

Effet de la combinaison zaï, diguette et matière organique sur la productivité du mil : cas de Ouallam dans l'Ouest du Niger

Moussa AMADOU SOUMANA*, Maman Manssour ABDOU et Zoubeirou ALZOUMA MAYAKI

Université Boubacar Bâ Tillabéri, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Production Durable des Cultures, Laboratoire de Micro Biologie, BP 175, Tillabéri-Niger

(Reçu le 04 Février 2022; Accepté le 11 Avril 2022)

* Correspondance, courriel : mouamasou@yahoo.fr

Résumé

La présente étude a été réalisée dans les villages de Djoley Fondou, Sargane et Tolkoboye Koira Tégui. Elle a pour objectif d'évaluer les effets de la combinaison zaï, diguettes et matière organique sur la productivité du mil. Le dispositif expérimental a consisté en la réalisation des ouvrages de conservation des eaux et du sol (CES), défense et restauration du sol (DRS) en milieu paysan. Des diguettes ont été réalisées en fonction des courbes de niveau et les zaïs disposées entre elles. Les ouvrages des sites expérimentaux ont reçu de la matière organique en raison de 0,5 kg/zaï et 200 kg/diguette et aucun apport dans les sites témoins. Les paramètres de croissances et composantes de rendement ont été suivis et mesurés. Les résultats de cette étude ont montré que les paramètres de croissance et composantes de rendement ont été significativement plus élevés au niveau des sites expérimentaux. L'accroissement moyen en rendement grain qui varie de 67,56 à 76,66 % au niveau des sites témoins, atteint 104,12-126,19 et 181,30 % respectivement à Sargane-Djoley Fondou et Tolkoboye au niveau des sites expérimentaux. Cette combinaison zaï-diguette-matière organique, si elle est vulgarisée, pourrait être une alternative pour améliorer la productivité du mil au Niger.

Mots-clés : *combinaison, zaï, diguettes, matière organique, compost, Ouallam.*

Abstract

Effect of the combination of zaï, diguette and organic matter on millet productivity : Ouallam case in western Niger

This study was carried out in the villages of Djoley Fondou, Sargane and Tolkoboye Koira Tégui. Its objective is to assess the effects of the combination of zaï, bunds and organic matter on millet productivity. The experimental system consisted of the construction of water and soil conservation (CES), soil defense and restoration (DRS) works in rural areas. Dykes were made according to the level curves and the zaïs arranged between them. The structures at the experimental sites received organic matter at 0.5 kg/zaï and 200 kg/bund and no input at the control sites. Growth parameters and yield components were monitored and measured. The results of this study showed that the growth parameters and yield components were significantly higher at the experimental sites. The average increase in grain yield, which varies from 67.56 to 76.66 % at the control sites, reaches 104.12-126.19 and 181.30 % respectively at Sargane-Djoley Fondou and Tolkoboye at

the experimental sites. This zai-bundet-organic matter combination, if popularized, could be an alternative to improve millet productivity in Niger.

Keywords : *combination, zai, diguette, raw organic matter, compost, Ouallam.*

1. Introduction

Le mil est la culture sahélienne par excellence du fait de son adaptation aux conditions particulières de production dans cette région [1]. L'Afrique contribue à 40 % de la production mondiale de mil [2] sur plus de 21 millions d'hectare et assure la survie de plus d'un demi-milliard de sa population [1]. Sur le continent africain, c'est la partie Ouest qui produit l'essentiel du mil avec le Nigeria et le Niger en tête de production [3]. Au Niger, le mil occupe la première place des cultures non seulement en termes d'occupation de la superficie emblavée mais aussi de la production et contribution à la satisfaction des besoins alimentaires des populations. En effet, le mil occupe la superficie moyenne de 68,12 % et 45,66 % pour une production moyenne de 72,62 et 50,72 % respectivement du total des céréales et cultures vivrières [4]. De 1961 à 2015, la production de mil au Niger, a connu une augmentation de 428,06 % et la superficie emblavée une hausse de 448,64 %. Durant la même période, le rendement a connu une baisse 4,65 % [5, 6] sous l'effet combiné de plusieurs contraintes parmi lesquels on peut citer la baisse de la fertilité des sols, les attaques de ennemies de cultures, etc. La satisfaction des besoins alimentaires de la population mondiale requiert l'augmentation des rendements en lieu et place de l'augmentation des surfaces qui n'est plus une pratique viable à cause de la forte croissance démographique [7]. Accroître la productivité agricole n'est pas chose évidente et dépend de plus en plus de l'adoption de technologies agricoles à haut rendement [8]. Malgré le potentiel agricole du Niger, l'accroissement du rendement du mil reste un défi car cette céréale est l'alimentation de base par excellence de la majorité de sa population.

En effet, une dizaine de repas sont issues de la transformation des grains du mil chez 85 % de la population. L'agriculture nigérienne est une agriculture de subsistance avec peu d'apports en intrants organique et/ou minérale [1, 9, 10]. Elle évolue dans un contexte de faible niveau de fertilité du fait de la pauvreté des sols, de climat très défavorable caractérisé par l'insuffisance et la mauvaise répartition spatiotemporelle des pluies [11]. La gestion de la fertilité des sols paraît être le levier principal sur lequel la recherche doit s'appesantir pour améliorer le rendement du mil à travers diverses technologies : l'apport en fumure minérale et/ou organique, l'agroforesterie, l'association et/ou rotation des cultures, le mulching, les techniques de conservations des eaux et sols (CES), défenses et restauration des sols (DRS). Le recours à ces technologies doit permettre non seulement de corriger les problèmes de la fertilité des sols mais aussi de favoriser une augmentation de la production à travers l'accroissement du rendement. Des études antérieures ont montré que l'adoption des technologies améliorées permet d'accroître la productivité agricole, de surmonter la pauvreté et d'améliorer la sécurité alimentaire [12 - 14]. D'autres travaux ont montré que la combinaison de technologies peut être plus bénéfique par rapport à l'augmentation du rendement [15, 16] d'où la notion de gestion intégrée de la fertilité. La présente étude s'inscrit dans la perspective d'évaluer les effets de la combinaison zai-diguette et matière organique sur la productivité du mil. De façon spécifique, elle vise à évaluer les paramètres de croissance et composantes du rendement du mil au niveau des sites d'étude.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation de la zone d'étude

