



**Original Paper**

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

## Effet de la fertilisation organo-minérale sur le rendement du sorgho dans la zone Soudano-Sahélienne du Mali

Sara TOGO<sup>1,2\*</sup>, Diakalia SOGODOGO<sup>1</sup>, Joseph Sékou B. DEMBELE<sup>3</sup> et Sidiki Gabriel DEMBELE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut d'Economie Rurale, Centre de Niono, Station de recherche agronomique de Cinzana, BP 214, Ségou, Mali.

<sup>2</sup>Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou IPR/IFRA - BP 06, Koulikoro, Mali.

<sup>3</sup>Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako (USTTB), BP 423, Bamako-Mali.

\*Auteur correspondant ; E-mail : [srtogo@gmail.com](mailto:srtogo@gmail.com); Tél : (00223)79374778.

### REMERCIEMENTS

Nous adressons nos sincères remerciements à l'Institut d'Economie Rurale pour le financement de nos activités de laboratoire et pour cet article.

Received: 25-04-2023

Accepted: 23-08-2023

Published: 31-08-2023

### RESUME

Le sorgho constitue l'alimentation de bases des millions de population vivant dans les milieux ruraux en Afrique. Malgré son importance, le rendement du sorgho est faible avec moins d'une tonne à l'hectare dû à la variation climatique et à la faible fertilité des sols. La réponse des variétés à la fertilisation minérale et organique peut booster la production du sorgho au Mali. L'objectif de cette étude était de déterminer la réponse de trois variétés de sorgho à la combinaison de fertilisation minérale et organique (Sabunyuma (Sab)) en rendement grain dans la zone soudano-sahélienne du Mali. Pour atteindre cet objectif, un essai a été conduit consécutivement en 2017, 2018 et 2019 à la station expérimentale de Cinzana. Les variétés de sorgho constituaient le facteur principal et la fertilisation composée de neuf doses étaient le facteur secondaire. Les doses de fertilisation étaient : D1 (sans engrais), D2 (0 kg/ha de DAP + 3000 kg/ha de Sab), D3 (0 kg/ha de DAP + 6000 kg/ha de Sab), D4 (30 kg/ha de DAP + 0 kg/ha de Sab), D5 (30 kg/ha de DAP + 3000 kg/ha de Sab), D6 (30 kg/ha de DAP + 6000 kg/ha de Sab), D7 (60 kg/ha de DAP + 0 kg/ha de Sab), D8 (60 kg/ha de DAP + 3000 kg/ha de Sab) et D9 (60 kg/ha de DAP + 6000 kg/ha de Sab). Les résultats ont montré que la variété Tiandougoucoura a produit les meilleurs rendements grain et paille, poids des panicules et nombre de grain par panicule, et la variété Jakunbe précoce a produit le nombre de panicules et poids 1000 grains les plus élevés. L'application de D9 a augmenté les rendements grain et paille, poids des panicules, poids 1000 grains, nombre de panicules par m<sup>2</sup> et le raccourcissement de la durée de floraison. La variété Tiandougoucoura a produit les meilleurs rendements grain et paille avec l'application de la dose D9. Sous l'application de la dose D9 par microdosage, la variété Tiandougoucoura peut être recommandée pour assurer une plus grande productivité de sorgho dans les différentes zones de culture.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

**Mots clés :** Applications combinés, Fertilisation minérale, fumures organiques, doses, sorgho.

Effect of organo-mineral fertilization on sorghum yield in the Sudano-Sahelian zone of Mali

## Effect of organo-mineral fertilization on sorghum yield in the Sudano-Sahelian zone of Mali

### ABSTRACT

Sorghum constitutes the staple food for millions of people living in rural areas in Africa. Despite its importance, sorghum yields are low with less than one ton per hectare due to climatic variation and low soil fertility. The response of varieties to mineral and organic fertilization can boost sorghum production in Mali. The objective of this study was to determine the response of three sorghum varieties to the combination of mineral and organic fertilization (Sabunyuma (Sab)) in grain yield in the Soudano-Sahelian zone of Mali. To achieve this objective, a trial was conducted consecutively in 2017, 2018 and 2019 at the experimental station of Cinzana. Sorghum varieties were the main factor and nine-dose fertilization was the secondary factor. Fertilization doses were: D1 (no fertilization), D2 (0 kg/ha DAP + 3000 kg/ha Sab), D3 (0 kg/ha DAP + 6000 kg/ha Sab), D4 (30 kg/ha DAP + 0 kg/ha Sab), D5 (30 kg/ha DAP + 3000 kg/ha Sab), D6 (30 kg/ha DAP + 6000 kg/ha Sab), D7 (60 kg/ha DAP + 0 kg/ha Sab), D8 (60 kg/ha DAP + 3000 kg/ha Sab) and D9 (60 kg/ha DAP + 6000 kg/ha Sab). The results showed that Tiandougoucoura variety produced the best grain and straw yields, panicle weight and number of grains per panicle and early Jakunbe variety produced the highest number of panicles and 1000 grains weight. The application of D9 increased grain and straw yields, panicle weight, 1000 grain weight, number of panicles per m<sup>2</sup> and shortened flowering time. The Tiandougoucoura variety produced the best grain and straw yields with the application of the D9 dose. Under the application of the D9 dose by microdosing, the Tiandougoucoura variety can be recommended to ensure greater productivity of sorghum in the different cultivation areas.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

**Keywords:** Combined applications, Mineral fertilization, organic manures, doses, sorghum.

### INTRODUCTION

Le sorgho est l'une des principales céréales cultivées dans les zones sahéliennes et savanes de l'Afrique de l'Ouest où il constitue l'alimentation de base des millions de population rurale (Belton et Taylor, 2004; Kante et al., 2017). Au Mali, le sorgho est cultivé en saison pluviale pour la consommation humaine et animale, et occupe le quatrième rang à l'échelle nationale. La production du sorgho au Mali a augmenté de 51% de 1990 à 2020 (FAOSTAT, 2021). Cette augmentation est expliquée par l'accroissement des superficies cultivées. Malgré cela, le rendement grain dépasse rarement une tonne à l'hectare. Les faibles rendements grains sont dus à la variabilité des pluies, à la faible utilisation et l'adaptation des variétés améliorées aux pratiques intensives (Macauley et Ramadjita, 2015 ; Dembélé et al., 2020 ; Ouedraogo et al., 2020). En plus des facteurs climatiques évoqués, la question de

