

Effets du système de culture, de la fertilisation et de l'amendement calco-magnésien sur le maïs (*Zea mays*), le sorgho (*Sorghum bicolor*) et l'arachide (*Arachis hypogaea*) en zone soudanienne du Mali

Amadou Cheick TRAORE, Aliou Badara KOUYATE* et Mahamoudou FAMANTA

Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée - IPR/IFRA, Département des Sciences et Techniques Agricoles- DER/STA, Laboratoire des sols Heinz IMHOF, BP 06, Koulikoro, Mali

(Reçu le 17 Avril 2025 ; Accepté le 23 Juin 2025)

* Correspondance, courriel : aloubadarakouyate@yahoo.fr

Résumé

La dégradation de la fertilité des sols est le facteur principal de la baisse des rendements des cultures. Cette étude a pour objectif de déterminer les effets du système de culture, de la fertilisation et de l'amendement calco-magnésien sur les propriétés chimiques du sol et sur les performances agronomiques du maïs, du sorgho et de l'arachide en zone soudanienne du Mali. Un dispositif factoriel en split-split plot à quatre répétitions a été installé avec comme facteurs étudiés : i) le système de culture (monoculture et assolement-rotation) ; ii) le type de fertilisation (fertilisation minérale - F1, fertilisation organique - F2, fertilisation organo-minérale - F3) et iii) l'amendement calco-magnésien (sans dolomie - D0 et apport de dolomie - D1). Les résultats montrent que l'assolement-rotation a été plus performant que la monoculture sur le sorgho en rendement grain et rendement paille et sur l'arachide en rendement grain et fane. La fertilisation organo-minérale a donné les meilleurs résultats en rendement grain et paille du maïs et du sorgho. Le système de culture en assolement rotation et l'utilisation combinée des engrais organiques et minéraux pourrait être une alternative pour assurer une durabilité du système de production tout en améliorant le rendement et la qualité des produits récoltés.

Mots-clés : *système de culture, fertilisation, amendement, zone soudanienne du Mali.*

Abstract

Effects of cropping system, fertilization and calco-magnesian amendment on maize (*Zea mays* L.), sorghum (*Sorghum bicolor*) and groundnut (*Arachis hypogaea*) in the Sudanian zone of Mali

Soil fertility degradation is the main factor for the decline in crop yields. This study aims to determine the effects of the cropping system, fertilization, and calco-magnesium amendment on the chemical properties of the soil and on the agronomic performance of maize, sorghum, and groundnut in the Sudanian zone of Mali. A factorial experiment design in split-split plot with four replications was set up with the studied factors: i) the cropping system (monoculture and crop rotation); ii) type of fertilization (mineral fertilization - F1, organic fertilization - F2, organo-mineral fertilization - F3) and iii) the calco-magnesium amendment (without

dolomite - D0 and with dolomite - D1). The results show that crop rotation performed better than monoculture for sorghum in grain yield and straw yield, and for groundnut in grain yield and biomass. Organo-mineral fertilization yielded the best results. Organo-mineral fertilization resulted in the best yields for grain and straw of maize and sorghum. The crop rotation system and the combined use of organic and mineral fertilizers could be an alternative to ensure the sustainability of the production system while improving the yield and quality of the harvested products.

Keywords : *cropping system, fertilization, amendment, Sudanian zone of Mali.*

1. Introduction

En Afrique semi-aride, nombreux facteurs réduisent l'efficacité des systèmes de production agricole, notamment la baisse de la fertilité des sols, la répartition inégale des précipitations et la réduction de l'utilisation des engrais minéraux et organiques. Cependant, la contrainte majeure de ces systèmes dans cette zone demeure la baisse de la fertilité des sols qui se traduit généralement par l'épuisement de la teneur du sol en éléments nutritifs. Le prélèvement continu et inexorable des éléments nutritifs du sol par les cultures sans compensation, entraîne une baisse de la fertilité des sols et une diminution progressive des rendements des cultures [1]. Au Mali l'usage de la fumure organique et minérale est extrêmement limité. Le niveau d'utilisation des engrais minéraux représentait en moyenne 44,2 kg/ha en 2016, qui reste faible comparativement à la recommandation de 50 kg/ha fixée par les gouvernements africains à Malabo en 2010 [2]. 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 [3]. L'enjeu de la pérennité des systèmes de production actuels est donc d'une grande importance [4]. Aussi, la nature des roches mères caractérisée par la présence du fer caractéristique des sols ferrugineux tropicaux, contribue à accentuer la dégradation des sols par le phénomène d'acidification [5]. Dans les zones sahéliennes, les études ont montré, que la baisse de la fertilité des sols ferrugineux, qui sont les plus répandus, était le plus souvent accompagnée non seulement d'un déficit du bilan organique et minéral, mais aussi et surtout d'une acidification croissante. La monoculture augmente cette acidité, d'où les risques accentués de toxicité manganique et aluminique. L'acidité influence les caractéristiques bio-physico-chimiques du sol, la composition de la solution du sol et, par conséquent, la nutrition minérale des plantes. Dans ce contexte, l'utilisation des amendements (calcaires, calco-magnésiens et humifères), est fortement conseillée pour améliorer l'ensemble des propriétés des sols. Les amendements contribuent à améliorer les propriétés biologiques des sols en apportant la matière organique, favorisant ainsi la rétention de l'eau, la circulation de l'air l'action des engrais et le travail du sol [6]. Des essais de redressement de pH menés par l'Institut d'Economie Rurale/Département de Recherche sur les Systèmes de Production Rurales (IER/DRSPR) dans la région de Sikasso au Mali, ont montré que, l'apport des phosphates naturels de Tilemsi (PNT avec 43 % de CaO et 28 à 32 % de P₂O₅) utilisés comme amendement à la dose de 1 t/ha a une efficacité légèrement plus faible que la chaux. Les résultats des essais et tests effectués avec le PNT et la chaux aux doses respectives de 1 t/ha et 300 kg/ha, ont montré que, le rendement du coton-graine a augmenté de 1 - 2 % et 9 - 15 % par rapport au témoin respectivement pour la chaux et le PNT [4]. Des résultats d'apport de la dolomie combinée avec la fumure minérale ont montré une amélioration du rendement grain du sorgho une élévation du niveau du pH eau et KCl et l'amélioration du taux d'azote du sol [7]. Le Mali regorge d'importants gisements de dolomie, notamment à Dioïla et Douventza avec une teneur de 30 % de CaO et entre 18 % et 20 % MgO [8]. Toutefois, la dolomie malienne n'est pas encore utilisée par les paysans à hauteur de souhait et les informations sur ses potentialités au champ sont limitées [9]. L'épandage de chaux ou de dolomie broyée, issues des gisements

locaux serait une alternative à la correction de l'acidité des sols. Ces amendements doivent être utilisés à des doses correspondantes au niveau de l'acidité des sols [9]. Dans ce contexte la valorisation des dolomies comme amendements combinés à la fertilisation organo-minérale dans un système d'assolement-rotation pourrait être une contribution importante à la recherche de solutions aux problèmes de fertilité des sols, par la maîtrise de l'acidité des sols ferrugineux tropicaux qui sont les plus répandus dans la plupart des pays comme le Mali. L'objectif de cette étude est de déterminer les effets du système de culture, de la fertilisation et de l'amendement calco-magnésien sur les performances agronomiques du maïs, du sorgho et de l'arachide en zone soudanienne du Mali.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériel

2-1-1. Site d'étude

L'étude a été conduite pendant 3 ans (Avril 2020 à Décembre 2023) sur la parcelle expérimentale de l'Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) à Katibougou. Ce site est situé entre 12°56' de latitude Nord et 7°37' de longitude Ouest et à une altitude de 326 m. Le climat est de type soudano-sahélien avec une longue saison sèche qui s'étend d'octobre à mai et une courte saison des pluies de juin à septembre. Les précipitations oscillent entre 745,3 et 1042 mm avec une moyenne annuelle de 857,91 mm. Les sols ferrugineux tropicaux sont les types dominants dans la zone.

