

Réponse agro-physiologique du niébé à l'intégration innovante de fertilisants organiques et minéraux dans la région de Zinder au Niger

Abdoulkader Zakari Loussou

Laouali Abdou, Maître de conférences

Faculté des Sciences Agronomiques et Ecologiques,
Université de Diffa, Niger

Gambo Youhoussa, Chargé de Recherche

Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN)

Ali Mahamane, Professeur titulaire

Faculté des Sciences Techniques,
Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

Approved: 12 September 2026

Posted: 14 September 2026

Copyright 2026 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Zakari Loussou, A., Abdou, L., Youhoussa, G. & Mahamane, A. (2026). *Réponse agro-physiologique du niébé à l'intégration innovante de fertilisants organiques et minéraux dans la région de Zinder au Niger*. ESI Preprints.

<https://doi.org/10.19044/esipreprint.9.2026.p500>

Résumé

La fumure organo-minérale constitue une approche efficace pour améliorer la productivité des sols, mais son adoption reste limitée chez les petits producteurs. Cette étude, réalisée dans la commune d'Alberkaram (site de Kassama), visait à évaluer les effets de la combinaison de différentes techniques de gestion de la fertilité du sol sur la culture du niébé. L'essai a été conduit selon un dispositif en blocs complets randomisés comportant trois répétitions et cinq traitements. Parmi les paramètres de croissance mesurés, seul le diamètre au collet n'a présenté aucune différence significative entre les traitements ($P = 0,060$). Les plantes recevant la combinaison NPK + compost (digestat) ont produit davantage de ramifications ($P = 0,024$) et environ deux fois plus de feuilles que le témoin ($25,33 \pm 0,33$). Les plantes fertilisées au DAP ont atteint 50 % de floraison au 26^e jour après semis contre le 30^e jour pour le témoin. Le digestat a permis d'obtenir un nombre moyen de $21,67 \pm 0,88$ gousses par plante,

supérieur à celui du témoin. Enfin, la combinaison digestat + NPK a enregistré le meilleur rendement ($629,11 \pm 49,05$ kg/ha). Ces résultats montrent que le digestat, seul ou associé à une fumure minérale, améliore significativement la fertilité du sol et le rendement du niébé.

Mots-clés : Fertilité du sol, digestat, fumure organo-minérale, productivité

Agro-Physiological Response of Cowpea to the Innovative Integration of Organic and Mineral Fertilizers in the Zinder Region of Niger

Abdoulkader Zakari Loussou

Laouali Abdou, Senior Lecturer

Faculty of Agricultural and Ecological Sciences,
University of Diffa, Niger

Gambo Youhoussa, Research Fellow

National Institute for Agricultural Research of Niger (INRAN)

Ali Mahamane, Full Professor

Faculty of Technical Sciences,
Abdou Moumouni University, Niamey, Niger

Abstract

Organo-mineral fertilization is an effective approach to improving soil productivity, but its adoption remains limited among small-scale farmers. This study, conducted in the commune of Alberkaram (Kassama site), aimed to evaluate the effects of combining different soil fertility management techniques on cowpea cultivation. The experiment was carried out using a randomized complete block design with three replications and five treatments. Among the growth parameters measured, only stem collar diameter showed no significant difference between treatments ($P = 0.060$). Plants receiving the NPK + compost (digestate) combination produced more branches ($P = 0.024$) and nearly twice as many leaves as the control (25.33 ± 0.33). Plants treated with DAP reached 50% flowering at 26 days after sowing compared to 30 days for the control. The digestate treatment resulted in an average of 21.67 ± 0.88 pods per plant, higher than that of the control. The combination of digestate + NPK achieved the highest grain yield (629.11 ± 49.05 kg/ha). These results suggest that digestate, whether used alone or in combination with mineral fertilizer, can significantly enhance soil fertility and increase cowpea yield.

Keywords: Soil fertility, digestate, organo-mineral fertilization, productivity

Introduction

De nos jours, dans la zone sahélienne, la sécurité alimentaire demeure un sujet préoccupant et nécessite des solutions urgentes et durables. Au Niger, l'agriculture demeure la principale activité économique, où elle occupe 86 % de la population (INS, 2018). Malgré son importance, cette activité est caractérisée par une faible production agricole. Plusieurs contraintes expliquent cette faible production, dont les changements drastiques des conditions écologiques, l'accroissement de la demande alimentaire suite à la pression démographique, les mauvaises pratiques culturales et surtout la dégradation des terres. Les conditions agro-climatiques difficiles affectent le secteur agricole et augmentent la vulnérabilité des populations aux crises alimentaires (Amir et al., 2018). La dégradation des terres est une contrainte majeure limitant la productivité de l'agriculture. Selon Bationo et al. (2002), la faible fertilité des sols est considérée comme l'une des contraintes majeures limitant la productivité de l'agriculture subsaharienne. Parmi les espèces végétales cultivées au Niger, la culture du niébé (*Vigna unguilata*) est l'une des cultures produites et cultivées dans toute la bande sud du pays (Abdoulaye et al., 2019). Le Niger est le principal pays exportateur du niébé (Lambot, 2002) ; il occupe, après le Nigeria, le deuxième rang au monde pour la production du niébé (MDA, 2010). Malgré sa large adaptation et son importance, la production du niébé est faible à cause des nombreuses contraintes biotiques et abiotiques. Le rendement moyen du niébé est de 364-394 kg/ha (MA, 2021), contre un rendement potentiel de 2000 kg ha⁻¹ dans les stations de recherche (Bationo et al., 2002). Aux pratiques agricoles inadéquates, s'ajoutent l'inaccessibilité et/ou la méconnaissance des variétés améliorées, l'abandon de la jachère, des fortes températures et des problèmes phytosanitaires. D'après Kabore et al. (2023), l'accroissement des rendements des cultures vivrières dépend fortement de l'amélioration durable de la fertilité des sols soumis aux cultures répétées et aux modifications écologiques liées aux changements climatiques. Le problème de la baisse de la fertilité des sols est une préoccupation aussi bien pour les agriculteurs qui se heurtent au coût élevé des intrants que pour les chercheurs dont les travaux de recherche visent à maintenir ou à restaurer la fertilité des sols dégradés pour une intensification de la production agricole (Saïdou et al., 2007). Pour Mosier et al. (2004), l'apport de fertilisants est un levier essentiel pour répondre à l'accroissement de la demande en nourriture. La culture du niébé a aussi besoin d'un complément de fumure comme stimulateur de croissance au démarrage (Bado, 2002). L'utilisation continue des engrais chimiques avec l'absence de restitution des résidus de récolte contribue à augmenter la lixiviation,

l'acidification des sols et la diminution significative de bases échangeables du sol (Mulambuila et al., 2015). De nombreuses études ont montré l'impact positif de la fumure organique sur la fertilité des sols et les rendements des cultures, mais très peu se sont intéressées spécifiquement à son effet sur la productivité du niébé. L'amendement en fumure organique pourrait être un moyen de correction de la fertilité des sols et d'amélioration des rendements s'il est judicieusement choisi et appliqué (Kabore et al., 2023). SOME et al. (2014) ont montré que l'utilisation du compost sur le niébé améliore significativement sa résistance au stress hydrique et permet d'augmenter son rendement en graines. Les modes d'apport des fumures devraient aussi tenir compte du contexte actuel où il est question de pallier l'effet acidifiant des engrais minéraux utilisés seuls par leur adjonction à la fumure organique (HOUOT et al., 2009 ; SANTOS et al., 2011). Cette étude vise à évaluer les effets de la combinaison de différentes techniques de gestion de la fertilité du sol sur la production du niébé.

