

Effets des technologies de l'aménagement en courbes de niveau et des bandes enherbées sur la conservation de l'humidité et les rendements du sorgho dans les villages de Zanzoni et Finkoloni au Mali

[Effects of contour ridge tillage and grass strip technologies on moisture conservation and sorghum yields in the Southern Mali: Case Zanzon and Finkoloni]

Souleymane Dembele¹, Aboubakar Bengaly², Oumar Samake³, and Kalifa Traore⁴

¹Institut d'Economie Rurale, Laboratoire Sol-Eau-Plante, BP: 262 Bamako, Mali

²Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR, IFRA) de Katibougou, Mali

³Institut d'Economie Rurale, Laboratoire Sol-Eau-Plante, BP: 262 Bamako, Mali

²Institut d'Economie Rurale, Direction Générale, BP: 258 Bamako, Mali

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The decline in soil fertility through water erosion greatly affects rainfed crops productivity in the North-East of southern zone of Mali. The objective of this study is to contribute to improving sorghum productivity in rainfed crops. A split plot design was used in 7 replications, with 3 factors. The first factor was the water and soil conservation technique with 2 levels including contour bunding with ado (big ridge) (ACN) and grass strip, the second factor was the tillage at 2 levels of which ridging and scraping, factor 3 was fertilization with 3 levels including zero input, micro dose (40kg.ha⁻¹) and extended dose (100kg.ha⁻¹). The measurements focused on sorghum grain and straw weight and soil moisture in the plots. The results showed that ACN with ridging and popularized fertilization was the most efficient treatment in terms of both moisture conservation and sorghum yields increasing, with 159% increase in grain yield and 195% increase in straw yield compared with the control and 40%, 61% increase in moisture respectively at Zanzoni and Finkoloni. All treatments outperformed the control. These results showed the performance of the technologies used in water conservation and improving sorghum yields and will allow farmers to make a choice of technique according to the level of intensification.

KEYWORDS: erosion, soil, yield, sorghum, Mali.

RESUME: La baisse de fertilité des sols à travers l'érosion hydrique affecte beaucoup la productivité des cultures pluviales au Nord Est de la zone soudanienne du Mali, malgré la disponibilité des technologies antiérosives. L'objectif de cette étude est de contribuer à l'amélioration de la productivité du sorgho en culture pluviale. Pour ce faire, un dispositif en split split plot a été utilisé en 7 répétitions, avec 3 facteurs que sont la technique de conservation de l'eau et du sol à deux niveaux dont l'aménagement en courbes de niveau avec ado (ACN) et la bande enherbée; le travail du sol avec deux niveaux que sont le billonnage et le grattage; la fertilisation à trois niveaux notamment le zéro apport, la microdose (40kg.ha⁻¹) et la dose vulgarisée (100kg.ha⁻¹). Les mesures ont concerné les poids grain et paille du sorgho et le taux d'humidité du sol. Les résultats ont montré que l'ACN avec billonnage et fertilisation vulgarisée était le meilleur traitement avec une augmentation de 159,3% de rendement grain, 195,8% de rendement par rapport au témoin puis, une amélioration de 40% et 61,8% de l'humidité respectivement à Zanzoni et Finkoloni. Tous les traitements ont été meilleurs que le témoin dans la conservation de l'humidité que dans l'augmentation des rendements. Ces résultats ont montré une performance des technologies utilisées dans la

conservation des eaux et dans l'amélioration des rendements de sorgho et permettront au producteur de faire un choix de technique selon le niveau d'intensification.

MOTS-CLEFS: érosion, sol, rendement, sorgho, Mali.

1 INTRODUCTION

La baisse de fertilité des sols à travers l'érosion hydrique et la disponibilité faible de l'eau pour les plantes sont des contraintes majeures dans la production des cultures au sud du Sahara menaçant l'autosuffisance alimentaire de la région. Au Mali, la croissance démographique dans les zones de production agricole, en particulier le vieux bassin cotonnier au Mali Sud, a conduit à l'occupation de l'espace tendant à disparaître la jachère au profit de la culture continue, exposant ainsi les terres au ruissellement. Cette situation a favorisé l'érosion hydrique qui est le principal facteur de la dégradation des sols cultivés dans la zone soudanienne du pays [1]. Ce fait est accentué par les mauvaises pratiques culturales des producteurs. Elle est certes un phénomène naturel mais, aggravée par les activités humaines [2]. Selon la référence [3], dans une même zone climatique, ce sont surtout les pratiques agricoles qui vont déterminer le niveau de fertilité d'un sol donné. Pour lutter contre le phénomène, des premières techniques anti-érosives ont été testées et vulgarisées dans le but de conserver le sol et les eaux de pluies pour les plantes. Ainsi, depuis les années 1984-1987 des technologies comme les haies vives, les bandes enherbées, des cordons pierreux ont été vulgarisées par la Compagnie Malienne de Développement des textiles (CMDT) [4]. D'autres technologies ont suivi, comme, le billonnage cloisonné, les aménagements en courbe de niveau avec ados (ACN), mises au point par la recherche, et testées efficaces dans la conservation des eaux et des sols et l'amélioration des rendements des céréales [5, 6]. Cependant, les études de gestion de la fertilité des sols, à travers ces technologies, ont peu utilisé des combinaisons de facteurs socio-économiques pour une meilleure adaptabilité, permettant aux différents types d'exploitation de faire un choix convenable à ses conditions économiques et pratiques culturales. Donc, l'utilisation convenable de ces technologies disponibles reste toujours limitée, alors que la production des céréales de grande productivité en culture pluviale, que sont le maïs et le sorgho, est de plus en plus confrontée à ces problèmes de fertilité des sols et de disponibilité de l'eau dans la zone. La production du sorgho est ainsi en baisse dans certains terroirs, laissant progressivement la place à la culture de mil qui est plus rustique [7].