fertilité des sols et la faible application des engrais minéraux et organiques (Muhammad et al., 2018) constituent des facteurs agronomiques défavorables à l'exploitation du potentiel des variétés. L'utilisation limitée des engrais minéraux pour la culture du sorgho est attribuée au manque de ressources disponibles pour l'achat des intrants par la majorité des agriculteurs maliens (Brocke et al 2002 ; Traore et al., 2016). Le niveau d'utilisation des engrais minéraux représentait en moyenne 44,2 kg/ha en 2016, mais restent encore faible comparativement à la recommandation de 50 kg/ha fixée par les gouvernements africains (Koné et al., 2019). Les parcelles des producteurs sont peu fournies en fumures organiques. Les engrais organiques produits par les producteurs sont insuffisants pour assurer une production durable des cultures. Cette quantité a couvert environ 33,4% des emblavures en 2008 contre 21,6% en 2010 (Somda et al., 2017). Ces faibles apports se

justifieraient par l'indisponibilité de la matière organique, les coûts élevés des engrais minéraux et les faibles coûts des produits agricoles (Bakayoko et al., 2011). De nombreux auteurs ont rapporté les avantages de combinaison des pratiques agronomiques telles que les fertilisants minéraux et organiques sur le maintien de la fertilité des sols et sur l'accroissement de la production grainière et fourragère du sorgho (Aune et al., 2012). Malheureusement, l'accessibilité à ces intrants demeure un frein à la mise en œuvre effective des pratiques intensives et durables par les petits producteurs. Par ailleurs, le mode d'épandage (à la volée) recommandé pour la culture du sorgho par les institutions de recherche ne permet pas aux cultures de profiter du maximum de nutriments apportés et les doses préconisées ne sont pas à la portée de la majorité des producteurs (Somda et al., 2017 ; Coulibaly et al., 2019). L'apport localisé par microdose semble être la méthode d'épandage la plus efficace comparativement à celle de la volée des engrais. La microdose consiste à appliquer de façon localisée une faible quantité d'engrais minéral par poquet et permet d'accroître le rendement des cultures à un coût moins élevé (Aune et al., 2007 ; Saba et al., 2017 ; Coulibaly et al., 2019 ; Traore et al., 2020) Pour faciliter la disponibilité des engrais organiques aux exploitants agricoles, la société PROFEBA a développé un fertilisant organique « Sabunyuma » à faible coût qui a permis d'obtenir des résultats satisfaisants sur la production des cultures (IFDC, 2022). Mais, de nos jours peu de recherches ont été menées pour étudier l'impact de l'application combinée des engrais minéraux et organiques « Sabunyuma » par microdosage pour augmenter la production du sorgho au Mali (Zoromé et al., 2019). L'objectif de l'étude était de déterminer l'impact de la combinaison de la fertilisation minérale et organique « Sabunyuma » sur le rendement grain de trois variétés de sorgho dans la zone soudano-sahélienne du Mali.

## MATERIEL ET METHODES

### Site d'étude

L'étude a été conduite en saisons pluvieuses 2017, 2018 et 2019 sur le même sol à la Station de Recherche Agronomique de Cinzana (SRAC) au Mali (13°15N, 5°57W). Le climat est de type soudano-sahélien, caractérisé par une saison sèche plus longue (octobre à juin) et une saison de pluie courte (mai à septembre) avec une pluviométrie moyenne annuelle de 695,41 mm sur la période 1987-2016 (Figure 1). Les cumuls de la pluviométrie annuelle enregistrée en 2017, 2018 et 2019 étaient respectivement de 957,80 mm, 738,60 mm et 925 mm. La pluviométrie moyenne annuelle enregistrée en 2017, 2018 et 2019 était supérieure à la pluviométrie moyenne annuelle des 30 dernières années (1987-2016) (Figure 1). Les températures moyennes mensuelles durant les expérimentations de 2017, 2018 et 2019 étaient respectivement de 38°C, 37°C et 37°C. Les caractéristiques physiques et chimiques du sol avant l'installation de l'essai en 2017 sont consignées dans le Tableau 1. L'essai était conduit sur un sol de type argilo-sableux (76%) avec comme pH eau (6,60) et un faible taux en matière organique (0,50%), en azote (0,34%), en phosphore assimilable (15,95 mg/kg) et en potassium échangeable (1,56 mg/kg). Le prélèvement des sols a été réalisé sur l'horizon 0-40 cm.

### Matériel

#### Végétal

Le matériel végétal était constitué de trois variétés (Jakunbé (V1), Tiandougoucouira (V2) et Sangatigui (V3) de sorgho à pollinisation libre avec les différentes caractéristiques agro-morphologiques. La variété Jakunbé est la référence locale cultivée par les producteurs de Cinzana. Les caractéristiques des variétés utilisées dans les essais sont mentionnées dans le Tableau 2. La variété Tiandougoucouira (V2) est tardive et Sangatigui (V3) est intermédiaire. Ceux sont des variétés issues de l'IER (Institut

d'Economie Rurale) cultivées pour leur adaptation à la localité.

### **Fertilisants**

La source de fumure organique utilisée pendant les expérimentations était Sabunyuma (Sab) et la source de fumure minérale était le diammonium de phosphate, DAP (18-46-0). La fumure organique Sabunyuma (Sab) est produite par la société PROFEBA à Bamako au Mali. Elle est composée de 21,07% de matière organique, 1,57% d'azote, 8,78% de phosphore, 1,76% de potassium et 6,35% d'humidité (IFDC, 2022). La fumure Sabunyuma (Sab) était combinée au diammonium de phosphate qui est la fumure minérale la plus utilisée dans la fertilisation du sorgho au Mali.

### **Méthodologie**

#### **Dispositif expérimental**

Les essais ont été mis en place selon le dispositif expérimental en split-plot avec deux facteurs étudiés en 3 répétitions. La variété à trois niveaux était le facteur principal et la dose à 9 niveaux était le facteur secondaire étudiée avec des combinaisons. Les différents niveaux de fertilisants étaient composés de D1 (sans engrais), D2 (0 kg/ha de DAP + 3000 kg/ha de Sab), D3 (0 kg/ha de DAP + 6000 kg/ha de Sab), D4 (30 kg/ha de DAP + 0 kg/ha de Sab), D5 (30 kg/ha de DAP + 3000 kg/ha de Sab), D6 (30 kg/ha de DAP + 6000 kg/ha de Sab), D7 (60 kg/ha de DAP + 0 kg/ha de Sab), D8 (60 kg/ha de DAP + 3000 kg/ha de Sab) et D9 (60 kg/ha de DAP + 6000 kg/ha de Sab). La dose D4 est la fumure minérale recommandée pour la culture pluviale du sorgho au Mali. La superficie des parcelles élémentaires était de 12 m<sup>2</sup> avec 8 poquets de 4 m de long et 4 lignes de 3 m de large.