Matériel et Méthodes

Le site d'étude

Après la conduite des essais en station au niveau du Centre Régional de la Recherche Agronomique (CERRA) de Zinder, la présente étude a été transférée en milieu paysan dans les villages de Kassama (CR/Alberkaram) et Garin Tsoho Rahin Malan (CR/Kanya wamé) dans le département de Damagaram Takaya et les villages de Chiya Mala (CR/Gafati), Baban Korami (CR/Droum) dans le département de Mirriah (Figure 1). Le climat de la zone est de type sahélien marqué par une pluviométrie irrégulière, mal répartie dans l'espace et dans le temps. Il est déterminé par deux (2) masses d'air qui sont la mousson (alizé du Sud) et l'harmattan (alizé du Nord), marquée par l'alternance de deux (2) saisons :

- ✓ Une saison des pluies qui dure trois (3) à quatre (4) mois (mi-juin à mi-septembre ou mi-juillet à mi-septembre) ;
- ✓ Une longue saison sèche qui dure environ huit (8) mois (d'octobre à juin).

Ce climat est aussi caractérisé par la faiblesse des précipitations. La Commune est située entre les isohyètes 250 et 300 mm de pluie. Cette pluviométrie est sujette à des variations interannuelles assez importantes, tant sur le plan des hauteurs enregistrées que sur celui de la répartition des pluies dans le temps et l'espace (PDC d'Alberkaram, 2016-2020).

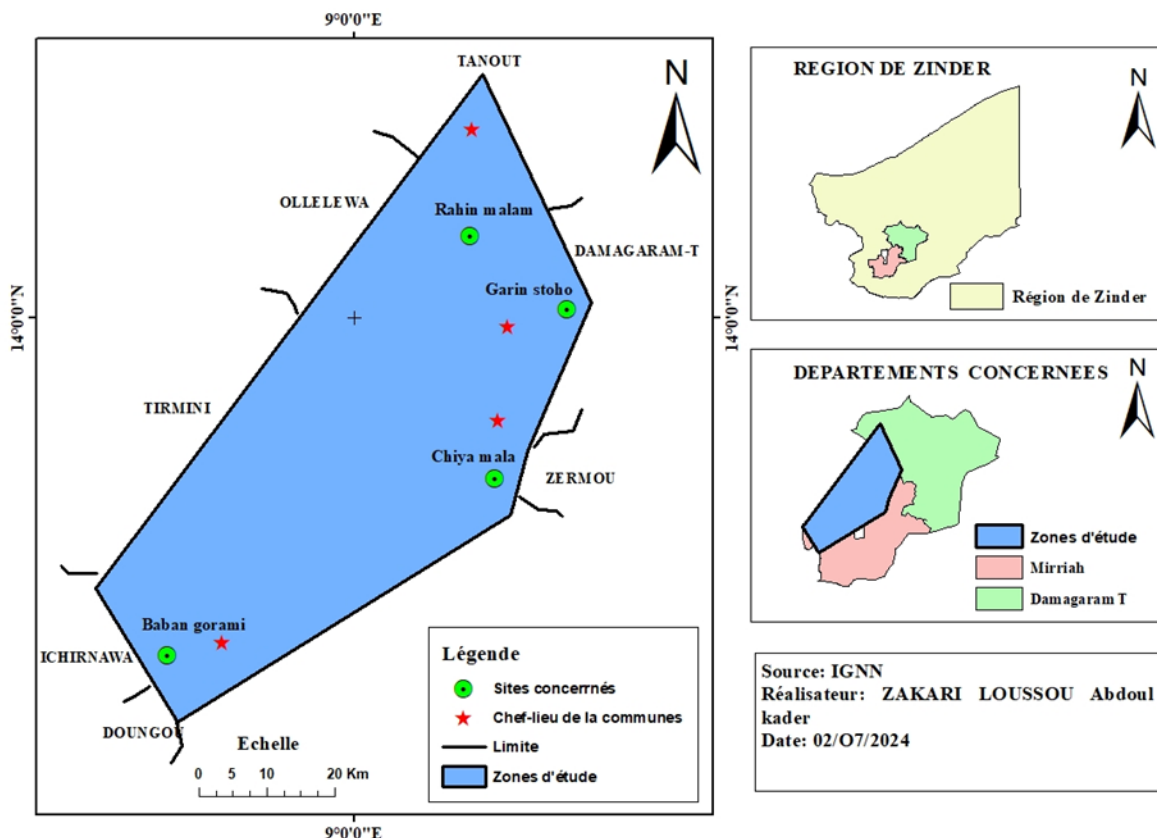


Figure 1 : Localisation du site d'étude

Matériel végétal

Le matériel végétal qui a été utilisé au cours de l'étude est composé de la variété améliorée dans Hadjia (UAM 09 1055-6) de niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.). Les semences ont été acquises auprès du Centre Régional de Recherche Agronomique (CERRA) de Zinder. La variété Dan Hadjia est une variété de couleur blanche, très précoce avec un cycle de 50-55 jours et montrant une résistance au striga, pouvant être cultivée en hivernage et en contre-saison. Le choix de cette variété est lié à son bon potentiel de rendement (1500 - 1900 kg/ha) (Abdoulaye, 2020). Les fertilisants utilisés comprenaient un digestat issu de la digestion anaérobie de la bouse de vache dans un biodigesteur, le complexe NPK (15-15-15) et diammonium phosphate DAP (46-0-18).

Dispositif expérimental :

En station, le dispositif expérimental utilisé était un bloc complet randomisé avec trois (3) répétitions et cinq (5) traitements (figure 2). En milieu paysan, le dispositif était constitué de blocs dispersés en trois (3)

répétitions et cinq (5) traitements où chaque producteur a été considéré comme une répétition. Chaque parcelle élémentaire avait une superficie de 25 m² (5 m x 5 m) pour des écartements de 50 cm x 50 cm et comportait 100 plantes (10 lignes et 10 poquets par ligne).

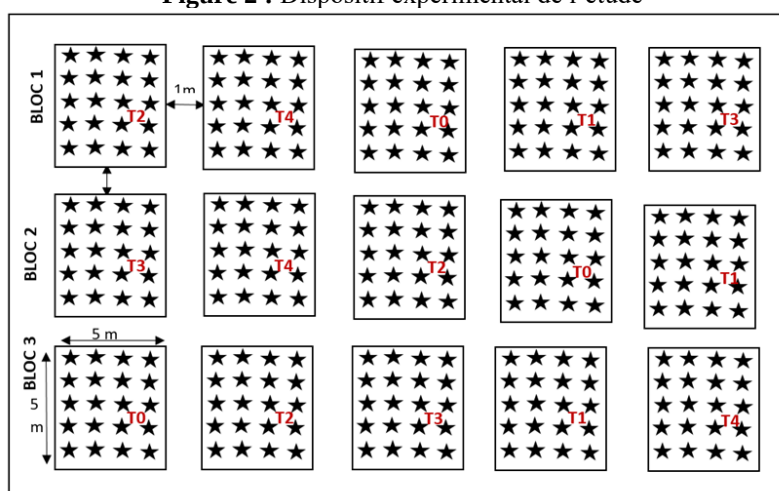
Tableau 1: Traitements et doses de fertilisants appliqués au niébé

Code	Traitement	Fertilisant utilisé	Dose appliquée
T0	Témoin	Aucun fertilisant	0 kg/ha
T1	Digestat	Digestat d'origine bovine	1 000 kg/ha
T2	NPK	NPK 15-15-15	100 kg/ha
T3	Digestat + NPK	Digestat d'origine bovine + NPK 15-15-15	500 kg/ha + 50 kg/ha
T4	DAP	DAP	100 kg/ha

Les données ont été prises suivant les recommandations inscrites dans les descripteurs du niébé (IBPGR, 1983) et d'après Cobbinah et al. (2011) (Tableau 2).