Il est donc important de travailler dans le sens d'une amélioration et diversification des technologies pour une meilleure adaptabilité aux pratiques paysannes. La présente étude s'inscrit dans ce cadre et a pour objectif de contribuer à l'amélioration de la productivité du sorgho à partir d'une utilisation plus adaptée des technologies.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATÉRIEL

2.1.1 ZONE D'ÉTUDE

Les travaux ont été réalisés dans le cercle de Koutiala qui se caractérise par une forte densité de population (70habts/km²) [7]. Le climat est soudanien avec une pluviométrie moyenne comprise entre 600 et 1000 mm/an et une saison pluvieuse de 5 mois allant de Mai-Juin à Octobre-Septembre. Les moyennes d'évapotranspiration dans la station météorologique de Koutiala ont été de 170,25 mm/mois en 2018 et 182,9 mm/mois en 2019 (données Station météo de Koutiala, 2020). Les systèmes de culture qui intègrent coton et céréales occupent plus de 80% de l'assolement avec un recours important aux intrants [8]. Les principales cultures restent le coton, le sorgho et le mil. Quant au travail du sol, le labour à plat, le billonnage et le grattage sont pratiqués. Les sols sont majoritairement sablo limoneux et profonds. Cette étude a été réalisée dans deux villages du cercle. Il s'agit de Zanzoni qui est situé par -5,56965 longitude Ouest, 12,609019 latitude Nord dans la commune rurale de Fakolo et Finkoloni défini par -5,497410 longitude Ouest, 12,263009 latitude Nord dans la commune rurale de N'Goutjina (figure1). Le choix des villages se justifie par le niveau d'intervention limité des services d'encadrement en relation avec la gestion conservatoire des sols et de l'eau et leur accessibilité et la volonté de collaborer avec la recherche

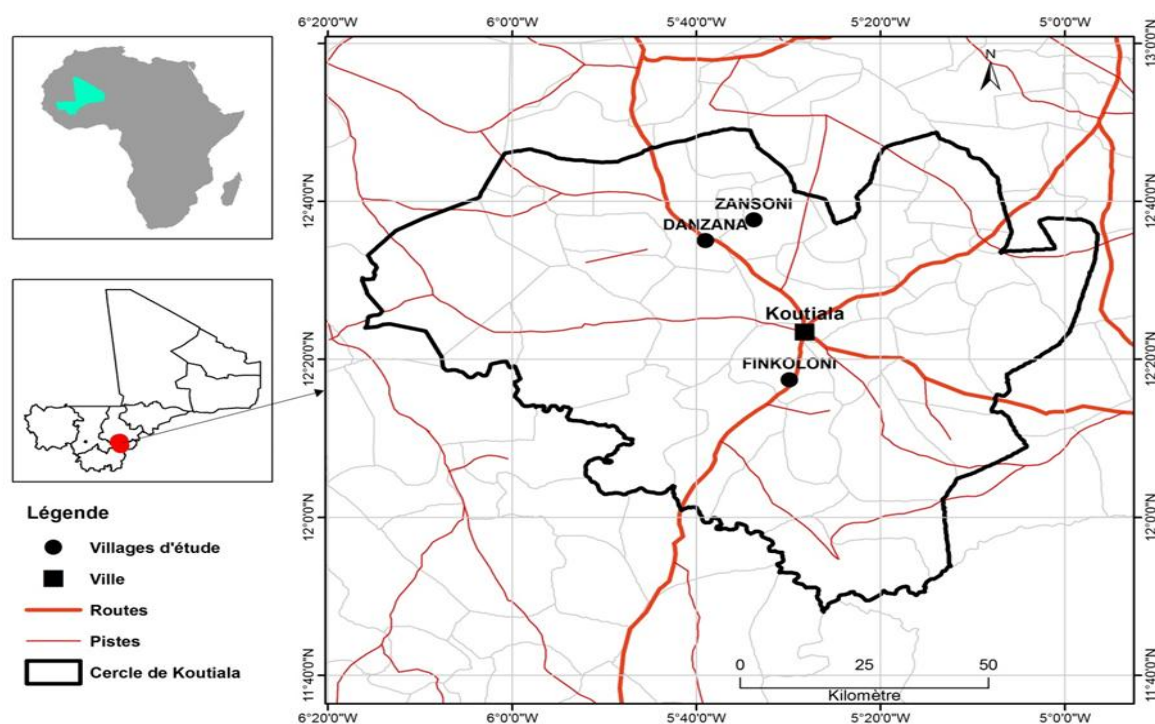


Fig. 1. Carte administrative du cercle de Koutiala

2.1.2 MATÉRIEL BIOLOGIQUE ET FERTILISANT

Les travaux ont été réalisés sur des sols ferrugineux tropicaux peu lessivés. Au niveau de la toposéquence, les glacis ont été plus considérés où se trouve concentrés l'essentiel de la production végétale. Le type de sol dominant est le type sablo limoneux. La variété de sorgho Bobodjè a été utilisée dans les essais pour apprécier les effets des techniques utilisées sur le rendement des cultures. Elle est une variété améliorée de la recherche à bon rendement et adaptée à la zone d'étude. *L'Andropogon gayanus* a été utilisé comme bandes enherbées à cause de ses multiples usages à savoir: bon fixateur du sol, matériel de confection de toit de grenier et de hangar, bon fourrage etc. La fertilisation à base de complexe céréale 17-17-17 a été apportée en microdose à raison de 1,4 g par poquet et en dose vulgarisée de 100 kg \cdot ha $^{-1}$. Cet engrais est le plus utilisé sur les céréales dans la zone.

2.2 MÉTHODES

L'expérimentation a été réalisée sur des parcelles sans apport de fumure organique pour que les technologies expriment leur potentiel intrinsèque. Elle a consisté à mettre en place des technologies de conservation des eaux et des sols dans un dispositif de split-split plot en bloc dispersés chez 7 producteurs dans les 2 villages où chaque producteur constituait un bloc ou une répétition.

Il s'agit d'un essai factoriel à 3 facteurs. Le facteur principal était la technique de conservation de l'eau et du sol à 2 niveaux (ACN et bande enherbée), le deuxième facteur était constitué par le labour à 2 niveaux dont le billonnage et le grattage, et la fertilisation de trois niveaux dont le sans apport, la microdose à 1,4g par poquet (40kg \cdot ha $^{-1}$) et la dose vulgarisée à 100kg \cdot ha $^{-1}$. Le complexe céréale 17-17-17 a été utilisé 15 jours après la levée et en apport unique.

L'ACN est un aménagement en courbes de niveau avec des ados qui constituent le matériel de gestion du ruissellement. C'est une technologie de conservation des eaux et des sols, faite à l'échelle du champ. Sa mise en place consiste à réaliser des courbes de niveau perpendiculaires au sens de la pente puis, la construction d'un grand billon le long de chaque courbe de niveau appelé ado. La distance entre deux ados est fonction du niveau de la pente mais, la distance de 50m est conseillée pour les pentes inférieures à 1,6%. Un billonnage, qui matérialise aussi les lignes de semis, est ensuite réalisé suivant les courbes de niveau. Par définition, une courbe de niveau est une ligne joignant tous les points situés à la même altitude. Ce dispositif permet non seulement de contrôler le ruissellement, mais aussi de maintenir l'eau dans le champ pour les cultures [8]. Les courbes de

niveau permettent de réduire le ruissellement d'environ 10% de la pluviométrie annuelle, ce qui permet d'améliorer la nutrition hydrique des cultures [9].