#### **Conduite de l'essai**

La parcelle choisie pour l'expérimentation était laissée en jachère pendant trois années. Avant le labour, la parcelle était a été déblayée, les branches mortes des arbres et les mauvaises herbes ont

été brûlées. Le labour a été fait en début juillet 2017, 2018 et 2019 à une profondeur approximative de 30 cm. Les semences ont été traitées au fongicide-insecticide Calthio C 50 WS (Thirame 250 g) à raison de 40 g pour 10 kg de semences. Les semis ont été effectués le 20 juillet en 2017, 18 juillet en 2018 et 20 juillet en 2019 après une pluviométrie d'environ 30 mm à raison de 5 à 6 graines par poquet. Les écartements des semis étaient de 0,75 m entre les lignes et 0,50 m entre les poquets. Le démariage des plants a été fait 15 jours après le semis à raison de 2 plants par poquet. La fertilisation combinée de Sabunyuma et du DAP a été effectuée par microdose au moment du semis. Deux opérations de désherbage manuel ont été réalisées durant les expérimentations et le buttage a été fait après le second sarclage.

#### **Mesures et observations**

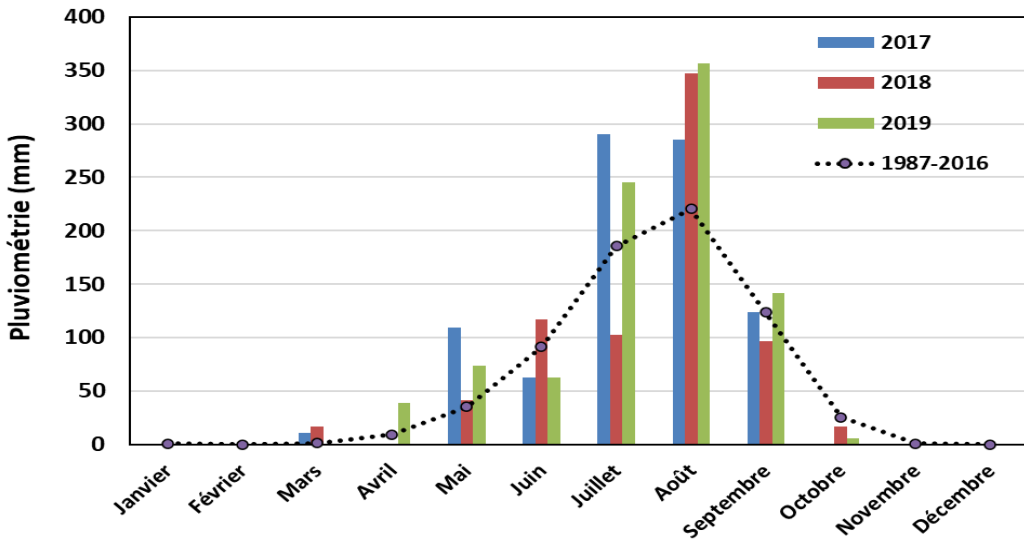
La notation de la date de floraison a été faite sur l'ensemble des plantes de chaque parcelle élémentaire, lorsque 50% des plantes avaient fleuri. Les mesures de la hauteur, des rendements grain et paille et les composantes de rendement ont été faites sur une superficie de 2 m<sup>2</sup> (parcelle utile). Elles ont porté sur 8 poquets. Le nombre de panicules de la parcelle utile a été compté manuellement et ce nombre a été déduit en mètre carré (m<sup>2</sup>). A la récolte, les tiges ont été coupées et nous avons ensuite procédé à la mesure de la hauteur de la plante avec une règle graduée (Stainless inch, China) du collet au sommet de la panicule. Les panicules récoltées et la biomasse ont été exposées au soleil durant quatre semaines pour séchage. La quantité de biomasse paille totale (biomasse sèche et panicules) obtenue dans chaque parcelle utile a été extrapolée en kilogramme par hectare pour avoir le rendement paille. Après battage des panicules récoltées, les grains ont été vannés et pesés pour obtenir le poids grain qui a ensuite été extrapolé à l'hectare pour la détermination du rendement grain. Le poids 1000 grains a été déterminé par pesée après le comptage de 1000

grains à la main. Le nombre de grains par panicule a été calculé en divisant le poids moyen des panicules sur le poids du grain qui est obtenu selon le rapport poids 1000 grains sur 1000 (Dembélé et al., 2020).

**Analyses statistiques**

L’analyse combinée de variance des données des trois expérimentations consécutives (2017, 2018 et 2019) a été réalisée avec l’utilisation du package « agricolae » dans l’environnement (Venables et al., 2019) selon le modèle statistique

développé par Carmer et al. (1989). Les tests de normalité « Shapiro-Wilk » et d’homogénéité de variances « Test de Bartlett » ont été effectués pour identifier et supprimer les données aberrantes induites par l’hétérogénéité du sol pour les analyses d’associations d’essais des trois années. Le test de la Plus Petite Différence Significative (PPDS ou LSD en anglais) au seuil de 5% a été réalisé pour discriminer les moyennes des observations des variétés par année, entre les années et les interactions.



**Figure 1** : Pluviométrie mensuelle de 2017, 2018, 2019 et les 30 dernières années (1987-2016) enregistrée à Cinzana de janvier à décembre.

**Tableau 1** : Caractéristiques physiques et chimiques du sol avant l’installation de l’essai en 2017 à la station expérimentale de Cinzana.

Propriétés	Teneurs
Argile en %	41,5
Sable %	34,5
Limon en %	24
pH eau	6,60
Carbone organique C en g/kg	0,5
Azote total en g/kg	0,34
Phosphore assimilable en mg/kg	15,95
Calcium échangeable méq/100g	6
Potassium échangeable en mg/kg	1,56

**Tableau 2** : Caractéristiques des variétés utilisées durant 2017, 2018 et 2019 à Cinzana.

Variétés	Origine	Race	Cycle (jour)	Hauteur (Cm)	Poids 1000 grains (g)	Rendement grain (t/ha)	Isochète (mm)
Jakunbé	IER-Mali	Guinea	70	250	20	2	400-700
Tiandougoucouira	IER-Mali	Caudatum-Guinea	125	200	21	2,5	800-1200
Sangatigui	IER-Mali	Guinea	85	250	21	2	400-700

IER=Institut d' Economie Rurale, Cm=Centimètre, g=gramme, t/ha= Tonne /hectare, mm= millimètre.

## RESULTATS

### Floraison et hauteur moyenne des plantes

L'analyse de variance a montré des effets années, variétés et doses significatifs sur 50% floraison et hauteur des plantes. Les effets interactions années x doses, variétés x doses et années x variétés x doses n'ont pas été significatifs sur 50% floraison et hauteur des plantes (Tableau 3).

