **2.3.1.14. Avantages, contraintes et inconvénients de la fertilisation organique**

Une autre propriété des sols qui augmente la dissolution des PN et leur disponibilité pour les plantes est la teneur en matière organique du sol (Johnston, 1954 ; Chien et al, 1990). Ceci semble provenir de la capacité élevée d'échange cationique de la matière organique, la formation de complexes calcium matière organique et la présence d'acides organiques solubilisant le phosphate naturel et bloquant des emplacements d'adsorption du phosphore sur le sol.

La capacité d'échange cationique de la matière organique est plus grande que celle des minéraux argileux. La capacité élevée d'échange cationique de la matière organique implique une plus grande capacité de rétention des sols pour le calcium, ce qui entraîne une dissolution supérieure du phosphate naturel. Les fractions humiques de la matière organique forment des complexes avec le calcium (Schnitzer et Skinner, 1969), qui peuvent également réduire la concentration de calcium en solution, entraînant ainsi une solubilisation accrue des phosphates naturels.

La décomposition des résidus de récolte dans le sol a comme conséquence la production de nombreux acides organiques, tels que les acides oxalique, citrique et tartrique. Ces acides pourraient dissoudre le phosphate naturel en fournissant des ions hydrogène nécessaires pour neutraliser les ions hydroxyle produits quand le PN se dissout et en formant des complexes avec des cations, particulièrement le calcium des PN. L'application précoce de PN donnerait également du temps pour la réaction du PN avec le sol et la libération d'une certaine quantité de phosphore avant que la prochaine culture ne soit établie.

De plus, la matière organique est un élément indispensable au maintien de la stabilité de la structure des sols par le biais de la porosité qu'elle améliore. Elle constitue la base de la fertilité des sols. De par sa minéralisation et son importance dans la dynamique de l'azote, elle influence directement la nutrition des plantes et les propriétés physico-chimiques des sols (Sédogo et al, 1994).

Les apports en matière organique contribuent d'une manière substantielle à la productivité du sol dont les effets observés sont :

- ✓ Amélioration de la structure du sol, rendant le sol plus aéré, augmentant sa capacité de rétention en eau et sa résistance à l'érosion;
- ✓ Augmentation de la capacité à retenir les éléments nutritifs, évitant le lessivage;
- ✓ Contribution à la nutrition des cultures par minéralisation progressive de l'humus qui libère des éléments minéraux ;
- ✓ Stimulation de l'activité biologique et donc des grandes fonctions biologiques du sol : humification, minéralisation, fixation biologique d'azote.

La matière organique présente quelques contraintes et inconvénients à souligner :

- ✓ Coût de transport très coûteux dans nos conditions s'il s'agit d'une quantité énorme ;
- ✓ Connaissance insuffisante des compositions ;
- ✓ Libération lente des éléments nutritifs ;
- ✓ Difficulté d'épandage (dans nos conditions)

### **2.3.1.15. Avantages, contraintes et inconvénients de la fertilisation minérale**

- ✓ Les engrais minéraux accroissent la productivité des terres agricoles pauvres ou au rendement faible, ce qui permet de préserver les forêts et les prairies;
- ✓ Grâce à l'utilisation d'engrais synthétiques la production alimentaire a plus que doublé dans le monde depuis les années 1960;

- ✓ Les engrais minéraux libèrent des nutriments plus rapidement que les engrais biologiques et leur teneur en azote (N), en phosphore (P) et en potassium (K) est également supérieure;
- ✓ Environ 25% des récoltes dans le monde reposent entièrement sur l'utilisation des engrais minéraux et la demande d'engrais minéral double à peu près tous les 10 ans (N. Aho et D. Kossou, 1997). La fertilisation minérale est un investissement qui doit être rationalisé.

Ce qui nous intéresse c'est leur teneur en éléments nutritifs plus coûteux, à cause des grandes fluctuations des engrais minéraux sur le marché international et leur indisponibilité en temps réel. Comme inconvénient on peut citer :

- ✓ Plus coûteux et moins disponible ;
- ✓ Risque de forte acidification du sol (cas des engrais acidifiants) ;
- ✓ Pollution par les nitrates (plante et nappe phréatique) ;
- ✓ Effet N à court terme.

### **2.3.1.16. Avantages, contraintes et inconvénients de la fertilisation organo – minérale**

L'utilisation de fumier et de compost contribue à maintenir le niveau de matière organique dans le sol. L'utilisation d'un engrais chimique peut s'avérer nécessaire pour fournir rapidement aux plantes les substances nutritives dont elles ont besoin. Contrairement aux engrais organiques, les engrais chimiques agissent immédiatement sur les plantes, les engrais organiques doivent d'abord se décomposer en substances nutritives avant de pouvoir être utilisés par les plantes. Cela signifie que la matière organique n'a qu'un effet à long terme, tandis que les engrais chimiques agissent immédiatement (en quelques jours ou quelques semaines) sur la fertilité du sol. Toutefois, les engrais chimiques sont épuisés à la fin de la saison ou après quelques saisons, tandis que la matière organique continue à améliorer la fertilité et la structure du sol.

De plus, la présence de matière organique garantit une utilisation plus efficace de l'engrais chimique par les cultures, en l'empêchant d'être lessivé. C'est en fait un gaspillage d'argent d'appliquer un engrais chimique sur un sol pauvre en matière organique, si on ne l'associe pas à des mesures d'augmentation du niveau de matière organique dans le sol.

## **2.3.2. GENERALITE SUR LE MIL**

### **2.3.2.1. Origine et répartition :**

Le mil, également dénommé mil à chandelles ou petit mil selon Bruken, (1977) aurait été domestiqué dans le Sahara il y a 2000-3000 ans avant J.C. Peu après sa domestication, il fut largement répandu à travers les régions tropicales semi-arides de l'Afrique et de l'Asie. Les principaux centres de diversité du mil sont situés en Afrique où existent des espèces sauvages croisées. Ce qui a conduit de nombreux auteurs à considérer l'Afrique et particulièrement l'ouest africain comme le centre d'origine et le lieu de la diversification génétique du mil. Le groupe des mils cultivés précoces, notamment ceux du Niger, possède la plus grande diversité enzymatique par rapport aux formes sauvages provenant du Niger et du Mali.

### **2.3.2.2. Importance, composition et utilisation**

Le mil constitue une céréale traditionnelle de base pour l'alimentation de la majorité des populations vivant dans les zones semi-arides en Afrique et aux Indes. C'est la céréale la plus tolérante à la sécheresse. Il est cultivé non seulement pour ses grains mais aussi pour ses tiges et feuilles servant de fourrages pour les animaux mais aussi comme matériaux de construction et d'énergie pour la cuisson des aliments et pour le chauffage. Du point de vue composition, le mil est un de céréaliers les plus nutritifs ; sa teneur en protéines est non seulement élevée (11%) mais d'une qualité exceptionnelle, la teneur en hydrates de carbone (67 à 72%) dont l'amidon est le principal constituant est relativement élevée, la teneur en matières grasses (4 à 8%) est importante comparativement aux autres céréales et les vitamines sont relativement bien représentées particulièrement la thiamine, la riboflavine et l'acide nicotinique.

Le grain peut être cuit ou réduit en farine pour la confection de la bouillie à l'eau, au lait, sucré ou salé. Le mil est aussi utilisé pour faire du couscous, de la purée ainsi que la fabrication de la bière locale.

### **2.3.2.3. Systématique**

Le genre *Pennisetum* (P) auquel appartient le mil à chandelle comprend environ une cinquantaine d'espèces. C'est une plante de la classe des monocotylédones, de l'ordre de glumales, de la famille des poacés, de la sous famille de panicoïdeae, de la tribu des paniceae, des espèces : *P. glaucum*, *typhoides*, *typhideam*, *americanum*.

Le nom latin actuellement admis selon DE Wet (1986) est le *pennisetum glaucum* (L.) R. Br

Pour mieux distinguer les différentes espèces, les botanistes se sont basés essentiellement sur 4 caractères : l'aristation, l'ornementation des soies, les dimensions du faux épi, et la forme du grain.

#### **2.3.2.4. Morphologie**

Le mil est une graminée érigée à tallage relativement important et dont la hauteur varie entre 0,5 à 5m ; c'est une plante allogame et protogyne.

Le système racinaire est du type fasciculé caractérisé par une racine principale qui se couvre rapidement des racines secondaires et tertiaires. En sol meuble et profond, elles peuvent atteindre 2,5m, cependant 80% de ces racines sont localisées dans les 30 premiers cm.

La tige est composée de nœuds séparés par les entre-nœuds, ces nœuds peuvent être lisses ou poilus. La longueur des entre-nœuds augmente de la base vers le sommet. Les feuilles sont longues, alternes et nerveux parallèlement. Les gaines peuvent être légèrement plus longues ou plus courtes que les entre-nœuds. Les feuilles sont glabres, plus ou moins pubescentes selon les variétés. L'inflorescence terminale appelée "faux épi" est constituée par un rachis très rigide de longueur variable sur lequel sont implantés des pédicelles supportant les involucre de soies contenant des épillets. L'épillet est bi flore, on note une glume inférieure et une glume supérieure. Le grain est petit, de forme variable, de section triangulaire, elliptique ou circulaire, ses dimensions sont : 2,2- 5,6mm sur 1,6-3,7mm. (Brétaudeau 2006)

#### **2.3.2.5. Stades phénologiques**

Après le semis qui est une opération culturale, le développement des plants du mil passe par les stades phénologiques suivants : germination – levée, le tallage, la montaison, l'épiaison la floraison et la maturation.

De nombreuses variétés sont sensibles à la photopériode, ce qui dans certains cas modifie le cycle de développement de la plante. Par exemple au Sénégal les *Souna* sont insensible à la photopériode alors que les *Sanio* épient en jours courts ; au Mali les *Maiwa* et les *Somno* sont des variétés tardives photosensibles.

#### **2.3.2.6. Ecologie**

##### **2.3.2.6.1. Climat**

**La pluviométrie** : La culture du mil s'étend entre l'isohyète 200 à 800 mm. En Afrique de l'ouest la limite septentrionale du mil remonte à l'isohyète 250 mm, alors que celle du sorgho se situe vers 375mm. La répartition des pluies est très importante et les besoins en eau sont importants depuis la montaison jusqu'à la maturité avec un maximum à l'épiaison. Le mil résiste à la sécheresse du stade juvénile jusqu'au tallage mais très vulnérable entre la floraison et la maturité. Sa tolérance à la sécheresse s'explique par un bon développement racinaire, la présence d'un duvet sur les feuilles et la faculté des stomates de reprendre leur activité même après une longue et forte période de sécheresse.

**Température:** Le mil est une plante thermophile exigeant de fortes températures pour sa croissance et la formation du grain. Culture des régions tropicales semi-arides, la température optimum se situe entre 28° à 35°c ; au-delà de 40°c on note la coulure et l'avortement des fleurs.

**Lumière :** La plus part des millets exigent une forte intensité lumineuse, c'est une plante de jours courts. Lorsque la durée d'éclairement journalière varie, la floraison est retardée.

#### **2.3.2.6.2. Sols :**

Le mil est assez peu exigeant sur la nature du sol. Il préfère généralement des sols légers et bien drainés. Ceci justifie sa place en fin de rotation culturale. Il ne tolère pas la submersion. Il supporte par contre mieux l'acidité et la concurrence des adventices.

#### **2.3.2.7. Techniques culturales**

La culture du mil a beaucoup d'analogie avec celle du sorgho. Il est cultivé souvent en association avec le niébé et parfois avec l'arachide ou d'autres cultures.

Dans une rotation, le mil peut se situer indifféremment après le niébé, le sorgho, le cotonnier ou l'arachide ; ce qui lui permettra de profiter de l'arrière fumure. Cependant la jachère semble un bon précédent cultural alors que le mil est un mauvais précédent pour lui-même.

Les semences du mil étant de très petites dimensions, elles ne peuvent être semées que sur un terrain bien préparé.

Choisir des variétés adaptées au milieu en tenant compte du cycle végétatif, des exigences pluviométriques, de la quantité des grains, de la résistance aux maladies et du bon rendement. Les semences doivent être traitées au fongicides-insecticides comme le thioral vert à raison de 20g pour 10 kg de semences. La quantité utilisée par hectare varie suivant la densité et les variétés, il faut 4 à 5kg/ha à raison de 5 à 25 grains par poquets.

Les travaux d'entretien se résument au remplacement des manquants, le démariage à 2-3 plants/poquet selon que la variété soit tallifère, les Sarclo-binages, le ou les apports de fumure d'entretien et les traitements phytosanitaires en cas d'attaque.

#### **2.3.2.8. Contraintes phytosanitaires**

##### **2.3.2.8.1. Principales maladies**

Les maladies les plus importantes observées sur le mil sont :

- Mildiou ou lèpre du mil : *Sclerospora graminicola*
- Ergot du mil: *Claviceps fusiformis loveless*
- Charbon du mil : *Tolyposporium penicillariae*

#### **2.3.2.8.2. Principaux insectes nuisibles**

- Borer ou foreur des tiges: *Coniesta ignefusalis*
- Mineuse de l'épi: *Heliocheilus albipunctella* autrefois appelée *Raghuva*
- Insecte floricole : *Rhinyptia infuscata*

#### **2.3.2.9. Fertilisation du mil**

- L'augmentation de la productivité des sols et des rendements du mil est limitée par les ressources en eau et en nutriments du sol. Les niveaux faibles de phosphore et d'azote du sol sont les contraintes principales à la croissance des cultures. En Afrique de l'Ouest, ces bilans sont généralement négatifs à cause de la maigre fertilité naturelle de ces sols et à cause du faible niveau de fertilisation pour remplacer les nutriments enlevés du système du sol (Bationo et al. 1998 cité par C. Dandois). Les éléments nutritifs sont soustraits par l'exportation de pailles et de grains de mil mais également par l'érosion éolienne et hydrique ainsi que par lessivage. On estime à 15 kg N, 2 kg P et 15 kg K ha<sup>-1</sup> la perte en nutriments pour un rendement de 440 kg de grain et 1860 kg de paille. D'autre part, à faible densité de semis (3000 à 5000 poquets ha<sup>-1</sup>), d'autres chiffres sont avancés par Buerkert (unpublished data, cité par Esse et al., 2001) qui évalue les besoins du mil par hectare à 21-28 kg N, 1,7-2,3 kg P et 35-37 kg K pour un rendement de 300-500 kg grain et 1700-2300 kg paille
- Etant donné que les grains de mil sont petits (10 mg), ils contiennent une réserve en phosphore très faible (20 µg grain<sup>-1</sup>) et les plantules dépendent fortement d'un apport externe en phosphore après l'émergence. Si l'eau n'est pas un facteur limitant, la réponse à la fertilisation phosphatée est substantielle. Bationo et al. (2003) démontrent que le phosphore est l'élément le plus limitant dans la production de mil. Il n'y a pas de réponse aux fertilisants azotés sans correction préalable de la déficience phosphatée. L'addition de 30 kg P<sub>205</sub> ha<sup>-1</sup> permet d'augmenter les rendements en grain de 190 kg ha<sup>-1</sup> à 714 kg ha<sup>-1</sup>, l'addition supplémentaire de 120 kg N ha<sup>-1</sup> permettant d'atteindre 1173 kg ha<sup>-1</sup> (Bationo et al. 2003).
- Bien que les teneurs en potassium échangeable soient très faibles dans les sols en Afrique de l'Ouest, très peu d'études ont montré une réponse positive du mil au potassium (Traoré et al. 2002). Un apport de 25 kg K ha<sup>-1</sup> est toutefois recommandé pour une densité de semis de 10000 poquets ha<sup>-1</sup>.
- Le niébé est pratiquement toujours cultivé en association avec le mil ou le sorgho. Il n'est que rarement cultivé en culture pure.