L'étude a été conduite dans la commune de Ouallam située à l'Ouest du pays entre 2°05'17" de longitude Est et 14°18'44" de latitude Nord (*Figure 1*). Son climat est de type tropical semi-aride, caractérisé par une alternance de saison sèche allant d'Octobre à Mai et une saison pluvieuse allant de Juin à Septembre avec une mauvaise répartition spatiotemporelle des pluies. L'expérimentation a été conduite sur trois sites de trois villages différents avec comme coordonnées 2°07'43,4" de longitude Est et 14°13'52" de latitude Nord ; 2°10'52,2" de longitude Est et 14°18'33,4" de latitude Nord ; 2°07'29,8" de longitude Est et 14°16'10,5" de latitude Nord respectivement pour les sites/villages de Tolkoboye Koira Tégui, Djoley Fondou et Sargane. Les superficies des sites expérimentaux sont 0,35-0,30 et 0,25 hectare respectivement dans le même ordre que ci-dessus et 0,25 hectare pour les sites témoins. Les sols sont de types sableux avec une pluviométrie annuelle moyenne de près de 300 mm.

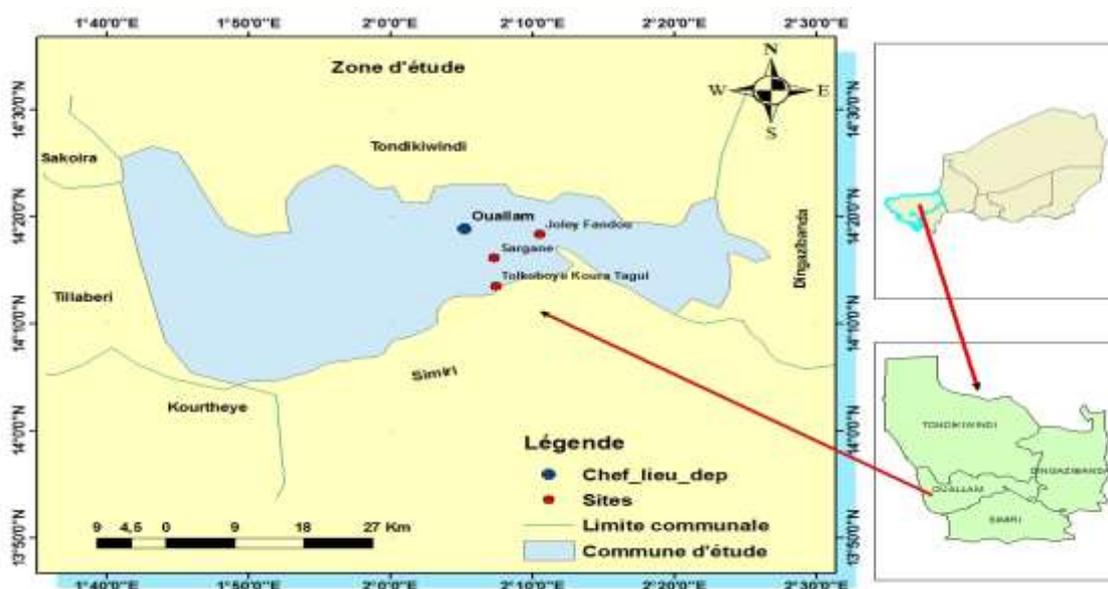


Figure 1 : Carte de localisation des sites expérimentaux et témoins (Souleymane, 2020)

2-2. Dispositif expérimental

Nous avons opté pour l'expérimentation "Système de culture". Cette approche expérimentale se distingue des approches factorielles utilisées plus couramment en agronomie. Elle permet de tester la combinaison des techniques mises en œuvre, en considérant les interactions entre ces techniques à une échelle annuelle et pluriannuelle et leurs effets sur les différentes composantes de l'agroécosystème [17, 18]. Sur chaque site, les ouvrages ont été réalisés. Les diguettes sont fonctions des courbes de niveau avec une distance de 20 mètres entre elles. La diguette a une base de 50 centimètres, une profondeur de 30 centimètres et le bourrelet en aval pour augmenter la capacité de rétention de l'ouvrage. Les diguettes ont une longueur de 60 mètres avec des déversoirs sciemment prévus à l'endroit le plus proche entre deux diguettes successives pour que le surplus d'eau qui coulera ne puisse atteindre une vitesse qui puisse endommagée la suivante. Les zaïs ont été réalisées entre les diguettes et sur les bourrelets avec un écart de 70 centimètres, une profondeur de 30 centimètres, un diamètre de 30 centimètres et le bourrelet en aval. Les sites témoin n'ont pas reçu d'apport de matière organique dans les ouvrages. Les sites expérimentaux ont reçu un apport de

matière organique brute les deux premières années (2018 et 2019) et du compost la dernière (2020) comme suit : 0,5 kg pour les zaï, une charrette asine et demi pour la diguette soit l'équivalent de 200 kg. La **Photo 1** ci-dessous, montre la disposition des ouvrages sur le site de Tolkoboye Koira Tégui.