Il y avait des différences significatives en 50% floraison entre les années. Le cycle était plus long en 2019 (85 jours) contrairement à 2017 et 2018 où cette durée était statistiquement identique, environ 80 jours après semis. La variété Tiandougoucouira (V2) a fleuri 97 jours après semis et la variété Jakunbé (V1) a fleuri 69 jours après semis. Il y a eu un effet de précocité dû à la fertilisation. Les trois variétés ont fleuri 84 jours en moyenne après semis en D1 (sans engrais) et 79 jours après semis en D9 (60 kg/ha de DAP + 6000 kg/ha de Sab) (Tableau 3). La hauteur maximale était en 2017 de 234,45 cm. Les hauteurs enregistrées en 2018 et 2019 étaient statistiquement identiques mais faibles avec une moyenne de 213,11 cm. La variété Sangatigui (V3) a été la plus grande avec 227,65 cm et la hauteur minimale a été obtenue par la variété Tiandougoucouira (139,34 cm). Les doses D8 (60 kg/ha de DAP + 3000 kg/ha de Sab), D9 (60 kg/ha de DAP + 6000 kg/ha de Sab) et D6 (30 kg/ha de DAP + 6000 kg/ha de Sab) ont enregistré statistiquement la même hauteur avec comme moyenne d'environ 220,63 cm. La hauteur minimale a été enregistrée sous D1 (197,13 cm) (Tableau 3).

### Rendements grain et paille et les composantes de rendement grain

L'analyse de variance a montré des effets années, variétés et doses très significatifs sur les rendements grain et pailles et les composantes de rendement grain. Les effets interactions années x doses, variétés x doses ont été très hautement significatifs sur les rendements paille et grain. Les interactions années x variétés, années x doses, variétés x doses et années x variétés x doses n'ont pas été significatives sur le poids panicule, poids 1000 grains, nombre de panicules, nombre de grains par panicule et sur les rendements paille et grain (Tableau 4). Le rendement paille a varié statistiquement selon les années, les variétés et les doses. Les résultats ont montré que le rendement paille produit en 2018 (5869,8 kg/ha) était supérieur à celui enregistré en 2017 et 2019 avec une production moyenne de 5316,23 kg/ha (Tableau 4). La variété Tiandougoucouira (V2) a produit plus de paille avec 6395,21 kg/ha et les variétés Jakunbé (V1) et Sangatigui (V3) ont enregistré le plus faible rendement paille avec une production moyenne de 5045,31 kg/ha. La dose D9 a enregistré le meilleur rendement paille avec 7819 kg/ha, elle est suivie par D8 (6984 kg/ha) et D1 (sans engrais) a produit le plus faible rendement paille avec une production de 3360 kg/ha (Tableau 4). Sous différentes doses de fertilisants, le rendement paille a différé selon les années. Le meilleur rendement paille a été obtenu par la dose D9 en 2019 (7704 kg/ha) mais statistiquement identique à celui de D9 en 2017 et 2018 qui ont produit en moyenne 7531 kg/ha. Le plus faible rendement paille était obtenu sous D1 en 2017, 2018 et 2019 avec une valeur moyenne de 3162 kg/ha (Figure 2a). Les

variétés se sont comportées différemment sous différentes doses de fertilisants. La variété Tiandougoucouira (V2) a produit le meilleur rendement paille sous D9 (9160 kg/ha) et le faible rendement paille était produit par la variété Jakunbé (V1) sous D1 avec 3326 kg/ha (Figure 2b). Il y avait des différences hautement significatives entre les années et significatives entre les variétés en rendement grains. L'année 2019 en moyenne a produit plus de grains (4229 kg/ha) contrairement à l'année 2017 qui était la moins productive avec 1821 kg/ha. La variété Tiandougoucouira (V2) a produit en moyenne le meilleur rendement grain avec 3303 kg/ha et les variétés Sangatigui (V3) (2956 kg/ha) et Jakunbe (V1) (2895 kg/ha) étaient les mêmes, en moyenne à travers les années. Les doses étaient hautement significatives en grain en moyenne à travers les années et les variétés. La dose D9 a enregistré le meilleur rendement grain (4907 kg/ha) et le plus bas était obtenu sous D1 (1584 kg/ha). Les doses intermédiaires D6 (4091 kg/ha) et D8 (4022 kg/ha) sont statistiquement les mêmes (Tableau 4). Les interactions sont hautement significatives entre années par variétés et significatives entre doses par variétés en rendement grain. Les résultats de l'interaction ont montré que sous différentes doses de fertilisants, le rendement grain a varié selon les années. Le meilleur rendement grain était produit en 2019 sous D9 (6420 kg/ha). Elle est suivie par l'année 2018 qui a enregistré sous D9 un rendement grain de 5753 kg/ha. Le plus faible rendement grain était obtenu en 2017 et 2018 sous D1 avec une moyenne de 1383 kg/ha (Figure 3a). Le rendement grain a varié selon les variétés à différentes doses de fertilisants. La variété Tiandougoucouira (V2) a produit le meilleur rendement grain sous D9 avec 5481 kg/ha. Les variétés Sangatigui (V3) et Jakunbé (V1) ont produit le plus faible rendement grain sous D1 avec une moyenne de 1488 kg/ha (Figure 3b). Les résultats de l'analyse ont montré que le poids panicule a varié selon les années. Le poids panicule le plus élevé était obtenu en 2019 (569 g/m<sup>2</sup>) et le plus faible était enregistré en 2017 avec 266 g/m<sup>2</sup>. La variété Tiandougoucouira (V2) a produit le poids

panicule le plus élevé (467 g/m<sup>2</sup>), elle est suivie par la variété Sangatigui (V3) 422 g/m<sup>2</sup> et la variété Jakunbé (V1) a obtenu le plus faible poids panicule avec 413 g/m<sup>2</sup>. La dose D9 a obtenu le poids panicule le plus élevé avec 659 g/m<sup>2</sup> et le plus faible était obtenu sous D1 avec 266 g/m<sup>2</sup> (Tableau 4). Le poids 1000 grains a significativement varié suivant les années. L'année 2017 avec 21,46 g était meilleure que 2018 (20,71g) et 2019 (20,77g) qui était du même groupe (Tableau 4). La variété Jakunbé (V1) a obtenu 21,79 g, elle est suivie par la variété Sangatigui (V3) avec 21,1 et la variété Tiandougoucouira (V2) a produit le plus faible poids 1000 grains (20,40). Les résultats obtenus ont montré que D9 a mieux performé en termes de poids 1000 grains avec 23,13 g et la D1 était la moins performante avec 18,56g. Le nombre de panicules par m<sup>2</sup> était plus élevé en 2017 avec 3,4 panicules et le plus faible nombre était enregistré en 2018 et 2019 avec une moyenne de 2,2 panicules par m<sup>2</sup>. La variété Jakunbé (V1) a obtenu 4,2 panicules par m<sup>2</sup>, elle est suivie par la variété Sangatigui (V3) (3,3 panicules) et la variété Tiandougoucouira (V2) a obtenu le plus faible nombre de panicules par m<sup>2</sup> avec 2,5 panicules. La dose D9 a produit le plus de panicules par m<sup>2</sup> (4,2). Le nombre de panicules par m<sup>2</sup> obtenu sous D9 était statistiquement identique à D8, D6 et D5. La dose D1 a obtenu le plus faible nombre de panicules (1,8) par m<sup>2</sup> (Tableau 4). Le nombre de grains par panicule obtenu en 2019 était plus élevé avec 5003 grains contrairement à l'année 2017 qui a été moins prolifique avec 1515 grains par panicule. La variété Tiandougoucouira (V2) a obtenu 4879 grains par panicule, elle est suivie par la variété Sangatigui (V3) avec 2539 grains et la variété Jakunbé (V1) a produit le plus faible nombre de grains par panicule avec 2145 grains. Les doses D6, D7 et D9 ont enregistré statistiquement le même nombre de grains par panicule avec une moyenne de 4009 grains. La dose D1 a moins performé en termes de nombre de grains par panicules (1859 grains) (Tableau 4).