Deux types de parcelles ont été prévus dans le dispositif. Il s'agissait de la parcelle témoin absolue sans apport de fertilisants et de celle correspondant à la recommandation en fumure minérale et organique. Les traitements utilisés dans le dispositif étaient : **T0** : correspondant au témoin sans apport de fertilisant ; **T1** : fertilisation organique (digestat) à base de bouse de vache correspondant à la dose recommandée (1000 kg/ha), soit 100g par poquet ; **T2** : Apport de N_P_K, l'engrais minéral NPK (15-15-15), apporté à la dose de 100 kg/ha, correspondant à la fertilisation minérale recommandée, **T3** : Apport de digestat + N_P_K avec un apport de 500 kg/ha du digestat et apport de 50 kg/ha de NPK, **T4** : Apport de Di ammonium Phosphate (DAP), l'engrais minéral DAP (46-0-18), apporté à la dose de 100 kg/ha.

Figure 2 : Dispositif expérimental de l'étude



Légende : T0 : témoin ; T1 : Digestat ; T2 : Apport de N_P_K, T3 : Apport de digestat + N_P_K, T4 : Apport de Di ammonium Phosphate (DAP),

Échantillonnage et analyse du sol

Les échantillons prélevés dans le cadre de cette étude ont concerné la profondeur 0-20 cm. Ils ont été prélevés en début de saison avant l'implantation des expérimentations et à la récolte. Les prélèvements ont été faits en cinq points de prélèvement suivant la diagonale. Quant aux analyses des sols, elles ont été effectuées au laboratoire d'analyse du sol de l'INRAN pour la fin d'analyse physico-chimique. La granulométrie a été réalisée par la méthode internationale modifiée par l'emploi de la pipette de Robinson. Cinq (5) paramètres que sont le pH (eau et KCl), l'azote total, le potassium total, le phosphore assimilable et le carbone organique ont été dosés.

Analyse statistique des données :

Pour chacune des variables mesurées, les données ont fait l'objet d'une analyse de variance (ANOVA) avec le logiciel R 3.4.1. Lorsque les ANOVA étaient significatives, les moyennes étaient comparées à l'aide du test de Student-Newman-Keuls au seuil de probabilité de 5%. Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée en vue de trouver un lien entre les traitements et les paramètres étudiés.

Conduite de la culture

Avant le semis, les semences ont été traitées avec le fongicide Calthio à raison de 25 g/10 kg de semences. Les semences de niébé ont été semées en raison de deux (2) graines par poquet à une profondeur de 2,5 à 5 cm. 15 jours après le semis (JAS), le démariage à deux plants a été effectué, juste après le premier sarclage. Durant cette expérimentation, trois désherbages ont été effectués à la houe sur toutes les parcelles les 14e, 28e et 42e jours après le semis.

La protection de la culture contre les insectes nuisibles, le produit cypercal 50 EC, a été utilisé à raison de 0,5 l de cypercal dans 25 l d'eau par hectare (soit 1,25 ml de EC mélangé à 62,5 ml d'eau par parcelle élémentaire). Deux (2) traitements phytosanitaires ont été effectués au 21e et 35e jours après le semis.

Les apports de fertilisants ont été réalisés manuellement par microdosage au niveau des poquets. Le traitement T1 a reçu du digestat à la dose totale de 1 000 kg/ha. Le traitement T2 a reçu du NPK 15-15-15 à la dose de 100 kg/ha. Le traitement T3 a reçu une combinaison de 500 kg/ha de digestat et de 50 kg/ha de NPK 15-15-15. Le traitement T4 a reçu du DAP à la dose de 100 kg/ha. Le témoin T0 n'a reçu aucun apport de fertilisant. Les apports ont été fractionnés entre le 15e et le 30e jour après semis, selon le calendrier défini pour l'essai. Les quantités appliquées par poquet ont été calculées à partir de la densité de semis et de la superficie des parcelles élémentaires.

Collecte des données

Collecte des données agro-morphologiques

Les données collectées ont porté sur les aspects agro-morphologiques du plant. Pour éviter l'effet de bordure, cinq plants du milieu ont été sélectionnés pour les différentes prises sur chaque parcelle.

Tableau 2 : Variables utilisées pour la caractérisation agromorphologique.

N°	Variables	Code	Description et collecte de données
1	Diamètre de tige au collet	Dtig	Mesuré à l'aide d'un pied à coulisse
2	Nombre de nodule par plant	Nbre/nodl	Déterminé par un comptage manuel
3	Date de floraison	DF	Date 50% floraison
4	Date de maturité	DM	Date de la première grande récolte
5	Hauteur de plante (cm)	HP	Mesurer la hauteur des plantes avec une règle du sol au sommet de la plante
6	Nombre de ramification	NR	Déterminé par un comptage manuel
7	Nombre de Feuilles	NF	Compter le nombre de branches par plante sur les 3 répétitions
8	Nombre de gousses par plant	NGG	Compter le nombre de gousses par plante à la fin des récoltes
9	Poids de 100 graines	Pcg	Compter et peser 100 graines de chaque accession sur les 3 répétitions
10	Rendement des graines par ha	Rdt Kg/ha	Peser le poids des graines d'un plant pour estimer le poids (Kg/ha)

Source : descripteurs (IBPGR, 1983), (Gbaguidi et al., 2015 ; Nadjam et al., 2015 ; et Kouassi et al., 2017).

Résultats

Caractéristiques physico-chimiques initiales des sols

L'analyse granulométrique des sols indique une composition d'argile de 7,1 %, de limon grossier de 8,79 %, de limon fin de 6,25 % et de sable grossier de 30,18 %. Les sols ont alors une texture sablo-limoneuse. Quant aux caractéristiques chimiques initiales des sols, elles sont présentées dans le tableau (3).

Tableau 3 : Caractéristiques chimiques initiales des sols

pH	C (%)	N (%)	P2O5 (%)	K2O (%)
5,17	0,22	0,0008	2,659	0,1

Source : Résultats de nos analyses de laboratoire

Caractéristiques chimiques initiales du compost appliqué

Le tableau (4) présente la composition chimique du compost appliqué.

Tableau 4: Composition chimique du compost

Traitements	pH	C (%)	N (%)	P2O5 (%)	K2O (%)	mgO (%)
Digestat	6,82	16,84	1,53	9,659	0,6	16,84

Source : Résultats de nos analyses de laboratoire

Effet des traitements sur les paramètres chimiques du sol

L'analyse des propriétés chimiques des sols soumis aux différents traitements met en évidence des variations notables. Le pH du sol reste globalement faiblement acide, compris entre 6,1 et 6,6, avec une tendance à l'augmentation sous l'effet du digestat, suggérant un rôle d'amendement légèrement basifiant. Concernant le phosphore assimilable, les valeurs les plus élevées ont été observées au niveau du témoin (19,76 ppm), alors que les traitements fertilisés présentent des teneurs plus faibles (10 à 16 ppm). Le carbone organique et la matière organique sont davantage améliorés par les apports minéraux, notamment avec le DAP (0,269 % de C et 0,464 % de MO), tandis que le digestat seul n'apporte qu'un effet limité. En revanche, l'azote total augmente de manière significative avec les engrais minéraux, particulièrement lorsque le digestat est combiné au NPK (0,00484 %), révélant une synergie positive entre les apports organiques et minéraux. Ainsi, l'association **NPK + digestat** apparaît comme la meilleure stratégie pour accroître la teneur en azote du sol, tandis que le DAP se distingue par son effet sur la matière organique (Tableau 5).