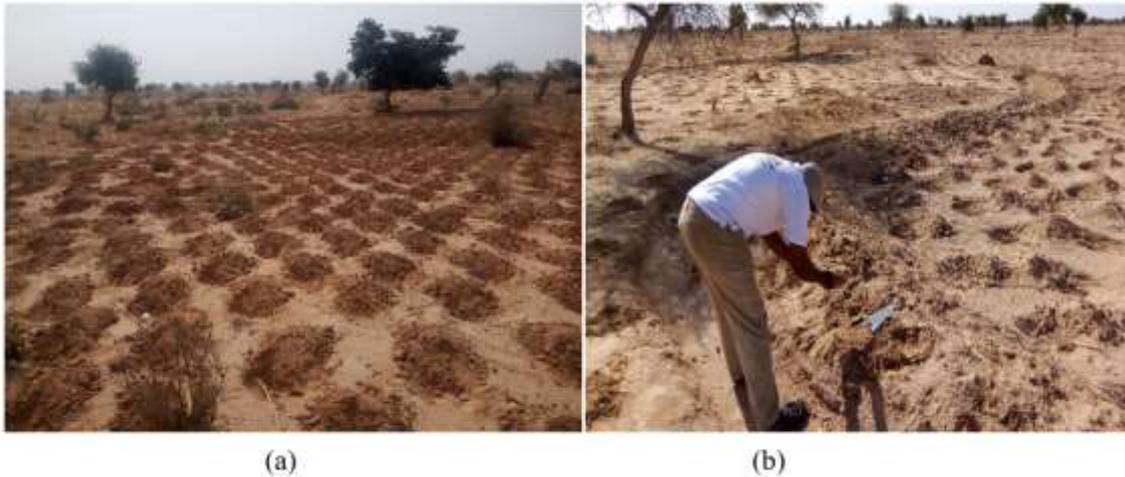


Photo 1 : Les ouvrages de zaïs (a) et diguettes sur le site de Tolkoboye Koira Tégui (b)

2-3. Matériel végétal

Pour cette étude, et durant les 3 années, c'est la variété de mil HKP qui a été utilisée accompagnée de la variété de niébé TN78 acquise auprès de la ferme semencière AINOMA les deux premières années de l'expérimentation (2018, 2019) et l'ICRISAT la dernière année (2020). L'association avec le niébé a été faite pour un bénéfice double. D'un part améliorer le niveau de fertilité du sol à travers la fixation biologique de l'azote atmosphérique et d'autre part servir de couverture pour réduire l'agressivité du climat sur le sol.

2-4. Echantillonnage du sol

Pour apprécier et évaluer les paramètres de la fertilité des sols, des prélèvements de sol ont été effectués. L'opération a consisté à effectuer une dizaine de prélèvements de sol de 0-20 cm de profondeur aux quatre angles et au centre de chacun des sites. Ces prélèvements ont été ensuite mélangés et un composite d'un (1) kg a été constitué. Au total, 35 échantillons ont été collectés, dont 15 avant le début de la saison (5 par sites) et 20 après la saison (5 pour les sites de Djoley Fondou et Sargane et 10 à Tolkoboye Koira Tégui) pour les analyses physico-chimiques au près du laboratoire des sols de l'Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN).

2-5. Analyse et traitement des données

Les données collectées ont été analysées et traité à l'aide du logiciel SPSS.

3. Résultats

3-1. Croissance du mil

3-1-1. Taux de germination et levée

Les **Figures 2 et 3** ci-dessous présentent les résultats sur le taux de levé aux niveaux des différents sites expérimentaux et témoins.

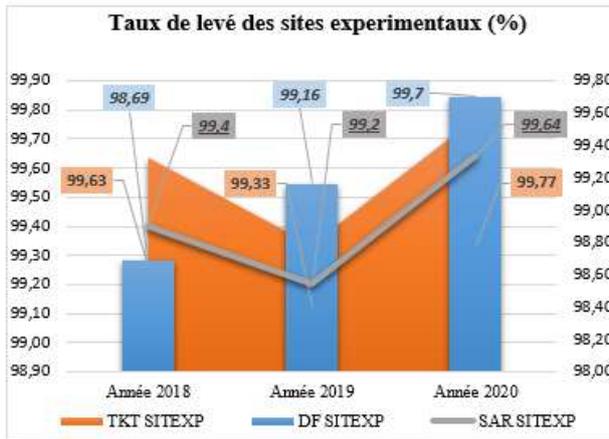


Figure 2 : Taux de levé des sites expérimentaux

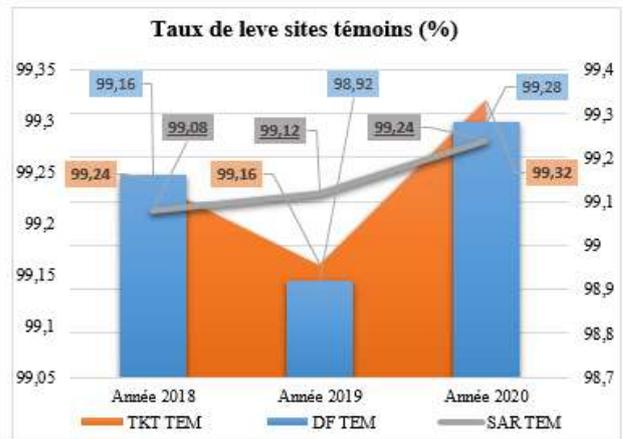


Figure 3 : Taux de levé des sites témoins

L'analyse de ces résultats montre que le taux de germination au niveau des différents sites avoisine les 100 %. Cependant, les différences observées n'ont pas été significatives au seuil de 5% du test de Fisher.

3-1-2. Hauteur moyenne des plants

La **Figure 4** ci-dessous présente la moyenne des hauteurs des plants au niveau des différents sites expérimentaux.