**Tableau 3** : analyse de variances des effets années, variétés, doses et leurs interactions sur la floraison et hauteur des plantes.

Traitements	Semis-50% floraison	Hauteur des plantes (cm)
<b>Années</b>		
2017	79 b	234,45 a
2018	80 b	205,37 b
2019	85 a	199,53 b
<b>Variétés</b>		
V1 (Jakunbe)	69 c	277,52 a
V2 (Tiandougoucoura)	97 a	139,34 c
V3 (Sangatigui)	77 b	227,65 b
<b>Doses</b>		
D1	84 a	197,13 e
D2	82 b	215,37 b
D3	81 bc	212,91 c
D4	81 bc	208,85 d
D5	81 bc	216,21 b
D6	80 cd	220,34 a
D7	81 bc	208,16 b
D8	81 bc	221,14 a
D9	79 d	220,41 a
<b>Source de variation</b>	<b>P</b>	<b>P</b>
Années (A)	<0,001	<0,001
Variétés (V)	<0,001	<,001
Doses (D)	<0,001	<0,001
A x V	<0,201	<0,401
A x D	0,353	0,937
V x D	0,632	0,624
D x V x A	0,813	0,08

Les valeurs d'une même colonne suivies de différentes lettres sont significativement différentes à  $p < 0,05$ .

A= Années, V= Variétés, D= Doses, P= Probabilité.



**Tableau 4** : Analyse de variance des effets années, variétés, combinaisons et leurs interactions sur les rendements grain et paille et composantes de rendement grain.

Traitement s	Poids panicule (g/m <sup>2</sup> )	Poids 1000 grains (g)	Nombre de panicules par m <sup>2</sup>	Nombre de grains/panicule	Rendement paille (kg/ha)	Rendement grain (kg/ha)
<b>Années</b>						
2017	266 c	21,46 a	3,4 a	1515 c	5349,2 b	1821 c
2018	467 b	20,71 b	2,3 b	3092 b	5869,8 a	3125 b
2019	569 a	20,77 b	2,2 b	5003 a	5283,26 b	4229 a
<b>Variétés</b>						
V1	413 b	21,79 a	4,2 a	2145 c	4903,13 b	2895 b
V2	467 a	20,04 c	2,5 c	4879 a	6395,21 a	3303 a
V3	422 b	21,1 b	3,3 b	2539 b	5187,5 b	2956 b
<b>Doses (D)</b>						
D1	266 g	18,56 e	1,8 c	2282 d	3360 g	1584 h
D2	296 f	19,64 d	2,4 bc	1859 e	4025 f	1844 g
D3	357 e	20,3 d	2,8 b	2798 bc	4663 e	2418 e
D4	342 e	20,06 d	2,8 b	2494 cd	4580 e	2179 f
D5	467 c	21,52 c	3,7 ab	3074 b	5712 d	3454 c
D6	537 b	22,06 b	3,7 ab	4084 a	6421 c	4091 b
D7	438 d	21,4 c	2,8 b	4051 a	5957 d	3091 d
D8	544 b	22,08 b	3,8 ab	3684 b	6984 b	4022 b
D9	659 a	23,13 a	4,2 a	3993 a	7819 a	4907 a
<b>Source de variation</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>
Années (A)	<0,001	0,029	<0,001	< 0,001	0,003	<0,001
Variétés (V)	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,011
Dose (D)	<0,001	<0,001	< 0,001	<0,001	<0,001	<0,001
A x V	0,091	0,152	0,101	0,301	0,091	0,086
A x D	<0,891	0,573	0,091	0,212	<0,001	<0,001
V x D	0,106	0,188	0,664	0,841	<0,001	0,03
D x V x A	0,937	0,56	0,113	0,585	0,083	0,818

Les valeurs d'une même colonne suivies de différentes lettres sont significativement différentes à p<0,05.  
 A= Années, V= Variétés, D= Doses, P= Probabilité.

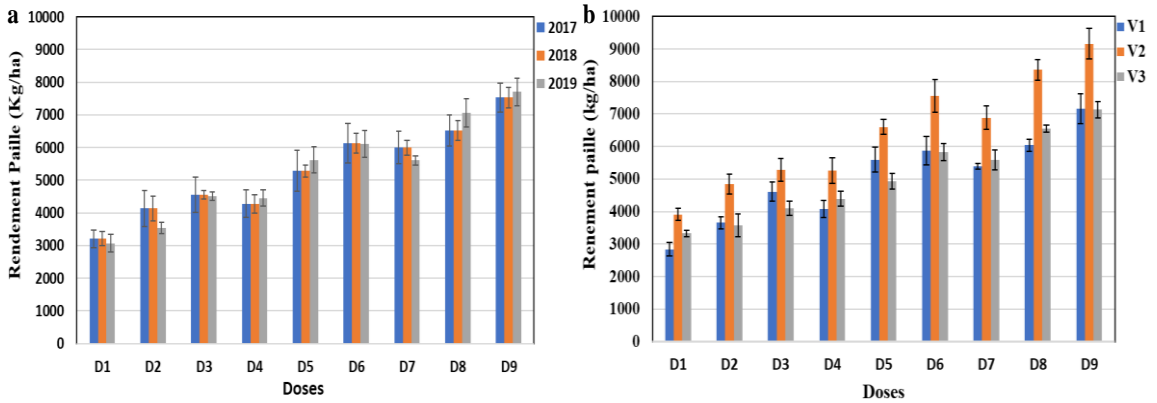


Figure 2 : Effets interactions année x dose (a) et variété x dose (b) sur le rendement paille.