Tableau 5 : Effet des traitements sur les paramètres chimiques du sol

Traitement	pH	P assimilable (ppm)	C organique (%)	MO (%)	N total (%)	Points forts	Limites
Témoin	6,17 (léger acide)	19,76 (le + élevé)	0,19	0,327	0,00087 (le + faible)	Forte disponibilité du P	Pauvreté en N, C et MO
Digesta	6,58 (pH ↑)	10,85 (faible)	0,196	0,338	0,00137	Améliore légèrement le pH	Peu d'impact sur N, C et MO
NPK	6,17 (stable)	12,79	0,256	0,441	0,00288	Améliore C, MO et N	P assimilable faible
NPK + Digestat	6,49 (pH ↑)	13,04	0,176 (faible)	0,304 (faible)	0,00484 (le + élevé)	Forte amélioration de l'azote	Faible effet sur C et MO
DAP	6,27	16,02 (élevé)	0,269	0,464 (le + élevé)	0,00132	Améliore C et MO	Faible enrichissement en N

Source : Résultats des analyses de laboratoire de l'INRAN

Effet des traitements sur la nodulation du niébé

L'effet des traitements sur la nodulation du niébé est présenté dans la figure 3. Les analyses statistiques révèlent que les traitements ont eu d'effets significativement différents (au seuil de 5 %) sur la nodulation du niébé. La combinaison de NPK+digestat a donné la valeur moyenne la plus élevée du nombre de nodules par rapport aux autres fertilisants. Cette valeur (46,25 nodules) est suivie de celle obtenue avec du digestat qui est de 42,11 nodules. Comparativement au témoin (22 nodules), la dose de digestat a produit environ 2 fois plus de nodules que le témoin.

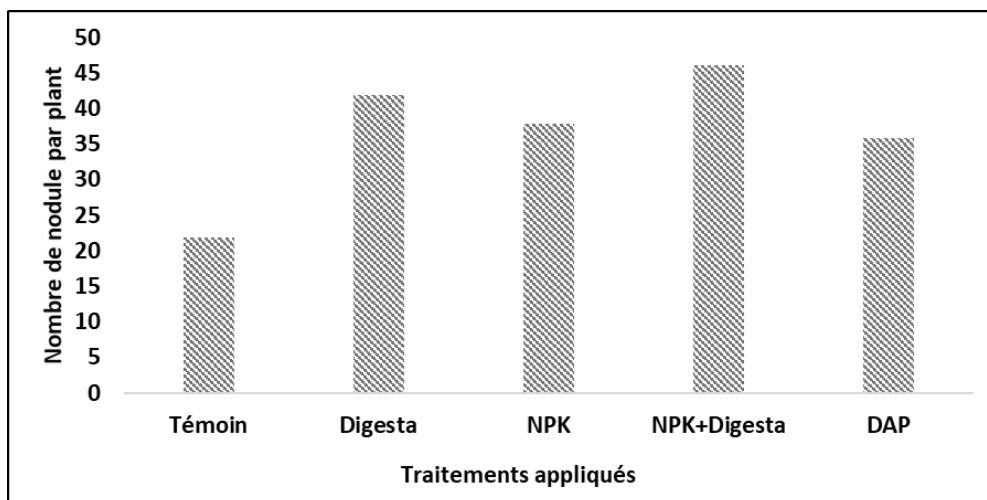


Figure 3: Effets des traitements sur la nodulation du niébé

Effets des fertilisants sur les paramètres de croissance

Le tableau 6 présente la comparaison des effets des fertilisants sur les paramètres de croissance (le diamètre au collet, la hauteur de plant, le nombre de ramifications et le nombre de feuilles). En ce qui concerne tous ces paramètres, seul le diamètre au collet n'a montré aucun changement majeur et a été presque identique pour les fertilisants et les témoins ($P = 0,060$). L'analyse sur les fertilisants révèle que les plantes sous NPK et digestat + NPK ont un diamètre au collet moyen de $5 \pm 0,57$ mm, supérieur à celui des parcelles témoin ($3,83 \pm 0,16$ mm) et du DAP (4 mm). Cependant, l'analyse sur le nombre de ramifications émises par la tige principale a révélé que la combinaison de digestat et NPK produit plus de ramifications que les autres traitements ($P = 0,024$). Le nombre de feuilles et la hauteur des plantes ont été plus élevés pour la combinaison de compost et NPK. Le nombre de feuilles des plantes fertilisées à la base de digestat et NPK représente le double du témoin. L'analyse de variance a montré une différence significative entre les traitements au seuil de 5% selon le test de Newman-Keuls avec $\text{Pr}>F=0,000$ (Tableau 6). Les performances du digestat associé au NPK ont été les meilleures avec $28 \pm 0,57$ feuilles, suivies par celles du digestat avec $25,33 \pm 0,33$ feuilles. Les parcelles traitées avec du DAP ont enregistré le plus faible nombre de feuilles parmi les fertilisants, avec $22,67 \pm 0,82$, suivies par le témoin non fertilisé avec $14,33 \pm 1,20$ feuilles.

Tableau 6 : Effets des fertilisants sur les paramètres de croissance

Traitements	Dtic		HP		NF		NR	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
Digestat	4,66±0,33a	0,57	35,33±2a	3,47	25,33±0,33a	0,57	4,67±0,99a	0,57
Digestat + N_P_K	5±0,57a	1	36,77±2,12a	3,68	28±0,57a	1	5±0,57a	0
DAP	4±0a	0	35,77±0,86a	1,50	22,67±0,82b	1,52	4±0,33b	0
N_P_K	5±0a	0	29,22±0,40b	0,69	24,67±0,33a	0,57	4,67±0,88a	0,57
Témoin	3,83±0,16a	0,28	26,55±0,48b	0,84	14,33±1,20c	2,08	3,57±0,57b	0,33
<i>Pr>F</i>	0,060		0,001		0,000		0,024	
P	Ns		S		S		S	

Légende : Dtic : Diamètre de tige, HP : Hauteur de plant, NF : Nombre de feuilles, NR : Nombre de ramifications. *Pr>F* : probabilité ; S : significatif ; NS : non significatif. Dans une même colonne, les valeurs qui portent la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Newman-Keuls.

Effet des fertilisants sur les paramètres physiologiques du niébé

Les résultats des mesures des paramètres physiologiques sont présentés dans le tableau (7). Les observations portaient sur la date de début de la floraison de 50% des fleurs et sur la maturité de la gousse de chaque traitement. Les plantes des parcelles traitées avec du DAP ont atteint 50 % de floraison le 26e JAS et 24e JAS pour les autres traitements. Toutefois, dans les parcelles témoins, la floraison a été observée au 30e JAS. Le début de maturité de gousses a été observé à 54,67 ± 1,20 JAS sous digestat, à 53,67 ± 1,85 JAS sous NPK, à 56,67 ± 1,20 JAS sous DAP et à 53,00 ± 1,52 JAS sous la combinaison digestat + NPK. La maturité a été plus tardive dans le traitement témoin, avec 61,00 ± 1,00 JAS. Les différences entre traitements étaient significatives ($p = 0,014$).