- La culture en association principale est mil/sorgho/niébé (65 % des cas) et mil/niébé (29 % des cas) est la règle générale chez la quasi-totalité des producteurs dans la région de Zinder (Reca Niger, 2010).
- La culture associée mil-légumineuse proprement dite est largement pratiquée. Le niébé est semée peu après le mil, lorsque les animaux sont interdits de divagation dans les champs et lorsque le risque de compétition pour l'eau et les éléments minéraux diminue (le mil étant à un stade plus avancé et la saison des pluies étant mieux installée). Bationo et Ntare (2000) cité par C. Dandois notent toutefois que, dans cette « interculture » traditionnelle, la densité du niébé est faible et sa contribution à la fixation biologique de l'azote pourrait être négligeable. D'après eux, il n'y a pas de preuve directe d'un transfert de l'azote de la légumineuse vers le mil. Dans le cas d'une rotation, par contre, la culture suivante pourrait bénéficier d'effets résiduels de l'azote fixé par la légumineuse. Les gousses et fanes de niébé étant exportées du champ, ces effets proviendraient du système racinaire.
- Selon une étude réalisée à Faraco-Ba au Burkina Faso le niébé fixait 50 à 115 kg N ha<sup>-1</sup>, soit 52 à 56 % de ses besoins en azote. (CESCAS, 2001).
- L'application de fumier à 500-1000 kg ha<sup>-1</sup> de matière sèche correspondent à 10 kg N, 1,2 kg P et 5 kg K ajoutés au sol. Ces niveaux de N et P et K sont faibles et la plupart des nutriments sont disponibles pour la culture en début de saison seulement. Dans leur étude, l'effet positif du fumier se marque par une faible augmentation du rendement et par une augmentation de 50 % des résidus de culture via une stimulation du tallage et donc de la production de biomasse (Dandois, 2006).
- Au Niger les engrais les plus rencontrés sur les marchés sont sous les formes suivantes :
- Le super simple phosphate (SSP 18% P, 18-21 CaO, 12% S) ; le di ammonium phosphate (DAP : 18% N, 46% P), le super triple phosphate (TSP 45% P, 3-14% CaO, 1% S), l'Urée (46% de N), le NPK 15-15-15 et le phosphate naturel de Tahoua (PNT : 27% P).
- L'application localisée du phosphore (2 g DAP par poquet) combinée à l'application de 6000 kg ha<sup>-1</sup> de fumier a permis d'augmenter les rendements en grain de 350 kg ha<sup>-1</sup> par rapport à la somme des rendements obtenus par application seule de DAP et par application seule de fumier.
- Le PEN (Programme engrais Nigérien) préconisait l'application de 100 Kg de TSP (0-46-0) et 100 kg d'Urée (46-0-0) à l'hectare en bonnes conditions, ce qui donnait, une fertilisation de 46-46-0 UF/ha.

- L'Université d'Hohenheim, en collaboration avec l'ICRISAT et l'IFDC font la promotion de l'application de 6 g d'engrais 15-15-15 au poquet (soit 60 Kg/ha au semis, avec une densité de 10.000 poquets/ha). Le Projet Intrants a proposé en 1999 de remplacer les 6 g de 15-15-15 par 2 g de DAP (18-46-0) et de l'Urée (1g/poquet) en deux apports. Les rendements moyens suivants sont ainsi obtenus : 15-15-15 (9-9-9) 6 g/poquet : 624 kg/ha ; le 18-46-0 (3,6-3,6-0) 2g/poquet: 616kg/ha; 18-46-0 (2g /poquet) +Urée (1g/poquet) (8,2-9,2-0) : 654kg/ha (FAO Projet Intrans Niger 2006 citer dans le mémoire SANI 2015).

#### **2.3.2.10. Récolte - Rendements - Conservation :**

La récolte s'effectue à maturité complète environ 40 à 50 jours après la floraison, mais elle est souvent retardée par les dernières pluies tardives. Cette récolte se fait généralement de septembre à octobre pour les variétés hâtives et de novembre à décembre pour les variétés tardives. En culture traditionnelle les rendements sont assez bas et varient de 300 à 600kg/ha, en culture pure améliorée avec des variétés sélectionnées les rendements varient de 900 à 2500kg/ha. Tous ces rendements varient suivants les variétés utilisées, la fumure et la pluviométrie.

### **III. Objectifs**

#### **3.1. Objectif général**

Contribuer à l'amélioration de la production des cultures par une meilleure maîtrise du ruissellement et des pertes de nutriments du sol dans les champs cultivés.

##### **3.1.1. Objectifs spécifiques**

- Décrire des profils pédologiques pour rendre compte de la diversité des sols, mesurer l'humidité du sol, l'infiltration de l'eau et la densité du sol dans les parcelles aménagées en courbes de niveau (ACN) et Non aménagées (NACN);
- Evaluer les effets de ruissellement et d'érosion sur le rendement des cultures dans les champs avec ACN et NACN.

#### **Hypothèse de recherche :**

Pour la réalisation de l'étude nous formulons les hypothèses suivantes:

- Le ruissellement et l'érosion détruisent les terres cultivables et conduisent à des pertes importantes de nutriments
- Le ruissellement et l'érosion ont des effets différents sur le rendement des cultures selon le type d'aménagement (ACN ou NACN) en place.
- L'aménagement en courbe de niveau est une technologie qui permet de réduire le ruissellement et l'érosion du sol tout en augmentant l'humidité dans le profil.
- L'aménagement en courbe de niveau a des effets sur la densité et l'infiltration de l'eau selon les types de sol.
- **Question de recherche**
  - Les pertes de nutriments par érosion sont –elles importantes en absence de mesures de conservation des eaux et des sols ?
  - L'ampleur du ruissellement et de l'érosion a t'il des effets différents sur le rendement des cultures selon les types de sols ?
  - L'aménagement en courbes de niveau est-elle une technologie qui réduit le ruissellement et l'érosion ?

- L'aménagement en courbes de niveau influence –t-il l'infiltration et la densité des sols ?

## **3.2. Matériel et méthodes**

### **3.2.1. Milieu d'étude**

#### **3.2.2. Présentation de la zone d'étude**

La présente étude a été conduite dans le village de Kani commune rurale de Nafanga (Karangasso), cercle de Koutiala.

#### **3.2.3. Historique:**

Le village de Kani est fondé par les sanous (Sanogo) venu de San. Le nom Kani est un nom bobo qui veut dire piment. Mais les premiers habitants qui sont venu rejoindre les bobos sont les Dembélé (le nom de leur famille est Bajou) qui étaient considéré comme les chefs du village. Après une autre famille Dembélé (sagou mon) a repris le pouvoir au Dembélé (Bajou). Les Berthés sont venus de Sikasso, ce sont les forgerons. Après une longue période une autre famille Dembélé (Bresso) a repris le pouvoir à la famille Dembélé (sagou mon). En fait, à cause des multitudes mécontentes, les populations se sont concertées pour donner le pouvoir à une autre famille Dembélé (macou) qui assure la chefferie jusqu'à nos jours. Les Sanous s'occupent de la culture traditionnelle du village, leur totem est le varan.

#### **3.2.4. Situation géographique :**

Le village de Kani est situé dans la commune rurale de Nafanga (Karangasso), cercle de Koutiala. Il est distant de la route goudronnée Koutiala Koury (RN12) de 5 km après 45 km de Koutiala. Latitude 12°14'43.23'' Nord et la longitude 5°10'57.94'' Ouest avec une altitude de 384 m dans le cercle de Koutiala. Il est situé à l'Est par Noumpinesso (cercle de Yorosso), à l'Ouest par Karangasso, au Nord par Zébala et au Sud par Soukoumba.

#### **3.2.5. Population :**

Le village de Kani compte 2375 habitants dont 1191 Hommes et 1184 Femmes .elle est composée en majorité de minianka (mamara).D'autres ethnies comme les Peulhs, Bambara. Elle dépend de l'agriculture et l'élevage. Leur activité principale est l'agriculture ou ils cultivent du coton, arachides, mil, maïs, sorgho, niébé, dah.

#### **3.2.6. Milieu physique :**

Elle présente un relief dominé par des cuvettes et plateaux cuirassés. Les sols sont de type gravillonneuse et limono-sableux, ils sont lessivés et hydromorphes. Le couvert végétal est

peu fourni et présente quelques grands arbres, arbustes et diverses graminées de taille moyenne.

### **3.2.7. Relief :**

Le relief est caractérisé dans son ensemble par des plateaux cuirassés et quelques cuvettes.

### **3.2.8. Climat et Végétation :**

Le village de Kani est situé sur la latitude 12°14'43.23'' Nord et la longitude 5°10'57.94'' Ouest avec une température moyenne variable de ordre 32° C, ce qui en fait une zone soudanienne typiquement caractérisée par l'alternance d'une saison sèche longue de Novembre à Mai et d'une saison pluvieuse de Mai à Octobre avec des précipitations tropicales semi-arides. La moyenne annuelle des précipitations varie de 800 à 900 mm. Les précipitations surviennent principalement entre les mois d'avril et octobre les périodes humides surviennent aux mois d'août et septembre. La majeure partie de cette quantité de pluie est érodée dans le bassin versant passant par le village voisin Noumpinesso.

La végétation est caractérisée dans son ensemble par une végétation de type savane arborée à dégradation forte causé par la surexploitation, le surpâturage et l'érosion. On rencontre les espèces suivantes: le Baobab (*Adansonia digitata*), le karité (*Vitellaria paradoxa*), le Néré (*Parkia biglobosa*), tamarinier (*Tamarindus indica*), Dattier sauvage (*Balanites aegyptiaca*).

La végétation herbacée est essentiellement constituée de *Pennisetum pedicelatum* et *Digitaria exilis*. La végétation ligneuse est essentiellement arbustive avec de nombreuses espèces, notamment

*Lanea sp*, *Detarium microcarpa*, *Entada a/ricana*, *Pterocarpus erinaceus*, *Vitelaria paradoxa*,

*Saba senegalensis*, et diverses combrétacées etc. La végétation herbacée comporte, par ordre de fréquence *Hypparhenia dissoluta*, *Loudetia togoensis* et *Andropogon gayanus*.

### **3.2.9. Faune :**

La faune est surtout représentée par de petits animaux. Les espèces courantes sont : l'écureuil (*Sciurus vulgaris*), le lièvre (*Oryctolagus cuniculus*), la pintade (*Numidameleagris*), la perdrix (*Perdrix*).

### **3.2.10. Hydrographie :**

L'hydrographie est marquée par un affluent du fleuve Baní et la rivière de Noumpinesso qui coulent du Nord vers le Sud pour alimenter le Baní. Il y a également quelques cours d'eaux temporaires, des mares et marigots.

### **3.2.11. Sol :**

Il est de type ferrugineux tropical, ces sols limoneux à limono-sableux ou affinés de manière excessive sont plus exposés aux phénomènes d'érosion. Ces sols sont en effet plus favorables au phénomène de battance. En effet sous l'impact des gouttes de pluie, les mottes de terre de ces sols éclatent et se désagrègent en fines particules en donnant l'effet splash. Ces particules très fines de terre ont alors tendance à se compacter à la surface du sol pour former une croûte de battance qui réduit l'infiltration de l'eau et favorise le ruissellement. Elle a également des conséquences agronomiques car elle empêche la bonne germination, la levée des graines et la croissance des plantes.

### **3.2.12. Caractéristiques des pluies**

Le terroir de Kani est soumis à un régime hydrique hivernal, la pluie est sans aucun doute le facteur principal de l'érosion, qui dépendra alors de la durée et de l'intensité des précipitations.

Les caractéristiques annuelles des pluies (hauteur et intensité maximale) associées à l'observation mensuelle du cumul de la pluie montrent que la période la plus arrosée se situe généralement entre juillet et Août, durant laquelle les précipitations sont abondantes et fréquentes. Pendant ces deux mois, le cumul des pluies peut dépasser 450 mm.

### **3.3. Matériel**

Les matériels suivants ont été utilisés (Figure 2), un partiteur troué à 1/10, deux barriques graduées, un couvercle en tôle, une fosse, des bidons d'un litre, dont l'ensemble forme le dispositif de mesure de ruissellement. Une sonde TDR et des tubes d'accès de 1 m de long ont été utilisés pour suivre l'évolution de l'humidité des sols, Une tarière, une daba, une pioche, une pelle, un mètre ruban, un GPS, un appareil photographique, du matériel végétal, des intrants (engrais, insecticides etc.) et des outils agricoles (charrue, semoir etc.) ont également été utilisés pour la mise en place des activités.



**Figure 1** : Mmatériels utilisés pour les mesures de ruissellement et d'érosion

**Partiteur**: matériel de réception d'eau troué à 1/10<sup>ème</sup> et placé en aval du billon de mesure

**Deux barriques graduées** : pour la réception de l'eau ruisselée

**Couvercle en tôle** : pour la fermeture des fosses.

**Feuille de tôle** : pour délimiter et renforcer les billons de mesures

**Bidon d'un litre** : pour échantillonnage d'eau

**Fosse** : pour contenir les barriques

Fosses pédologiques : Elles permettent de décrire les différents horizons du sol

**Sonde TDR** : pour les mesures d'humidités du sol.

**Tarière** : outil pédologique qui permet de découper la terre en profondeur et de la ramener en surface. C'est un matériel de sondage qui permet de connaître la variation de la couleur des couches en profondeur.

**Fiche descriptive** : document utilisé lors de la description des fosses pédologiques.

**Daba** : outil utilisé pour nettoyer la surface du sol.

**Pioche** : Instrument utilisé pour creuser la fosse.

**Pelle** : Outil utilisé pour dégager les mottes de terres de la fosse pédologique.

**Mètre Ruban** : c'est un outil de mesure des dimensions des horizons et des fosses.

**La peinture** : pour la peinture de l'intérieur des barriques et les graduations.

**La balance de précision** de marque KERN HDD10K10 : pour les mesures des poids (intrants, récoltes etc.).

**GPS** : C'est un appareil qui permet de donner la position (longitude, latitude, altitude) sur n'importe quelle partie du globe terrestre.

Les données collectées par le GPS sont les coordonnées géographiques des infrastructures éducatives, sanitaires et hydrauliques

**Appareil topographique** : Le niveau de chantier pour le nivellement avec la mure et les piquets. permet de faire les levés topographiques pour les aménagements en courbe de niveau.

**L'appareil photographique** : permet de fixer les évènements et reproduire les images à un moment donné.

**Un pluviomètre à lecture directe** : pour mesurer la quantité de pluie tombée

**Matériel végétal** : est constitué de variétés de coton N'TA 93- 15 et de mil variété locale sonagan

**Intrants** : composés de matière organiques, d'engrais minéral (complexe coton NPK. 14.22.12.4SB et l'urée 46%),

**Outils agricoles** : les outils agricoles tels que la charrue, la daba, le coupe-coupe, le mètre ruban, la corde,

### **3.3.1. Méthodologie**

Toute recherche scientifique rigoureuse nécessite une méthodologie succincte et ordonnée afin d'atteindre les objectifs fixés. C'est pour cela que nous commençons cette étude par la revue bibliographique pour faire l'état des lieux.

#### **3.3.1.1. Recherche documentaire ou théorique :**

Notre étude documentaire nous a conduits à la consultation des ouvrages et articles en relation avec la conservation des eaux et des sols, la pédologie, l'agronomie, le changement climatique et les techniques analytiques de laboratoire. Cela nous a permis d'avoir une meilleure lisibilité de notre thème et une meilleure orientation dans l'exécution de nos travaux.

### **3.3.1.2. Profils pédologiques**

Le sol est le support de toute production agricole en culture pluviale. C'est pourquoi il est important de le connaître pour mieux orienter les activités de recherche. Ainsi, des fosses pédologiques ont été ouvertes et décrites en vue de rendre compte de la diversité et de la qualité des sols.