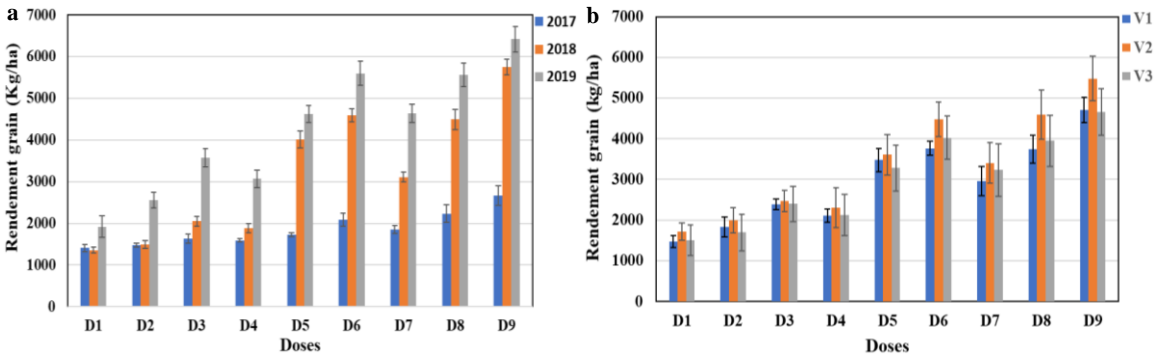


Figure 3 : Effets interactions année x dose (a) et variété x dose (b) sur le rendement grain.

**DISCUSSION**

L'étude des effets de la fertilisation minérale (DAP) et organique « Sabunyuma » par microdose a permis d'explorer l'efficacité de ces fumures seules ou en combinaison sur la performance des paramètres 50% floraison, hauteur des plantes, rendements grain et paille et composantes de rendement grain dans la zone Soudano-sahélienne au Mali.

**Effets sur la floraison et la hauteur des plantes**

Les résultats obtenus dans cette étude ont montré une variation importante de la floraison et la hauteur des plantes pendant les trois années d'expérimentations. Les variétés ont fleuri en moyenne cinq jours de moins en 2017 et 2018 par rapport à 2019. Les plantes ont obtenu 34 cm de hauteur de plus en 2017

comparativement en 2018 et 2019. Les réponses diverses des paramètres de la phénologie et la hauteur des plantes durant les expérimentations seraient attribuées à la différence de pluviométrie mais surtout sa répartition dans le temps et dans l'espace. Ces résultats sont en adéquation avec ceux obtenus par (Oikeh et al., 2009 ; Traoré et al., 2016). La variété Jakunbé (V1) a été précoce par rapport à la variété Tiandougoucoutra (V2) qui a fleuri tardivement. La variété Sangatigui (V3) était la plus grande et la variété Tiandougoucoutra (V2) était la plus courte. Cette différence importante entre les variétés pour 50% floraison et la hauteur des plantes peut être génétique. Les résultats ont montré que l'application combinée de la fertilisation minérale et organique a raccourci la durée de la floraison de 5 jours avec l'apport de D9 (60 kg/ha de

DAP + 6000 kg/ha de Sab) comparé à D1 (sans engrais). Selon Ali et al. (2019), la précocité de la floraison chez les cultures sous fertilisation minérale et organique serait attribuée à la croissance rapide des racines qui permet à la plante de profiter du maximum de macroéléments libérés par les engrais pour assurer une meilleure croissance des cultures. L'application combinée des fumures minérale et organique (D8, D9 et D6) a augmenté la hauteur des plantes comparée à la dose D1. Selon Ahmad et al. (2007), l'application combinée de fumures avec comme source l'azote, augmenterait de façon significative la hauteur des cultures.

### **Rendements grain et paille, et les composantes de rendement grain**

Les résultats ont montré une variation importante du rendement grain et ses composantes selon les années. En outre l'ensemble des variétés a enregistré un gain de 554 kg/ha de paille en 2018 contrairement à 2017 et 2019. La variabilité des résultats en rendements grain et paille, et les composantes de rendement grain est probablement expliquée par les fortes variations climatiques surtout à la répartition spatio-temporelle des pluies. Selon Sanon et al. (2021), la variation importante des pluies et la température constituent les risques climatiques majeurs pour la culture pluviale. Pour le rendement paille, Tiandougoucoura a produit 1350 kg/ha de paille de plus que les variétés Jakunbé et Sangatigui qui ont produit en moyenne le plus faible paille. Cette variation importante entre les variétés pour le rendement paille peut être génétique (Dembélé et al., 2021). Malgré la taille courte de la variété Tiandougoucoura, elle a produit plus de pailles comparativement aux variétés Sangatigui et Jakunbé. Des auteurs (Sher et al., 2022) ont démontré que l'augmentation du rendement paille n'est pas liée seulement à la hauteur des plantes mais plutôt au nombre et à la surface des feuilles, aux poids des tiges et panicules. Ces paramètres énumérés par ces auteurs sont

caractéristiques de la variété Tiandougoucoura. La dose D9 a produit 3624 kg/ha de paille de plus que la dose sans engrais (D1). Parmi les macroéléments indispensables à la croissance du sorgho, l'azote joue un rôle déterminant dans l'obtention d'un rendement paille élevé et la réponse de la culture à cet élément est très marquée (Sawadogo et al., 2020). Dans notre étude, l'augmentation du rendement paille, est probablement due à l'azote contenue dans Sabunyuma et dans l'engrais minéral dont la source de l'azote est le DAP. Nos résultats sont similaires à ceux obtenus par (Sanon et al., 2021 ; Sher et al., 2022) qui attestent que l'utilisation combinée de la fertilisation organique et minérale serait la meilleure option pour améliorer les paramètres de croissance du sorgho. Quelles que soit les années, le meilleur rendement paille était obtenu avec l'application de 60 kg/ha de DAP et 6000 kg/ha de Sabunyuma (D9) et le plus faible rendement paille était obtenu sous D1, sans apport d'engrais. Ces résultats démontrent clairement l'importance de l'application combinée de la fumure minérale et organique dans l'amélioration de la paille du sorgho. La variété Tiandougoucoura (V2) a produit le rendement paille le plus élevé sous D9 (9160 kg/ha) et la plus faible paille était produite par Jakunbé (V1) sous D1 avec 3326 kg/ha. Le comportement des variétés à différentes doses de fertilisation est génétique mais dépendrait aussi de la capacité des cultures à valoriser efficacement les nutriments et à s'adapter aux pratiques agronomiques (Kouressy et al., 2008; Vadez et al., 2012 ; Shammé et al., 2016). Pour le poids des panicules, la variété Tiandougoucoura (V2) a performé avec 54 g/m<sup>2</sup> de panicules et 2734 grains par panicule de plus que la variété Jakunbé (V1), 2340 grains par panicule de plus que Sangatigui (V3). Cela est probablement dû à la mobilisation importante des assimilés et surtout sa bonne répartition (Akmal et al., 2010) qui auraient augmenté le poids des panicules et le nombre de grain par panicule