Tableau 7 : Effet de fertilisants sur la date floraison et maturité de gousses en jours (JAS)

Traitements	DF		DM	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
Digestat	24,67±0,33a	0,577	54,67±1,202b	2,082
Digestat + NPK	24,67±0,33a	0,577	53,00±1,52b	2,646
DAP	26,67±0,33a	0,577	56,67±1,20b	2,082
NPK	24,67±0,33a	0,577	53,67±1,85b	3,215
Témoin	30,00±0b	0	61,00±1a	1,732
<i>Pr>F</i>	0,000		0,014	
P	s		s	

Légende : DF : Dates de floraison, DM : Date de maturité de gousses. *Pr>F* : probabilité ; S : significatif. Dans une même colonne, les valeurs qui portent la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Newman-Keuls.

Effets des fertilisants sur les paramètres agronomiques

Sur l'aspect agronomique, l'analyse a porté sur le nombre de gousses par plante (NG), le nombre de graines par gousse (NGG) et le poids sec des graines (PG) de chaque traitement.

S'agissant du nombre de gousses par plante (NG), les plantes des parcelles sous digestat + N_P_K présentent le nombre le plus élevé (en moyenne $25 \pm 0,57$ gousses) suivi de digestat avec $21,67 \pm 0,88$ gousses en moyenne. Le nombre moyen de gousses par plante au niveau de parcelles de NPK et DAP est respectivement de $20,66 \pm 0,33$ et $19,66 \pm 0,57$ gousses. Cette variation entre les traitements est statistiquement hautement significative au seuil de 5% selon le test de Newman-Keuls avec $Pr > F = 0,000$ (Tableau 8).

Nombre de graines par plante (NGr/P), l'analyse a révélé que les plantes traitées avec digestat + NPK ont en moyenne le nombre de graines le plus élevé ($19,33 \pm 0,66$ graines) que les plantes sous témoin ($15,33 \pm 0,33$ graines), digestat ($17,33 \pm 0,88$ graines), DAP (17 ± 1 graines) et NPK ($18 \pm 0,57$ graines). Cette variation entre les traitements est très hautement significative au seuil de 5% selon le test de Newman-Keuls avec $Pr > F = 0,034$.

Pour le poids de 100 graines, les valeurs les plus élevées ont été observées sous DAP, avec $22,67 \pm 0,33$ g, suivi du traitement digestat + NPK, avec $22,00 \pm 1,15$ g, et du digestat seul, avec $22,00 \pm 0,57$ g. Les valeurs les plus faibles ont été enregistrées sous NPK, avec $20,67 \pm 0,88$ g, et dans le témoin, avec $20,67 \pm 0,57$ g. Toutefois, ces différences n'étaient pas statistiquement significatives au seuil de 5% ($p = 0,061$).

Le rendement estimé en kg/ha de chaque traitement est consigné dans le tableau (8) ci-dessous. Les plantes des parcelles sous la combinaison du digestat + NPK se démarquent des autres traitements avec un rendement en grain de $629,11 \pm 49,05$ kg/ha. Pour les plantes des parcelles sous NPK, le rendement en grain estimé est de $575,83 \pm 45,69$ kg/ha, ce qui est relativement supérieur à celui des plantes des parcelles DAP et digestat, respectivement, avec un rendement de $519,22 \pm 43,51$ et $550,83 \pm 17,09$ kg/ha. Pour le témoin, le rendement obtenu est de $343,88 \pm 12,99$ kg/ha. Les différences sont très hautement significatives entre les différents traitements ($p = 0,003$).

Tableau 8 : Effets des fertilisants sur les paramètres agronomiques

Traitements	NG		NGG		Pcg		Rdt	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
Digestat	21,67±0,88b	1,52	17,33±0,88a	1,155	22±0,57a	1	550,83±17,09a	29,61
Digestat + N_P_K	25±0,57a	1	19,33±0,66b	1,155	22±1,15a	2	629,11±49,05c	84,97
DAP	19,66±0,57c	0,57	17±1a	1,73	22,67±0,33a	0,57	519,22±43,51a	75,37
N_P_K	20,66±0,33c	1,52	18±0,57b	1	20,67±0,88b	1,52	575,83±45,69a	79,14
Témoin	17±0,57	1	15,33±0,33c	0,57	20,67±0,57b	0,33	343,88±12,99b	22,50
<i>Pr>F</i>	0,000		0,034		0,061		0,003	
P	s		s		ns		s	

Légende : NG : Nombre de gousses, NGG: Nombre de graines par gousse, Pcg: Poids de 100 graines, Rdt: Rendement en graine (kg/ha). *Pr>F* : probabilité ; S : significatif ; NS : non significatif. Dans une même colonne, les valeurs qui portent la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Newman-Keuls.

Analyse en composantes principales (ACP)

La figure (4) représente les résultats de l'analyse en composantes principales (ACP) avec les différents paramètres étudiés. Cette analyse a permis de distinguer deux axes principaux qui expliquent 71,3 % des informations sur les traitements testés. Par ailleurs, l'analyse de cette figure fait ressortir que l'association du digestat + NPK et du digestat est corrélée positivement avec l'axe 2 et donc se distingue des autres traitements : le rendement, le nombre de feuilles par plante, le nombre de ramifications, la hauteur de la plante et le nombre de graines par gousse. Le témoin est aussi corrélé avec l'axe 2 caractérisé par la date de floraison. Cela démontre que la précocité de la variété UAM n'est pas liée aux fertilisants. Le NPK est corrélé à l'axe 1, caractérisé par le poids de la gousse et la date de maturité de la gousse. Ainsi, le diamètre au collet et le nombre de gousses par plante sont déterminés par l'apport de NPK qui est corrélé à l'axe 1.