### **3.3.1.3. Suivi de l'humidité du sol**

Les mesures d'humidité ont été réalisées à l'aide d'une sonde TDR à un intervalle de 10 jours. Les mesures ont été faites dans les parcelles aménagées et non aménagées et les valeurs des mesures s'affichent directement en humidité volumique.

**Le principe :** Des tubes d'accès sont installés dans les deux champs de mesures de ruissellement dont la lecture est faite avec un Humidimètre « HH2 moisture meter » de marque DELTA-T Device, avec la sonde profile probe type PR2, son assise protectrice.

La sonde de profil hydrique (Figure 2 et 3) Comporte :

Des câbles, pour HH2 mètre, ce câble permet de connecter le profile probe type PR2 à l'appareil HH2 moisture meter; pour DL6 : enregistreur de données et câble d'extension.

Un connecteur: Entièrement étanche, mais protégé avec un capuchon lorsqu'il ne sert pas.

Des tubes d'accès: (1m) exceptionnellement robustes tubes à paroi mince à base de GRP-peuvent être réutilisés plusieurs fois.

Des capteurs: Très sensible à l'humidité du sol, mais pas affectée par la température ou de la conductivité (salinité).

Un champ de détection: Prolongé 60 mm dans le sol, mais le tube est fortement enfermé avec la terre, l'installation des tubes est faite avec précaution pour éviter les lacunes d'air.

Un ressort de centrage : Combinaison innovante vient s'assurer que la sonde est parfaitement centrée pour des lectures précises.



**Figure 2 :** Appareil de mesure d’humidité. **Figure 3 :** Séance de lecture avec l’humidimètre.

### 3.3.1.4. Mesure de l’infiltration du sol (méthode de doubles anneaux)

L’infiltration permet de déterminer et de classer les terres suivant leur perméabilité. La perméabilité s’exprime par la quantité d’eau qui traverse le sol par percolation et est donnée par la loi de Darcy. La vitesse moyenne d’infiltration  $V = Q \times 10 / ST$  ou  $Q =$  dépense en eau  $\text{cm}^2$ ,  $S =$  Surface de la section transversale en  $\text{cm}^2$ ,  $T =$  Temps en mn ou en heure.

Méthodologie : Elle a consisté d’abord à enfoncer de 10 cm le gros cylindre dans le sol, qui permet une infiltration verticale de l’eau en profondeur et le maintien de la structure du sol intacte. Ensuite, le petit cylindre a été enfoncé de 5 cm au milieu du gros. Un marteau a été utilisé pour taper sur un couvercle en fer dur. On utilise aussi une planche en bois placée sur les anneaux afin de les enfoncer verticalement. Une fois les cylindres enfoncés, de l’eau est versée dans le grand cylindre jusqu’à remplissage de celui-ci, ensuite le petit cylindre est à son tour rempli et une règle graduée apposée à sa parois interne pour lire la variation de la hauteur de la lame d’eau. Le temps d’infiltration a été chronométré (Figure 4 et 5) et à chaque fois que le petit cylindre se vidait il était immédiatement rempli à nouveau. Ces mesures d’infiltration ont été réalisées dans les parcelles aménagées et non aménagées chez les deux producteurs. Les données collectées ont été analysées et traitées.



**Figure : 4** Dispositif de mesure d'infiltration **Figure : 5** séance de lecture pour mesure d'infiltration

### 3.3.1.5. Mesure de la densité apparente et de la porosité du sol

Des échantillons de sol ont été prélevés avec des cylindres densimétriques de 100 cm<sup>3</sup> (Figure 6 et 7) dans deux fosses préalablement décrites chez les deux producteurs, (Madou et Seckou). 24 échantillons de sol ont été prélevés à raison de 12 dans chaque fosse et envoyés en laboratoire pour la détermination de la densité apparente pour chaque horizon selon la formule suivante

$$da = \frac{Ms}{Vc} ;$$

Où da= densité apparente, Ms= masse du sol sec; Vc = volume du cylindre

Ensuite la porosité (P) en pourcentage (%) a été calculée selon la formule suivante :

$$P (\%) = (d_r - d_a/d_r)*100$$

Où, dr= densité réelle (=2.65), da = densité apparente



**Figure 6** :Cylindre de densité rempli de sol **Figure 7** :raclage pour ajuster le sols au bords du cylindre

### 3.3.1.6. Dispositif de mesure de ruissellement

Les dispositifs ont été installés dans deux champs paysans occupés par des cultures annuelles. Ils sont situés sur un versant exposé au sud-ouest du village, sur une pente variant de 0,2 à 3%. Chaque sillon de mesure de ruissellement et d'érosion (Figure 8) est ceinturée par des tôles enfoncées à 10 cm dans le sol pour éviter les entrées d'eau de l'extérieur et les sorties des eaux de ruissellement de l'intérieur.

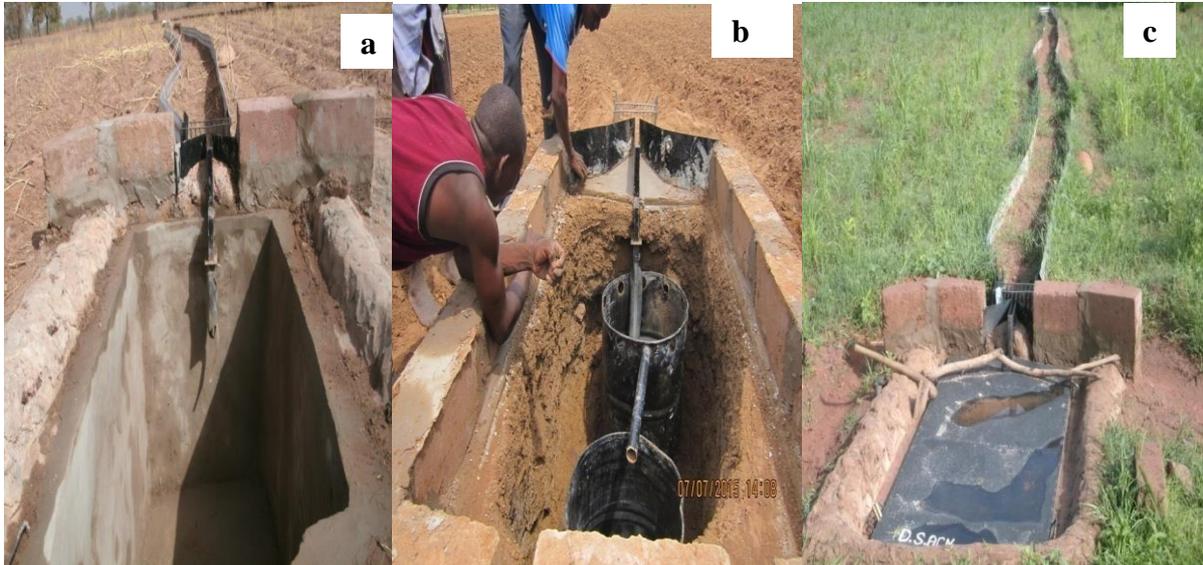
Le ruissellement est mesuré dans un inter billon de 30 m de long et 0.80 m de large, situé au centre de la parcelle. L'inter billon est fermé en amont par une diguette de terre qui crée une discontinuité de l'écoulement des eaux vers la surface de mesure. En aval il est équipé d'un dispositif qui recueille l'eau de ruissellement et l'envoie vers un partiteur.

Le partiteur est au 1/10<sup>ème</sup> c'est à dire qu'il ne canalise que un dixième de l'eau ruisselée et l'envoie vers un fût gradué de 200 l de contenance.

Le partiteur est disposé juste en bordure d'une fosse d'environ 1,5 m de profondeur dans laquelle sont placés les futs de stockage d'eau.

Le partiteur présente les caractéristiques suivantes: Une languette oblique de 40 cm de long, une boîte cubique de 40 cm de large, 60 cm de long et 33 cm de haut ; un tuyau d'amené de 60 cm de long et 4 cm de large dont le bout descend dans la barrique. La longueur totale du partiteur d'un bout à l'autre dans le sens de l'inter billon de mesure est de 1.20 m.

Le dispositif de mesure comprend également deux barriques graduées de 0 à 200 litres, un couvercle en tôle de dimension 1,8 m x 1m, le tout mis dans une fosse de dimension 1.5 m de longueur sur 70 cm de largeur et une profondeur de 1.3 m



**Figure 8 :** de la Mis en place du dispositif de mesure : crépissage de la fosse (a), placement des barriques (b) et dispositif fermé à Kani, Koutiala. (c)

### 3.3.1.6.1. Principe de la méthode

Le partiteur reçoit l'eau envoyée par un seul sillon de 30 m (celui occupant la position centrale). L'eau ruisselle sur une surface de 24 m<sup>2</sup> (30 m X 0.8 m) est recueillie dans un fût de 180 litres de capacité, pour mesurer son volume après chaque pluie ayant produit du ruissellement. Le fût est doté d'une échelle formée de traits blanc sur fond noirs, à la peinture, à l'intérieur du fût.

Pour ajuster le volume d'eau à recueillir par rapport au fût de réception, un partiteur au 1/10<sup>ème</sup> a été utilisé.

Pour estimer le débordement du fût principal lors des très grandes pluies, nous avons utilisé un deuxième fût qui recueille 1/10<sup>ème</sup> des eaux de débordement (10 trous d'écoulement de l'excès d'eau de diamètre constant et régulièrement répartis sur tout le pourtour du fût).

Le partiteur est installé à l'emplacement où l'eau de ruissellement sort de la parcelle de mesure, pour n'en conserver qu'une partie compatible avec le volume des fûts de réception.

Il est formé par une cage en fer, scellée par du ciment en position horizontale entre les deux fûts, dont la face aval est perforée de 10 fentes rectangulaires et verticales. Une goulotte recueille l'eau provenant d'une de ces fentes et le conduit vers le fût principal de réception. Les fûts sont installés dans une fosse qui mesure 2 mètres de long, 1,0 mètre de larges et 1,50

mètre de profondeur dont le fond et les parois sont cimentés. La fosse est fermée par une feuille métallique pour la protéger des eaux de pluies mais également protégée des eaux qui ruissellent à proximité, par des parpaings.

Ces dispositifs ont été installés dans le champ de Madou Berthé et Sékou Berthé à Kani.

### **3.3.1.6.2. Méthodes de mesure sur parcelles expérimentales**

Après chaque événement pluvieux ayant produit du ruissellement, il a été d'abord procédé au relevé pluviométrique sur un pluviomètre installé à côté de l'essai. Ensuite les quantités d'eau dans toutes les barriques étaient mesurées et un échantillon de 1 litre prélevé pour la détermination en laboratoire, des matières dissoutes et des sédiments après avoir suffisamment brassée l'eau pour homogénéisation. Enfin, les barriques sont vidées de leur contenu et nettoyé proprement pour les mesures suivantes.

### **3.3.1.6.3. Estimation du ruissèlement et de l'érosion**

Les relevés de hauteur de pluie et de volume d'eau ruisselé, effectués sur les parcelles, pour chaque événement pluvieux de la saison permettent de calculer:

- la lame ruisselée, notée LR, exprimée en millimètre correspond à la quantité de pluie qui ne s'est pas infiltrée dans le sol. Sa valeur est calculée à partir du volume d'eau ruisselé qui est mesuré à partir des barriques.

$$LR = \frac{V (m^3) \times 10000 m^2}{\text{Surface de la parcelle}}$$

Le coefficient de ruissellement, noté KR est exprimé en pourcentage, et représente la proportion de la pluie (P en mm) qui ne s'est pas infiltré dans le sol.

$$KR = \frac{LR}{\text{Pluie (mm)}} \times 100$$

A partir de la quantité totale de pluie mesurée pendant la campagne et la somme totale des valeurs de LR, un coefficient de ruissellement annuel moyen (KRAM) est calculé.

$$KRAM = LR * 100 / P \text{ annuel}$$

P annuel et LR en mm, KRAM en %

La plus forte valeur mesurée de KR au cours de la campagne est notée KR max

Par ailleurs, l'examen des lames ruisselées du début à la fin de la saison permet de déterminer la hauteur de pluie limite qui provoque un ruissellement.

#### **3.3.1.6.4 Mesure de l'érosion**

En ce qui concerne la mesure de l'érosion, après chaque pluie ayant produit du ruissellement, l'eau recueillie dans le fût est soigneusement mélangé et un échantillon d'1l prélevés. Ces échantillons sont ensuite envoyés au laboratoire pour séchage à l'étuve et pesage des sédiments. Ces données sont mises à échelle pour déterminer l'érosion des sédiments et leurs contenus en nutriments, à l'hectare.

#### **3.3.1.6.5. Analyses des échantillons au laboratoire**

Les analyses ont porté sur le pH, le phosphore, le carbone, sur les eaux de ruissellement et les sédiments (terres de fond et matière en suspension). Ces données sont mises à échelle pour déterminer l'érosion à l'hectare.

#### **3.3.1.7. Conduite des essais agronomiques**

Les cultures mises en place sont des spéculations adaptées à la zone Dans les sites de mesures, des essais agronomiques ont été conduits chez deux (2) producteurs en coton et mil, ces deux essais ont été mis en place chez les deux producteurs (l'un dans une parcelle avec du coton et l'autre dans une parcelle avec du mil), chaque parcelle était subdivisée en deux parties :(1) une partie aménagée en courbes de niveau (PA) avec deux dispositifs de mesure de ruissèlement et (2) la deuxième partie est non aménagée en courbes de niveau (PNA).avec aussi deux ruisselle mètres.

##### **3.3.1.7.1. Dispositif expérimental**

Le dispositif expérimental utilisé était un split plot avec l'Aménagement comme parcelle principale et la fertilisation comme parcelle secondaire, pour le coton et pour le mil.

Les facteurs étudiés étaient :

- La Technique avec deux niveaux : Parcelles Aménagées en courbes de niveau et parcelles non aménagées en courbes de niveau.
- La fertilisation avec quatre niveaux et quatre répétitions:

T1= témoin du paysan. Pour le coton : T1= fumure recommandée = FR (200 kg ha<sup>-1</sup> de complexe coton 14-18-18-6S 1 B<sub>2</sub> O<sub>3</sub> + 50 kg d'urée,

T2= matière organique 5t/ha<sup>1</sup>

T 3= Microdoses engrais 1/1 en fonction du type de culture.

Pour le mil 25 ha<sup>1</sup> de complexe céréale 17-17-17- 4S.

T 4= combiné engrais –matière organique

### 3.3.1.7.2. Dimensions des unités expérimentales

Chaque parcelle élémentaire mesure 4 m de long sur 3 m de large, soit une superficie de 12 m<sup>2</sup>. Les parcelles élémentaires sont séparées par des allées de 0,50m.

La superficie de la partie ACN est de 210 m<sup>2</sup> et 210 m<sup>2</sup> pour de NACN.

Les deux parcelles sont séparées par un grand nombre de billons avec des orientations différentes.

Dans chaque répétition, 2 dispositifs de mesure de ruissellement et 4 points de mesure d'humidité ont été installés. Ainsi nous avons au totale 4 dispositifs de mesure de ruissellement et 8 points de mesure d'humidité à la sonde TDR.

### 3.3.1.7.3. Conditions générales de réalisation

Elles sont résumées dans le tableau 2 où figure le calendrier des travaux et des interventions effectuées sur les parcelles expérimentales. Les travaux du sol le billonnage ont été exécutés dans le sens de la pente pour les parcelles non aménagées et dans le sens des courbes de niveau pour les parcelles aménagées. Le semis du coton ou du mil a été effectué suivant les courbes de niveau, avec des inters lignes de 0,75 cm et la densité de semis de 70 kg/ha. La variété utilisée est celui de la CMDT distribués dans la zone N'TA 93 -15 d'un cycle de 120 jours.