La bande enherbée est la production d'une bande herbacée le long de la courbe de niveau. Sa réalisation consiste à semer ou repiquer une espèce d'herbacée (*Andropogon gayanus* dans notre cas) formant une bande de 1m dans notre cas contre 3 m généralement utilisée au Mali [4]. La largeur de la bande a été réduite dans notre cas après discussion avec les producteurs collaborateurs. La distance entre deux bandes enherbées était de 50 m.

La combinaison de ces trois facteurs a donné 12 niveaux dont l'ACN x Billonnage x zéro fertilisation (BBiF0), ACN x Billonnage x microdose (BBiF1), ACN x Billonnage x dose vulgarisée (BBiF3), ACN x grattage x zéro fertilisation (BGrF0), ACN x grattage x microdose (BGrF1), ACN x grattage x dose vulgarisée (BGrF3), Bande enherbée x Billonnage x zéro fertilisation (BBiF0), Bande enherbée x Billonnage x microdose (BBiF1), Bande enherbée x Billonnage x dose vulgarisée (BBiF3), Bande enherbée x grattage x zéro fertilisation (BGrF0), Bande enherbée x grattage x microdose (BGrF1), Bande enherbée x grattage x dose vulgarisée (BGrF3).

Un témoin absolu a été constitué au niveau de chaque bloc où le billonnage a été choisi comme travail du sol selon la pratique paysanne.

La superficie a été de 4000 m² (0,4 ha) par bloc. La culture utilisée a été le sorgho avec la variété Bobodjè. Les écartements se semis ont été de 0,5m entre les poquets et 0,7 m entre les lignes

Le démarrage a été fait à 3 plants par poquet.

Le complexe céréale 17-17-17 a été apporté à la dose vulgarisée de 100 kg.ha⁻¹ et à 40 kg.ha⁻¹ en micro dose 15 jours après levée suivi par un hersage. L'expérimentation a été conduite pendant deux ans de campagne agricole.

Les Paramètres observés ont concerné l'humidité volumique du sol et les rendements grain et paille du sorgho.

Humidité du sol

Les mesures étaient réalisées tous les 30 jours, du semis à la récolte en calculant le l'humidité pondérale. L'humidité pondérale (Hp) correspond au rapport entre la masse d'eau (Mw) contenue dans le sol et la masse du sol sec (Ms) où Mw = poids frais-poids sec [10]

$$HP (\%) = \frac{\text{poids frais} - \text{poids sec}}{\text{poids sec}} \quad \text{ou} \quad Hp (\%) = \frac{Mw}{Ms} * 100 \quad (1)$$

L'humidité volumique est ensuite obtenue en multipliant l'humidité pondérale par la densité apparente [11].

$$Hv (\%) = Hp \times Da \quad (2)$$

Pour ce faire, des prélèvements de sol ont été faits à la tarière dans chacun des traitements, deux échantillons ont été prélevés par traitement avec 5m d'écart entre les points de prélèvement dans le sens de la pente autour du milieu de la parcelle pour une bonne couverture de la parcelle. Ces prélèvements ont été faits dans les profondeurs de 10, 20, 40 et 60cm et cela tous les 30 jours. Les échantillons sont directement pesés après prélèvement pour avoir le poids frais puis, passés à l'étuve à 105°C pour séchage. Le choix de cette profondeur s'explique par la faible profondeur des sols de certaines parcelles de prélèvement et le profil 0 – 20 cm étant la zone la plus occupée par le système racinaire du sorgho [12].

RENDEMENTS DU SORGHO

Le rendement grain du sorgho exprimé en kg ha⁻¹ a été déterminé à la récolte. Un carré de rendement d'une surface de 6 m² a été utilisé. Pour ce faire, 2 carrés de rendement ont été placés dans chaque parcelle élémentaire. Un carré était à 5 m du milieu en haut de pente et un deuxième à 5m du milieu en bas de pente. Après récolte et battage, les grains ont été directement pesés avec une balance de précision.

Le rendement paille du sorgho (matière sèche) exprimé en kg ha⁻¹ a été déterminé dans les mêmes carrés de rendement. La paille a été séchée à l'air libre pendant 20 jours et pesée avec un peson. Le poids après séchage est le poids de la matière sèche.

L'aspect économique de la micro dose n'a pas été prise compte car, il a été traité par beaucoup d'auteurs et confirmé rentable [13].

2.3 ANALYSE DES DONNÉES

Une base de données a été constituée sous Excel 2007. Les analyses statistiques des données ont porté sur la comparaison des moyennes avec le logiciel Genstat (General statistic) en utilisant le test de Student-Newman-Keuls au seuil de 5%

3 RESULTATS

3.1 CARACTÉRISTIQUES PHYSICOCHIMIQUES DES PARCELLES

Les propriétés physicochimiques des parcelles ont été déterminées à partir des échantillons prélevés dans le profil 0 – 20 cm avant l'installation des essais. Les résultats d'analyse ont montré que sont de types soit sablo limoneux ou limono sableux avec une densité apparente comprise entre 1,57 et 1,74 (Tableau2). Le pH est compris entre 4,41et 5,88 donc, des sols acides à légèrement acides. Les sols à Zanzoni, sont plus acides que ceux de Finkoloni. Ces sols sont pauvres en matière organique avec un taux compris entre 0,02 et 0,28, Ils sont déficitaires en Azote, Potassium et Phosphore avec une CEC comprise entre 1,65 et 2,36. (tableau1).

Tableau 1. Analyse initiale des sols

| Paramètres | Paysan F1 | Paysan F2 | Paysan F3 | Paysan F4 | Paysan Z1 | Paysan Z2 | Paysan Z3 | Moy |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| pH (eau) | 5,88 | 5,40 | 5,49 | 4,41 | 5,32 | 5,22 | 5,20 | 5,27 |
| MO (C%) | 0.28 | 0.23 | 0.24 | 0.11 | 0.23 | 0.02 | 0,02 | 0,16 |
| N total (%N) | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,05 | 0,02 | 0,02 |
| P assim ppm | 1,07 | 3,70 | 1,69 | 1,43 | 2,56 | 1,58 | 3,15 | 2,17 |
| CEC meq/100g | 2,30 | 2,36 | 2,00 | 1,81 | 2,02 | 1,77 | 1,65 | 1,99 |
| Ca échangeable | 0,46 | 0,65 | 0,32 | 0,25 | 0,41 | 0,19 | 0,08 | 0,34 |
| Mg+ | 0,14 | 0,12 | 0,18 | 0,12 | 0,18 | 0,12 | 0,05 | 0,13 |
| K+ | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,06 | 0,10 | 0,08 | 0,03 | 0,07 |
| Na+ | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |
| K assim ppm | 1,28 | 2,23 | 2,14 | 3,21 | 1,25 | 1,36 | 2,45 | 1,99 |
| Sable % >0,05mm | 80 | 72 | 10 | 59 | 29 | 79 | 78 | |
| Limon fin % 0,05 - 0,002mm | 18 | 26 | 89 | 37 | 69 | 19 | 20 | |
| Argile % < 0,002mm | 2 | 2 | 1 | 4 | 2 | 2 | 2 | |
| Type de sol | SL | SL | L | LS | LS | SL | SL | |
| Da | 1,61 | 1,57 | 1,59 | 1,61 | 1,68 | 1,74 | 1,61 | |