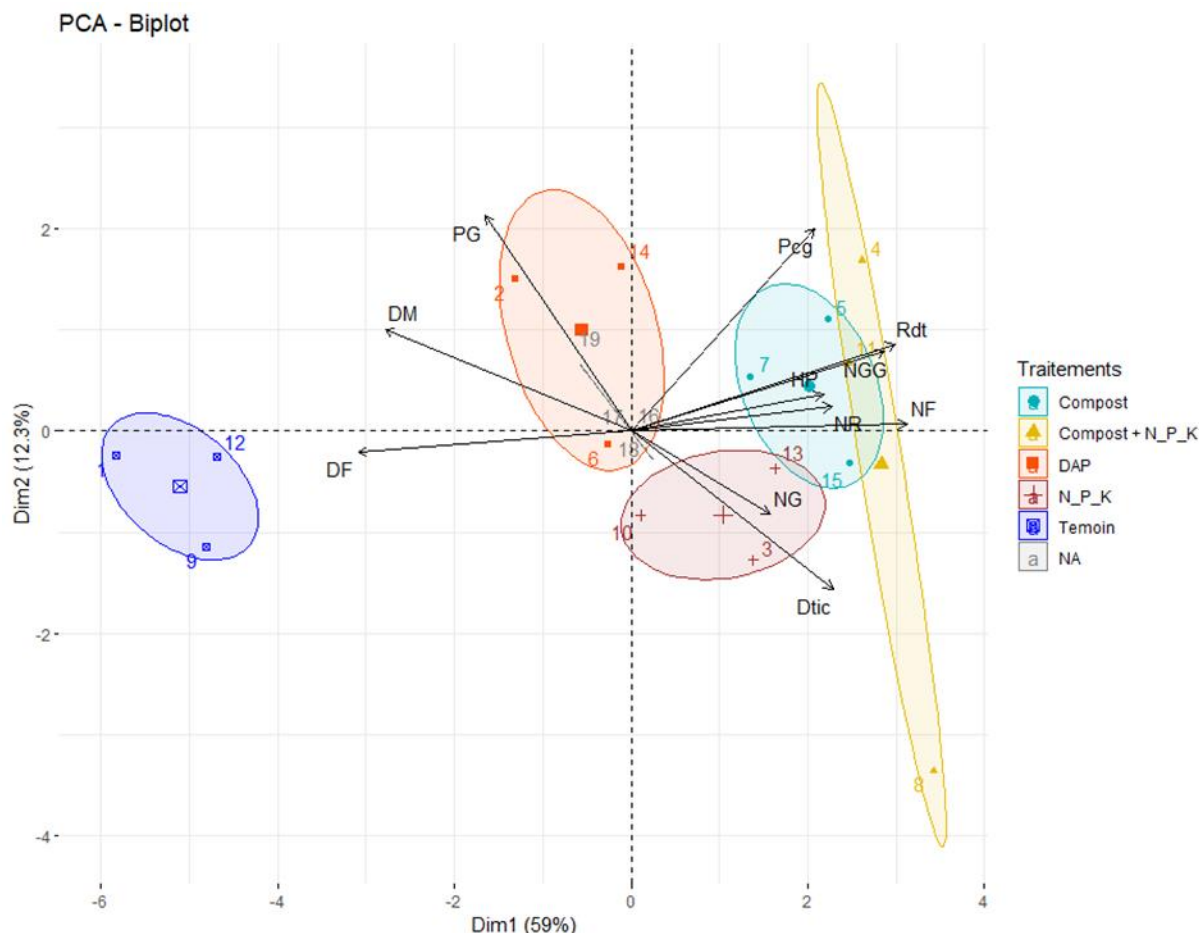


Figure 4: Analyse en composantes principales

Analyse des corrélations entre les paramètres agro morphologiques étudiés

L'analyse des corrélations entre les 11 variables étudiées a montré que la majorité d'entre elles était significativement corrélée (Figure 5). Des corrélations positives et hautement significatives ont été observées entre le diamètre de la tige au collet et le nombre de gousses par plante ($r = 0,80$; $p = 0,0001$), entre la hauteur de la plante et le nombre de feuilles ($r = 0,68$; $p = 0,0001$), ainsi qu'entre le nombre de feuilles par plante et le rendement en grains ($r = 0,85$; $p = 0,0001$). Des corrélations négatives et hautement significatives ont également été observées entre la date de floraison et le nombre de feuilles ($r = -0,94$; $p = 0,0001$), ainsi qu'entre la date de maturité et le nombre de gousses par plante ($r = -0,89$; $p = 0,0001$). Une corrélation négative très forte et hautement significative a par ailleurs été observée entre la date de floraison et le rendement en grains ($r = -0,94$; $p < 0,0001$).

L'analyse de ces résultats permet de faire ressortir plusieurs relations importantes entre les caractères étudiés. Les plantes présentant un diamètre de la tige au collet plus élevé tendent à produire un plus grand nombre de gousses. De même, l'augmentation de la hauteur des plantes est associée à une augmentation du nombre de feuilles. Le nombre de feuilles par plante est également fortement et positivement associé au rendement en grains, ce qui indique que les plantes présentant un feuillage plus développé tendent à obtenir des rendements plus élevés dans les conditions de cette étude.

Étant donné que la date de floraison est exprimée en jours après semis, la corrélation négative observée avec le rendement indique qu'une floraison plus tardive est associée à un rendement plus faible. Inversement, les plants atteignant la floraison plus tôt tendent à présenter un rendement plus élevé dans les conditions de cette étude.

De même, la corrélation négative observée entre la date de maturité et le nombre de gousses par plante signifie qu'une maturité plus tardive est associée à un nombre plus faible de gousses, tandis qu'une maturité plus précoce est associée à un nombre plus élevé de gousses. Ces relations décrivent des associations entre les caractères étudiés et ne permettent pas, à elles seules, d'établir une relation de causalité.



Figure 5: Analyse des corrélations entre les paramètres agro morphologiques

Discussion

Les résultats de cette étude confirment l'effet significatif de la fertilisation sur les performances agro-morphologiques, physiologiques et agronomiques du niébé (*Vigna unguiculata*), en particulier lorsque des fertilisants organiques et minéraux sont combinés. Le pH du sol reste globalement faiblement acide, compris entre 6,1 et 6,6, avec une tendance à l'augmentation sous l'effet du digestat, suggérant un rôle d'amendement légèrement basifiant. Des résultats similaires ont été obtenus au Burkina Faso, par Sanou (2016) qui a montré que l'ajout d'amendements organiques aux engrais minéraux améliore la fertilité du sol et la productivité du niébé. Dans le même sens, en Côte d'Ivoire, les résultats ont montré que le nombre et le poids de nodules les plus élevés sont obtenus avec la fertilisation organique et favorisent une meilleure nodulation, essentielle pour la fixation de l'azote atmosphérique. (Jacob et al., 2019 et Oyata et al., 2024). Le diamètre au collet n'a pas montré de variation significative entre les traitements ($P = 0,060$), ce qui rejoint les observations de Diatta et al. (2024), où certains paramètres structuraux du niébé se sont avérés moins sensibles à court terme à l'effet des amendements. Toutefois, la hauteur de la plante, le nombre de feuilles et les ramifications ont nettement augmenté sous l'effet de la combinaison digestat + NPK, avec un doublement du nombre de feuilles par rapport au témoin. Cette différence significative enregistrée sur les paramètres de croissance obtenue par le traitement T3 s'explique par le fait que la combinaison de digestat avec l'engrais minéral (NPK) libère d'importants éléments nutritifs indispensables à la croissance de la culture du niébé et assure une forte capacité de rétention en eau. En effet, l'utilisation combinée de ces fumures permettrait d'améliorer la disponibilité en éléments nutritifs et de créer des conditions favorables (disponibilité en eau et en air) pour le bon développement des racines (Alain et al., 2019). Cette amélioration du développement végétatif peut être attribuée à une meilleure disponibilité en nutriments majeurs, notamment l'azote et le phosphore, en accord avec les travaux de Zydelis et al. (2019) et Jan (2018).