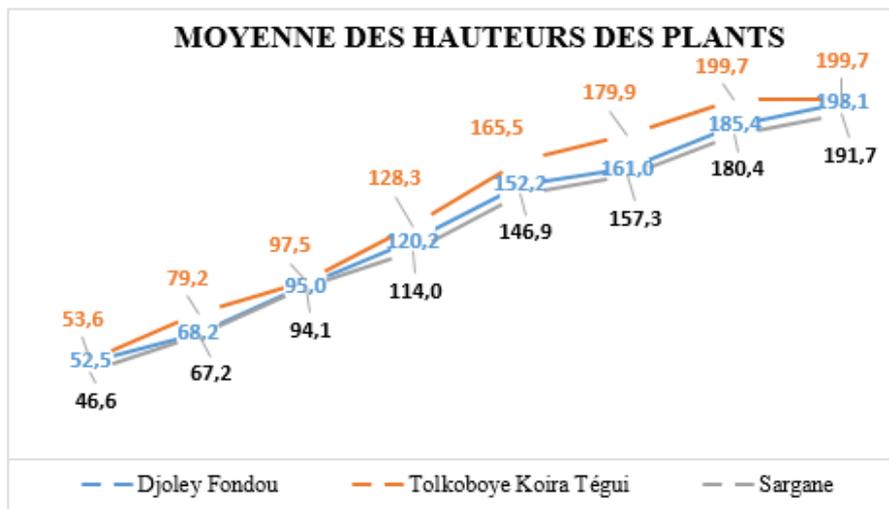


Figure 4 : Moyenne des hauteurs des plants des sites

L'analyse des résultats montre que la croissance moyenne a été plus importante au niveau du site de Tolkoboye. Bien que les différences ont été significatives au seuil de 5 % du test de Fisher entre le site de Tolkoboye et les deux autres sites, elles n'ont pas été significatives entre les deux derniers sites.

3-2. Productivité du mil

Les **Figures 5 et 6** ci-dessous présentent les résultats des rendements grain des sites expérimentaux et témoins.

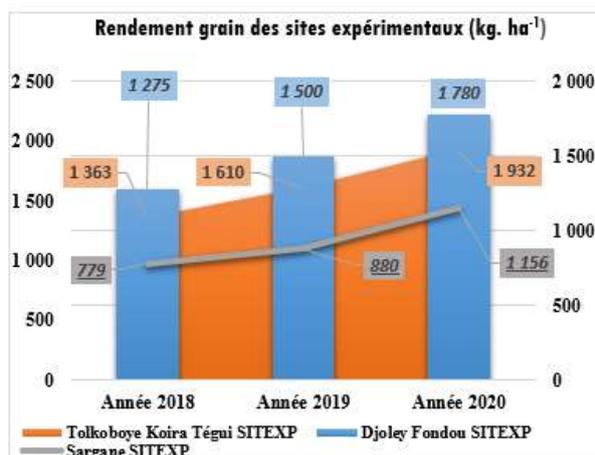


Figure 5 : Rendement grain des sites expérimentaux (kg. ha⁻¹)

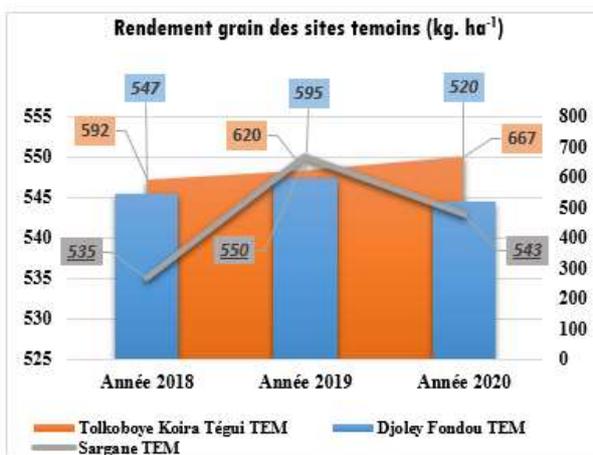


Figure 6 : Rendement grain des sites témoins (kg. ha⁻¹)

Le site expérimental de Tolkoboye présente le meilleur rendement en 2018 avec 1363 kg. ha⁻¹ suivi de Djoley et Sargane avec respectivement 1272 et 779 kg. ha⁻¹. Les années suivantes, on note une augmentation des rendements des sites expérimentaux pour atteindre les maximums de 1932 - 1780 et 1156 kg. ha⁻¹ respectivement à Tolkoboye-Djoley et Sargane en année 3. Par rapport aux sites témoins, c'est toujours Tolkoboye qui présente les meilleurs rendements les 3 années avec un gradient croissant. Pour les deux autres villages, les rendements ont connu une hausse la seconde année et une baisse en troisième année. L'analyse statistique a révélé une différence significative entre les rendements des sites de Tolkoboye et Djoley avec celui de Sargane mais non significative entre les deux premiers sites. Aussi, la différence n'a pas été significative entre rendements des sites témoins pendant les trois années. Les **Figures 7, 8, 9 et 10** ci-dessous présentent les rendements des matières fraîches et sèches des sites expérimentaux et témoins.

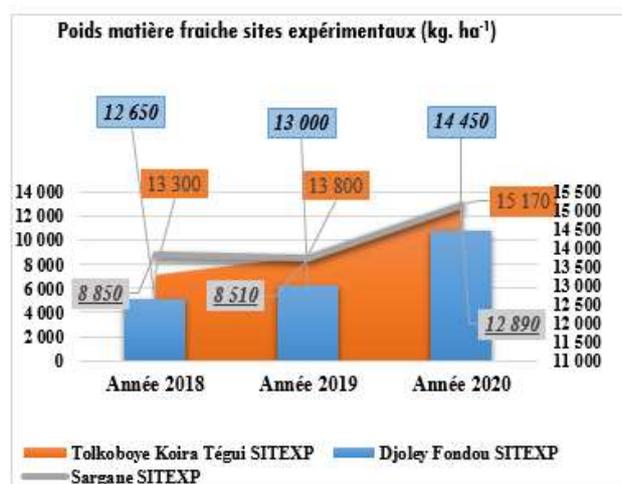


Figure 7 : Evaluation du poids de la matière fraîche des sites expérimentaux (kg. ha⁻¹)

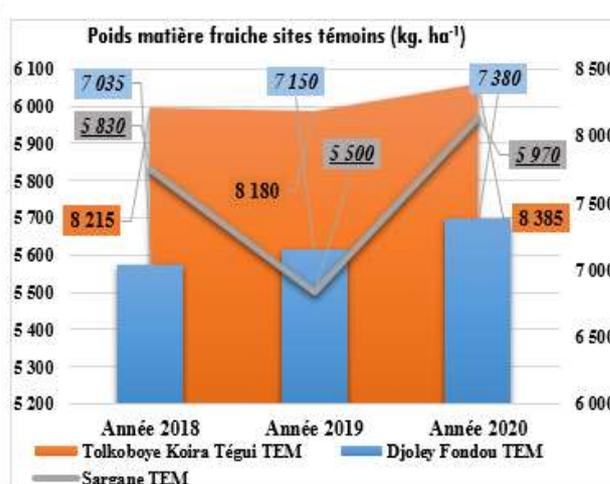


Figure 8 : Evaluation du poids de la matière fraîche des sites témoins (kg. ha⁻¹)