3.2 EFFETS DES TECHNOLOGIES SUR LA CONSERVATION DE L'HUMIDITE DU SOL

Les aménagements ont permis une meilleure conservation de l'humidité par rapport à la parcelle non aménagée qui constituait le témoin et représentait la pratique du paysan. Les résultats ont montré que le taux d'humidité augmentait avec la profondeur et variait selon les traitements. Les figures 2, 3 et 4 présentées en fonction de la fertilisation, ont montré que plus la quantité d'engrais augmentait, plus la conservation de l'humidité était améliorée par rapport au témoin. Ainsi, avec la dose vulgarisée au niveau de l'ACN avec billonnage, des augmentations de 40% et 61,8% ont été observées, contre 31,9% et 49,7% pour la microdose et 20% et 35,2% ont été observées avec le sans apport respectivement à Zanzoni et Finkoloni. Ces résultats concernent le profil 0-20 cm (figure 2, 3 et 4). Pour chaque niveau de fertilisation, les aménagements faits avec billonnage ont été les plus performants. Ainsi, l'ACN associé au billonnage plus la dose vulgarisée a été le plus performant dans la conservation de l'humidité où on avait observé une augmentation de 40%, 42,3%, et 41,6 % de l'humidité du sol par rapport au témoin respectivement dans les profondeurs 0-20 cm, 20-40 cm et 40-60 cm, suivi de la Bande enherbée associée au billonnage plus dose vulgarisée avec une augmentation de 33,4% et 35% respectivement dans les profondeurs 0-20 cm, 20-40 cm et 40-60 cm sur le site de Zanzoni. Les mêmes tendances ont été observées sur le site de Finkoloni.

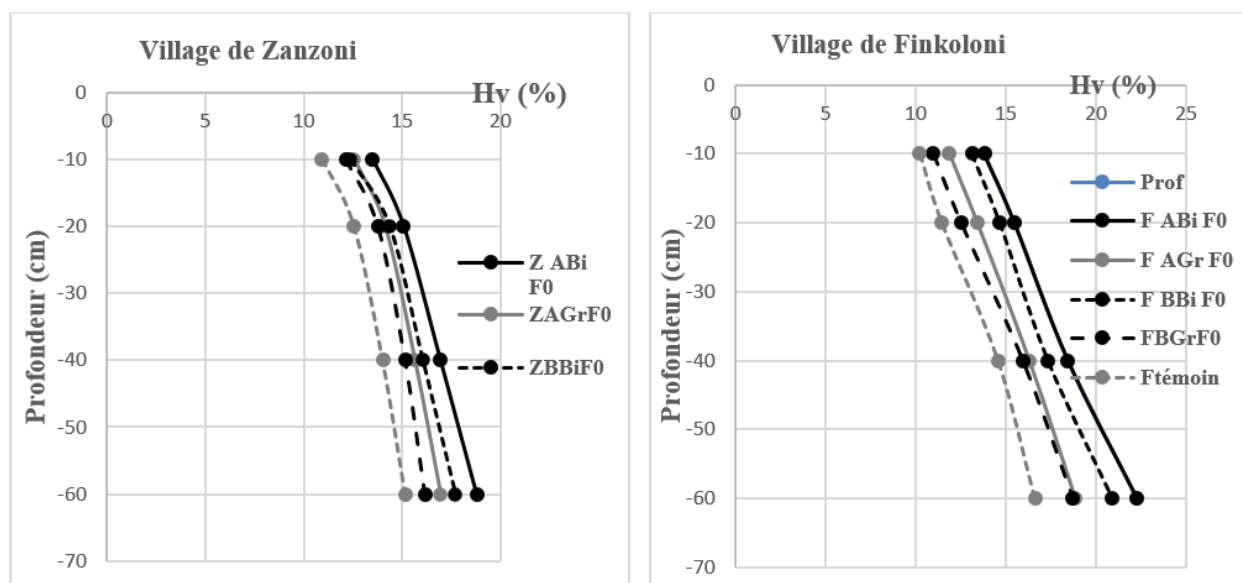


Fig. 2. Effets comparatifs des différentes techniques sur l'humidité du sol sans apport

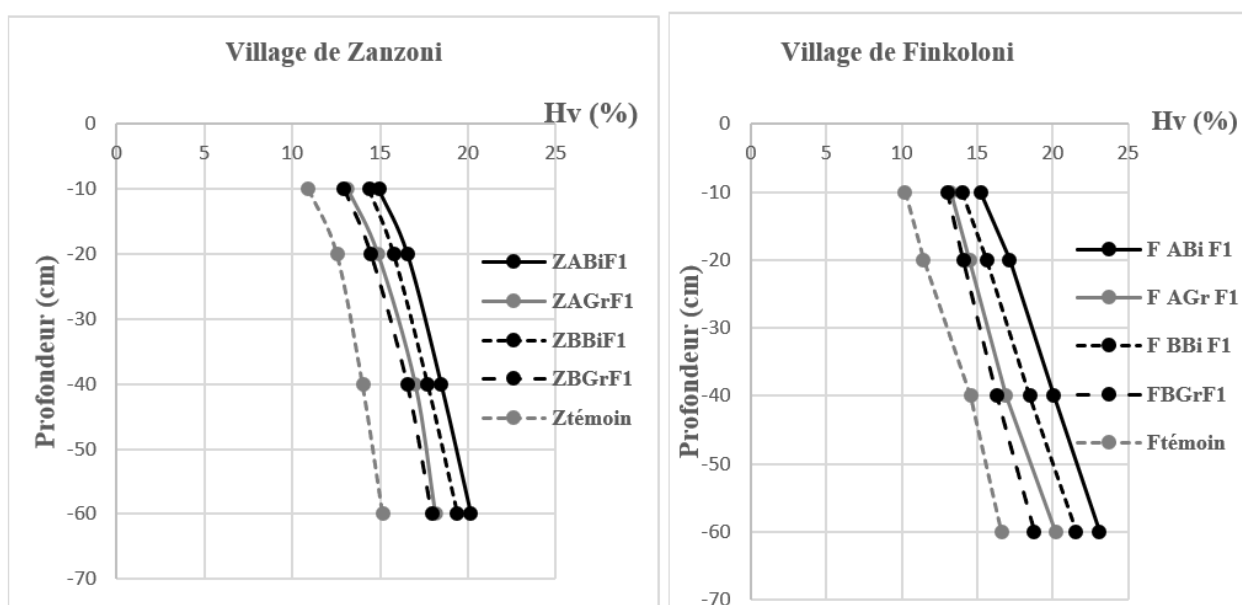


Fig. 3. Effets comparatifs des différentes techniques sur l'humidité du sol avec microdose