Jusqu'en fin de campagne, le développement végétatif des cultures a été très satisfaisant. Les cultures dans les parcelles aménagées ont eu, dans l'ensemble, un comportement nettement meilleur que ceux des parcelles non aménagé.

Il y a eu deux sarclages suivi d'un buttage sur les essais, du point de vue fertilisation minérale, on a apporté sur toutes les parcelles en fonction des traitements les doses nécessaire.

### 3.3.1.7.4. Calendrier culturale

**Tableau 2** calendrier culturale des opérations

Opérations / Dates	Cultures	
	Coton	Mil
Billonnage, apport de fumier et semis	09/06/2016	23/06/2016
Sarclo-Binage	27/06/2016	07/07/2016
Sarclage et Resemis	13/07/2016	09/08/2016
Apport engrais	18/07/2016	19/08/2016
Apport d'urée	20/07/2016	07/09/2016
Buttage	01/09/2016	07/09/2016
1 <sup>er</sup> Traitement insecticides	26/07/2016	-
2 <sup>e</sup> traitements	14/08/2016	-
3 <sup>e</sup> Traitement	06/09/2016	-
Récolte 1	06/10/2016	02/11/2016

Récolte 2	26/10/2016	-
Hauteur plants	28/10/2016	28/10/2016
Poids tiges fraîches	27/10/2016	02/11/2016
Poids tige sèches	16/11/2016	22/11/2016
Poids grains	30/10/2016	17/11/2016

### 3.3.1.8 Rendements agricoles

Le rendement agricole (Kg. ha<sup>1</sup>) a été déterminé à partir du poids grains, de tiges des plantes. Les observations ont aussi porté sur le nombre de poquet, de plants et la hauteur des plants sur une surface connue. Pour le coton et le mil, les récoltes ont été réalisées sur les surfaces utiles de toutes les parcelles, les deux lignes de bordures étant éliminés et les poids frais immédiatement enregistrés.

### 3.3.1.9 Traitement des données

Les données collectées ont été traitées à l'aide du logiciel GEN- STAT. Elles ont été comparées entre elles par le test de DUNCAN (test de comparaisons multiples pour la variable Moyenne) Pour l'acceptabilité ou le rejet de l'hypothèse nulle (H<sub>0</sub>), le seuil de probabilité a été fixé à 5 %.

## IV- RESULTATS

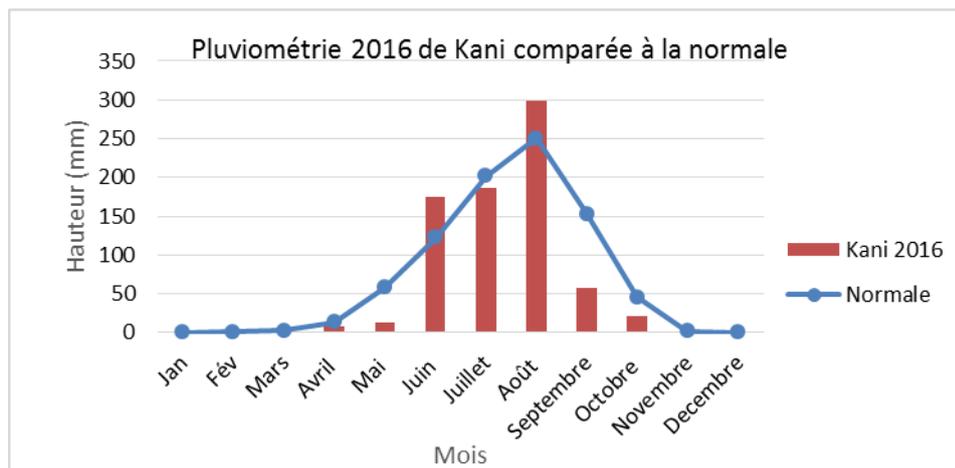
### 4.1. Situation pluviométrique dans la zone de Kani :

A Kani, le cumul de la pluviométrie enregistrée au cours de la campagne 2016 est de 759 mm en 52 jours. La répartition a été mauvaise dans le temps et dans l'espace au cours de la campagne.

La pluviométrie à été déficitaire en 2016 (759 mm) par rapport à la normale qui est de 852 mm pour la zone de Koutiala. On observe une forte variabilité dans les quantités de pluies recueillies et les plus élevées ont été enregistrées en juillet (187 mm) et août (293 mm). Les restes des pluies mensuelles ont été toutes inférieures à 60 mm (figure 10).

L'intensité de la pluie moyenne (30 mm.h<sup>-1</sup>) et le nombre des événements pluviaux érosifs (52 jours) sont moins importants que celles rapportées habituellement dans la zone (Traoré et al. 2015).

L'analyse des données pluviométriques indique que les pluies érosives sont celles ayant une intensité supérieure à 10 mm.h<sup>-1</sup> et une hauteur supérieure à 7 mm. La (figure 9) montre que la pluviométrie de Kani en 2016 à été inférieure à la normale.



**Figure 9 - Pluviométrie de Kani en 2016 comparé à la normale**

#### **4.2. Description des profils du sol Kani.**

Les deux fosses sont représentées par les profils N°1, 2, (figure 10 et 11), leurs différents horizons sont décrits. **Profil N° 1** Seckou Berthé

**Sol ferrugineux tropical lessivé à tâches.**

**Coordonnées géographiques :** W 12°14'339, N 005°11'321

**Géomorphologie :** champ de mil Moyen glacis, parc à karité

**Horizon 0-15 cm:** Sec, couleur à l'état humide 5YR4/4, éclat polyédrique, friable, légèrement dur, non collant, non plastique; très poreux, sans tâches et nodules ferrugineuses, texture sablo- limoneux; plusieurs racines fines et intermédiaires (0.3-0.5 cm de diamètre); transition graduelle, forte activité biologique, plusieurs pores de petites tailles.

**Horizon 15-45 cm :** Sec, couleur à l'état humide 7,5YR5/6 et 7YR4/4 couleur des concrétions, compact, dur, collant, non plastique; agrégat polyédrique, texture Argilo-sableuse, plusieurs racines de taille fine à intermédiaire, et de grosses racines; plusieurs pores de taille intermédiaire (0.1-0.2 cm de diamètre), présence de tâches rougeâtres de petite taille, intense activités biologiques, transition nette.

**Horizon 45-70 cm:** Frais, couleur à l'état humide 7,5YR5/8, compact, éclat polyédrique, collant, peu plastique; texture argilo-limono-sableuse, quelques racines de taille intermédiaire (3-3.5 cm de diamètre), présence de très nombreuses tâches et concrétions ferrugineuses dures de couleur 7YR7/4, peu poreux et non organique, peu d'activités biologiques, transition nette.

**Horizon 70-130 cm:** humide, couleur à l'état humide 7.5YR6/8, compact, dur, éclat polyédrique, collant, peu plastique; non fragile, peu poreux, texture limono-sableux gravillonnaire avec beaucoup de tâches et de concrétions gravillonnaires dures, de couleur 7.5YR5/6, pas de racines, présence de pores intermédiaires (0.5 cm de diamètre), activités biologiques inexistantes.



**Figure 10 :** photo du profil 1 : parcelle mil chez Seckou Berthé

#### **Profil N° 2: Madou Berthé**

**Sol ferrugineux tropical lessivé à gley de profondeur**

**Coordonnées géographiques :** W 12°14'570 N 005°11'357

**Géomorphologie :** champ de coton, Bas glacis ; parc à karité.

**Horizon 0-30 cm:** Sec, couleur à l'état humide 10YR 4/6, agrégat polyédrique, friable, peu compact, non collant, non plastique ; poreux, texture sablo- limoneux; sans tâche, avec de nombreuses racines fines à très fines; présence des trous de coprolithe ; transition distincte avec une forte activité biologique (existence de plusieurs pores de petites tailles).

**Horizon 30-60 cm :** Sec, couleur à l'état humide 10YR 5/6 avec des tâches ferrugineuses et, moyennement friable, compact, collant, peu plastique; agrégat polyédrique, texture argilo-sableuse; présence de plusieurs racines de taille fine à intermédiaire et de grosse taille; poreux avec plusieurs pores de taille intermédiaire (0.5 cm de diamètre) et quelques petits pores; présence de quelques taches ; transition distincte.

**Horizon 60-100 cm:** Sec, couleur à l'état humide 7.5YR 5/8, compact, éclat polyédrique, collant, peu plastique; non friable; texture limono-argilo-sableuse, présence de nombreuses tâches et nodules de Fe, face luisante, non effervescente, quelques racines de taille fine et quelques rares racine de taille intermédiaires (0.3 cm), quelques pores de taille intermédiaire et petite; présence des coprolithes, transition nette peu d'activités biologiques.

**Horizon 100 -150 cm:** humide, couleur à l'état humide 10YR 6/6, couleur des concrétions ferrugineuses tendres 10YR 4/6 compact, éclat polyédrique, collant, peu plastique; texture argilo-limono-sableuse; non organique, très peu d'activités biologiques, quelques rares racines de taille intermédiaire (0.4 cm de diamètre), pores de grosse taille (0.5 cm de diamètre).



**Figure 11 :** Profil de sol n°2 dans une parcelle de coton chez Madou Berthé à Kani.

#### **4.2.1. Résultats d'analyse au laboratoire.**

Les résultats obtenus lors de la description des fosses complétés par ceux de l'analyse au laboratoire nous ont permis de juger de la qualité et des aptitudes agricoles des sols étudiés.

Ces résultats sont consignés dans les tableaux 3 et 4. Les analyses ont porté sur la détermination du pH, de la composition granulométrique, de la matière organique, du phosphore assimilable, de la CEC, et des bases échangeables.

**Tableau 3 :** Récapitulatif des résultats d'analyse des échantillons de sol (profil:1) chez Seckou Berthé

Profondeur, (cm) profil 1	pH eau	% .de terre fine			Types de sol	Matière organique	phosphore ppm	CEC meq/100g
		Sable	Limon	Argile				
0-15	5,86	84	14	2	SL	0,45	7,77	1,53
15-45	5,87	88	10	2	S	0,40	7,12	1,54
45-70	6,09	86	12	2	SL	0,29	6,56	1,58
70-130	5,98	82	16	2	SL	0,31	6,28	1,57

Ce profil est caractérisé par un pH acide variant de 5,86 à 6,09, le taux de matière organique est faible et varie de 0,31 à 0,45%, le niveau du phosphore dans ce profil est plus élevé que dans les autres profils variant de 6,56 à 7,77 ppm. Ce sol a une granulométrie défavorable pour les cultures

**Tableau 4 :** Récapitulatif des résultats d'analyse des échantillons de sol (profil:2) chez Madou Berthé

Profondeur, (cm) profil 2	pH eau	% .de terre fine			Classe texturale	Matière organique	phosphore ppm	CEC meq/100g
		Sable	Limon	Argile				
0-30	5,95	70	28	2	LS	0,48	0,66	1,54
30-60	6,02	49	48	2	L	0,46	0,60	1,62
60-100	5,80	80	18	2	SL	0,33	0,09	1,58
100-150	5,75	73	25	2	SL	0,14	0,07	1,58

La granulométrie montre que les sols sont légers à texture limono-sableux ou sablo-limoneux en surface et que le taux d'argile est assez faible en surface dans tous les profils.

Le profil 2 est caractérisé par un pH acide qui varie de 5,75 à 6,02.

Le taux de matière organique dans les horizons supérieure varie de 0,48 à 0,46% pour atteindre 0,33 à 0,14% dans les horizons inférieurs; Leurs capacités d'échange cationique (CEC) est faible variant de 1,53 à 1,62 meq/100g

Le niveau du phosphore assimilable est faible avec une moyenne de 0,36 ppm. La capacité d'échange des cations est faible avec 09,92 meq/100g. La granulométrie montre que le sol est défavorable aux cultures car un sol à granulométrie favorable aux cultures a 20 à 25% d'argile, 30 à 35% de limons, 40 à 50% de sable selon les normes et interprétations des résultats d'analyse au laboratoire (Dolumbia 2011), nos résultats sont supérieurs de ses valeurs.

De manière générale la partie supérieure des profils est toujours bien drainant contrairement aux horizons de profondeur supérieure à 50 cm, où le drainage médiocre favorise la formation d'horizons à taches et concrétions ferrugineuses. Les sols observés sont des sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions ou à pseudo gley. La coloration rouge en profondeur est due à un lessivage du fer. Ils se caractérisent par une texture limono- sableuse en surface. Ils ont une structure particulière devenant fondue à sec, ce qui les rend peu perméables lorsqu'ils sont gorgés d'eau sur les premiers centimètres. Ils sont sensibles à l'encroûtement. Les sols sont le siège de transit (relais) de matériaux d'origine éolienne et hydrique. La kaolinite est le type d'argile dominant dans ces sols.

### **4.3. Résultat des mesures humidité**

Pour l'analyse de l'humidité du sol, les dates ont été choisies pour représenter le début, le milieu et la fin de la saison des pluies (figures 12 et 13)

Les figures 13 et 14 montrent que l'humidité du sol était toujours plus élevée dans la parcelle ACN que dans celle NACN. En juin et Juillet au début de la saison des pluies, le maximum de l'humidité (23%) a été observé dans les 35 premières cm du sol, après la teneur en eau baissait et est similaire jusqu'à 60 cm de profondeur et enfin a atteint environ 15% pour l'ACN et 8% pour le NACN à 100 cm de profondeur.

Au milieu de la saison des pluies, l'humidité maximale (35%) dans les ACN a été observée jusqu'à 80 cm de profondeur dans la période du 10 août au 20 septembre lorsque la pluie était encore fréquente et le drainage plus profond.

A la fin de la saison, le drainage était profond avec moins d'eau (environ 20% à 70 cm de profondeur), mais l'événement intéressant est que l'humidité du sol était d'au moins 25%. Cette situation explique une mise à disposition de quantités importantes d'eau pour le parc arboré.

La figure 13 montre la dynamique de l'humidité du sol dans le champ de Madou Berthé. Ici également, l'humidité du sol était toujours plus élevée dans la parcelle ACN que dans celle NACN. En juin et Juillet, au début de la saison des pluies une humidité moyenne maximale de 20% a été observée dans les 40 cm du sol (premières couches), après quoi la teneur en eau était très proche jusqu'à 100 cm de profondeur. Au milieu de la saison des pluies, le taux d'humidité maximale (30%) a été observé à 80 cm de profondeur pour les ACN. À la fin de la saison des pluies, l'ACN montrait une teneur plus élevée en eau du sol dans tout le long du profil du sol par rapport à NACN et la différence était d'environ 20%.