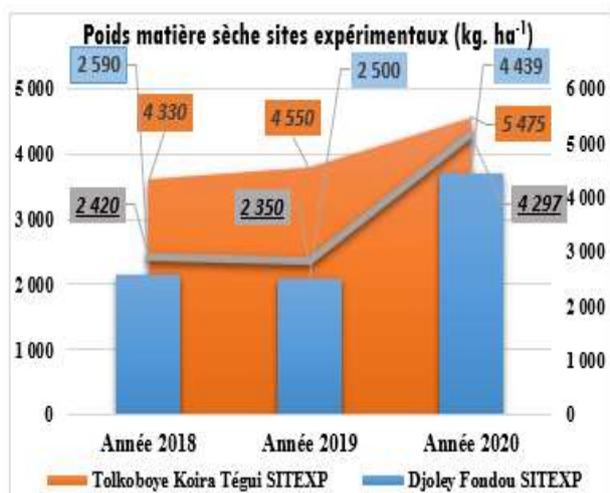


Figure 9 : Evaluation du poids de la matière sèche des sites expérimentaux (kg. ha⁻¹)

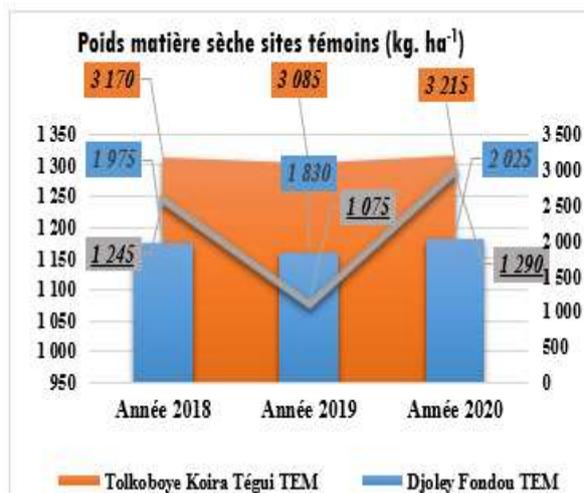


Figure 10 : Evaluation du poids de la matière sèche des sites témoins (kg. ha⁻¹)

Concernant les poids moyens de la matière fraîche et sèche (PMMF et PMMS), c'est Tolkoboye qui présente les meilleurs rendements suivis de Djoley puis Sargane durant les trois années. L'analyse du rendement de la biomasse fraîche, n'indique aucune différence entre les sites de Tolkoboye et Djoley aussi bien au niveau des sites expérimentaux que témoins mais significativement différent entre ces deux sites et ceux de Sargane. Par contre pour la biomasse sèche, les différences ne sont pas significatives entre les sites de Djoley et Sargane aussi bien aux niveaux des sites expérimentaux que témoins. Les **Figures 11, 12, 13 et 14** présentent les poids de 1000 grains et taux de tiges fertiles des sites expérimentaux et témoins.

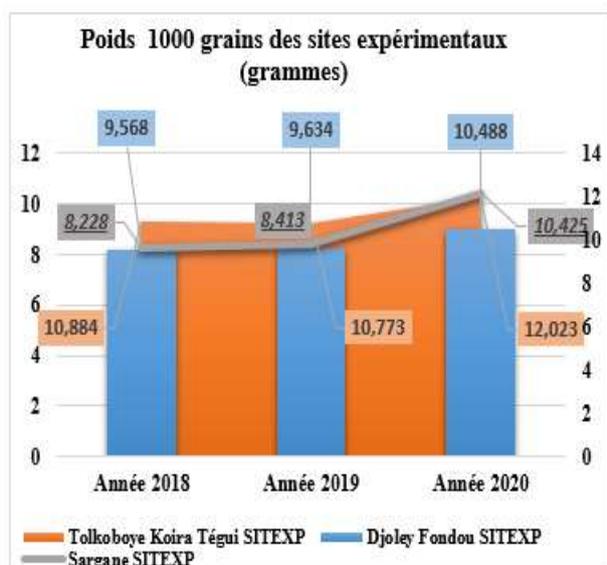


Figure 11 : Poids 1000 grains des sites expérimentaux (gramme)

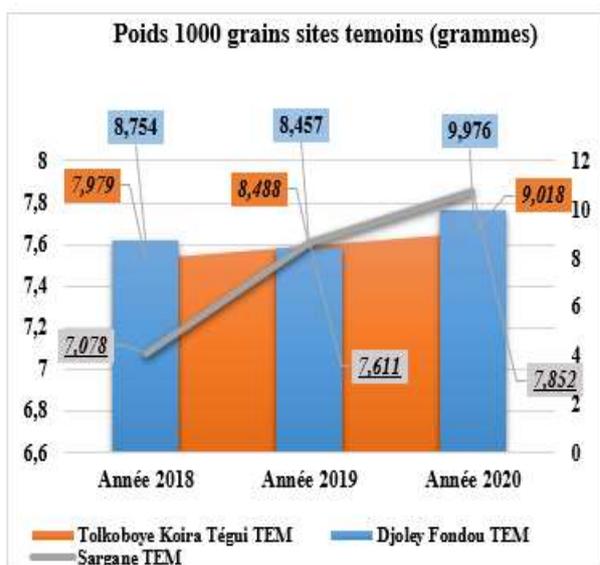


Figure 12 : Poids 1000 grains des sites témoins (gramme)