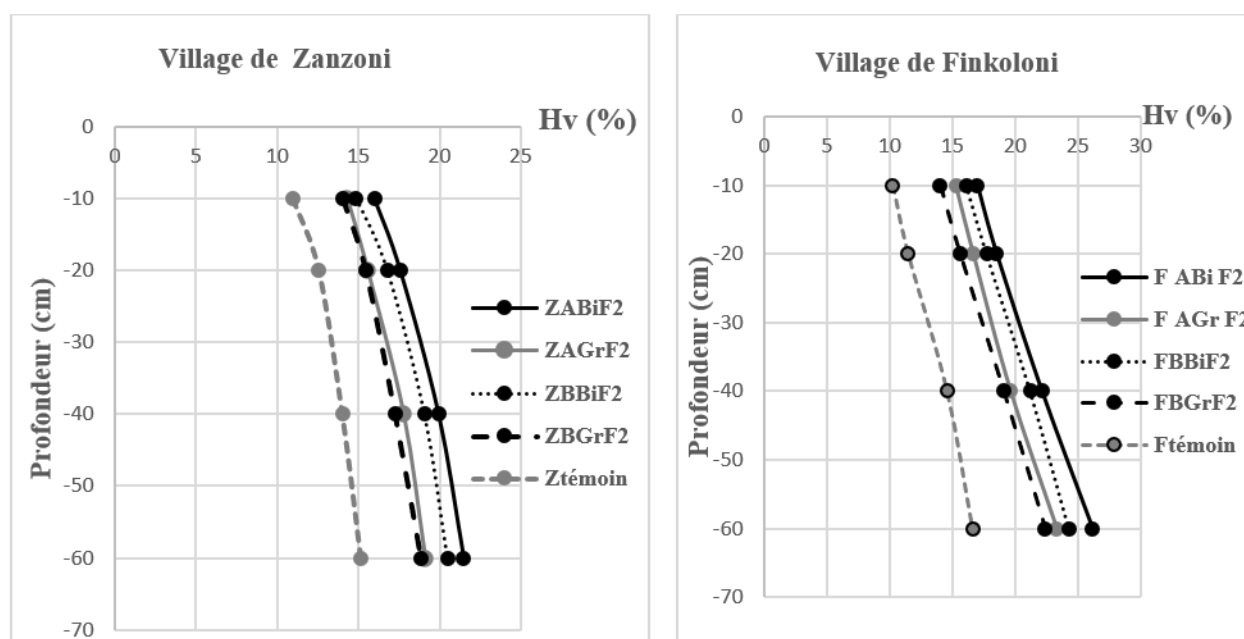


Fig. 4. Effets comparatifs des différentes techniques sur l'humidité du sol avec dose vulgarisée

Légende: ACN = Aménagement en courbe de niveau avec ado, B= Bande Enherbée, Z= Zanzoni (nom de site), F (placé en début) = Finkoloni (nom de site). ABiF signifie ACN avec Billon et Fertilisation, AGrF= ACN avec Grattage et Fertilisation, BBiF signifie Bande enherbée avec Billons et Fertilisation, BGrF = Bande enherbée avec Grattage et Fertilisation. Les chiffres 0,1,2 signifient respectivement sans apport d'engrais, Microdose et dose vulgarisée de 100 kg.ha⁻¹

3.3 EFFETS DES TECHNOLOGIES SUR LES RENDEMENTS DU SORGHO

Les résultats ont montré que les rendements du sorgho ont été augmentés dans les aménagements par rapport au témoin, avec une différence hautement significative au seuil de 5% ($p < 0,001$). Cependant, cette augmentation varie selon les facteurs. Ainsi, l'ACN avec billonnage et dose vulgarisée d'engrais a donné le meilleur rendement avec une augmentation de rendement grain de 159,3% et 195,8% pour la paille, suivi de la bande enherbée avec billonnage et dose vulgarisée 121,4% et 176,5% respectivement pour les rendements grain et paille. L'ACN avec billonnage et microdose et la Bande enherbée avec grattage et dose vulgarisée se trouvent dans un même groupe avec une augmentation de 107,5% et 101,3% pour le grain et 165,9% et 157,9% pour la paille respectivement. Puis, suivent successivement les traitements Bande enherbée avec billonnage et micro dose 90,5% et 145,6%, Bande enherbée avec grattage et dose vulgarisée 84,9% et 135,3%, ACN avec grattage et micro dose 73,6%) et 116,2%, Bande enherbée avec grattage et microdose 62% pour le grain. Ces premiers traitements qui ont eu un effet important sur les rendements du sorgho n'ont concerné que la fertilisation avec dose vulgarisée et micro dose. Cependant, tous les traitements sans fertilisation ont aussi observé une augmentation de rendement par rapport au témoin. Ainsi, le traitement ACN avec billonnage et sans fertilisation a induit une augmentation de rendement grain de 99,2% puis, viennent respectivement les traitements Bande enherbée avec billonnage sans fertilisation 49,3% et 71,2%, l'ACN avec grattage sans fertilisation au niveau du grain 37,5% et 45,7 et la Bande enherbée avec grattage sans fertilisation 25,1% et 31,2% par rapport au témoin absolu (tableau 2,3). Pour classer les traitements suivant leur efficacité dans l'augmentation des rendements du sorgho, des groupes homogènes ont été constitués suivant la méthode de Student-Newman-Keuls (tableaux 2, 3).