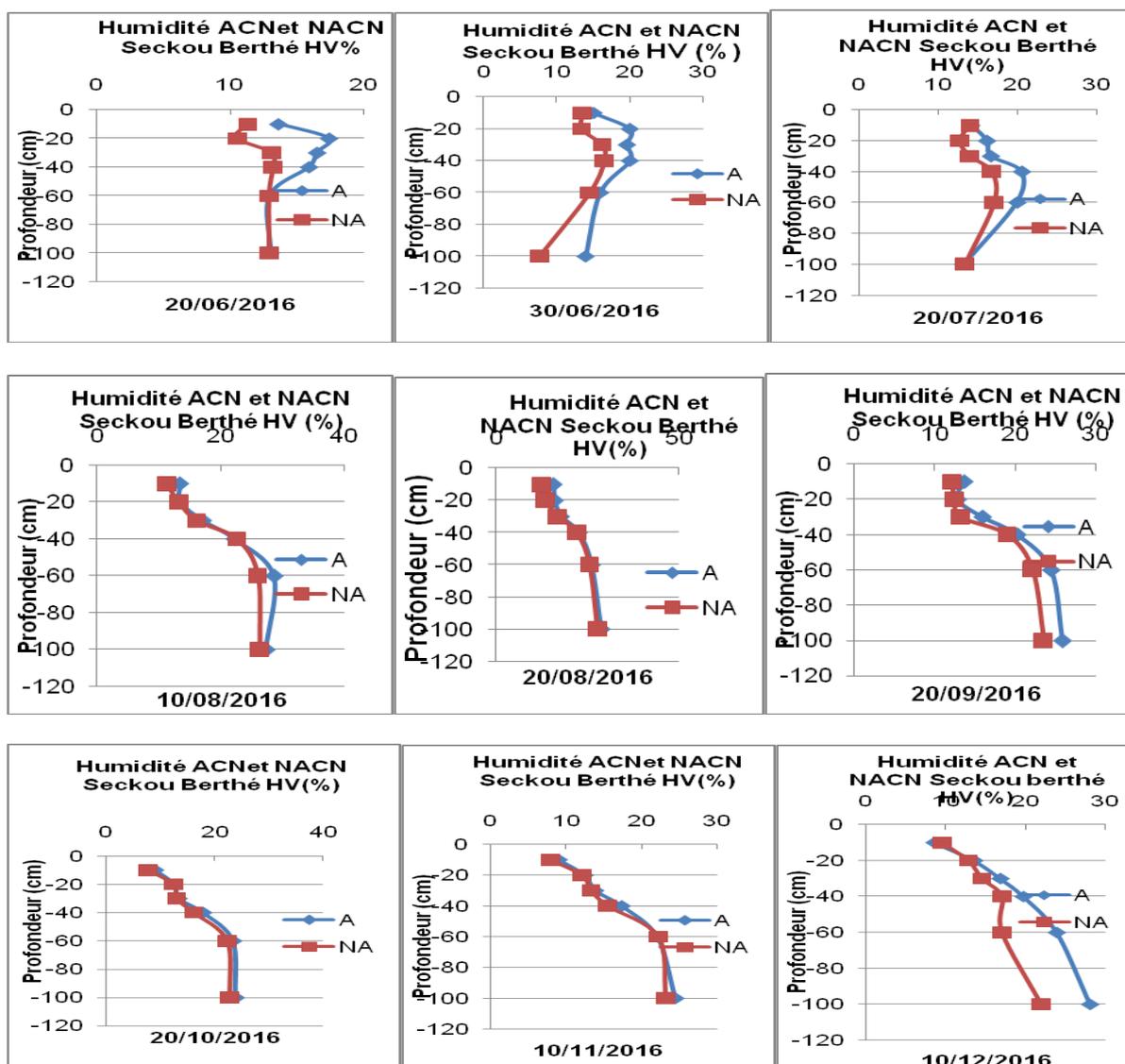
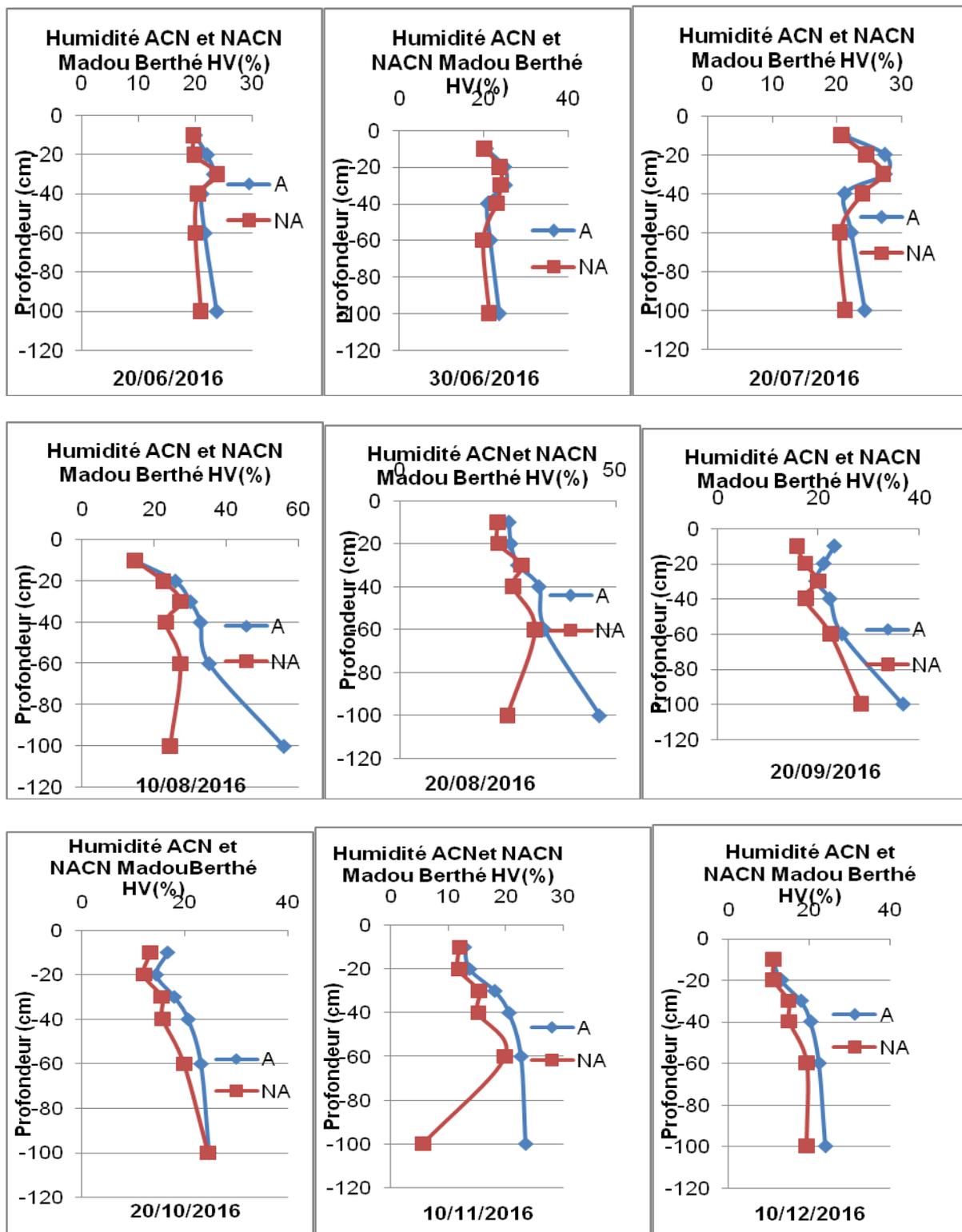


Figure 12: La distribution verticale de l'humidité du sol dans le champ de Seckou Berthé à Kani, (Koutiala).



**Figure 13:** La distribution verticale de l'humidité du sol dans le champ de Madou Berthé à Kani, (Koutiala).

#### 4. 4. Pour les mesures d'infiltration

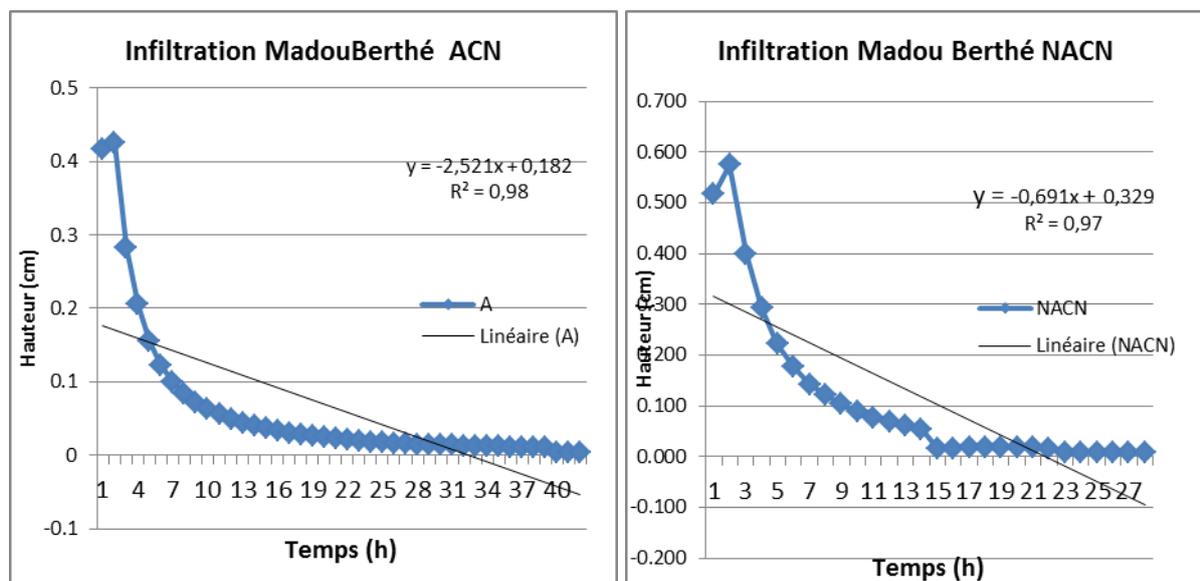
Il existe plusieurs méthodes de détermination de la vitesse d'infiltration (notée K). La méthode de Muntz a été préférée aux autres par sa simplicité. Les données traitées à l'aide du logiciel EXCEL donnent la vitesse ou capacité d'infiltration (Richards 2006) en (cm/heure). Le traitement des données collectés dans les parcelles expérimentales aménagés et non aménagés (tableau 5) montre que l'infiltration est plus grande dans les parcelles aménagées que dans les non aménagées. Elles sont de l'ordre (5,02 cm/h) pour aménagée et (0,87 cm/h) pour non aménagée chez Seckou Berthé en mil sur un sol sablo limoneux contre (2,52 cm/h) dans la parcelle avec aménagement et (0,69 cm/h) pour le non aménagée chez Madou Berthé. Il est constaté que la vitesse d'infiltration est fonction de la texture de surface, du taux de limon et d'argile. Le faible taux de perméabilité observé dans les parcelles non aménagées est dû à une structure massive, compacte, de porosité globale faible. En définitif on peut retenir que la perméabilité est liée à la granulométrie et à la structure du sol.

**Tableau 5 :** classe de la perméabilité des sols à Kani (champ Seckou et Madou Berthé).

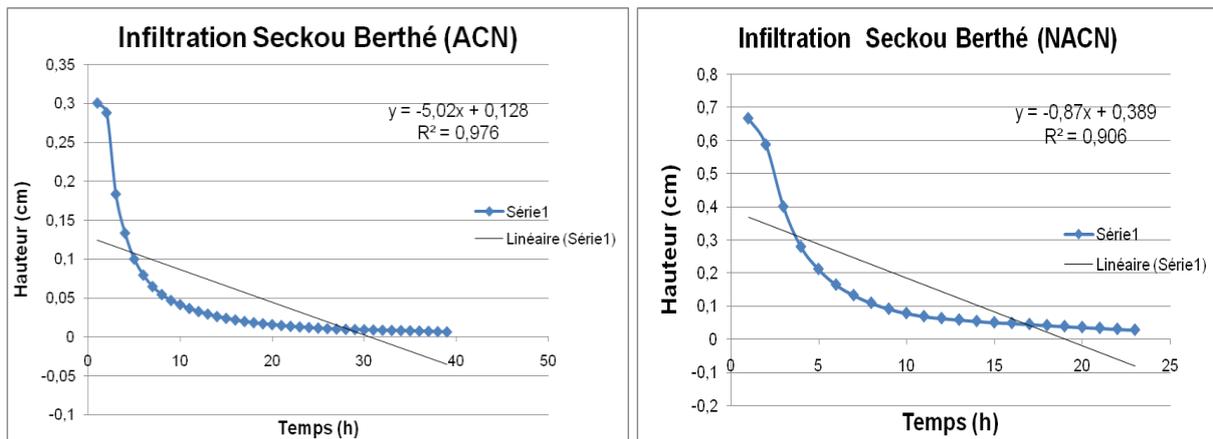
Paysans	Vitesse K cm/h	Appréciation	Classes texturales
Seckou Berthé ACN	5,02 cm /h	Elevée	SL
Seckou Berthé NACN	0,87 cm /h	Faible	SL
Madou Berthé ACN	2,52 cm /h	Moyenne	LS
Madou Berthé NACN	0,69 cm /h	Faible	LS

Source Norme d'interprétation (Audry et al, 1973), construction personnelle.

Les figures 14 et 15 montrent que l'infiltration a été plus grande dans le champ de Seckou Berthé que dans celui de Madou Berthé où le ruissellement a été plus important.



**Figure 14 Infiltration champs Madou à Kani ACN et NACN.**



**Figure 15 Infiltration champs Seckou Berthé à Kani ACN et NACN**

#### 4.5. Densité apparente et porosité

Les valeurs de la densité apparente sont mentionnées dans le tableau 6.

**Tableau 6 :** Densité et porosité mesurées dans les parcelles expérimentales à Kani.

Fosses pédologique	Densité		Porosité %	
	Madou Berthé	Seckou Berthé	Madou Berthé	Seckou Berthé
Horizons				
1	1,56	1,56	41,13	41,13
2	1,52	1,46	42,65	44,90
3	1,49	1,89	43,77	28,68
4	1,56	1,72	41,13	35,09

Il ressort de ces résultats que la densité varie en fonction des horizons dans les différents profils du sol et cela en fonction de sa position sur la toposequence.

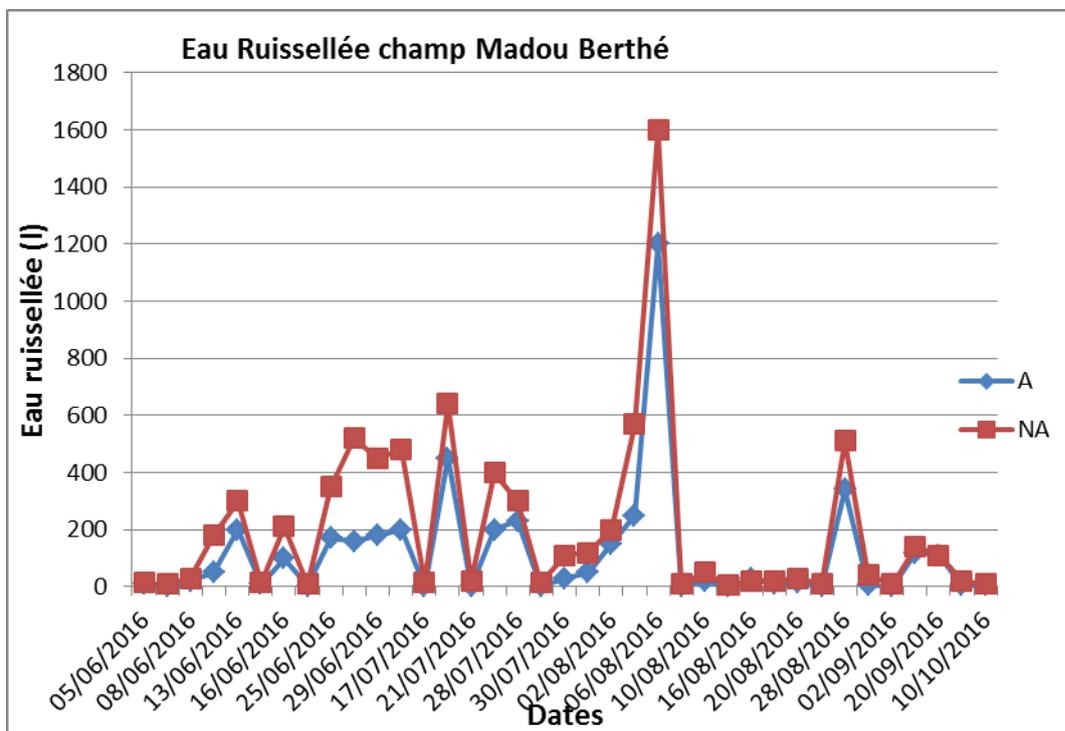
La densité est plus élevée dans la parcelle de Seckou Berthé qui est sur un sol gravillonnaire que chez Madou Berthé sur sol sablo-limoneux.