2-1-2. Fertilisants

Les types de fertilisants suivants ont été utilisés

2-1-2-1. Engrais minéraux

Les engrais utilisés sont le phosphate di-ammonique (DAP -18-46-0) et l'urée (46 % d'azote).

2-1-2-2. Engrais organique

Du compost à base de fumier de ferme et de résidus de récolte a été utilisé comme engrais organique.

2-1-2-3. Amendement

L'amendement calco-magnésien utilisé est la dolomie, qui est un carbonate double de calcium et de magnésium avec une teneur en CaO de 30 % et MgO de 18 % (**Tableau 1**).

Tableau 1 : Composition chimique de la dolomie utilisée

Composition chimique	Pourcentage
CaO	30 %
MgO	18 %
Fe ₂ O ₃	0,3 %
Al ₂ O ₃	0,09 %
SiO ₂	1,34 %

2-1-3. Matériel végétal

2-1-3-1. Semence de sorgho

La variété locale de sorgho (*Sorghum bicolor*) appelée Grinkan est une variété améliorée par la recherche agronomique à l'Institut d'Economie Rurale (IER) du Mali. Elle a un cycle cultural de 125 jours et un rendement grain moyen en station de $2,5 \text{ t ha}^{-1}$ et biomasse de 10 t ha^{-1} .

2-1-3-2. Semence de Maïs

La variété locale de maïs (*Zea mays*) est le Sotubaka, origine, l'Institut d'Economie Rurale (IER) du Mali. Elle a un cycle cultural de 100 à 120 jours et un rendement grain moyen en station de $5 \text{ à } 7 \text{ t ha}^{-1}$ et biomasse de 10 t ha^{-1} .

2-1-3-3. Semence arachide

La variété d'arachide type Spanish (47-10) (*Arachis hypogaea*) appelé *Kaloshani*, origine, Institut Sénégalaise de Recherche Agronomique (ISRA). Elle a un cycle cultural de 90 jours et un rendement grain moyen en station de 80 kg ha^{-1} .

2-2. Méthodes

2-2-1. Dispositif expérimental et collecte des données

L'essai a été conduit sur un dispositif factoriel en split-split-plot à 4 répétitions et les facteurs étudiés sont : le système de culture, facteur principal, pris à deux niveaux de variation : monoculture et assolement-rotation triennal (maïs- sorgho- arachide); le type de fertilisation est le deuxième facteur, pris à trois niveaux de variation (F1-Fertilisation minérale ; F2- fertilisation organique ; F3—fertilisation organo-minérale); l'amendement calco-magnésien (dolomie), constitue le troisième facteur, pris à deux niveaux de variation (D0-sans amendement et D1-apport). La dose de fertilisation minérale utilisée sur les cultures est la suivante :

- Maïs : le DAP a été apporté en engrais de fond à la dose de 100 kg ha^{-1} et l'urée à 150 kg ha^{-1} en deux fractions à raison de 100 kg ha^{-1} 15 jours après semis et 50 kg ha^{-1} , 45 jours après semis ;
- Sorgho : le DAP a été apporté en engrais de fond à la dose de 100 kg ha^{-1} et l'urée en fumure d'entretien en deux (2) fractions à raison de 50 kg ha^{-1} par fraction au 15 et 45 jours après semis.

La fertilisation organique a porté sur l'apport du compost comme engrais organique sur le maïs à la dose de 10 t ha^{-1} pour trois ans et sur le sorgho à la dose de 5 t ha^{-1} pour trois ans, aussi bien en monoculture qu'en assolement-rotation. L'amendement calco-magnésien utilisé est la dolomie, qui est un carbonate double de calcium et de magnésium, apporté sous forme de poudre de couleur grise, à la dose de 1 t ha^{-1} pour trois ans. Il est à noter que le compost et la dolomie ont été apportés avant le semis suivi d'un léger enfouissement. Les sous- sous- parcelles avaient une superficie de $9,6 \text{ m}^2$, les sous parcelles $21,2 \text{ m}^2$ et les parcelles principales mesuraient $71,6 \text{ m}^2$. Les grains de sorgho et de maïs ont été semés aux écartements de $80 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ et à la profondeur de 4 cm et l'arachide aux écartements de $40 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$. Le schéma d'assolement rotation est indiqué sur la **Figure 1**.



Figure 1 : Schéma d'assolement rotation

2-2-2. Paramètres observés

Les observations ont porté sur les plants situés sur les lignes centrales à raison de quatre par ligne. L'échantillonnage aléatoire simple a été utilisé pour le choix des plants d'observation, Les paramètres suivants ont été évalués

2-2-2-1. Prélèvement et analyse des échantillons de sol

Des échantillons composites ont été prélevés à l'aide de la tarière à la profondeur de 0 - 20 cm avant l'application des engrais et pendant la récolte dans chaque unité expérimentale. Les échantillons ont été soigneusement séchés à l'air et tamisés (tamis de 2 mm de diamètre). Les analyses ont porté sur la détermination du pH eau et du pH KCl (1/2,5), la teneur en phosphore assimilable, en azote total, le taux de carbone organique et l'analyse granulométrique. Le pH a été déterminé par la méthode potentiométrique, le phosphore par la méthode Bray1, l'azote total par la méthode Kjeldahl, la matière organique par la méthode du dosage sulfochromique et l'analyse granulométrique par la méthode pipette de Robinson. L'analyse des échantillons a été faite au laboratoire de chimie des sols de l'IPR/IFRA de Katibougou.

2-2-2-2. Collecte des données sur les cultures

- **Sur le maïs**

- *Diamètre au collet*

Le diamètre au collet a été mesuré avec un pied à coulisse après l'émission de l'inflorescence femelle. L'observation a porté sur six (6) poquets choisis au hasard sur la ligne centrale (ligne d'observation).

- *Hauteur des plants*

Ce sont les mêmes plants utilisés pour mesurer le diamètre au collet qui ont servi à déterminer la hauteur des plants. Cette mesure réalisée après l'émission de l'inflorescence femelle a concerné la hauteur du plant du collet jusqu'au niveau d'insertion de la feuille auprès de l'inflorescence mâle (feuille drapeau). Les mensurations ont été réalisées avec le mètre ruban.