chez la variété Tiandougoucouira (V2). Les résultats ont également montré que la variété Tiandougoucouira (V2) a produit 380 kg/ha de grain de plus que les variétés Sangatigui et Jakunbé (V1). La variété Tiandougoucouira (V2) a performé sous D9 (60 kg/ha de DAP et 6000 kg/ha) avec 3993 kg/ha de rendement grain de plus que les variétés Sangatigui et Jakunbé (statistiquement identiques) sous D1. Ces résultats démontrent l'adaptation de Tiandougoucouira aux pratiques agronomiques. Dembélé et al. (2020) ont montré dans leurs travaux, qu'en plus de l'adaptation des variétés de sorgho aux pratiques agronomiques, il faudrait tenir compte des paramètres tels que le poids des panicules et le nombre de grain par panicule dans l'amélioration du rendement grain. Ces traits bien exprimés chez Tiandougoucouira pourraient être la cause de l'augmentation de son rendement grain. Rozas et al. (2008) et Khan et al. (2022) ont indiqué que l'utilisation combinée des engrais chimiques et organiques permet d'accroître le rendement grain chez les cultures. Ces auteurs ont expliqué ce phénomène par la capacité des cultures à faire la photosynthèse pour fabriquer des substances organiques qui sont nécessaires à l'augmentation des rendements paille et grain. La dose D9 a enregistré un rendement grain de 67,71% par rapport à D1. Pour les différentes doses de fertilisant, le poids des panicules et le poids 1000 grains obtenus sous D9 étaient plus élevés par rapport à D1. La dose D6 (30 kg/ha de DAP + 6000 kg/ha de Sab) a produit 6 panicules par m<sup>2</sup> de plus que la dose D2, mais statistiquement identique aux doses D9, D8 et D5. Les doses D6, D7 (60 kg/ha de DAP + 0 kg/ha de Sab) et D9 (60 kg/ha de DAP + 6000 kg/ha de Sab) statistiquement identiques ont produit en moyenne 2150 grains par panicule de plus que la dose D1 qui a moins performé. Ces résultats révèlent l'importance de l'application combinée de la fertilisation minérale et Sabunyuma sur le rendement grain et ses composantes chez le sorgho. Ils sont similaires aux travaux de recherche menés par

Shuaibu et al. (2018) chez le sorgho. Ibrahim et al. (2002) ont rapporté qu'une application plus importante de matière organique améliore la fertilité du sol (Pouya et al., 2022) et que si celle-ci est combinée à la fumure minérale avec comme source l'urée, cela augmenterait de manière significative le rendement grain et ses composantes chez le sorgho.

## Conclusion

Les résultats de cette étude ont montré que le rendement grain et ses composantes, la hauteur des plantes, le rendement paille et la floraison ont varié selon les années, les variétés et la fertilisation organo-minérale. La variété Tiandougoucouira a produit les meilleurs rendements grain et paille, poids des panicules, nombre de grain par panicule. En outre, la variété Jakunbé à cycle court a performé en termes de nombre de panicules et poids 1000 grains. L'application de D9 (60 kg/ha de DAP + 6000 kg/ha de Sab) par microdosage a permis l'augmentation des rendements grain et paille, du poids des panicules, du poids 1000 grains, du nombre de panicules par m<sup>2</sup> et le raccourcissement de la durée de floraison. Les résultats ont également montré que l'application des doses D8 (60 kg/ha de DAP + 3000 kg/ha de Sab), D9 (60 kg/ha de DAP + 6000 kg/ha de Sab) et D6 (30 kg/ha de DAP + 6000 kg/ha de Sab) ont eu plus d'effet sur la hauteur des plantes. Les meilleurs rendements grain (6420 kg/ha) et paille (7704 kg/ha) ont été produits par la variété Tiandougoucouira avec l'application de 60 kg/ha de DAP + 6000 kg/ha de Sabunyuma. La variété Tiandougoucouira sous l'application de la dose D9 par microdosage peut être recommandée pour assurer une plus grande productivité de sorgho dans les différentes zones de culture au Mali.

## CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêts.

## CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

ST : conception du protocole de recherche, collecte de données, analyse de données et rédaction de l'article ; JSBD : analyse de données et correction de l'article ; DS : appui à l'installation et suivi de l'essai ; SGD : supervision des activités.

## REMERCIEMENTS

Nous adressons nos sincères remerciements à l'Institut d'Economie Rurale pour le financement de nos activités de laboratoire et à toutes les personnes qui ont contribué à l'aboutissement de ce travail.

## REFERENCES

- Ahmad A, Qadir I, Mahmood N. 2007. Effect of integrated use of organic and inorganic Fertilizers on fodder yield of sorghum (sorghum bicolor L.) *Pakistan Journal*, **44**(3) :415-421.
- Akmal M, Hameed-Ur-Rehman, Farhatullah, Asim M, Akbar H. 2010. Response of maize varieties to nitrogen application for leaf area profile, crop growth, yield and yield components. *Pakistan Journal of Botany*, **42**(3):1941-1947.
- Ali M, Khan I, Ali MA, Anjum SA, Ashraf U, Waqas MA. 2019. Integration of organic sources with inorganic phosphorus increases hybrid maize performance and grain quality. *Open Agric*, **4**: 354–360.
- Aune JB, Traore CO, Mamadou S. 2012. Low-cost technologies for improved productivity of dryland farming in Mali. *Outlook Agric.*, **41**:103–108.
- Bagayoko M, Maman N, Palé S, Sirifi S, Taonda SJB, Traore S, Mason SC. 2011. Microdose and N and P fertilizer application rates for pearl millet in West Africa. *African Journal of Agricultural Research*, **6**(5): 1141-1150. DOI: 10.5897/AJAR10.711. 36:199–203.
- Belton PS, Taylor JRN. 2004. Sorghum and millets: protein sources for Africa. *Trends in Food Science & Technology*, **15**: 94–98. DOI: 10.1016/j.tifs.2003.09.002.
- Brocke K vom, Vaksman M, Trouche G, Bazile D. 2002. Préservation de l'agrobiodiversité du sorgho in situ au Mali et au Burkina Faso par l'amélioration participative des cultivars locaux. Ressources génétiques des mils en Afrique de l'Ouest. IRD Edition 2002.
- Carmer SG, Nyquist WE, Walker WM. 1989. Least significant differences for combined analyses of experiments with two- or three- factor treatment designs. *Journal of Agronomy*, **81**: 665–672. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1989.00021962008100040021x>.
- Coulibaly A, Woumou K, Aune JB. 2019. Sustainable intensification of sorghum and pearl millet production by seed priming , seed treatment and fertilizer microdosing under different rainfall regimes in Mali. 2019. *Agronomy*, **9** (664): 1-14. DOI: 10.3390/agronomy9100664.
- Dembele JSB, Gano B, Kouressy M, Dembele LL, Doumbia M, Ganyo KK, Sanogo SB, Togola A, Traore K, Vaksman M, Teme N, Diouf D, Audebert A. 2021. Plant density and nitrogen fertilization optimization on sorghum grain yield in Mali. *Agronomy Journal*, **2021**: 1–16.
- Dembélé JSB, Gano B, Vaksman M, Kouressy M, Dembele LL, Doumbia M, Teme N, Diouf D, Audebert A. 2020. Response of eight sorghum varieties to plant density and nitrogen fertilization in the Sudano-Sahelian zone in Mali. *African Journal of Agricultural Research*, **16**(10): 1401-1410. DOI: 10.5897/AJAR2020.15025
- Enda Pronat. 2016. Fiches de capitalisation sur l'agriculture écologique et biologique au Sénégal. Pronat@endatiersmonde.org. 126p.
- FAOSTAT. 2021. Statistiques des données année 2021, Rome, Italy. United Nations