La dynamique phénologique a également été modifiée par les traitements. Les plantes fertilisées ont atteint 50 % de floraison entre le 24^e et le 26^e jour après semis (JAS), contre 30 JAS pour le témoin. La maturité de gousses a également été avancée chez les traitements fertilisés, notamment avec digestat + NPK (53 JAS), alors qu'elle était plus tardive chez les témoins (61 JAS). Cette accélération du cycle confirme les résultats de Faye et al. (2024), qui ont observé une précocité accrue sous NPK chez plusieurs variétés sahéliennes. Selon ces résultats, la croissance végétale des plants du niébé est observée lorsque les fumures organiques et minérales sont combinées par rapport à une fertilisation minérale standard. Ils concordent également avec les résultats de Situmeang et al. (2015) et d'autres études sur

diverses cultures pluviales telles que : le haricot mungo (Diatta et al., 2023), le sorgho (Sher et al., 2022), le soja (Almaz et al., 2017), et le riz (Kavitha et al., 2007). Sur le plan agronomique, les différences de rendement sont fortement significatives. La combinaison Compost + NPK a permis d'obtenir un rendement moyen en grains de $629,11 \pm 49,05$ kg/ha, supérieur à celui du compost seul ($550,83 \pm 17,09$ kg/ha) et aux traitements minéraux seuls (NPK : $575,83 \pm 45,69$ kg/ha ; DAP : $519,22 \pm 43,51$ kg/ha). Le témoin reste beaucoup plus bas ($343,88 \pm 12,99$ kg/ha). Ces résultats corroborent ceux de Diatta et al. (2024), qui ont montré que le compost seul ou associé à une demi-dose de NPK améliore le rendement du niébé tout en réduisant les coûts pour les petits exploitants. Cela confirme également ceux d'auteurs tels que Yayuk et al. (2021), qui ont trouvé que l'utilisation du compost sur le niébé augmente sa résistance au stress hydrique et son rendement en graines. La même combinaison a été étudiée par SOMDA et al. (2017) sur les céréales, montrant que l'apport en organo-minéraux améliore le rendement du sorgho et souligne le rôle essentiel des engrais minéraux et des amendements organiques appliqués conjointement dans l'agriculture. Selon Akanza et al. (2016, 2011), l'association de la fertilisation minérale et organique augmente la production de maïs et de manioc. L'analyse en composantes principales (ACP) a permis de mettre en évidence l'association positive entre les traitements organo-minéraux et les paramètres de performance : nombre de feuilles, de gousses, de graines, ainsi que le rendement. Les corrélations observées renforcent la cohérence des résultats : Les corrélations observées renforcent la cohérence des résultats : une floraison plus tardive est fortement et négativement associée au rendement en grains, tandis qu'une floraison plus précoce tend à être associée à un rendement plus élevé dans les conditions de cette étude, tandis que la hauteur et le nombre de feuilles sont fortement corrélés positivement au rendement ($r = 0,85$; $p < 0,001$). Cette cohérence structurelle et physiologique reflète une meilleure efficacité de la plante à capter les ressources lorsqu'elle est correctement nourrie. Ces résultats sont en harmonie avec ceux obtenus au Ghana par Owusu et al. (2021), qui ont mis en évidence une corrélation négative significative entre le nombre de jours jusqu'à 50 % de floraison et le rendement en grain, indiquant qu'une floraison plus tardive était associée à un rendement plus faible dans leurs conditions d'étude. Au Botswana, Kgasudi et al. (2024) ont relevé que le nombre de feuilles, la hauteur de la plante et le rendement par plante sont positivement corrélés, confirmant le lien direct entre développement végétatif et productivité. Au Kenya, Nuryati et al. (2024) identifient le nombre de feuilles comme un des marqueurs les plus fiables corrélés positivement au rendement total, notamment sous fertilisation organique.

Ainsi, l'étude confirme l'intérêt agronomique et économique du compost (digestat) comme fertilisant organique. Son utilisation, seule ou en association avec une dose réduite d'engrais minéral, constitue une solution agroécologique viable pour renforcer la productivité du niébé, tout en s'adaptant aux contraintes économiques des petits exploitants agricoles en contexte sahélien.

Conclusion

L'étude a évalué l'effet de différents fertilisants (digestat, NPK, DAP et leur combinaison) sur la croissance, la physiologie et le rendement du niébé. Les résultats montrent que la combinaison digestat + NPK a donné les meilleures performances, avec les valeurs les plus élevées pour le nombre de feuilles, de ramifications, de gousses et de graines par plante, ainsi que le rendement maximal (629,11 kg/ha). Le digestat seul occupe la deuxième place, suivi du NPK et du DAP, tandis que le témoin non fertilisé a présenté les résultats les plus faibles. L'association digestat + NPK optimise à la fois la croissance végétative et la production du niébé, tandis qu'un apport unique (NPK, compost ou DAP) a un effet positif mais moins marqué, et l'absence de fertilisation réduit fortement la performance.

Contributions des auteurs

Pour ces travaux, ZLA, LA, GY et AM ont contribué à la collecte des données sur le terrain et à la rédaction du document. LA a supervisé les travaux. GY a mis à la disposition de l'équipe le matériel de travail.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. Abdoulaye Z.O., Baoua B.I., Amadou L., Tamò M., Pittendrigh B.R., 2019. Les contraintes entomologiques de la culture du niébé et leur mode de gestion par les producteurs dans les régions de Maradi et Zinder au Niger, Int. J. Biol. Chem. Sci, ISSN 1997-342X, 13(3): 1286-1299.
2. Akanza K. P, Sanogo S, N'Da H. A., 2016. Influence combinée des fumures organiques et minérales sur la nutrition et le rendement du

- maïs : Impact sur le diagnostic des carences du sol. *Tropicultura*. 34 (2) 208- 220.
3. Akanza K.P., N'Da H.A, Gbakatchetche H.C., 2020. La culture du niébé : bon précédent cultural du maïs en Côte d'Ivoire. *J. Appl. Biosci.*, 149: 15338–15343. DOI: <https://doi.org/10.35759/JABs.149.8>
 4. Akanza K.P., Yayo K. A., 2011. Fertilisation organo-minérale du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) et diagnostic des carences du sol. *Journal of Applied Biosciences* 46: 3163– 3172, 10 pages.
 5. Alain P.K., Alimata A.B, Kalifa C, Abdramane S, Souleylane O., et NACRO H.B., 2019. Effets à court terme de l'application des fientes de volaille sur le rendement du maïs (*Zea mays* L.) et les caractéristiques chimiques d'un sol ferrallitique dans la zone sud-soudanienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i4.11>
 6. Almaz M., Halim R., et Martini M., 2017. « Effet de l'application combinée de fumier de volaille et d'engrais minéraux sur le rendement et les composantes du rendement du maïs en association avec le soja. » *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science* 40, n°1: 173 184.
 7. Amir S.Y., Guero Y., Mella M.T., Abdourahamane I.N., 2018. Évaluation participative des variétés de riz en riziculture autour des mares au Niger : cas des communes rurales d'Imanan et de Tondikandia, *Journal of Applied Biosciences*, ISSN 1997-5902, p. 127.
 8. Andre A.D., Ghislain K., Boubacar C., César B., Anicet G. B. Manga, Mahmoud S., Cheikh M., Calogero S. 2024. Compost as an Alternative to Inorganic Fertilizers in Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] Production. *Legume Science*. <https://doi.org/10.1002/leg3.247>
 9. Bado B.V., 2002. Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéennes et soudanaises du Burkina Faso. Thèse de PhD, Université Laval, Québec, Canada. 184 p.
 10. Bationo A., Ntare B.R., Tarawali S., et Tabo R., 2002. Soil Fertility management and cowpea production in the semiarid and tropics. Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production; Fatokum CA, Tarawali SA, Sing BB, Kormewa AM, and Tanio. (Eds). In *Proceedings of World Cowpea Conference III*, IITA, Ibadan, Nigeria, 4-8 September 2000; 301-318.
 11. Coly I., Badiane A., Ndiaye Y.N., Ba D.G., et Goudiaby A.O.K. 2021. Influence du taux de fertilisation organominérale sur les perfor