- *Rendement grain*

Les épis du maïs récoltés dans la parcelle utile de chaque sous - sous - parcelle, ont été séchés au soleil et battus. Les grains de maïs, après vannage, ont été ensuite pesés. Cette production a permis d'évaluer le rendement grain à l'hectare. Il est obtenu par la **Formule** suivante :

$$\text{Rendement grain (kg/ha)} = \frac{\text{poids grain de la surface utile}}{\text{surface utile}} \times 10\,000 \quad (1)$$

- *Rendement paille*

Les tiges de maïs récoltées dans la parcelle utile de chaque sous-sous- parcelle, ont été séchées au soleil ensuite pesées. Le rendement paille a été déterminé après séchage suivant la **Formule** suivante :

$$\text{Rendement paille (kg/ha)} = \frac{\text{poids paille de la surface utile}}{\text{surface utile}} \times 10\,000 \quad (2)$$

- **Sur le Sorgho**

- *Diamètre au collet*

Le diamètre au collet a été mesuré avec un pied à coulisse après l'émission de la panicule. L'observation a porté sur six (6) poquets sur la ligne centrale (ligne d'observation).

- *Hauteur des plants*

Ce sont les mêmes plants utilisés pour mesurer le diamètre au collet qui ont servi à déterminer la hauteur des plants. Cette mesure a été réalisée après l'émission de la panicule a concerné la hauteur du plant du collet jusqu'au niveau d'insertion de la feuille paniculaire (feuille drapeau). Les mensurations ont été réalisées avec une règle.

- *Rendement grain*

Toutes les panicules récoltées sur la parcelle utile de chaque parcelle sous-sous-parcelle ont été séchées au soleil et battues. Les grains de sorgho, après vannage, ont été ensuite pesés afin d'évaluer le rendement grain à l'hectare, Il est obtenu par la **Formule** suivante :

$$\text{Rendement grain (kg/ha)} = \frac{\text{poids grain de la surface utile}}{\text{surface utile}} \times 10\,000 \quad (3)$$

- *Rendement paille*

Les tiges de sorgho récoltées dans la parcelle utile de chaque sous-sous-parcelle, ont été séchées au soleil ensuite pesées. Le rendement paille a été déterminé après séchage suivant la **Formule** suivante :

$$\text{Rendement paille (kg/ha)} = \frac{\text{poids paille de la surface utile}}{\text{surface utile}} \times 10\,000 \quad (4)$$

• *Sur l'arachide*

- *Nombre de ramifications par plant*

Pour l'arachide les observations ont porté sur 2 lignes centrales diminuées de 4 poquets à chaque extrémité soit un total de vingt-quatre (24) poquets, Le nombre de ramifications de chacun de ces vingt-quatre plants a été déterminé par comptage pour ensuite en déduire le nombre moyen de ramifications par plant de chaque sous-sous-parcelle.

- *Rendement gousse de l'arachide*

Les gousses ont été récoltées au niveau des deux (2) lignes centrales diminuées de quatre (4) poquets à chaque extrémité soit un total de vingt-quatre poquets par sous-sous-parcelles. Le rendement gousse a été évalué par la **Formule** suivante :

$$\text{Rendement gousse (kg/ha)} = \frac{\text{poids gousse de la surface utile}}{\text{surface utile}} \times 10\,000 \quad (5)$$

- *Rendement fane*

Ce sont les mêmes plants utilisés pour déterminer le rendement gousse de l'arachide qui ont servi à l'évaluation du rendement fane :

$$\text{Rendement fane (kg/ha)} = \frac{\text{poids fane de la surface utile}}{\text{surface utile}} \times 10\,000 \quad (6)$$

- *Rendement grain*

Toutes les gousses récoltées sur la parcelle utile de chaque sous-sou-parcelle, ont été séchées au soleil et battues et les grains obtenus ont permis d'évaluer le rendement grain à l'hectare, Il est obtenu par la **Formule** suivante :

$$\text{Rendement grain (kg/ha)} = \frac{\text{poids grain de la surface utile}}{\text{surface utile}} \times 10\,000 \quad (7)$$

2-2-3. Méthode d'analyse statistique des résultats des observations

Les résultats des observations des trois années ont été regroupés et soumis à l'analyse de variance (ANOVA) avec l'utilisation de logiciel Genstat 12 édition et l'application du test de Newman & Keuls au seuil de signification 5 % pour la comparaison des moyennes des traitements. L'analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée pour étudier la corrélation entre les différents traitements, les paramètres du sol, de croissance et de rendement des cultures.

3. Résultats

3-1. Détermination des effets des facteurs étudiés sur les propriétés chimiques du sol

➤ *Caractérisation du sol de la parcelle d'essai :*

Les caractéristiques chimiques du sol du site de l'essai avant l'apport des engrais sont indiquées sur le **Tableau 2**. Le sol de la parcelle d'essai, un sol ferrugineux tropical lessivé, est pauvre en matière organique (1,10 % de M, O) avec une faible teneur en azote total (0,04 %). Il est potentiellement assez acide ($\text{pH}_{\text{KCl}} = 4,90$), assez riche en phosphore assimilable (10,69 mg/kg) mais son taux de potassium échangeable est faible (0,26 mg/kg).

Tableau 2 : Résultats des analyses des échantillons du sol de la parcelle avant l'installation de l'essai (statut initial du sol)

Paramètres mesurés	Résultats obtenus			Moyenne
	Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C	
pH eau	5,9	5,8	5,6	5,77
pH KCl	5	4,9	4,8	4,90
Matière Organique (M,O) (%)	1,20	1,01	1,10	1,10
Azote total N (%)	0,04	0,04	0,04	0,04
P assimilable (mg/kg)	12,28	10,25	9,53	10,69
K échangeable (meq)	0,26	0,3	0,22	0,26

P : phosphore ; K : potassium.

3-2. Effet des facteurs étudiés sur les propriétés chimiques du sol

Les effets des facteurs étudiés sur les propriétés du sol sont consignés dans le **Tableau 3**. Après trois ans d'essai, l'analyse de variance des résultats du sol n'a pas montré d'impact significatif des facteurs étudiés sur les propriétés chimiques du sol (pH_{eau} , taux de matière organique, d'azote total, de phosphore et de potassium échangeable).

Tableau 3 : Effet des facteurs étudiés sur les propriétés chimiques du sol

Facteurs	Matière organique (%)	K échangeable (meq/100g)	N (%)	P assimilable (mg/kg)	pH _{KCl}	pH eau
Système de culture (SC)						
Aar	0,83	0,22	0,03	9,31	4,78a	5,53
Am	0,89	0,19	0,03	9,07	4,37b	5,42
Mar	0,74	0,21	0,02	9,12	4,66a	5,53
Mm	0,96	0,21	0,05	8,89	4,66a	5,45
Sar	0,81	0,17	0,03	8,49	4,30b	5,26
Sm	0,52	0,22	0,02	9,31	4,61a	5,55
F _{pr}	0,64	0,13	0,12	0,41	<.001	0,23
Signification	NS	NS	NS	NS	HS	NS
Fertilisation (F)						
F1	0,81	0,21	0,03	9,19	4,58	5,52
F2	0,77	0,20	0,04	9,01	4,58	5,43
F3	0,77	0,20	0,03	8,90	4,53	5,42
F _{pr}	1,67	0,93	0,35	0,63	0,67	0,50
Signification	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Interaction						
SC X F	1,07	0,99	0,34	0,85	0,99	0,95
CV (%)	96,32	21,60	72,60	10,0	3,8	5,0

Note, Aar : Arachide assolement rotation ; Am : Arachide monoculture ; Mar : Maïs assolement rotation ; Mm : Maïs monoculture ; Sar : Sorgho assolement rotation ; Sm : Sorgho monoculture, F1 : Fertilisation minérale ; F2 : fertilisation organique ; F3 : fertilisation organo-minérale, Les moyennes suivies par la même lettre ne sont significativement différent au seuil de 5 %.