Chez Madou Berthé où le sol est sablo-limoneux en surface et limono-sableux en profondeur, les valeurs de la densité varient très peu. Par contre chez Sékou où le sol est gravillonnaire à sablo-gravillonnaire la densité est plus élevée en profondeur qu'en surface. On constate une homogénéité de la densité apparente dans l'ensemble. La porosité des horizons des sols est moyenne chez Madou Berthé entre 41-43 % avec des parcelles situées en bas de la

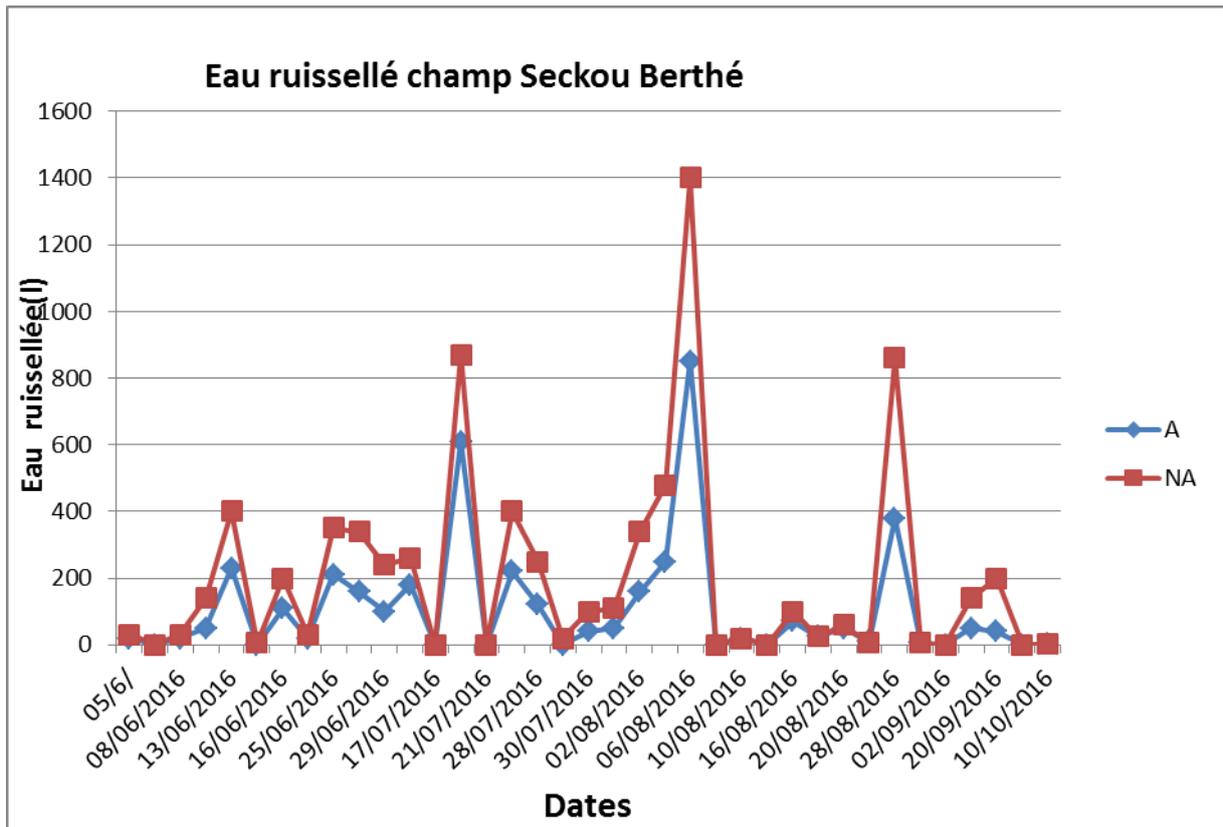
toposequense par contre chez, Seckou Berthé dans le moyen glacis, la porosité des sols est moyenne à faible en fonction des horizons et varie de 28% à 44%.

#### 4.6. Mesure des eaux de ruissellement :

Les figures 16 et 17 montrent que l'eau de ruissellement recueillie dans les barriques de mesure est toujours supérieure dans la parcelle NACN que dans celle ACN et cela pour tous les événements pluvieux de la saison. L'eau de ruissellement au début du mois de juin et juillet était au moins deux fois plus élevée dans parcelle NACN dans le champ de Madou Berthé et la même remarque à la fin du mois d'août dans le champ de Sékou Berthé. L'eau de ruissellement dans la parcelle ACN était inférieure à 1200 litres alors qu'elle était supérieure à cette valeur dans la parcelle NACN.

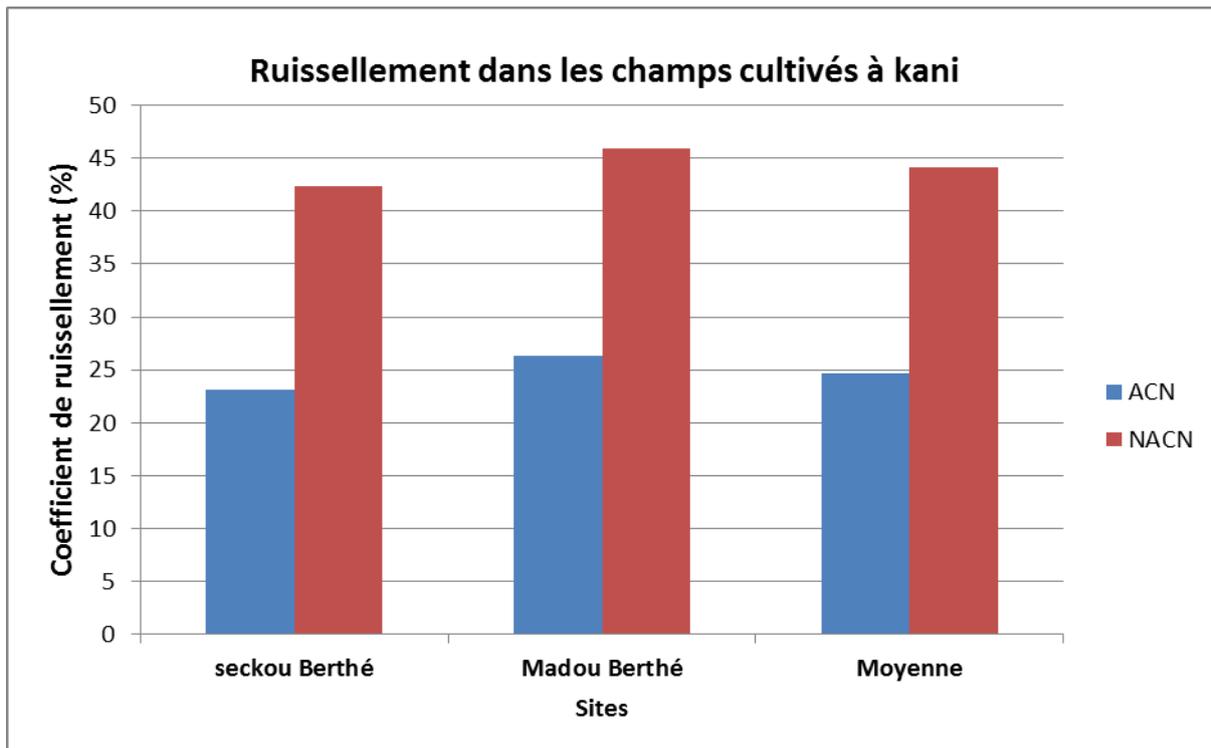


**Figure 16 :** Ruissellement par parcelle en (litres) chez Madou Berthé à Kani,



**Figure 17 :** Ruissellement par parcelle en (litres) chez Seckou Berthé à Kani.

La figure 18 montre que coefficient de ruissellement varie de 42,37% à 45,89% dans les parcelles NACN et de 23,16 à 26,29% dans les parcelles ACN. Le ruissellement dans NACN a été plus important dans le champ de Madou Berthe (+ 18%) par rapport au champ de Sékou Berthé Cette situation est due au fait que la pente est plus élevée dans le champ de Madou Berthé (environ 3%) avec une texture sablo-gravillonnaire contre 1.8% environ dans le champ de Sékou Berthé avec une texture sablo-limoneuse.



**Figure 18 : Coefficient de ruissellement à Kani 2016**

Les résultats de nos expérimentations indiquent que la culture en courbe de niveau est une pratique antiérosive qui protège le sol agricole contre le ruissèlement des eaux pluies abondantes et intenses, caractéristiques de notre zone d'étude.

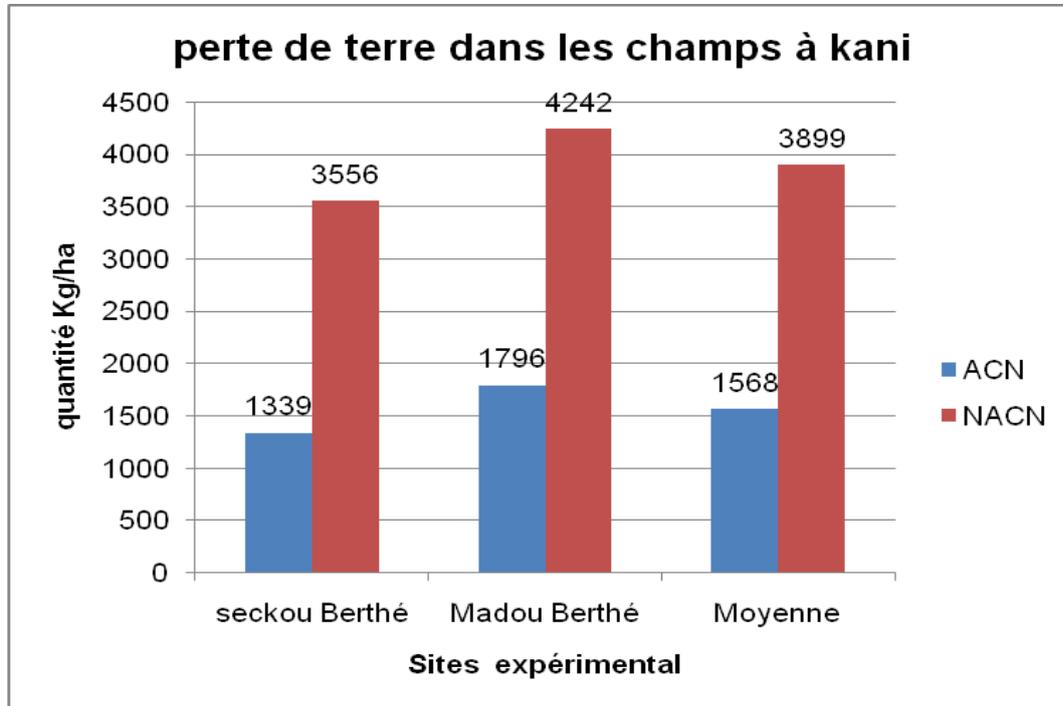
La technologie a permis de réduire considérablement le ruissellement et les pertes en terre.

Dans le contexte étudié, les résultats obtenus ont confirmé l'effet positif des aménagements en courbe de niveau sur la réduction du ruissellement et de l'érosion. Les ruissellements sur les parcelles aménagées et sur la parcelle non aménagée sont respectivement une où deux fois plus élevés que sur les parcelles aménagées.

#### **4.6.1. Le sol érodé dans les champs d'expérimentation à Kani.**

La technologie de l'aménagement en courbe de niveau diminuait la perte de terre comparée au non aménagement en courbe de niveau dans tous les champs d'expérimentation. A Kani le maximum de perte de terre était observé de Juin à fin - Aout dans les parcelles ACN et NACN. Un pic de 4242 kg ha<sup>-1</sup> et 1796 kg ha<sup>-1</sup> respectivement dans les parcelles non aménagé et aménagé de Madou Berthé en Août a été mesuré (Figure 19).pour la même période, chez Sékou Berthé, des valeurs de 3556 kg ha<sup>-1</sup> et 1339 kg ha<sup>-1</sup> ont été respectivement observées en NACN et ACN (Figure 20) pour la même saison de pluies les minimums de perte de terre étaient notés au mois de septembre. La perte de terre était très importante dans le champ de Madou par rapport à celui de Sékou.

Les quantités d'eau ruisselées et les tonnages de terre érodés sous culture sont sensiblement plus faibles que les années précédentes. Pour les parcelles ACN cultivées, le ruissellement et l'érosion sont en moyenne deux à trois fois moindres que sur les parcelles NACN cultivées en fonction du système adopté.



**Figure 19 : Pertes de terres à Kani 2016**

Il est vrai que les valeurs de ruissellement et d'érosion sont, de toute manière, faible ; en effet, sur la meilleure parcelle, le rendement n'atteignait pas 1 T/ha de mil grains par contre dans les parcelles coton il dépassait les 2T/ha<sup>1</sup>.

Les valeurs obtenues pour l'érosion d'une année à l'autre sont beaucoup plus variables que pour le ruissellement. Ceci peut être dû en partie aux valeurs très différentes de la pluviosité, surtout de son intensité et sa fréquence.

Les résultats montrent que pour tous les évènements pluvieux, la quantité d'eau ruisselée dans les parcelles non aménagées est toujours supérieure à celles aménagées.

Les figures 16 et 17 représentent le ruissellement moyen. Elles montrent également que l'aménagement en courbes de niveau permet de réduire de façon considérable le ruissellement des eaux de pluies. D'ailleurs, de fin août à fin octobre, les quantités ruisselées dans les parcelles non aménagées sont de plus du double de celles aménagées.

Les coefficients de ruissellement sont également plus élevés dans les parcelles non aménagées que dans celles aménagées (figure 18). De manière général, Ils représentent plus du double.

#### 4.6 2. Perte de nutriment dans les parcelles à Kani

Les résultats d'analyses au laboratoire sur les sédiments après séchages nous a permit de quantifier les nutriments et les matières organiques extrait sous forme dissoute des parcelles en fonction de l'intensité des eaux de ruissellement, et du type de sol.

Nos résultats montrent que la quantité de phosphore perdue par le ruissellement et érosion est faible dans les parcelles avec aménagement en courbe de niveau que dans le non aménagé dans tous les sites 0,0870Kg/ha<sup>1</sup> et 0,216 Kg /ha<sup>1</sup> chez Madou Berthé contre 0,0824 Kg /ha<sup>1</sup> et 0,304 Kg /ha<sup>1</sup> chez Seckou Berthé (figure 20). De même les quantités de carbone perdues par l'érosion ont été plus faibles dans les parcelles aménagées (ACN) que non aménagées (NACN) dans les différents sites 109,21 Kg/ha<sup>1</sup>et 366,52 Kg/ha<sup>1</sup>chez Madou Berthé contre 57 Kg /ha<sup>1</sup> et 427,72 Kg /ha<sup>1</sup> pour Seckou Berthé. La (figure 21) montre les pertes des nutriments mensuelles dans les parcelles expérimentales chez (Madou Berthé et Seckou Berthé).

Il ressort de l'analyse de la (figure 21) que le maximum de pertes des nutriments est observé au mois d'août et les mois de juillet et juin suivent.

Ces résultats sont semblables à ceux obtenus par (Roose et al en 1977) qui avait trouvé des valeurs de 0,5Kg /ha<sup>1</sup>de phosphore et 26 Kg de carbone mais dans des conditions climatiques différentes.

C'est ainsi que le phosphore, très fixé aux particules, est surtout perdu par érosion.