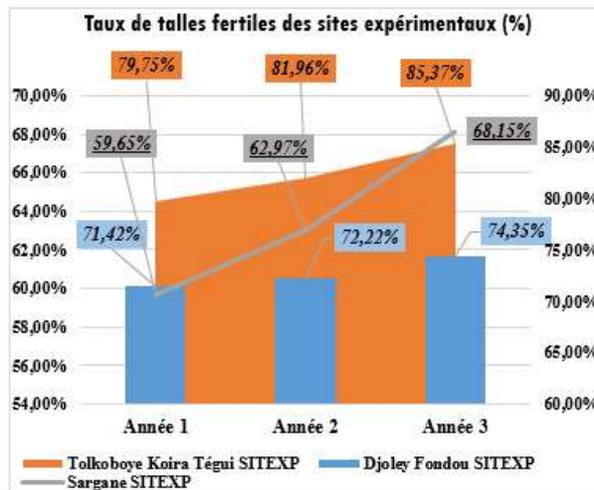


Figure 13 : Taux de talles fertiles des sites expérimentaux

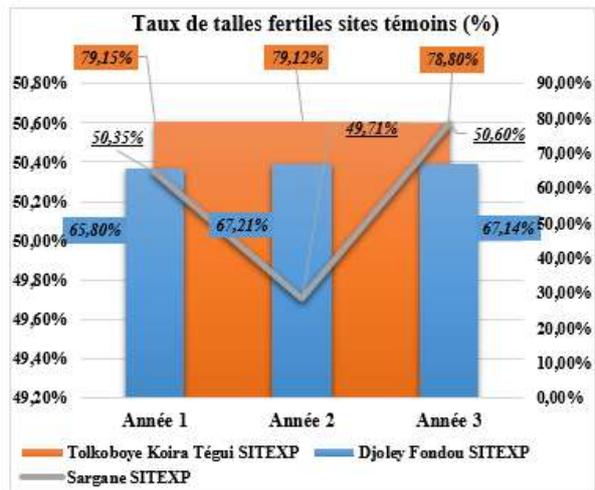


Figure 14 : Taux de talles fertiles des sites témoins

Le poids de 1 000 grains est plus important au niveau du site expérimental de Tolkoboye les 3 ans. Pour les sites témoins, Djoley est en tête 2 années sur 3 par rapport au poids de 1 000 grains. Les taux de talles fertiles sont plus importants aux niveaux de Tolkoboye aussi bien au niveaux des sites expérimentaux que témoins.

3-3. Résultats des analyses du sol

La synthèse des résultats de l'analyse granulométrique des sols et le pH sont dans le **Tableau 1** ci-dessous.

Tableau 1 : Structure granulométrique et ph des sites

	Argile	Limon	Sable	TOTAL	pH
Djoley Fondou	8,88	5,37	85,75	100	5,19
Sargane	8,63	9,44	81,93	100,00	5,13
Tolkoboye Koira Tégui	7,01	7,10	85,88	100,00	5,35

La texture des sols des trois sites est grossière en moyenne avec moins de 10 % d'argile et plus de 80 % de sable. La réaction des sols est fortement acide avec un pH inférieur à 5,5. Le **Tableau 2** ci-dessous, donne la proportion des éléments du complexe absorbant en fonction des sites.

Tableau 2 : Proportion des éléments du complexe absorbant des sites

	CA ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
Djoley Fondou	95,46	1,29	0,88	2,37
Sargane	94,53	2,40	1,87	1,19
Tolkoboye Koira Tégui	95,81	1,32	1,41	1,46

Le complexe absorbant est constitué de calcium et potassium en raison 95,46 % et 2,37 % pour le site de Djoley Fondou ; 95,81 % et 1,42 % pour le site de Tolkoboye Koira Tégui de la somme de base. Le complexe absorbant du site de Sargane est quant à lui constitué de calcium et magnésium pour respectivement 94, 53 % et 2,4 % du total des bases. Le **Tableau 3** ci-après donne la synthèse de quelques éléments caractéristiques importants dans la production.

Tableau 3 : Quelques éléments caractéristiques des sols des sites

	P	N	MO	CEC
Djoley Fondou	1,61	0,023	0,08	10,92
Sargane	2,745	0,025	0,08	6,05
Tolkoboye Koira Tégui	2,797	0,025	0,147	7,63

Les sols des sites de Sargane et Tolkoboye Koira Tégui sont pauvres en phosphore assimilable avec respectivement 2,745 et 2,797 ppm ($2 < P < 7$). Le sol de Djoley Fondou est très faible quant à lui avec moins de 2 ppm. Les sols des trois sites sont pauvres en matière organique (MO) et azote avec une moyenne de 0,10 % et 0,024 %. La capacité d'échange cationique est faible pour les sites de Sargane et Tolkoboye Koira Tégui.

4. Discussion

Les résultats de cette étude ont montré que la combinaison des zais et diguettes a induit une augmentation des composantes du rendement. Cette augmentation est d'autant plus importante avec l'apport de la matière organique que sans apport. L'écart de rendement grain obtenu entre les moyennes des sites témoins et la moyenne départementale de Ouallam qui est de $333 \pm 21 \text{ kg. ha}^{-1}$ [19] s'expliquerait par la présence des ouvrages de conservation des eaux et du sol/défense et restauration des sols (CES/DRS) à savoir les zais combinés aux diguettes. Les ouvrages de CES/DRS constituent un moyen efficace de mieux gérer l'eau et réduire la dégradation des sols, de la végétation et de la biodiversité en augmentant et stabilisant d'avantage les rendements agricoles, sylvicoles et fourragers [20]. En effet, ces ouvrages permettent de capter l'eau de ruissellement ainsi que les particules fines et nutriment qu'elle transporte pour les rendre disponibles aux cultures. Ce qui permet d'améliorer le niveau de la fertilité des sols et d'améliorer les rendements des cultures. Nos résultats ont donné un écart de 225 à 255,3 kg. ha^{-1} soit une augmentation de 67,56 à 76,66 % par rapport à la moyenne départementale. Nos résultats confirment ceux de [16] qui notent une augmentation du rendement grain de plus de 40 % pour la culture de mil au Niger, entre 33 et 55 % pour la culture de sorgho au Burkina Faso. L'écart de rendement grains entre sites expérimentaux et témoins serait lié à l'apport de la matière organique. Cette dernière apportée dans les trous de zai (toute ouvrage de CES/DRS) subit une décomposition plus rapide en comparaison à une application de surface.