3-3. Effets des facteurs étudiés sur les paramètres de croissance du maïs

Les effets des facteurs étudiés sur les paramètres de croissance du maïs sont consignés dans le **Tableau 4**. L'analyse de variance n'a pas montré d'impact significatif du système de culture aussi bien sur le diamètre de collet que sur la hauteur des plants. La fertilisation, contrairement au système de culture a eu des impacts significatifs sur les paramètres de croissance (diamètre au collet et hauteur des plants) du maïs. L'application du test de Newman & Keuls 5 % a révélé que c'est les fertilisations minérale (F1) et organo-minérale (F3), statistiquement égales qui ont été les plus performantes sur le diamètre au collet et la hauteur des plants avec respectivement en moyenne 1,47 cm et 136 cm contre 1,18 cm (diamètre au collet) et 110 cm (hauteur des plants) pour la fertilisation organique (F2). L'application de la dolomie n'a pas eu d'impact significatif sur le diamètre au collet et la hauteur des plants de maïs. Les interactions entre les facteurs n'ont pas eu d'effet significatif sur le diamètre au collet et la hauteur des plants.

Tableau 4 : Effets des facteurs étudiés les paramètres de croissance du maïs (diamètre au collet et hauteur des plants)

Facteurs étudiés	Diamètre au collet (cm)	Hauteur des plants (cm)
Système de culture (SC)		
Mar	1,14	131
Mm	1,33	124
Fpr	0,34	0,41
Signification	NS	NS
Fertilisation (F)		
F1	1,49 a	135 a
F2	1,18 b	110 b
F3	1,45 a	138 a
F pr	0,017	0,04
Signification	S	S
Amendement calco-magnésien (Amdt)		
D0	1,36	134
D1	1,38	121
F pr	0,81	0,18
Signification	NS	NS
Interactions		
SC x Amdt	0,67	0,96
SC x F	0,54	0,94
F X Amdt	0,71	0,81
SC x Amdt x F	0,97	0,67
CV (%)	19,20	21,60

Note, Mar : Maïs assolement rotation ; Mm : Maïs monoculture F1 : Fertilisation minérale ; F2 : fertilisation organique ; F3 : fertilisation organo-minérale, D0 : sans apport de dolomie ; D1 : dolomie apportée à 3tha⁻¹ ; Les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

3-4. Effets des facteurs étudiés sur les rendements paille et le rendement grain du maïs

Les effets des facteurs étudiés sur les rendements paille et grain du maïs sont indiqués sur le **Tableau 5**. L'analyse de variance n'a pas montré d'effet significatif du système de culture aussi bien sur le rendement paille que sur le rendement grain du maïs. La fertilisation, contrairement au système de culture a eu un impact hautement significatif sur le rendement paille et significatif sur le rendement grain du maïs. L'application du test de Newman & Keuls 5 % a révélé que c'est de la fumure organo- minérale (F3) qui a induit le meilleur rendement paille avec 1951 kg/ha⁻¹ et le meilleur rendement grain (666 kg/ha⁻¹). La fertilisation minérale suit la fertilisation organo- minérale en rendement paille avec 1479 kg/ha suivi de la fertilisation organique qui donne 954 kg/ha. En rendement grain, la fertilisation organique et la fertilisation minérale donne statistiquement le même résultat avec en moyenne de 353,5 kg/ha. Tout comme l'assolement – rotation l'application de la dolomie n'a pas eu d'impact significatif sur les rendements paille et grain du maïs. Les interactions entre les facteurs n'ont pas eu d'effet significatif sur les rendements paille et grain du maïs.

Tableau 5 : Effets des facteurs étudiés sur le rendement paille et le rendement grain du maïs

Facteurs étudiés	Rendement paille (kg/ha)	Rendement grain (kg/ha)
Système de culture (SC)		
Mar	1576	522
Mm	1346	393
Fpr	0,18	0,09
Signification	NS	NS
Fertilisation (F)		
F1	1479 b	408 b
F2	954 c	299 b
F3	1951 a	666 a
F pr	<,001	0,002
Signification	HS	S
Amendement calco-magnésien (Amdt)		
D0	1411	456
D1	1511	459
F pr	0,56	0,96
Signification	NS	NS
Interaction		
SC x Amdt	0,97	0,90
SC x F	0,27	0,45
F X Amdt	0,88	0,28
SC x Amdt x F	0,96	0,75
CV (%)	34,80	55,50

Note, Mar : Maïs assolement rotation ; Mm : Maïs monoculture F1 : Fertilisation minérale ; F2 : fertilisation organique ; F3 : fertilisation organo-minérale, D0 : sans apport de dolomie ; D1 : dolomie apportée à 3tha⁻¹ ; Les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

3-5. Effets des facteurs étudiés sur les paramètres de croissance et les rendements paille et grain du sorgho

Les effets des facteurs étudiés sur les paramètres de croissance du sorgho sont indiqués sur le *Tableau 6*. L'analyse de variance n'a pas montré d'impact significatif du système de culture sur les paramètres de croissance du sorgho (diamètre au collet et hauteur des plants). L'analyse de variance a montré que la fertilisation a eu un impact significatif sur le diamètre au collet et hautement significatif sur la hauteur des plants. L'application du test de Newman & Keuls 5 % a révélé que la fertilisation organo- minérale (F3) la fertilisation minérale (F1), statistiquement égales avec en moyenne 1,83 cm ont été les plus performantes sur le diamètre au collet contre 1,65 cm pour la fertilisation organique. Pour la hauteur des plants, l'application du test de Newman & Keuls 5 % a révélé que comme pour le diamètre au collet, c'est la fertilisation organo- minérale (F3) qui a été la plus performante avec 143 cm suivi de la fertilisation minérale (F1) et organique (F2) avec respectivement 132 cm et 122 cm. L'analyse de variance a montré que l'amendement calco-magnésien (dolomie) n'a pas eu d'impact significatif sur le diamètre au collet et la hauteur des plants. Les interactions entre les facteurs n'ont pas eu d'effets significatifs sur le diamètre au collet et la hauteur des plants du sorgho.

Tableau 6 : Effets des facteurs étudiés sur les paramètres de croissance du sorgho (diamètre au collet et hauteur des plants)

Facteurs étudiés	Diamètre au collet (cm)	Hauteur des plants (cm)
Système de culture (SC)		
Sar	1,77	137
Sm	1,78	129
Fpr	0,91	0,5
Signification	NS	NS
Fertilisation (F)		
F1	1,82 a	133 b
F2	1,65 b	122 c
F3	1,85 a	143 a
F pr	0,03	<,001
Signification	S	HS
Amendement(Amdt)		
D0	1,78	133
D1	1,77	133
F pr	0,90	0,84
Signification	NS	NS
Interaction		
SC x Amdt	0,50	0,52
SC x F	0,29	0,41
F X Amdt	0,16	0,41
SC x Amdt x F	0,45	0,52
CV (%)	10,80	8,90

Note, Sar: Sorgho assolement rotation; Sm: Sorgho monoculture, F1 : Fertilisation minérale ; F2 : fertilisation organique ; F3 : fertilisation organo-minérale ; D0 : sans apport de dolomie ; D1 : dolomie apportée à 3tha⁻¹ Les moyennes suivies par la même lettre ne sont significativement différent au seuil de 5 %.