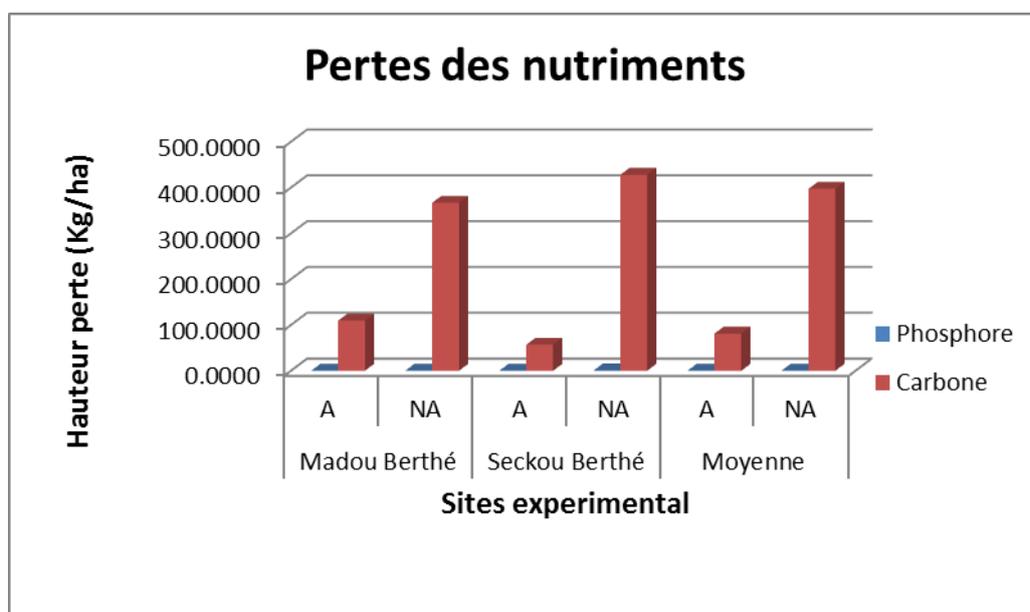


Figure 20 pertes des nutriments à Kani en 2016

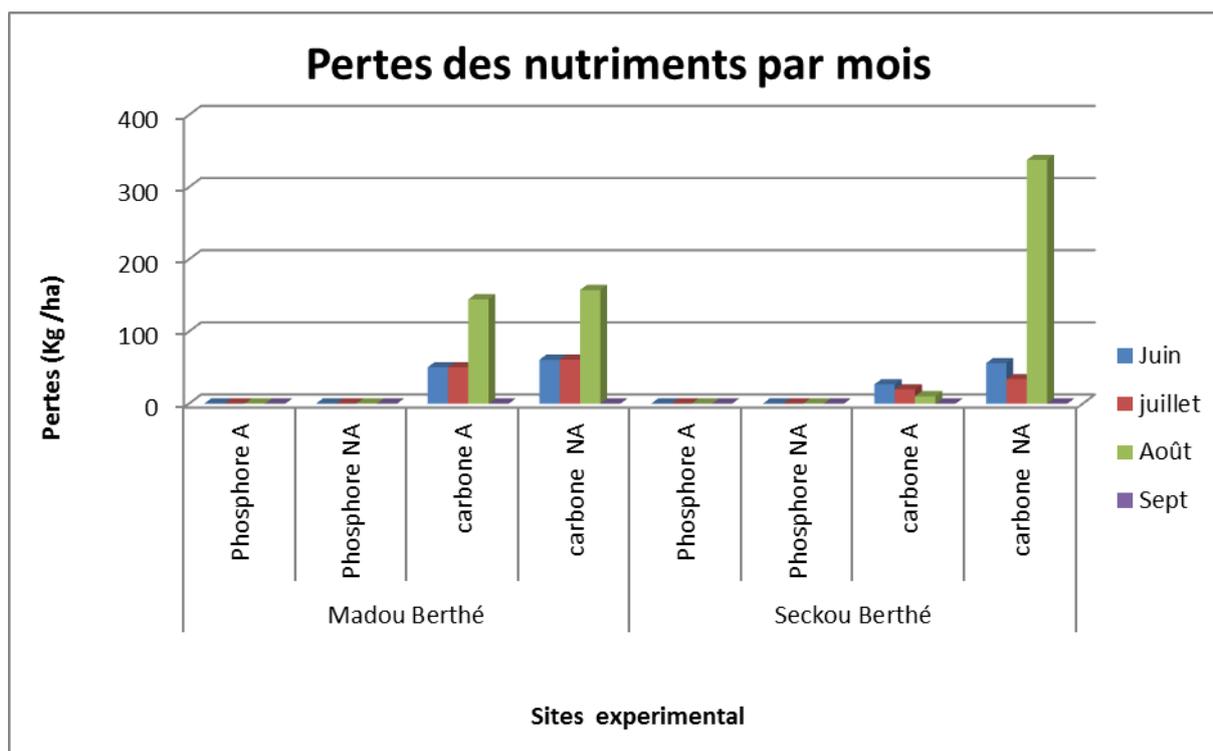


Figure 21 : pertes mensuelles

#### 4.7. Résultats des essais agronomiques

Pour le coton, l'analyse statistique du rendement montre des différences significatives (tableau 7).entre les parcelles ACN et NACN ( $p= 0,001$ ), Le rendement moyen a été de 2150 kg ha<sup>-1</sup> de coton graine et le CV de 14% expliquant une certaine homogénéisation des résultats au tour de la moyenne. Le rendement des parcelles ACN est d'environ le double de celui des NACN. En ce qui concerne les types de fertilisation ils sont statistiquement différents les uns des autres ( $p= 0,001$ ). Les plus faibles rendements sont obtenus avec les traitements témoin et Fumier 5 T ha<sup>-1</sup>. (1006 Kg/ha<sup>1</sup> et 1104 Kg/ha<sup>1</sup>) qui ne diffèrent pas statistiquement. L'utilisation combinée de la fumure organique à la dose de 5000 kg ha<sup>-1</sup> et de la fumure vulgarisée a donné le meilleur rendement avec 2164 kg ha<sup>-1</sup> (en moyenne, plus du double par rapport au témoin) suivi de la Microdoses engrais 1/1. 1804 Kg ha<sup>-1</sup> (+71% en moyenne par rapport au témoin) Les autres paramètres étudiés (nombre de plants, hauteur plants) ne sont pas significatifs. L'aménagement a un effet hautement significatif sur le rendement de tige ( $p=0.001$ ) et le gain a été de +74%.

**Tableau 7:** Rendements grain et tiges, nombre de plants et poquets récoltés et hauteur du cotonnier à Kani en 2016.

Traitement	Nbre de poquets levés/ha	Nbres plants/ha	Rdt coton Graines Kg/ha	Rdt Tiges Kg/ha	Hauteurs plants (cm)
<b>Technologies</b>					
Parcelles Aménagées	26115 a	39740	2150 a	5948 a	144 a
parcelles Non Aménagées	24010 b	39635	1035 b	3427 b	119 b
Probabilité	0,001	0,926	0,001	< 0,001	0,001
Signification	<b>S</b>	<b>NS</b>	<b>S</b>	<b>HS</b>	<b>S</b>
<b>Fertilisation</b>					
T1-Témoin	21875	36250	1006 c	3938	118 c
T2- Fumier 5T/ha	25104	41666	1104 c	4652	125 b
T3- Microdoses d'engrais 1/1	24583	40417	1804 b	5552	142 a
T4- 5T/ha de fumier + FV	24688	40417	2164 a	4604	142 a
Probabilité	0,168	0,999	0,001	0,158	< 0,001
Signification	<b>NS</b>	<b>NS</b>	<b>S</b>	<b>NS</b>	<b>HS</b>
<b>Inter action technologies X doses</b>					
	0,574	0,399	0,567	0,249	0,267
Signification	<b>NS</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>
Moyenne générale	24062	39689	2150	4688	132
Ecart type (Kg ha <sup>-1</sup> )	2485	1290	345	1097	7,2
CV %	12,7	9,4	13,9	28,9	7

(a,b,c) : Les moyennes affectées par une même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Newman-Keuls à un niveau de probabilité de 5%).

Pour le mil, (tableau 8) l'analyse statistique montre une différence significative entre parcelles aménagées et non aménagées et entre les traitements en ceux qui concerne le rendement grain ( $p=0,001$ ). Le rendement moyen a été de 948 Kg/ha<sup>1</sup>. Le gain de l'aménagement a été de +39%. Les rendements des parcelles ayant bénéficié de l'engrais minéral 1/1 et de la fumure organique associée à la fumure vulgarisée ont été statistiquement plus élevés ( $p=0,001$ ) que ceux ayant reçu la fumure organique seule et le témoin. En moyenne cette supériorité a été de +58%. Pour le rendement tige, les parcelles ACN et NACN ne diffèrent pas statistiquement ( $p=0,596$ ) par contre elles diffèrent selon les traitements ( $p=0,014$ ). A l'instar du rendement grain, les rendements des parcelles ayant bénéficié de l'engrais minéral 1/1 et de la fumure organique associée à la fumure vulgarisée ont été statistiquement plus élevés ( $p=0,01$ ) que ceux ayant reçu la fumure organique seule et le témoin. En moyenne cette supériorité a été de 41%. Ainsi les microdoses engrais 1/1 et l'apport de fumier 5T ha<sup>1</sup> + FV sont statistiquement équivalent (1206 Kg/ha<sup>1</sup> et 1113 Kg/ha<sup>-1</sup>), de même l'apport de

fumier 5T /ha<sup>1</sup> a eu un rendement supérieur au témoin (886 Kg/ha<sup>1</sup> contre 586 Kg/ha<sup>1</sup>). Le coefficient de variation est de 17,8 % ce qui est acceptable. Les autres paramètres étudiés (nombres de poquets, nombres plants) ne sont pas significatifs.

**Tableau 8:** Rendements grain et tiges, nombre de plants et poquets récoltés et hauteur du mil à Kani en 2016.

Traitement	Nbres poquets levés/ha	Nbres plants /ha	Rdt Grains Kg/ha	Rdt Tiges Kg/ha	Hauteur plants (cm)
<b>Technologies</b>					
Parcelles Aménagées	18229 a	39687	1123 a	2901	198
parcelles Non Aménagées	15417 b	37031	807 b	2749	182
Probabilité	0,001	0,223	0,001	0,596	0,081
<b>Signification</b>	<b>S</b>	<b>NS</b>	<b>S</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>
<b>Fertilisation</b>					
T1-Témoin	16666	33854	586 c	2075 c	147 c
T2- Fumier 5T/ha	16666	36299	886 b	2615 b	178 b
T3- Microdoses d'engrais 1/1	16771	39375	1206 a	3281a	220 a
T4- 5T/ha de fumier + FV	17188	41979	1113 a	3329 a	215 a
Probabilité	0,94	0,092	0,001	0,014	< 0,001
<b>Signification</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>HS</b>
<b>Inter action technologies X doses</b>					
	0,359	0,664	0,237	0,269	0,537
<b>Signification</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>
Moyenne générale	16823	38359	948	2825	190
Ecart type (Kg /ha)	684	4960	147	648	187
<b>CV %</b>	<b>11,5</b>	<b>16</b>	<b>21</b>	<b>28,3</b>	<b>12,2</b>

(a,b : Les moyennes affectées par une même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Newman-Keuls à un niveau de probabilité de 5%).

#### 4.8. Discussion des résultats

Les résultats obtenus lors de la description des fosses complétés par les résultats d'analyse au laboratoire nous ont permis d'identifier deux principaux types de sol dans les parcelles expérimentales qui sont : les sols ferrugineux tropicaux lessivés à gley de profondeur, et les sols ferrugineux tropicaux lessivés à tâches. Ces types de sol sont très fréquents au Mali et ont été décrits par le PIRT en 1983, Traore et al 2003 à Siguidolo et Samake (2013) pour la station de Sotuba, qui avaient rapporté des conclusions similaires à celle de cette étude.

Pour les mesures humidité du sol nos résultats ont montré que l'humidité était toujours plus élevée dans les parcelles ACN que dans les NACN. Ces conclusions corroborent celles

rapportées par Traore et al, (2015) qui avaient mentionné une supériorité de plus + 25% en faveur des parcelles aménagées.

Pour les mesures d'infiltration nos résultats montrent que l'infiltration a été plus élevée dans les parcelles aménagées que dans celles non aménagées dans les deux sites de mesure (champs de Sékou et Madou Berthé). Nos résultats sont en accord avec ceux publiés par Richard et al, (2006) à Fansirakoro dans une zone agro écologique similaire à notre zone étude.

L'analyse des données pluviométriques indique que les pluies érosives sont celles ayant une intensité maximale supérieure à  $10 \text{ mm.h}^{-1}$  et une hauteur supérieure à 7 mm.

Les ruissellements sous culture ont été très peu abondants cette année en raison de la faible pluviométrie: 759 mm en moyenne contre 1071 mm en 2015, soit une diminution de, 29 % de la pluviométrie De manière générale l'hivernage a été caractérisé par un début et une fin beaucoup plus difficile, ce qui a peut-être engendré le faible rendement obtenu sur le mil.

Le ruissellement et les pertes en terre ont été plus faibles dans les parcelles aménagées que dans celles non aménagées. Cette observation va dans le même sens que celle de Traore et al., (2015) qui avaient rapporté des réductions de plus de 40% dans les parcelles ACN par rapport à celles des NACN.

En 2016 Les pertes en terre sur les parcelles aménagées et les parcelles non aménagées sont respectivement de 1568,2 et 3899 t/ha/an ces résultats corroborent ceux de Husson et al. 2008 sur les parcelles sous culture, qui avaient trouvé des ruissellements de 6.7 t ha<sup>-1</sup> dans des parcelles protégées sous culture et 28.4 t./ha<sup>-1</sup> ce qui correspond à des valeurs 3 à 4 fois supérieures dans les parcelles nues que celle sous culture où elles sont protégées Les pertes en terres sur les sols cultivés avec ACN ont été de 7,2 t./ha./an en moyenne. Cet résultat corroborent ceux de (PCS, 1997 ; Ratsivalaka *et al.*, 2007 ; Remamy, 2005). Dans ces publications, les pertes en terre sous culture étaient de l'ordre de 7,6 t./ha./an, valeur supérieure à celle obtenue dans cette étude.

Les rendements dans les parcelles ACN étaient supérieurs à ceux des parcelles NACN avec des rendements moyen en coton graine de (2150 Kg/ha<sup>1</sup> et 1035) contre 865 Kg/ ha<sup>1</sup> et 807 Kg /ha<sup>1</sup> pour le mil, des rendements similaires avaient été obtenus par Gigou et al., ( 2006 ) à Konobougou.

Le ruissellement a été plus élevé dans les parcelles NACN que dans celles ACN (en moyenne 44,13% contre 24,72%). Pareille observation avait été faite par Traore et al, (2015) ; Traore et al, (2004), Gigou et al, (2006).

La technologie a permis de réduire considérablement le ruissellement et les pertes en terre. Dans cette étude, les résultats obtenus ont confirmé l'effet positif des aménagements en courbe de niveau sur la réduction du ruissellement, de l'érosion et l'augmentation du rendement des cultures. Ce résultat confirme les travaux réalisés par Traoré (2003), qui avait rapporté une réduction du ruissellement de plus de 30% par l'utilisation de la technique des ACN. L'apport d'éléments fertilisants et la réduction du ruissellement améliore le rendement des cultures.

Les pertes d'éléments chimiques par érosion sont faibles surtout le phosphore avec une moyenne de 0,0847 Kg/ha et 0,26 Kg/ha pour respectivement les ACN et NACN. Les pertes pour de carbone sont élevées (jusqu'à 397 kg ha<sup>-1</sup>) par contre celles en phosphore sont relativement faibles.