Aussi, le zai atténue l'effet des périodes de sécheresse durant la croissance des plantes et permet une utilisation efficace de l'eau environ 2 fois plus par rapport aux semis traditionnels [21]. Les rendements moyens en grains des sites expérimentaux qui sont de 1 139 - 1 330 et 1 622 kg. ha^{-1} obtenus en 2018-2019 et 2020 représentent respectivement un accroissement de 104,12 - 126,19 et 181,30 % des rendements moyens des sites témoins durant les mêmes années de référence. Les résultats des deux premières années corroborent les résultats de [16, 21]. Le premier fait cas d'une augmentation de 114 à 124 % du rendement grain en combinant zai et cordon pierreux en culture de sorgho au Burkina et le second, une augmentation du rendement du mil de plus de 1 $t. ha^{-1}$ avec un apport de 3 $t. ha^{-1}$ de fumure organique dans les zais. Pour la dernière année, la forte augmentation du rendement serait relative à l'apport de compost dans les ouvrages en raison de 5 tonnes par hectare. Le compostage est le processus de décomposition et de transformation « contrôlées » de déchets organiques sous l'action de populations microbiennes diversifiées évoluant en milieu aérobie [22 - 24]. En effet, lors du compostage, la décomposition est faite dans la compostière ce qui rendrait les nutriments immédiatement disponibles pour les cultures. Le compost à base de micro-organismes efficaces a pour vocation de fertiliser le sol, d'assurer une nourriture et une diversification des microorganismes du sol, de favoriser un effet de désintoxication pour le sol et enfin de garantir une

disponibilité immédiate des éléments nutritifs nécessaires au développement des plantes [25]. Des travaux antérieurs avaient montré que l'apport de compost au sol affecte positivement ses propriétés physiques et notamment sa capacité de rétention d'eau [26], en plus d'être une source d'éléments nutritifs pour les cultures [27]. Concernant la biomasse fraîche du mil, les résultats moyens des sites expérimentaux sont de 11 600 - 11 770 et 14 170 kg. ha⁻¹ soient une hausse de 66,08 - 69,52 et 95,58 % par rapport aux moyennes des témoins respectivement en 2018- 2019 et 2020. A ce niveau, la différence est significative au seuil de 5 % du test de Fisher entre les deux premières et la dernière année. Cela serait imputable à l'utilisation du compost. Le compost enrichit les sols en matière organique et en azote, en particulier sous les formes assimilables par les plantes [28, 29]. Le fort écart des sites expérimentaux entre dernière et deux premières années pourrait s'expliquer par la teneur optimale du sol en nutriment assimilable par la culture de mil avec l'apport du compost. S'agissant du poids moyen des 1 000 grains, il a été significativement plus élevé aux niveaux des sites expérimentaux. Cet accroissement graduel de 11,16 - 11,66 et 22,70 % respectivement en 2018 - 2019 et 2020 par rapport aux témoins s'expliquerait par l'apport de la matière organique. Le maximum atteint en troisième année serait lié à l'apport du compost plutôt que la matière organique brute qui favoriserait une meilleure disponibilité de nutriments indispensable au meilleur remplissage des grains.

5. Conclusion

A travers cette étude, nous avons évalué la performance de la combinaison des zais et diguettes sur la productivité du mil. L'étude a mis en évidence l'effet positif de cette combinaison sur les composantes du rendement. Cet effet positif est plus important avec l'apport en matière organique. La production atteint l'optimum avec l'apport du compost que la matière organique brute. Les meilleurs rendements obtenus avec l'apport du compost mettent en évidence la disponibilité optimale en nutriments et en eau pour les cultures ainsi que leur usage efficient. L'obtention des meilleurs rendements sur les sites de Tolkoboye quant à elle serait relative, d'une part, à la régularité des pluies ou du moins des poches de sécheresse relativement plus courte et d'autre part, le respect de l'itinéraire par les producteurs pilotes du dit villages. Ainsi, la combinaison des zais et diguette accompagnée de matière organique pourrait être une des meilleures alternatives qui s'offre aux producteurs pour améliorer de façon significative la productivité de leur terre.

Références

- [1] - A. SAIDOU, " Etude moléculaire, évolution et caractérisation de gènes impliqués dans l'adaptation du mil [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] aux changements climatiques ", Thèse de doctorat, Montpellier SupAgro, Montpellier, (2011) 236 p.
- [2] - T. SAMBA, B. MINAMBA, S. C. BIRAMA et C. ADAMA, Amélioration de la gestion de la fertilité des sols et celle des cultures dans les zones sahéliennes de l'Afrique de l'Ouest : une condition sine qua none pour l'augmentation de la productivité et de la durabilité des systèmes de culture à base de mil. *Research Gate*, (2015) 26 p. <https://www.researchgate.net/publication/237827087>
- [3] - M. HAMADOU, S. IDRISSE, C. MAHAMADOU et K. VALENTIN, Potentialités fourragères du mil (*Pennisetum glaucum*(L.) R. Br) : Revue de littérature. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 34 (2) (2017) 5424 - 5447. <http://www.m.elewa.org/JAPS>
- [4] - Direction des Statistiques Agricole, "Résultats définitifs de la campagne agricole d'hivernage 2014 et perspectives alimentaires 2014-2015 ", (2015)
- [5] - Ministère du Développement Agricole (MDA), Direction des Statistiques Agricole : " *Annuaire Statistique du Niger* ", (2015) 188 p.