L'analyse de variance a montré que le système de culture a un impact significatif sur les rendements grain et paille du sorgho (**Tableau 7**). L'application du test Newman &Keuls 5 % a révélé que l'assolement -rotation avec un rendement grain de 978 kg/ha a été plus performant que la monoculture qui a induit un rendement grain de 733 kg/ha. En rendement paille l'assolement -rotation a été également plus performant avec 4122 kg/ha contre 2842 kg/ha pour la monoculture. L'analyse de variance a montré que la fertilisation a eu un impact significatif uniquement sur le rendement paille du sorgho. L'application du test Newman &Keuls 5 % a révélé que la fertilisation organo-minérale (F3) avec un rendement paille de 4583 kg/ha est la plus performante, suivie de la fertilisation organique et de la fertilisation minérale qui sont statistiquement égales avec en moyenne 2931 kg/ha. L'amendement calco-magnésien (apport de la dolomie) n'a pas eu d'impact significatif sur les rendements grain et paille du sorgho. Les interactions entre les facteurs n'ont pas eu d'effet significatif aussi bien sur les paramètres de croissance (diamètre au collet et la hauteur des plants) que les rendements grain et paille du sorgho.

Tableau 7 : Effets des facteurs étudiés sur les rendements paille et grain du sorgho

Facteurs étudiés	Rendement grain (kg/ha)	Rendement paille (kg/ha)
Système de culture (SC)		
Sar	978,00 a	4122,00 a
Sm	733,00 b	2842,00 b
Fpr	0,03	0,02
Signification	S	S
Fertilisation (F)		
F1	803,00	2928,00 b
F2	757,00	2935,00 b
F3	1007,00	4583,00 a
F pr	0,16	0,02
Signification	NS	S
Amendement(Amdt)		
D0	801,00	3179,00
D1	910,00	3785,00
F pr	0,33	0,26
Signification	NS	NS
Interaction		
SC x Amdt	0,97	0,72
SC x F	0,11	0,14
F X Amdt	0,77	0,90
SC x Amdt x F	0,43	0,90
CV (%)	38,90	45,80

Note, Sar : Sorgho assolement rotation ; Sm : Sorgho monoculture, F1 : Fertilisation minérale ; F2 : fertilisation organique ; F3 : fertilisation organo-minérale ; D0 : sans apport de dolomie ; D1 : dolomie apportée à 3tha⁻¹ Les moyennes suivies par la même lettre ne sont significativement différent au seuil de 5 %.

3-6. Effets des facteurs étudiés sur les rendements fane et grain de l'arachide deux ans

Les effets des facteurs étudiés sur les paramètres de rendement de l'arachide sont indiqués sur le **Tableau 8**. Le système de culture, a eu un impact significatif aussi bien sur le rendement fane que sur le rendement grain de l'arachide, L'application du test de Newman & Keuls 5 % a révélé que c'est l'assolement-rotation qui a été plus performant sur le rendement fane ave 2336 kg /ha contre 679 kg/ha le rendement grain. L'analyse de variance n'a pas montré d'impact significatif de la fertilisation aussi bien sur le rendement fane que sur le rendement grain de l'arachide. Tout comme la fertilisation l'application de la dolomie n'a pas eu d'impact significatif sur les rendements fane et grain de l'arachide. Les interactions entre les facteurs n'ont pas eu d'effet significatif sur les rendements fane et grain de l'arachide.

Tableau 8 : Effets des facteurs étudiés les rendements Fane et grain de l'arachide

Facteurs étudiés	Rendement grain (kg/ha)	Rendement Fane (kg/ha)
Système de culture (SC)		
Aar	679 a	2336 a
Am	570 b	1943 b
Fpr	0,04	0,01
Signification	S	S
Fertilisation (F)		
F1	578	2205
F2	633	2131
F3	662	2083
F pr	0,40	0,79
Signification	NS	NS
Amendement(Amdt)		
D0	593	2132
D1	656	2147
F pr	0,22	0,92
Signification	NS	NS
Interaction		
SC x Amdt	0,17	0,46
SC x F	0,88	0,70
F X Amdt	0,92	0,99
SC x Amdt x F	0,27	0,85
CV (%)	24,40	20,50

Note, Aar : Arachide assolement rotation ; Am : Arachide monoculture ;Fertilisation minérale ; F2 : fertilisation organique ; F3 : fertilisation organo-minérale ; D0 : sans apport de dolomie ; D1 : dolomie apportée à 3tha⁻¹ Les moyennes suivies par la même lettre ne sont significativement différent au seuil de 5 %.

3-7. Relation entre la fertilisation, les paramètres du sol et de rendement des cultures

Les relations entre le type de fertilisation les paramètres du sol et de rendement du maïs et du sorgho en fonction des systèmes de culture ont été élucidées grâce à l'analyse en composantes principales (ACP) présentée sur les **Figures 2 et 3**.

3-7-1. Système de culture maïs en assolement rotation

L'analyse montre que les axes F1 et F2 portent respectivement 98,40 % et 1,60 % des informations, soit un total de 100 % des explications (**Figure 2**). L'analyse en composantes principales (ACP) a montré une corrélation positive entre les paramètres de rendement (grain et biomasse) et aussi entre ces paramètres de rendements et la fertilisation F3. On note une absence de corrélation entre les paramètres de rendements avec les fertilisations F2 et F1. Les paramètres chimiques dont le carbone total (C %), la teneur en azote total (N %) sont positivement corrélés entre eux et corrélés à la fertilisation F3, Une corrélation positive est observée entre les paramètres chimiques suivants teneur en P assimilable (P ass mg/kg), le pH eau, le pH KCl et la teneur en potassium échangeable (K echmeq) d'une part et entre ces paramètres et la fertilisation F3 d'autre part.

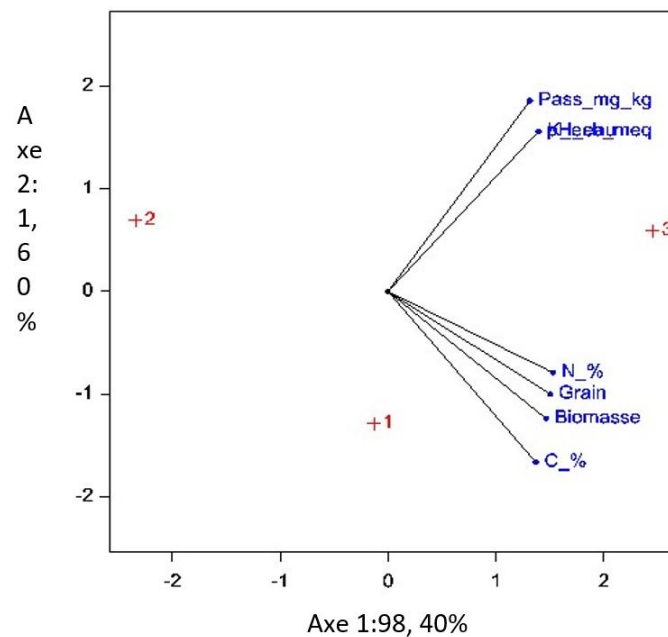


Figure 2 : Relation entre le type de fertilisation les paramètres de rendement du maïs et du sol

3-7-2. Système de culture sorgho assolement rotation

L'analyse montre que les axes F1 et F2 portent respectivement 96,34 % et 1,96 % des informations, soit un total de 98,3 % des explications. L'analyse en composantes principales (ACP) a montré une corrélation positive entre le rendement grain et la fertilisation F3. De même on note une corrélation positive entre la fertilisation F3 et les paramètres chimiques à savoir le P assimilable (Pass mg/kg), le pH eau, le potassium échangeable (K ech/meq) et le taux de carbone (C %). On note une corrélation positive entre la teneur en azote (N %) et la fertilisation F1, le pH KCl avec la fertilisation F2 (**Figure 3**).