Tableau 2. Effets des technologies sur le rendement grain du sorgho

| Traitements | Rdmt_grain (kg.ha-1) | Aug (%) |
|---------------------------------------|----------------------|---------|
| ACN x Billonnage x Dose vulgarisée | 1289,5 a | 159,3 |
| BE x Billonnage x Dose vulgarisée | 1100,9 b | 121,4 |
| ACN x Billonnage x Micro dose | 1031,9 c | 107,5 |
| ACN x Grattage x Dose Vulgarisée | 1001,2 c | 101,3 |
| BE x Billonnage x Micro dose | 947,6 d | 90,5 |
| BE x Grattage x Dose vulgarisée | 919,3 d | 84,9 |
| ACN x Grattage x Micro dose | 863,1 e | 73,6 |
| BE x Grattage x Micro dose | 805,6 f | 62,0 |
| ACN x Billonnage x sans fertilisation | 786,9 f | 58,2 |
| BE x Billonnage x Sans fertilisation | 742,6 f | 49,3 |
| ACN x Grattage x Sans fertilisation | 683,9 g | 37,5 |
| BE x Grattage x Sans fertilisation | 622,1 h | 25,1 |
| Témoin | 497,3 i | - |
| Moyenne | 797,5 | |
| Probabilité | 0,001 | |
| Signification | THS | |
| CV% | 8,9 | |

Tableau 3. Effets des technologies sur le rendement paille du sorgho

| Traitement | Rdmt_Paille (Kg.ha ⁻¹) | Aug (%) |
|---------------------------------------|------------------------------------|---------|
| ACN x Billonnage x Dose vulgarisée | 8329 a | 195,8 |
| BE x Billonnage x Dose vulgarisée | 7786 b | 176,5 |
| ACN x Billonnage x Micro dose | 7487 bc | 165,9 |
| ACN x Grattage x Dose Vulgarisée | 7263 c | 157,9 |
| BE x Billonnage x Micro dose | 6915 d | 145,6 |
| BE x Grattage x Dose vulgarisée | 6626 d | 135,3 |
| ACN x Grattage x Micro dose | 6088 e | 116,2 |
| ACN x Billonnage x Sans fertilisation | 5609 f | 99,2 |
| BE x Grattage x Micro dose | 5443 f | 93,3 |
| BE x Billonnage x Sans fertilisation | 4822 g | 71,2 |
| ACN x Grattage x Sans fertilisation | 4102 h | 45,7 |
| BE x Grattage x Sans fertilisation | 3694 i | 31,2 |
| Témoin | 2816 j | - |
| Moyenne | 5338 | |
| Probabilité | 0,001 | |
| Signification | HS | |
| CV% | 7,6 | |

Légende: Rdmt = rendement, ACN = Aménagement en courbes de niveau avec ado, Aug = Augmentation, BE = Bande Enherbée, HS= hautement significatif, CV%= Coefficient de Variation. Les lettres (a, b, c, d,...k) désignent les classes.

4 DISCUSSION

4.1 CARACTÉRISTIQUES PHYSICOCHIMIQUES DES PARCELLES

Les résultats ont montré que le niveau de fertilité des sols de ces terroirs est faible avec une carence en phosphore assimilable, potassium assimilable, un taux faible en Azote. Le taux d'argile est faible mais également de type kaolinique, un taux en matière organique faible et un pH légèrement bas. Ces résultats sont conformes à ceux des références [14] à Zanzoni

et [15] en zone sahélienne. Les résultats d'analyse du sol ont permis de classer les sols d'étude dans les sols sablo limoneux et limono sableux. Cette faible fertilité des sols est tout d'abord liée aux types de sol qui, dans cette zone, sont des sols ferrugineux tropicaux lessivés, de classes texturales sableuse, sablo limoneuse ou limono sableuse [16], mais aussi à son type d'argile qui est kaolinique et les pratiques paysannes. La production insuffisante de la fumure organique en est une cause. Des études sur ces types de sol dans l'horizon 0-20cm à Kolokani et Diema au Nord-ouest du Mali et au Burkina Faso ont montré des niveaux faibles de matière organique, de phosphore, d'Azote et de CEC [17].

4.2 EFFETS DES TECHNOLOGIES SUR LA CONSERVATION DE L'EAU

La majorité des champs dans la zone d'étude sont au niveau des glacis où le ruissellement est généralement en nappe créant par endroit des griffes. Les dispositifs d'aménagement pour la conservation des eaux et des sols ont permis de conserver l'eau pour les plantes par rapport au témoin. Ces résultats corroborent ceux de la référence [6], qui ont montré une meilleure conservation de l'eau par les aménagements en courbe de niveau à Konobougou. Cependant ce niveau de conservation de l'humidité diffère en fonction des facteurs appliqués. Dans ces aménagements, l'utilisation des ados avec billonnage a permis la meilleure conservation de l'humidité dans la parcelle. Les résultats sont en accord avec ceux de la référence [18] qui avaient obtenu une augmentation de 10% d'infiltration des eaux de pluies dus aux ados et billons (ACN) au Sud du Mali. Ce fait s'expliquerait par la grande capacité des ados à retenir les eaux de pluie dans la parcelle par rapport aux bandes enherbées qui laissent une certaine marge d'écoulement des eaux. Des travaux de [19] avaient abouti à des résultats similaires à Kani et Nounpinesso. Les bandes enherbées permettent aussi une réduction importante du ruissellement [20]. Quant au billonnage comme travail du sol, son efficacité dans la conservation de l'humidité s'expliquerait par le fait que l'eau de pluie est maintenue dans les sillons de façon uniforme à travers la parcelle, les billons étant réalisés suivant la courbe de niveau. Ainsi, l'eau s'infiltre progressivement, ce qui permet une bonne recharge de la nappe réduisant les effets des poches de sécheresse. Des augmentations de 31% d'humidité dans la parcelle billonnée par rapport au témoin avaient été trouvées à l'est du Kenya [21]. Quant au grattage, il permet certes de remuer la parcelle, mais conserve moins les eaux de pluie que les billons. Dans ce cas, ce sont les ados et les bandes enherbées qui vont jouer le grand rôle de rétention d'eau jusqu'au buttage des cultures, qui a lieu 45 à 60 jours après semis. Cependant, le grattage dans les aménagements en ados ou en bandes enherbées, ont permis une meilleure conservation de l'humidité par rapport au témoin. Au niveau de la fertilisation, l'effet combiné des aménagements avec la dose vulgarisée a été plus efficace dans l'amélioration de la conservation de l'humidité. Les engrais minéraux permettent de renforcer le réservoir du sol en éléments nutritifs et leurs éléments sont plus disponibles pour les plantes. Ces engrais minéraux sont plus fournis en quantité à travers l'apport vulgarisé, ce qui a permis un meilleur développement des cultures, qui vont rapidement couvrir le sol pour limiter l'évaporation et l'agression des pluies. Ainsi, l'humidité est plus conservée [22]. Quant à la microdose, elle a permis une meilleure conservation de l'humidité par rapport au sans apport et au témoin à cause de la production de biomasse.