- Food and Agriculture Organization, Rome.
- Ibrahim SH, Moamed A, Osman HN, Hashim M. 2002. Fertilizing with urea and FYM for higher cotton yield and better soil condition in Gezira. Crop husbandry committee meeting, ARC, wad medanisudan.
- IFDC. 2022. Guide d'information sur le commerce des engrais en Afrique de l'Ouest. Edition 2022. 102p.
- Koné Y, Thériault V, Kergna A, Melinda Smale M. 2019. La subvention des engrais au mali : Origines, contexte et évolution. 16p.
- Kante M, Rattunde HFW, Leiser WL, Nebié B, Diallo B, Touré AO, Haussmann BIG. 2017. Can Tall Guinea-Race Sorghum Hybrids Deliver Yield Advantage to Smallholder Farmers in West and Central Africa? *Crop Science*, **57**: 1–10. DOI:10.2135/cropsci2016.09.0765.
- Khan I, Amanullah, Jamal A, Mihoub A, Farooq O, Saeed MF, Roberto M, Radicetti E, Zia A, Azam M. 2022. Partial Substitution of Chemical Fertilizers with Organic Supplements Increased Wheat Productivity and Profitability under Limited and Assured Irrigation Regimes. *Agriculture*, **12**: 1754. DOI: doi.org/10.3390/agriculture12111754.
- Kouressy M, Traoré SB, Vaksmann M, Grum M, Maikano I, Soumaré M, Traoré PS, Bazile D, Dingkuhn M, Sidibé A. 2008. Adaptation des sorghos du Mali à la variabilité climatique. *Cahiers Agricultures*, **17** : 95–100.
- Macauley H, Ramadjita T. 2015. Les cultures céréalières : riz , maïs , millet , sorgho et blé.38p.
- Muhammad SY, Abdulmumini BR, Sani K, Zaharaddeen S. 2018. Effect of organic and inorganic fertilizer on the growth and yield of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in Bauchi state, Nigeria. *GSC Biol. and Pharmaceutical Sci.*, **02**(01): 025–031.
- Pouya BM, Soma MD, Gnankambary Z, Kiba ID. 2022. Effets des fumures organo-phosphatées sur les caractéristiques du sol et les rendements du sorgho, du maïs et du niébé dans la région de l'Est du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **16**(6): 2964-2977. DOI: https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i6.39
- Oikeha S, Toure A, Sidibe B, Nianga A, Semon M, Sokeia Y, Marikoa M. 2009. Responses of upland NERICA rice varieties to nitrogen and plant density. *Archives of Agronomy and Soil Science*, **55**(3): 301-314.
- Ouedraogo J, Serme I, Pouya MB, Sanon SB, Lompo KOF. 2020. Amélioration de la productivité du sorgho par l'introduction d'options technologiques de gestion intégrée de la fertilité des sols en zone Nord soudanienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **14**(9): 3262-3274. DOI: https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v14i9.23
- Rozas HS, Calvino HE, Echeverria PA, Barbieri, Redelete M. 2008. Contribution of anaerobically mineralized nitrogen to the reliability of planting or preside dress soil nitrogen test in maize. *Agronomy Journal*, **100**: 1020-1025.
- Saba F, Taonda SJB, Serme I, Bandaogo AA, Sourwema AP, Kabre A. 2017. Effets de la microdose sur la production du niébé, du mil et du sorgho en fonction la toposéquence. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **11**(5): 2082-2092. DOI: https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i5.12
- Sanon A, Gomgnimbou APK, Coulibaly K, Nacro B. 2021. Effets de biodéchets et de fertilisants inorganiques sur la production du riz pluvial strict en zone Sud-Soudanienne du Burkina Faso. *Afrique Science*, **18**(1): 230 – 241.

- Sawadogo J, Coulibaly PJA, Valea WC, Legma JB. 2020. Sustainable soil management for improving sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] production in West Africa, Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **14**(7): 2373-2382. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v14i7.1>
- Shamme SK, Raghavaiah CV, Balemi T, Hamza I. 2016. Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) growth, productivity, nitrogen removal, N- use efficiencies and economics in relation to genotypes and nitrogen nutrition in Kellem-Wollega zone of Ethiopia, East Africa. *Advance Crop Science Technology*, **4**: 1–8. <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000218>.
- Sher A, Adnan M, Sattar A, Ul-Allah S, Umair Hassan MIM, Manaf A, Qayyum A, Elesawy BH, Ismail KA, Gharib AF, El Askary A. 2022. Combined Application of Organic and Inorganic Amendments Improved the Yield and Nutritional Quality of Forage Sorghum. *Agronomy*, **12**: 896. DOI: [doi.org/10.3390/agronomy12040896](https://doi.org/10.3390/agronomy12040896).
- Shuaibu MY, Abdulmumini BR, Sani K, Zaharaddeen S. 2018. Effect of organic and inorganic fertilizer on the growth and yield of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in Bauchi state, Nigeria. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, **2**(1): 25-31. DOI: [10.30574/gscbps.2018.2.1.0053](https://doi.org/10.30574/gscbps.2018.2.1.0053).
- Somda B, Ouattara B, Serme I, Mathias B, Pouya MB, Lompo F, Taonda JPS, Sedogo PM. 2017. Détermination des doses optimales de fumures organo-minérales en microdose dans la zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **11**(2): 670-683. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i2.11>
- Traore K, Aune JB, Traore B. 2016. Effect of organic manure to improve sorghum productivity in flood recession farming in yelimane, western Mali. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*: 232-251. <http://asrjetsjournal.org/>
- Traore K, Traore B, Synnevåg G, Aune JB. 2020. Intensification of sorghum production in flood recession agriculture in Yelimane, Western Mali. *Agronomy*, **10**: 726; DOI: [10.3390/agronomy10050726](https://doi.org/10.3390/agronomy10050726).
- Vadez V, Kholova J, Zaman-Allah M, Belko N. 2012. Water: The most important ‘molecular’ component of water stress tolerance research. *Functional Plant Biology*, **40**(12): 1310–1322. DOI: <https://doi.org/10.1071/FP13149>.
- Venables WN, Smith DM, Team CR. 2019. *A Programming Environment for Data Analysis and Graphics*. This manual is for R, version 3.6.2., 1–94. Edited by John Mark Ockerbloom (online books@pobox.upenn.edu).
- Zerome M, Traore K, Famanta M, Maiga BS, Samake O, Togo MA. 2019. 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. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **13**(3): 1547-1557. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i3.27>