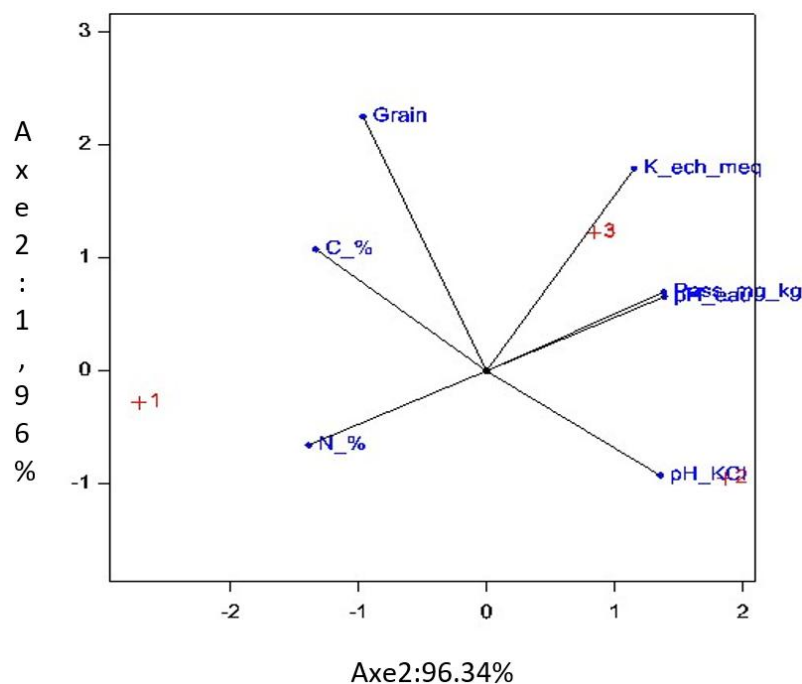


Figure 3 : Relation entre le type de fertilisation les paramètres de rendement du sorgho et du sol

3-8. Analyse cumulée du rendement grain du maïs et du sorgho sur 3 ans

3-8-1. Cumul du rendement grain du maïs

L'apport combiné de la fumure minérale et organique (F3) favorise un rendement grain du maïs élevé quel que soit le système de culture utilisé ou la dose d'amendement apporté. Toutefois les meilleurs rendements sont obtenus avec la combinaison de la fertilisation F3 et le système de culture en assolement rotation, on note à cet effet que le traitement F3 AR D0 a enregistré le rendement grain le plus élevé comparé aux autres traitements (*Figure4*).

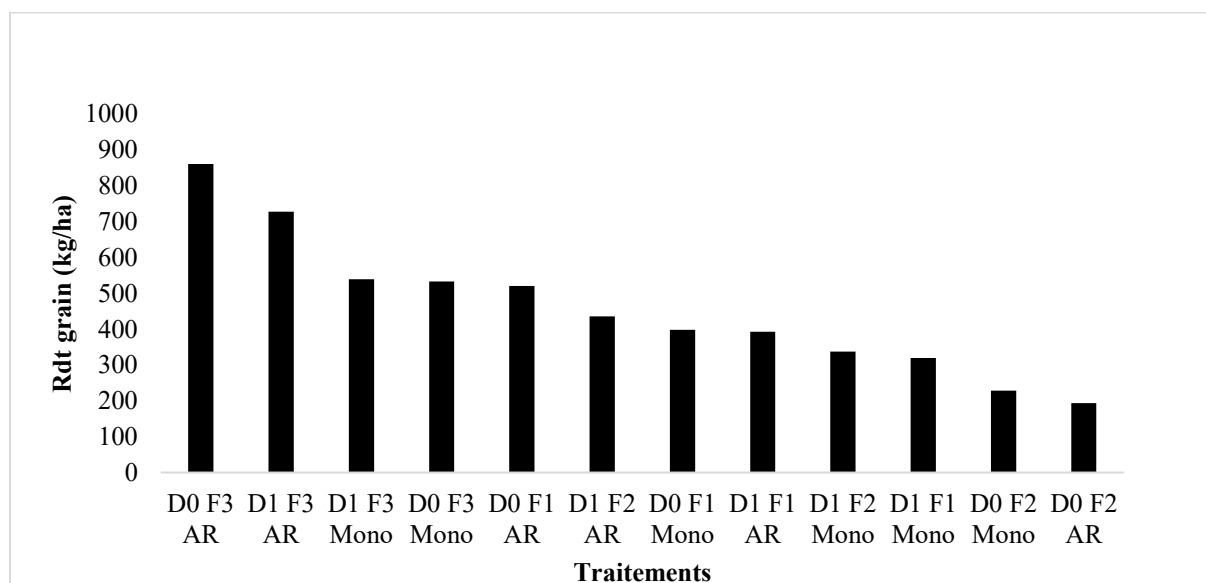


Figure 4 : Rendement grain (kg/ha) cumul des 3 années (maïs)

Le système de culture en assolement rotation combiné à la fertilisation organo-minérale (F3) ou minérale (F1) favorise un rendement grain élevé du sorgho comparé au système de culture en monoculture (*Figure 5*).

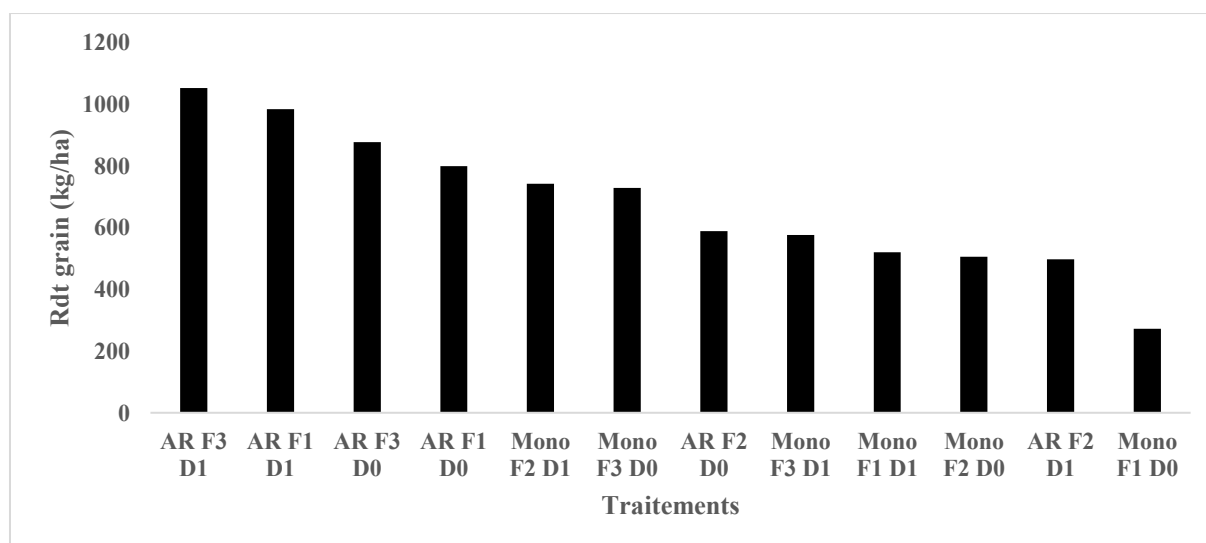


Figure 5 : Rendement grain (kg/ha) cumul des 3 années (Sorgho)