- mances agronomiques du mil sanio (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) en Basse-Casamance (Afrique australe). Doi.org/10.1051/medsci/2021204
12. Diatta A.A., Manga A.G.B., et Bassène C.2023. « La production durable de tomates à partir d'effluents de poissons améliore la croissance des plantes, les composantes du rendement et le rendement au nord du Sénégal. » *Agronomy* 13: 2696.
 13. Gbaguidi A.A., Assogba P., Dansi M., Yedomonhan H., et Dansi A. 2015. Caractérisation agro-morphologique des variétés de niébé cultivées au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(2), 1050-1066.
 14. Houot S., Francou C., Lineres M., Le Villio M., 2002. Gestion de la maturité des composts : conséquence sur leur valeur amendante et la disponibilité de leur azote. 1ère partie. *Echo-MO* no 34. 3-4.
 15. Institut National de Statistique.2012. État et structure de la population du Niger. 88p
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj4q2oyn8AhVOasAKHdlxDeWQFnoECA8QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.statniger.org%2Fwpcontent%2Fuploads%2F2020%2F05%2FETAT_STRUCTURE_POPULATION.pdf&usg=AOvVaw3Haiz8Iv0H-4bQx7IviU2E
 16. Jacob N.K., N'Guessan K., Koutoua A., Joël K.Y. et Justin K.Y. 2018. Influence de la fertilisation sur la capacité de nodulation de deux espèces de légumineuses, *Vigna radiata* L.Wilczek et *Vigna unguiculata* L.Walp (Fabaceae). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 13(7): 3079-3086, DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i7.9>
 17. Jan MF. 2018. Impact of Integrated Potassium Management on Plant Growth, Dry Matter Partitioning, and Yield of Different Maize (*Zea Mays* L.) Hybrids. *Pure Appl. Bio.*, 7(4). DOI: <https://doi.org/10.19045/bspab.2018.700148>.
 18. Kaboré P.N., Sanon M., Ouédraogo A., Barbier B., et Barro A.2023. Impacts of Intra-Seasonal Rainfall Variability and Cropping Practices on Cereal Yields in Sub-Saharan Africa. *American Journal of Agriculture and Forestry*. pp. 190-202. doi: 10.11648/j.ajaf.20231105.13
 19. Kavitha, R., et P. Subramanian. 2007. « Effet de l'application de compost de déchets solides municipaux enrichi sur la croissance, l'absorption des nutriments par les plantes et le rendement du riz. *Journal of Agronomy* 6: 586
 20. Kgasudi B.K., Samodimo N., Goitseone M., Motlalepula P.T., et Lekgari A.L. 2024. Genetic Variability, Heritability, Correlation, and Path Coefficient Analysis of Growth and Yield Traits of Cowpea

- [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] Parental Genotypes and their F1 Crosses. *European Journal of Agriculture and Food Sciences*. ISSN2684-1827
21. Lambot C., Fatokun, C.A., S.A. Tarawali, B.B. Singh, P.M. Kormawa, and M. Tamo (eds) 2002. Industrial potential of cowpea. In: Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production. Proceedings of the World Cowpea Conference III held at the International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan, Nigeria, 4–8 September 2000. IITA, Ibadan, Nigeria. pp367-423.
 22. MDA. 2010. Plan d’actions opérationnel de la filière niébé du Niger. PRODEX Rapport définitif. 93 p. Ministère du Développement Agricole.
 23. Ministère de l’Agriculture.2021. Rapport d'évaluation de la campagne agricole d'hivernage 2021 Perspectives Alimentaires. 51p. niger.org/IMG/pdf/rapport_definitif_des_resultats_de_l_eper_2021.pdf
 24. Mosier AR, Syers JK, Freney JR. 2004. Agriculture and the Nitrogen Cycle: assessing the impacts of fertilizer Use on food production and the environment. Island Press.
 25. Mulambuila M.N., Kamambo R.M., Jadika C.T., Tshibamba J.M.M., Mukanya M.K.B., 2015. Étude comparative de quelques fertilisants (Bat-guano et DAP) sur le rendement du niébé (*Vigna unguiculata*, L. Walp.) dans la région de Gandajika (RDC). *Journal of Applied Biosciences*, 92:8651-8658.
 26. Nuryati Nuryati , Rudy Soehendi , Catur Hermanto , Suyamto Suyamto , Ruly Krisdiana , Saptowo Jumali Pardal , Jumakir Jumakir , Mochammad Muchlish Adie , Ayda Krisnawati , Yuliantoro Baliadi and Basri Abubakar. 2024. Morphological diversity, correlation studies, and multiple-trait selection for yield and yield components of local cowpea varieties. <https://doi.org/10.1515/opag-2022-0231>
 27. Owusua E.Y., Benjamin B.K., Francis K., Mohammed K., Richard A., Patrick A.B., Gloria A., Emmanuel K.S., et Memunatu I.2021. Genetic variability, heritability, and correlation analysis among maturity and yield traits in Cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp) in Northern Ghana. doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07890
 28. Oyata E. B.B., Rewe T., et Leo O. 2024. The Effects of Organic Fertilizers and NPK on Growth and Yields of Cowpea (*Vigna unguiculata* L) in Kano Plains, Kisumu, Kenya. *International Journal of Plant & Soil Science*. DOI: <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i94988>

29. Saidou A K., Abaidoo R C., Singh B B., Iwuafor E N O., Sanginga N., 2007. Variability of cowpea breeding lines to low phosphorus tolerance and response to external application of phosphorus. In: Bationo A., Waswa B., Kiharu J., Kimetu J. (eds.), *Advances in Integrated Soil Fertility Management in Sub-Saharan Africa: Challenges and Opportunities*. Pp 413-421.
30. Sanou W. 2016. Effets de la fertilisation organo-minérale sur le rendement du niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.) et les paramètres chimiques du sol en situation réelle de culture à l'ouest du Burkina Faso. Diplôme d'ingénieur du développement rural option : agronomie à l'Institut Du Développement Rural de l'Université Polytechnique De Bobo-Dioulasso
31. Sher A., AdnanM., Sattar,. 2022. « L'application combinée d'amendements organiques et inorganiques a amélioré le rendement et la valeur nutritionnelle. Qualité du sorgho fourrager. » *Agronomy* 12: 896. <https://doi.org/10.3390/agronomie12040896>.
32. Situmeang Y.P, Adnyana I.M, Subadiyasa I.N and Merit I.N. 2015.
« Effet d'une dose de biochar de bambou, de compost et de phonska sur la croissance du maïs (*Zea mays* L.) en zone aride ». *Revue internationale des sciences avancées, de l'ingénierie et des technologies de l'information*, 5 : 433–439. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.5.6.609>.
33. Somda B.B., Ouattara B., Serme I., Pouya M.B., Lompo F., Taonda S.J.B., et Sedogo PM. 2017. Détermination des doses optimales de fumures microdose organo-minérales 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>
34. Yayuk D., Titiek I., et Anna S.K. 2021. Application Of Organic Matter To Increase Growth And Yield Of Cowpea (*Vigna Unguiculata* L.) Under Drought Stress Conditions. *Nat. Volatiles & Essent. Oils*, 2021; 8(6): 2108-2122
35. Zydelis R., Sigitas L., Jonas V., et Virmantas P. 2019. Effect of Organic and Mineral Fertilisers on Maize Nitrogen Nutrition Indicators and Grain Yield. *Zemdirbyste Agriculture*, 106(1): http://www.zemdirbyste.agriculture.lt/1061_str2/.