4.3 EFFETS DES TECHNOLOGIES SUR LES RENDEMENTS DU SORGHO

Les technologies évaluées ont permis d'augmenter les rendements grain et paille du sorgho quel que soit le travail du sol ou le niveau de fertilisation. Ces résultats corroborent ceux de [23] sur l'effet des aménagements en bandes enherbées sur le rendement du sorgho au Burkina et de [6] qui avaient trouvé des augmentations de rendements grain de sorgho de 85% en 2013 et 58% en 2014 dues aux ACNs dans la commune de Zinzana. Des augmentations respectivement de 19% et 21% de rendements grain et paille du sorgho due aux aménagements en courbe de niveau avaient été obtenues à Kani [24]. Les résultats obtenus sont conformes avec ceux de [1] qui ont montré que les aménagements en courbe de niveau ont augmenté le rendement grain du maïs de 87% par rapport au témoin à Koutiala et Bougouni.

Dans les aménagements, les eaux de pluie sont maintenues dans la parcelle pour s'infiltrer sur place. Ce processus favorise non seulement la bonne alimentation des plantes en eau et en éléments nutritifs, mais aussi une bonne charge des nappes qui par remontée capillaire, permet d'amoindrir les effets des périodes de sécheresse [25]. Quant au travail du sol, le grand effet du billonnage sur les rendements s'expliquerait par le fait que lors de la formation des billons, toutes les matières organiques et d'autres matériaux (résidus végétation) sont concentrés dans et sous le billon, permettant une libération graduelle des éléments minéraux pour les plantes [26]. Ces aménagements associés à la fertilisation minérale ont permis d'améliorer d'avantage les rendements grain et paille de la culture et selon le niveau de fertilisation [27]. Ces résultats corroborent ceux de [28] qui ont montré une augmentation de rendements grain et paille du maïs, sorgho et mil dans des aménagements en courbe de niveau avec ado, combinés avec la fertilisation. La référence [9] avait obtenu des résultats similaires sur le coton avec une augmentation de

584 kg.ha⁻¹ de coton graine avec effet combiné de la fertilisation. C'est ainsi que les traitements avec billonnage et dose vulgarisée, ont donnés les meilleurs rendements. Ceux avec micro dose ont permis d'augmenter significativement les

rendements par rapport aux traitements sans apports et le témoin. Ces résultats corroborent ceux de [17] à Kolokani et Diema, [29] à Sotuba, Koporo-pen et Madina Kagora au Mali et de [30] au Burkina Faso sur le sorgho. Cependant, la microdose avec 1,4g/poquet a donné des rendements inférieurs à ceux de la dose vulgarisée (100kg.ha⁻¹). Ces résultats sont confirmés par ceux de [31] qui avaient utilisé 1,5 g/poquet. Tous les traitements ont permis une augmentation de rendements grain et paille par rapport au témoin.

5 CONCLUSION

Dans un contexte difficile pour une meilleure production de céréales dans la zone soudanienne du Mali, il est impératif de conjuguer les efforts en vue de développer des technologies diversifiées et mieux adaptées aux conditions socioéconomiques des producteurs. La présente étude est faite dans ce cadre en vue de contribuer à l'amélioration de la productivité du sorgho. Il ressort de l'étude que les aménagements avec ado et les bandes enherbées sont efficaces dans la conservation de l'humidité et l'amélioration des rendements de sorgho quel que soit le type de travail du sol. Ainsi, à travers les différents traitements, une gamme de techniques appliquées en courbes de niveau s'est avérée performante dans la conservation des eaux de pluies et l'augmentation des rendements de sorgho dont les plus efficaces ont été l'aménagement avec ado couplé au billonnage avec la dose vulgarisée (ABiF2) et la bande enherbée associée au billonnage avec dose vulgarisée (BBiF2). Ces résultats permettront aux producteurs une bonne gestion de la fertilité de leurs sols en vue d'une meilleure production végétale. Ainsi, le producteur, en fonction de ses moyens ou de son objectif d'intensification, pourra en faire un choix. Cette étude mérite d'être conduite dans d'autres zones et sur d'autres spéculations comme le maïs en variant la quantité d'engrais en microdose.

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont à l'endroit du Comité National de Recherche Agricole (CNRA) qui a soutenu financièrement cette étude et à l'Institut d'Economie Rurale (IER) qui m'a non seulement autorisé à réaliser cette étude, mais m'a aussi soutenu techniquement, moralement et financièrement. Je remercie tous ceux qui ont contribué à la réalisation de cette étude en particulier les paysans collaborateurs.

CONFLIT D'INTERET

Tous les auteurs déclarent aucun conflit d'intérêt

CONTRIBUTION DES AUTEURS

Dr. Kalifa TRAORE a contribué à l'élaboration du protocole expérimental, la lecture et amendement de l'article, Pr. Boubakar BENGALY a participé au suivi de l'activité, à la correction de l'article

REFERENCES

- [1] Traoré K., Birhanu Z. B. Soil erosion control and conservation of moisture using contour ridge tillage in Bougouni and Koutiala, southern Mali, *Journal of environmental protection (TSI)*, 10 (10), 1333-1360, 2019.
- [2] Brabant P. Activités humaines et dégradation des terres, indicateurs et indices, IRD, Planète terre, 369p, 2008.
- [3] BACYE B., KAMBIRE H. S., SOME A. S. Effets des pratiques paysannes de fertilisation sur les caractéristiques chimiques d'un sol ferrugineux tropical lessivé en zone cotonnière à l'Ouest du Burkina Faso, *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 13 (6), 2930-2941, 12P, 2019.
- [4] Ba L., Campen V., Hijkoop J., Poel P. V., Kaya D. Le Sahel en lutte contre la désertification; Leçons d'expériences, GIZ, P.369 – 387, 1988.
- [5] Gigou J. et Coulibaly L. F. Aménagement des champs pour la culture en courbe de niveau au sud du Mali, 14P, 1997.
- [6] Traoré K., Sidibé D. K., Coulibaly H., Bayala J. Optimizing yield of improved varieties of millet and sorghum under highly variable rainfall conditions using contour ridges in Cinzana, Mali, *Agriculture & Food security*, 11 (6), 13p, 2017.
- [7] Soumaré M., Bazile D., Kouressy M., Vaksman M., Diallo K., Diakité C. H. Diversité agroécosystémique et devenir des céréales traditionnelles au sud du Mali, *Caractérisation de l'agrobiodiversité de l'agrosystème aux gènes, Cahiers Agricultures*, 17 (2), 79 – 85, 2008.