4. Discussion

4-1. Effets du système de culture et de la fertilisation sur les paramètres de croissance du maïs et du sorgho

La fertilisation, contrairement au système de culture a eu des impacts significatifs sur les diamètres au collet ainsi que sur la hauteur des plants aussi bien pour le maïs que le sorgho. C'est les fertilisations minérale (F1) et organo-minérale (F3), statistiquement égales qui ont été les plus performantes sur le diamètre au collet et la hauteur des plants. Une tendance similaire a été observée avec le sorgho où on note que la fertilisation organo-minérale (F3) la fertilisation minérale (F1), statistiquement égales ont été les plus performantes sur le diamètre au collet. Pour la hauteur des plants, c'est la fertilisation organo-minérale (F3) qui a été la plus performante suivie dans l'ordre décroissant par la fertilisation minérale (F1) et organique (F2). La fertilisation organo-minérale entraîne une amélioration significative des paramètres de croissance du maïs et du sorgho. [10] avait obtenu des résultats similaires, l'utilisation combinée de la fertilisation organique et minérale serait la meilleure option pour améliorer les paramètres de croissance du sorgho. Plusieurs travaux de recherche ont rapporté que pour les cultures sous fertilisation minérale et organique c'est 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 [11, 12]. 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 [13]. L'apport de fumure organique comme le tourteau de neem favorise une meilleure croissance et développement des cultures par l'augmentation et la disponibilité de micro et macronutriments qu'elle contient et qui permettent la production de nouveaux tissus de méristème [14]. L'application des amendements organiques et d'engrais minéraux rend plus disponible les éléments de croissance des plantes tels que le phosphore [3]. En ce qui concerne le sorgho et l'arachide, le système de culture en assolement-rotation a démontré une performance supérieure par rapport à la monoculture.

Ces performances du sorgho assolement-rotation s'expliquent en partie par le fait que cette culture a bénéficié des arrières effets du maïs qui est son précédent cultural dans le schéma de l'essai (Figure 1). Aussi, l'arachide bénéficie des arrières effets du sorgho qui est son précédent dans le schéma d'assolement-rotation mis en place ce qui explique partiellement sa performance en assolement rotation à travers l'augmentation de sa capacité de fixation de l'azote atmosphérique. Ces résultats sont confirmés par les expérimentations menées au Burkina Faso dans les zones guinéenne à Farakô-Ba et soudanienne à Kouaré de 1993 à 2001 qui ont permis d'obtenir des résultats similaires. D'après les conclusions de ces travaux, les schémas d'assolement-rotation avec des légumineuses favorisent la nutrition azotée et l'augmentation du taux d'azote présent dans le sol et en favorisant la récupération de l'azote provenant des engrais. Un précédent cultural à base de légumineuse (niébé ou arachide) correspond à l'utilisation de 25 kg N ha⁻¹ d'engrais minéraux pour la culture qui vient après la légumineuse [15]. La combinaison des fumures organiques et minérales associée à la rotation du mil avec les légumineuses, permet une amélioration considérable des rendements de la céréale, une meilleure mobilisation de l'azote du sol et une utilisation efficiente de l'engrais azoté. L'azote issu de la fixation symbiotique a une contribution plus importante sur les paramètres de croissance des plantes comparativement aux engrais azotés employés dans l'agriculture des pays subsahariens. L'azote fixé de l'atmosphère contribue pour 50 à 60 % du N des légumineuses à graines, 55 à 60 % du N des arbres fixateurs d'azote, 70 à 80 % du N des légumineuses fourragères [16]. Les résultats auxquels nous avons abouti dans un schéma d'assolement-rotation triennal (maïs-sorgho-arachide) confirment cette tendance. Le système d'assolement rotation avec intégration des légumineuses permet une amélioration des propriétés physiques et biologiques des sols [17]. Aussi les espèces issues de ces familles

ont l'aptitude, par la fixation symbiotique, de capturer l'azote atmosphérique qu'elles fixent dans des nodosités situées sur les racines. Cela leur permettait de solubiliser les phosphores de calcium et le phosphore occlus, augmentant ainsi la disponibilité du phosphore assimilable et son absorption par les cultures associées ou subséquente [18].

4-2. Effets du système de culture et de la fertilisation sur les rendements grain et biomasse du maïs et du sorgho

Pour le maïs contrairement au système de culture la fertilisation a eu un impact significatif sur les rendements grain et biomasse. La fumure organo- minérale (F3) qui a induit le meilleur rendement paille et le meilleur rendement grain. La fertilisation minérale (F1) suit la fertilisation organo- minérale en rendement paille suivi de la fertilisation organique. En rendement grain, la fertilisation organo- minérale et la fertilisation minérale donne statistiquement le même résultat mais significativement supérieur à la fertilisation organique. En effet, l'application conjointe des fertilisants minéraux et organiques aboutit souvent à des effets synergiques, augmentant à long terme la capacité du sol à fournir des nutriments, et dans certains cas le taux de recouvrement des engrais minéraux. L'efficacité de la fertilisation minérale par rapport à la fertilisation organique peut s'expliquer par l'insuffisance des réserves minérales ou la non disponibilité de certains nutriments du sol pour couvrir les besoins en nutriments des cultures. Le sol du site a une faible fertilité qui se traduit par une faible disponibilité des éléments nutritifs. Ainsi tout apport de nutriment sur ce sol conduit à l'amélioration du rendement des cultures et la fertilité du sol résultant de la disponibilité des éléments nutritifs dans la solution du sol [19].

4-3. Relation entre la fertilisation, les paramètres du sol et de rendement des cultures

Pour le maïs quel que soit le système de culture une corrélation positive est observée entre les paramètres de rendement (grain et biomasse) et la fertilisation F3 et aucune corrélation entre ces paramètres avec les fertilisations F2 et F1. Une corrélation positive est observée entre les paramètres chimiques suivants teneur en P assimilable (P ass mg/kg), le pH eau, le pH KCl et la teneur en potassium échangeable (K ech mg/kg) d'une part et entre ces paramètres et la fertilisation F3 d'autre part. Une tendance similaire est observée avec le sorgho une corrélation positive est observée entre le rendement grain et la fertilisation F3 de même entre les paramètres chimiques suivants teneur en P assimilable (P ass mg/kg), le pH eau, le pH KCl et la teneur en potassium échangeable (K ech mg/kg) d'une part et entre ces paramètres et la fertilisation F3 d'autre part. Ces résultats montrent que l'application des engrais organiques améliore la fertilité du sol. L'apport combiné de la fumure minérale et organique augmenterait de manière significative le rendement grain des cultures (sorgho et maïs) et ses composantes de rendement [20, 21]. L'utilisation combinée des engrais organique et minérale est une alternative car permettant non seulement de satisfaire les besoins nutritionnels à court terme des cultures mais aussi assurer une durabilité du système de production tout en améliorant le rendement et la qualité des produits récoltés.