- [6] - FAOSTAT, *FAO.doc_12_Mars_2018_12h12.doc.*, (2018) www.fao.org/faostat/fr/
- [7] - S. O. FAGADE, Yield gaps and productivity decline in rice production in Nigeria. In : FAO (Ed.), *Proceedings of the Expert Consultation on Yield Gap and Productivity Decline in Rice*, Rome, Italy, (2000) 15 - 37 p.
- [8] - M. ZELLER, B. MINTEN, C. LAPENU, E. RALISON et C. RANDRIANARISOA, Les liens entre croissance économique, réduction de la pauvreté, et durabilité de l'environnement en milieu rural à Madagascar. Synthèse du Cahier de la Recherche sur les Politiques Alimentaires, No. 19, Juillet 1998, IFPRI/ FOFIFA, Antananarivo, Madagascar, (1998) 12 p.
- [9] - I. AMADOU, E. G. MAHAMADOU and L. GUO-WEI, Millets : Nutritional composition, some health benefits and processing - *A Review. Emir. J. Food Agric*, 25 (7) (2013) 501 - 508. DOI : 10.9755/ejfa.v25i7.12045
- [10] - A. M. MANSSOUR, A. M. ZOUBEIROU, N. DAN LAMSO et J. M. K. AMBOUTA, Productivité de la culture du sorgho (*Sorghum bicolor*) dans un système agroforestier à base d'Acacia senegal (L.) Willd au Niger. *Journal of Applied Biosciences*, 82 (2014) 7339 - 7346
- [11] - M. B. IBRAHIM, "Contribution à l'évaluation de la diversité de la durée des cycles de variétés précoces et tardives de mil issues de quatre localités du Niger ". Mémoire de Master II, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni de Niamey, (2010) 41 p.
- [12] - A. DIAGNE, P. M. DONTOP-NGUEZET, F. M. KINKINGNINHOUN-MEDGABE, D. ALIA, P. Y. ADEGBOLA, M. COULIBALY, S. DIAWARA, L. DIBBA, N. MAHAMOOD, M. MENDY, V. T. OJEHOMON and A. N. WIREDU, "The impact of adoption of NERICA rice varieties in West Africa", SPIA Pre-conference workshop ; 28th IAAE conference, Foz do Iguacu, Brazil, August 18 (2012) 58 p.
- [13] - M. MWANGI and S. KARIUKI, Factors Determining Adoption of New Agricultural Technology by Smallholder Farmers in Developing Countries. *Journal of Economics and Sustainable Development*, 6 (5) (2015) 1 - 10
- [14] - C. ROUSSY, A. RIDIER and K. CHAIB, Adoption d'innovations par les agriculteurs : rôle des perceptions et des préférences. Working Paper SMART — LERECO N°15 - 03, INRA, Agro Campus Ouest, (2015) 37 p.
- [15] - B. TRAORE, " Effets des techniques de gestion de la fertilité sur le sol et sur les systèmes de culture à base de mil dans la région de Mopti au Mali ". Thèse de Doctorat, Université de Bamako, (2009)
- [16] - BMZ, "Bonnes pratiques de conservations des eaux et des sols : "Contribution à l'adaptation au changement climatique et à la résilience des producteurs sahéliens", (2012) 35 p.
- [17] - R. REAU, J. M. MEYNARD, D. ROBERT and C. GITTON, Des essais factoriels aux essais "conduite de culture". In : Expérimenter sur les conduites de cultures : un nouveau savoir-faire au service d'une agriculture en mutation. Ministère de l'agriculture, Acta, Comité potentialités, (1996) 52 - 62 p.
- [18] - J. M. NOLOT and P. DEBAEKE, Principes et outils de conception, conduite et évaluation de systèmes de culture. *Cahiers Agriculture*, 12 (2003) 387 - 400
- [19] - M. B. MOUSSA, " Caractérisation des stades de dégradation des écosystèmes de l'Ouest du Niger et proposition de techniques simples de restauration des stades dégradés ", Thèse de Doctorat, Université Abdou Moumouni, (2016) 50 p.
- [20] - E. DUFLO, M. KREMER and J. ROBINSON, "Nudging farmers to use fertilizer : Theory and experimental evidence from Kenya ". *The American Economic Review*, 101 (2011) 2350 - 90
- [21] - D. FATONDJI, C. MARTIUS, C. L. BIELDERS, P. L. G. VLEK, A. BATIONO and B. GERARD, Effect of planting technique and amendment type on pearl millet yield, nutrient uptake, and water use on degraded land in Niger. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 76 (2006) 203 - 217
- [22] - V. K. SHARMA, M. CANDITELI, F. FORTUNA and F. CORNACCHIA, Prossing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting : *Review. "Energy conversion and Management*, 39 (5) (1997) 453 - 478

- [23] - G. RASTOGO and R. K. SANI, Molecular technique to assess microbial community structure, function, and dynamics in the environment. In: Ahmad. I., et al. (Eds), *Microbes and Microbial Technology : Agriculture and Environmental Applications*, (2011) 29 - 57 p.
- [24] - J. J. PENG, Y. ZHANG, J. Q. SU, Q. F. QUI, Z. J. JIA and Y. G. ZHU, Bacterial communities predominant in the degradation of C-13(4)-4,5,9,10-pyrene during composting. *Bioresour. Technol.*, 143 (2013) 608 - 614
- [25] - T. HIGA and J. F. PARR, Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment. *International Nature Farming Research Center*, Atami, Japan, (1994) 25 p. http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base_datos/em_for_sustainable_agriculture_environment.pdf. Consulté le 01/12/2017.26
- [26] - S. M. AGGELIDES and P. A. LONDRA, Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. *Bioresource Technology*, 71 (2000) 253 - 259
- [27] - FAO, Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole, in : R. V. ; Roy Misra, R. N. ; Hiraoka, H. (Eds.), *Documents de travail sur la Terre et les Eaux*. Organisation des Nations Unies, (2005)
- [28] - Devisscher, "*Propriétés et valorisation du compost. Mémoire D. E. S.*", Université de Picardie, France, (1997) 60 p.
- [29] - N. KORBOULEWSKY, G. MASSON, G. BONIN, C. MASSIANI et A. PRONE, Effets d'un apport de compost de boues de station d'épuration dans un sol d'un vignoble du Sud de la France. *Etude et Gestion des Sols*, 8 (3) (2001) 203 - 210