- [8] Traoré K., Gigou J. Yamada M., Samaké O., Coulibaly H., Doumbia M. Aménagement en courbes de niveau pour la conservation des sols en champs paysans, Guide pour la gestion et la conservation des ressources naturelles, Fiche technique, 16P, 2012.
- [9] Gigou J., Traoré K., Giraudy F., Coulibaly H., Sogoba B., Doumbia M. Aménagement paysan des terres et réduction du ruissellement dans les savanes africaines, Cahier Agricultures, N°1 - Vol15, 7P, 2006.
- [10] Braund A. et Coquet Y. Les sols et le cycle de l'eau, chapitre 15, CNRS-ISTO et INRA, 23P, 2005.
- [11] Burgaud J C., Silvera N., Faye A. Mesure de l'humidité des sols, Evaluation de la consommation en eau sous couvert des cocotiers à Port Bouët, ORSTOM, 1986.
- [12] Weill A., Roy-Fortin V. Evaluation du système racinaire de quatre mélanges d'engrais vert pour réduire la compaction, Rapport final, Projet 11-INNO1-07, CETAB+, 36p, 2014.
- [13] Kelly V., Diakité L., Teme B. Sorghum productivity in Mali: Pas, Present and Futur, MSU International Development Working Paper 138, MICHIGAN STATE UNIVERSITY, 84p, 2015.
- [14] Guindo M., Traoré B., Birhanu B. Z, Coulibaly A., Tabo A. R. Microdosing of Compost for Sustainable Production of Improved Sorghum in Southern Mali, *Agronomy*, 12, 1480. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061480>, 15p, 2022.
- [15] Kouyaté A. B., Sermé I. Evaluation de l'efficacité du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) sous différentes pratiques de travail du sol en zone Sahélienne du Mali, *International journal of Innovation and Applied Studies*, 34 (4), 845-857, 2021.
- [16] Ngoudjeb Y., Nje P., Havard M. Déterminants de l'adoption des techniques de lutte contre l'érosion hydrique en zone cotonnière du Cameroun, *Recherche Innovation-Agriculture Elevage*, 12P, 2011.
- [17] Zéromé M., Traoré K., Famanta M., Maïga B. S., Samaké O., Togo M. A. Effets de l'aménagement en courbe de niveau avec différentes doses de fertilisation sur les rendements du sorgho dans les localités de Kolokani et de Diéma au Mali, *In. J. Biol. Chem. Sci.* 13 (3), 1547-1557, 2019.
- [18] Birhanu B. Z, Traoré K, Sanogo K, Tabo R., Fischer G., Whitbread A. M. Contour bunding technology – evident and experience in the semiarid region of southern Mali, *Renewable Agriculture and Food Systems*, 9P, 2020.
- [19] Dembélé C. O., Traoré K., Karembé M., Zemadim B., Samaké O. Contour ridge tillage for improved crops and fodder trees production in the villages of Kani and Noupinesso, southern - Mali, *Journal of agricultural studies*, 9 (2), 550-572P, 2021.
- [20] Zougmore R., Ouattara A., Mando A., Ouattara B. Rôle des nutriments dans le succès des techniques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux, bandes enherbées, Zaï, et demi-lunes) au Burkina Faso, *SECHERESSE*, 15 (1), P. 41-48, 2004.
- [21] Musyimi D., Ouma E. O., Too E. J., Ngode L., Kamau C. K., Gudu S. Effet of ridging and intercropping on sorghum productivity in arid and semi- arid lands of Eastern Kenya, *African Crop Science Journal* 30 (1), 87 – 100, 2022.
- [22] Sissoko F., Traoré A., Ouattara B., Ouédraogo S. Analyse des flux d'eau dans les systèmes de culture à base de sorgho dans un contexte de changement climatique (N'Tarla, Mali), Chapitre21, *Risques climatiques et agriculture en Afrique de l'ouest*, 277 – 287, 2020.
- [23] Da C. E.D. Impact des techniques de conservation des eaux et des sols sur le rendement du sorgho au centre-nord du Burkina Faso, *Cahier d'Outre-Mer, Revue de géographie de Bordeaux*, 61 (241-242), 99-110, 2008.
- [24] Dembélé C. O., Traoré K., Karembé M., Zemadim B., Samaké O. Intercropping sorghum and soybean efficiency using contour ridge technology in southern Mali, *Journal agricultural science*, 14 (4), 126-135, 2022.
- [25] Traoré, K. B, Gigou, J. S, Coulibaly, H., Doumbia, M.D. Le travail du sol sur billons profilés augmente les rendements céréaliers et la séquestration du carbone, 13e Conférence internationale de l'organisation de conservation des sols – Brisbane, 6p, 2004.
- [26] Sawadogo H., Kini J. Revue de littérature sur les techniques de conservation des eaux et des sols au Burkina Faso, *Revue des technologies au Burkina Faso, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (IN. R. A)*, 19P, 2011.
- [27] Ouedraogo J., Sermé I., Pouya M. B., Sanou S. B., Ouattara K., Lompo F. Amélioration de la production du sorgho par l'introduction d'options technologiques de gestion intégrée de la fertilité des sols en zone Nord soudanienne du Burkina Faso, *In. J. Biol. Chem. Sci.* 14 (9), 3262-3274, 2020.
- [28] Traoré K. B, McCarthy G., Gigou J. S., Doumbia M. D., Bagayoko A. et al. Aménagement en courbes de niveau et conservation du carbone, 10P, 2004.
- [29] Coulibaly A., Woumou K., Aune J. B. Sustainable Intensification of Sorghum and Pearl Millet Production by Seed Priming, Seed Treatment and Fertilizer Microdosing under Different Rainfall regimes in Mali, *Agronomy*, MDPI, 14P, 2019.
- [30] Saba F., Taonda J. B., Sermé I., Bandaogo A. A., Sourwema A. P., Kabré A. Effets de la microdose sur la production du niébé, du mil et du sorgho en fonction e la topséquence, *International Journal of Biological and Chemical*, 11 (5), Sciences, 2082-2092, 2017.
- [31] Somda B. B., Badiori O., Idriss S., Mathias B. P., François L., Taonda S. J. B., Sedogo P. M. Détermination des doses optimales de fumure organo-minérale en microdose dans la zone soudano sahélienne du Burkina Faso, *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11 (2), 670-683, 2017.

- [32] Pautrot C. Erosion et dégradation des sols, La seille en Crue à Metz, Mémoires de l'Académie Nationale de Metz, 20P, 2012.
- [33] Taonda S. J. B, Bertrand R., Dickey J., Morel J. L., Sanon K. Dégradation des sols en agriculture minière au Burkina Faso, Cahiers agricultures 4-363-9, 7p, 1995.