5. Conclusion

Au terme de cette étude, il ressort que le système de culture en assolement rotation a été le plus performant sur les rendements grain et biomasse sur le sorgho et l'arachide. Le type de fertilisation a eu des impacts significatifs aussi bien sur les paramètres de croissance que les rendements paille et grain, C'est la fertilisation organo- minérale (F3) qui a été la plus performante sur les paramètres de croissance (diamètre au collet et hauteur des plants) ainsi que les rendements grain et paille du maïs. Elle a donné les meilleurs résultats sur la hauteur des plants et le rendement paille du sorgho. Sur l'arachide, la fertilisation n'a pas eu d'impact statistiquement significatif sur les rendements grain et fane. Cette étude montre que le système de culture en assolement rotation et l'utilisation combinée des engrais organique et minérale est une alternative pour l'amélioration du rendement des cultures de la zone d'étude.

Références

- [1] - A. TOUNKARA, C. C. DAUPHIN, C. AFFHOLDER, F. NDIAYE, S. D. MASSE and L. CURNAC, Inorganic fertilizer use efficiency of millet crop increased with organic fertilizer application in rainfed agriculture on smallholdings in central Senegal, *AgricEcosyst Environ*, 294 : 106878 (2020) 2 - 11. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106878>
- [2] - Y. KONE, V. THERIAULT, A. KERGNA et S. M.MELINDA, *La subvention des engrais au mali : Origines, contexte et évolution*, (2019) 16 p.
- [3] - B. SOMDA, B. OUATTARA, I. SERME, M. B. POUYA, F. LOMPO, S. J. P. TAONDA et P. M. SEDOGO, 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) (2017) 670 - 683, DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i2.11>
- [4] - S. KANTE, Gestion de la fertilité des sols par classe d'exploitation au mali-sud, PhD thesis Université Wageningen, N°38 (2001) 236 p.
- [5] - Z. BASSOLE, I. P. YANOGO et F. T. IDANI, Caractérisation des sols ferrugineux tropicaux lessivés et des sols bruns eutrophes tropicaux pour l'utilisation agricole dans le bas-fond de Goundi-Djoro (Burkina Faso), *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 17 (1) (2023) 247 - 26
- [6] - L. FLEMING et W. K. HORTON, Biochar impact on nutrient leaching from a mid-western agricultural soil, *Geoderma*, 158 (2010) 436 - 442, DOI: 10.1016/j.geoderma.2010.05.012
- [7] - M. FAMANTA, A. B. KOUYATE, S. G. DEMBELE et M. DOUMBIA, Effets combinés de la fumure minérale (DAP et urée) avec la dolomie sur les propriétés du sol et le rendement du sorgho (*Sorghumbicolor* (L.) Monch) dans les conditions agroécologiques de Katibougou au Mali, *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, 3 (4) (2020) 59 - 66
- [8] - MDR, Plan national pour la gestion intégrée de la fertilité des sols au Mali, (2002) 7 p.
- [9] - P. DUGUE, N. ANDRIEU and T. BAKKER, Pour une gestion durable des sols en Afrique subsaharienne, *Cah. Agric.*, 33, 6 (2024), <https://doi.org/10.1051/cagri/20244003>
- [10] - A. SHER, M. ADNAN, A.SATTAR, S. UL-ALLAH, H. M. I. M. UMAIR, A. MANAF, A. QAYYUM, B. H. ELESAWY, K. A. ISMAIL, A. F. GHARIB and A. EL ASKARY, Combined Application of Organic and Inorganic Amendments Improved the Yield and Nutritional Quality of Forage Sorghum, *Agronomy*, 12 (2022) 896, DOI: doi.org/10.3390/agronomy12040896
- [11] - M. ALI, I. KHAN, M. A. ALI, S. A. ANJUM, U. ASHRAF and M. A. WAQAS, Integration of organic sources with inorganic phosphorus increases hybrid maize performance and grain quality, *Open Agric.*, 4 (2019) 354 - 360
- [12] - A. AHMAD, I. QADIR and N. MAHMOOD, Effect of integrated use of organic and inorganic, Fertilizers on fodder yield of sorghum (sorghum bicolor L), *Pakistan Journal*, 44 (3) (2007) 415 - 421
- [13] - J. SAWADOGO, P. J. A.COULIBALY, W. C. VALEA and J. B.LEGMA, 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) (2020) 2373 - 2382, DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v14i7.1>
- [14] - A. R. SHAH and S. KUMAR, Integrated nutrient management in transplanted hybrid rice (*Oryza sativa* L.) and its effects on succeeding wheat (*Triticumaestivum*) crop, *Haryana J. Agron.*, 30 (1) (2014) 37 - 43
- [15] - B. V. BADO, Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones Guinéenne et Soudanienne du Burkina Faso. Thèse de Doctorat, Département des sols et de génie agroalimentaire, Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, Université Laval, Québec, Canada, (2002) 184 p.
- [16] - J. SIERRA et R. TOURNEBIZE, Fixation symbiotique d'azote par les légumineuses en association. Résultats obtenus en Guadeloupe, (2019) 12 p. hal-0237320

- [17] - N. T. AKEDRIN, B. BIANUVRIN, N. B. VOUI, O. F. AKOTTO and S. AKE, Effets de six légumineuses spontanées les plus répandues dans les jachères naturelles sur la fertilité des sols dans la région de Daloa (Côte d'Ivoire), *Int. J. Biol. Chem. Sci*, 14 (3) (2020) 1052 - 1064
- [18] - S. HOUOT, C. FRANCOU and C. VERGE-LEVIEL, Gestion de la maturité des composts: conséquence sur leur valeur agronomique et leur innocuité. Les nouveaux défis de la fertilisation raisonnée; Actes des 5èmes rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de la terre, Palais des Congrès de Blois, novembre, Ed, Thévenet (Comifer) et A. Joubert (Gemas), (2001) 27 - 29
- [19] - M. GUINDO, S. DOUMBIA, Y. KONE, B. V. BADO, A. MOHOMODOU et A. NIANGALY, Effet à long terme de la fertilisation organo-minérale sur la fertilité du sol et le rendement du riz en monoculture de bas-fond au Mali, *Afrique Science*, 24 (1) (2024) 71 - 82
- [20] - B. M. POUYA, M. D. SOMA, Z. GNANKAMBARY et I. D. KIBA, 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) (2022) 2964 - 2977, DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i6.39>
- [21] - D. AZOCLI, C. AKOIGNON et S. OUSMANE IBRAHIMA, Étude comparative de l'influence de quelques engrais minéraux et organique sur le rendement de deux variétés de maïs (TZPB-SR-W et MDR-ESRW) dans la commune de Banikoara, *Afrique Science*, 15 (5) (2019) 280 - 287