Ces résultats sont proches à ceux obtenus par Roose et al, 1977 en ceux qui concerne le phosphore qui avaient trouvé des valeurs de 0,5Kg /ha<sup>1</sup> de phosphore par contre ils sont différents des valeurs rapportées pour le carbone qui ne sont que de 26 Kg /ha<sup>1</sup> dans des conditions climatiques différentes que sont celles de la côte d'Ivoire.

## **V- CONCLUSION ET RECOMMANDATION**

Depuis quelques décennies, le phénomène de ruissellement et d'érosion s'est globalement aggravé. Ceci est dû aux phénomènes des changements climatiques, à l'évolution de l'action de l'homme sur les paysages et à la modification des pratiques agricoles. Ces facteurs aggravants, contrairement aux causes naturelles, sont réversibles pour peu que l'on prenne conscience de leur impact et que l'on agisse vite sur eux.

L'aménagement en courbe de niveau a permis d'augmenter les rendements dans les parcelles. Ainsi les rendements dans les parcelles avec ACN étaient supérieurs à ceux des parcelles NACN avec des rendements moyen en coton graine de 2150 Kg/ha<sup>1</sup> et 1035 Kg /ha<sup>1</sup>. Dans les parcelles mil 1123 Kg/ha<sup>1</sup> contre 807 Kg/ ha <sup>1</sup>.ce passage permet d'illustrer l'hypothèse : le ruissellement et l'érosion ont des effets différents sur le rendement des cultures selon le types d'aménagement ACN et NACN.

Le ruissellement et l'érosion sont plus importants dans la parcelle NACN que dans celle ACN.de même avec l'ACN le ruissellement atteignait 22 % environ expliquant que la conservation de l'eau est un élément essentiel pour une production agricole durable dans ce village, où l'irrégularité des pluies, le fort ruissellement et la faible fertilité naturelle du sol sont des contraintes pour l'agriculture.

Le ruissellement a été plus grand dans le champ de Madou Berthé que dans celui de Sékou Berthé qui était un sol sableux gravillonnaire avec une pente plus faible. Ce passage répond à notre hypothèse : le ruissellement et l'érosion détruisent les terres cultivables et conduisent à des pertes importantes de nutriments.

Les producteurs ont affirmés leurs manifestations d'intérêt à poursuivre les technologies expérimentées même après le projet (les aménagements en courbe de niveau à l'échelle des exploitations sont plus faciles à adopter par les producteurs).

L'aménagement en courbe de niveau est une (technologie), un moyen de lutte antiérosif adéquat pour faire face au problème de ruissellement et d'érosion. Il a permis d'augmenter l'humidité du sol jusqu'à 20%, cela reconforte notre hypothèse : ACN est une technologie qui permet de réduire le ruissellement et l'érosion, et augmente l'humidité dans les profils.

L'infiltration a été plus grande dans les parcelles aménagées que dans les non aménagées et cela dans tous les sites où les types de sol sont différents. Aussi la densité a été plus élevée dans les parcelles qui sont sur un sol gravillonnaire (chez Madou Berthé) que sur sol sablo-limoneux et limono-sableux en profondeur (Seckou Berthé). Ce passage répond à l'hypothèse : l'aménagement en courbe de niveau a des effets sur la densité et l'infiltration des eaux selon les types de sol.

Nous devons de toutes les mesures du possible, protéger les terres agricoles en prêtant une attention particulière aux situations les plus à risques qui exposent le sol à l'érosion.

Les recherches sur l'érosion, au-delà de la compréhension des processus, doivent viser aussi la mise au point d'outils d'aide à la décision à des fins multiples et d'étendre la technologie des aménagements en courbe de niveau pour la conservation des eaux et des sols aux producteurs de la zone.

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- **ABDO, M. 2014.** *Pratiques, techniques et technologies de restauration des paysages dégradés du Sahel.* African Forest Forum. Working Paper Series, Vol. 2(3), P47),
- **Agenda, 2015.** CMDT (Compagnie Malienne pour le Développement des textiles). p.45
- **Audry et al, 1973** *Norme d'interprétation des mesures d'infiltration.*
- **Bationo et al 2003,** *fertilisation du mil en soudanienne* 30 pages,
- **Bengaly, A 2009,** *Erosion des sols et sédimentation dans le bassin versant de Bélékoni en zone soudanienne du Mali* Thèse, Université de Bamako 119 pages,
- **Bertrand R. et Gigou J. 2000.** La fertilité des sols tropicaux. Paris (France), Maisonneuve et Larousse (Le technicien d'agriculture tropicale). 397pp,
- **Bishop et al 1989,** The on-site costs of soil erosion in Mali. Washington, World Bank,. 71p. (Environnement Working Paper, 21)
- **Breman et Kesler 1995.** Woody plants in agroecosystems of semiarid regions. Springer, Berlin, p. 340.
- **Brétaudeau ; A.** *Cours de phytotechnie spéciale classe 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> année agronomie, IPR/IFRA Katibougou, 2006, 70 pages*
- **Bruken, 1977,** origine du mil 86 pages,
- **CHOPART J. L. et NICOU R (1980).***Influence du labour sur le développement racinaire de différentes plantes cultivées au Sénégal. Conséquences sur leur alimentation hydrique, l'Agron. Trop. 31 (1) : pp 7-18-28 ;*
- **CILSS (2012).** *Bonne pratiques agro sylvo pastorales d'amélioration durable de la fertilité des sols au Burkina,* 194p ;
- **COLLINET J. (1988).** *Comportements hydrodynamiques et érosifs des sols de l'Afrique de l'Ouest: évolution des matériaux et des organisations sous simulation de pluies.* Thèse de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg, 513 p,
- **COULIBALY A 2014,** *Utilisations de semoir mécaniques et emploi de la microdoses* 24p,

- **Dandois. C. Dutordoir (2006)** : *Impact de pratiques de gestion de la fertilité sur les rendements en mil dans le Fakara (Niger)* p 32-59 ;
- **DIAKITE 2015**. *Amélioration de la productivité du système de culture maïs-niébé en zone soudano-sahélienne du mali*. Mémoire de Master GIFS de l'IPR/IFRA de Katibougou 61p,
- **Diallo et al. 2004** *Comparaison entre stabilité des agrégats ou des mottes et risques de ruissellement et d'érosion en nappe mesurés sur parcelles en zone soudanienne du Mali*. *Sécheresse*, 15, 17, 57-64,
- **Diallo. (2000)**. *Erosion des sols en zone soudanienne du Mali. Transfert des matériaux érodés dans le bassin versant de Djitiko (Haut Niger)*. Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier de Grenoble : 202 p
- **(DNA) DIRECTION NATIONALE DE L'AGRICULTURE. 2012** : *Manuel de production de semences de riz*. Rapport annuel 2012,
- **Doumbia 2011** *normes et interprétations des résultats d'analyse au laboratoire*,
- **Doumbia et al. 2009** *Séquestration of organic carbon in West African soils by Aménagement en Courbes de Niveau*. Volume 29, Issue 2, pp 267-275
- **Droux J.P. (1999)**. *Hydrologie et flux de matières solides particulières et dissoutes sur petits bassins versants du bassin du fleuve Niger au Mali (bassins versants du Doufing, de Djitiko et de Bélékoni)*. Thèse, Université Louis Pasteur-Strasbourg 1 : 304 p.
- **DOGNIN O., MEGIE C., RICHARD L. et SEMENT G. 1981** : *Dynamique du potassium échangeable dans les sols tropicaux cultivés*. *Coton Fibres Trop.*, 191-204 p,
- **FAO, 2010** : *le cotonnier en Afrique Tropicale et sa place dans les Etats*, 4 – 19 – 65p .
- **FELLER C. (1977)**. *Evolution des sols de défriche dans la région des Terres neuves (Sénégal oriental. II. Aspects biologiques et caractéristiques de la matière organique*. *Cah ORSTOM*, pédol15, p 291-301,
- **FONDATION Agromisa, Wageningen, 2004**. *La protection des sols contre l'érosion dans les zones tropicales* 14 p,
- **German et al. 2007** *Participatory integrated watershed management: Evolution of concepts and methods in an eco regional programme of the Eastern African highlands*. *Agricultural Systems* 94, 189-204.

- Gigou *et al.* 2006), *Aménagement et gestion durable de l'eau et des nutriments*,
- Gestion Intégrée de la fertilité des Sols 2012
- Guide technique de la lutte contre l'érosion des sols Novembre 2003
- **Guillobez et al, 1995.** Cartographie et changement d'échelle, le point de vue du naturaliste, propositions d'applications en cartographie informatique. Bulletin S.F.P.T. 140 : 8-9,
- HUDSON N. W. (1996). *Mesures de terrain de l'érosion et de l'écoulement des eaux de surface*. Bulletin pédologique de la FAO : 153 p,
- HUDSON N. W. 1983 Soil conservation. *Batsford*. 324 p,
- **Husson O., Charpentier H., Razanamparany C., Moussa N., Michellon R., Naudin K., Razafintsalama H., Rakotoarinivo C., Rakotondramanana., Séguy L., 2008 - Fiches techniques plantes de couverture : Graminées pérennes : *Brachiaria spp.* 20 p.** Document obtenu sur le site Cirad du réseau.fr, <http://agroecologie.cirad>,
- **Hil Kuypers, et al 2004** *La protection des sols contre l'érosion dans les zones tropicales*,
- **ICRISAT 2015** rapport annuel,
- **Johnston, 1954, Chien et al. 1990** *utilisations du PN dans la culture du coton*,
- **Lal, R. 1995.** No-till farming: soil and water conservation and management in the humid and subhumid tropics. IITA Monograph 2, Ibadan, Nigeria. 64 p,
- **LEOPOLD S (1988).** *Etude de quelques techniques agronomiques améliorant la résistance pour les cultures de sorgho, de mil et de maïs*. Thèse pour obtenir le diplôme de doctorat à l'université de Montpellier, 270p ;
- **LOZET J., MATHIEU C. (1986).** Dictionnaire de Science du sol. *Technique et Documentation*. Lavoisier, Paris: 269 p,
- **MAZOU DOUMBANI Houdou 2015.** *Efficacité agronomique des complexes à base du Phosphate naturel de Tilemsi (PNT) – granulé avec ou sans Fumure organique (FO) en coton culture dans les conditions édaphiques de l'IPR/IFRA de Katibougou (Mali)* Mémoire ingénieur, 65p,
- **MDR., 2014 :** Rapport annuel, 50p,
- **MEAM, 2015** Ministère de l'Environnement et de l'Assainissement du Mali 35p,
- **MICHEL JP., FAIRBRIGE (1992).** *Dictionnaire des Sciences de la Terre, 2<sup>e</sup> édition*, Masson, Paris, 299 p,

- **Ministère Du Développement Rural du Mali, 2012.** *Plan national pour la gestion intégrée de la fertilité des sols au Mali,*
- **MOREL A., MAILLO L. (1997).** *Les phénomènes érosifs en montagne, de part et d'autre de la Méditerranée : perception, recherches, applications. Montagnes Méditerranéennes, N° 5, p 9-13,*
- **N.Aho et D.K.Kossou, 1997** *Bioclimat et productivité du cotonnier dans les systèmes de cultures traditionnels* (carrefour de la Recherche),Cotonou. 5 -1-24p.
- **NAITORMBAIDE M (2007).** *Effets des pratiques paysannes actuelles de gestion de la fertilité sur les caractéristiques physico-chimiques et la productivité des sols de savanes du Tchad : cas de Nguétté I et Gang,* mémoire de fin d'études à l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (U.P.B) option Sciences du sol, 67p;
- **NEARING M.A., GOVERS G, NORTON D.L. (1999).**Soil Sci. Soc. Am. J. 1829- 1835,
- **Ontario, 2016** l'érosion hydrique et ruissèlement 30p,
- **PASEII, 2016** *activité 5 Intensification durable de l'agriculture en zone cotonnière,*
- **PASE II, 2015.** *aménagement et gestion durable de l'eau et des sols pour l'amélioration du rendement des cultures et des fourrages dans les systèmes d'exploitation en zones cotonnières, 3P ;*
- **PARRY, G. 1982.** *Le cotonnier et ses produits (collection Techniques Agricoles et Production Tropicales, Maisonneuve et Larousse ,1982) 14 - 35p.*
- **Politique de Développement Agricole du Mali (PDA),** Mai 2013 *Document de synthèse, P5,*
- Richard et al (2004). Aménagement en courbes de niveau et conservation du carbone. Cirad-Tera : TA60/15,34398 MONTPELLIER,
- **ROOSE E. (1994).** *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES).* Bulletin Pédologique de la FAO, N° 70 : 420 p.
- **ROOSE E. (1987).** *Gestion conservatoire des eaux et de la fertilité des sols dans les paysages soudano-sahéliens de l'Afrique occidentale in soil, crop and water management in sudano-sahelian zan Niamey, 11-16 January.* Patancheru, Andhra Pradesh: ICRISAT, 1987,p55-72,

- **ROOSE E., PIO J. (1984).** *Runoff, erosion and soil fertility restauration in the Mossi Plateau Procceding of Harare Symposium*, AISH publication no144: 485-498,
- **RECA Niger N°07 Janvier 2010**, *La fertilisation des sols au Niger* pages 4-7 ;
- **SAMAKE, 2013** : *Contribution à la caractérisation des sols de la station de recherche agronomique de Sotuba*. Mémoire du diplôme d'ingénieur de l'IPR/IFRA de Katibougou 54p,
- **Sani HABOU DAN MALAM, 2015** : *Réaction du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) à différentes formules de fumure dans un cadre de Gestion Intégrée de Fertilisation de Sol (GIFS) en zone sahélienne du Niger*. Mémoire de fin de cycle de l'IPR/IFRA de Katibougou 12p,
- **Schnitzer, M. & Skinner, S.I.M. 1969:** *Free radicals in soil humic compounds. Soil. Sci.*pp- 108: 383-388p.
- **Site FAOSTAT**, 2008, 2011 et 2014,
- **Sédogo P.M., Assa A., Lompo F. Et Portier M., 1998.** *Modification de la porosité du sol après trente-trois années de labour d'enfouissement de fumier au Burkina Faso*. Cahier d'agriculture, 7, 9-14pp.
- **TRAORE B.M, BAGAYOKO M, DIARRA S et DOUMBIA B (1984).** *Présentation des résultats obtenus pour le projet dans sa zone d'intervention*, 4p ;
- **TRAORE K, AUNE J. B., TRAORE B., 2016.** *Effect of Organic Manure to Improve Sorghum Productivity in Flood Recession Farming in Yélimané, Western Mali* American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS) (2016) Volume 23, No 1, pp 232-251.
- **TRAORE et al 2015** rapport campagne
- **TRAORE K. GIGOU J, YAMADA M.; SAMAKE O.; COULIBALY H. et DOUMBIA M. 2012** *Aménagement en courbes de niveau pour la conservation des sols* P1, P3,
- **TRAORE K. et al/IER, 2010**, *fiche technique 9: Aménagement en courbes de niveau pour la conservation des sols* P1, P2, P5, P6, P7 et P8,
- **TRAORE K. (2003).** *Le parc à karité (*Vitellaria paradoxa* -Gaertner f.) et fertilité des sols de la zone Mali-sud*. DEA National de Sciences du Sol, Université Henry Poincaré, Nancy: 20 p,

- **TONDA S J-B., BERTRAND R, MOLLET J-M., PAPPY F. (1995).** *Dégradation des sols en Agriculture minière au Burkina Faso.* Cahiers Agricultures, vol 4, no 5 : 363- 9,
- **Van Der Pol (1991)** *L'épuisement des terres, une source de revenus pour les paysans du Mali-Sud.* In: Actes des Rencontres Internationales. Montpellier (France), CIRAD,
- **WISCHMEIER W.H and SMITH D.D (1978).** *Predicting rainfall erosion losses- A guide to conservation planning.* USDA, Agriculture handbook no 537 : 58 p.

