



Original Paper

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

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

Effets de la poudre d'os et de fumier de zébu sur la production de haricot (*Phaseolus vulgaris* L) sur les Hautes Terres malgaches

Noroso Christine RAZAFINDRAMANANA^{1*}, Patrice AUTFRAY²,
Raymond RABENSON³, Jean Chrysostôme RANDRIAMBOAVONJY¹,
Mihoby Arivony RAJAOMINOSON⁴ et Jean Marie RAZAFINDRAJONA¹

¹Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, BP 175 - 101 Antananarivo, Madagascar.

²Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Agroécologie et intensification durable des cultures annuelles (UPR AIDA).

³FOFIFA - CENRADERU - Centre national de Recherche appliquée au développement rural, Madagascar.

⁴Ecole Professionnelle Supérieure Agricole à Bevalala-Réseaux des Ecoles Supérieures Jésuites à Madagascar.

*Auteur correspondant; E-mail : soamananjara@gmail.com; Tel: +261 0340709630

RESUME

Une étude a été entreprise sur les Hautes Terres malgaches. L'objectif est d'évaluer l'effet de la poudre d'os et le fumier de zébu sur la croissance et le rendement de haricot (*Phaseolus vulgaris*). L'expérimentation a été mise en place avec un dispositif en blocs randomisés à quatre répétitions et quatre traitements : (1) parcelles témoins non fertilisées (T0) et parcelles fertilisées respectivement par (2) de fumier de zébu pur (Tfu), (3) de fumier de zébu combiné avec du N₁₁P₂₂K₁₆ (Tfu+NPK) et (4) de fumier de zébu combiné avec de la poudre d'os (Tfu+os). Les résultats ont montré que la combinaison de fertilisants organiques et minéraux a offert de meilleures croissances (hauteur de la plante et nombre des feuilles) par rapport au simple apport de fertilisant organique. Par ailleurs, les rendements en grains de haricots ont été significativement plus élevés avec Tfu+os (1,77 t.ha⁻¹) par rapport aux traitements Tfu+NPK (1,47 t.ha⁻¹) et Tfu (1,32 t.ha⁻¹). Ces trois traitements étant significativement plus élevés que le traitement témoin sans aucun apport de fertilisant T0 (0,73 t.ha⁻¹). En conclusion, l'apport de la poudre d'os apparaît comme un bon substitut à l'emploi d'engrais de synthèse et pourrait être recommandé pour la production de haricot.

© 2020 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Engrais minéral ; phénologie de haricot ; sol ferrallitique ; rendement de culture.

Bone powder and zebu manure effects on beans (*Phaseolus vulgaris* L) production in Highlands of Madagascar

ABSTRACT

An experiment was carried out in Highlands of Madagascar. This study aims to assess zebu bone powder and cattle manure effects in fertilization for common bean (*Phaseolus vulgaris*) growth and yield. Four treatments were compared in a complete randomized block design with four replications: (1) no-fertilized control plots (T0) and fertilized plots respectively with (2) cattle manure only (Tfu); (3) mixed fertilization with

cattle manure and $N_{11}P_{22}K_{16}$ (Tfu+ $N_{11}P_{22}K_{16}$); and (4) mixed fertilization with cattle manure and bone powder (Tfu + os). In result, mixed fertilizer with organic and mineral improved significantly bean growth parameters (plant height and number of leaf plant) compared with organic fertilizer alone. Bean grain yields were significantly higher with Tfu+os ($1.77 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) compared to Tfu + NPK ($1.47 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) and Tfu ($1.32 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) and which were not significantly different. The control T0 ($0.73 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) showed significantly lower yield than the three other treatments. In fact, bone powder could be encouraged locally as an alternative resource to synthetic fertilizer.

© 2020 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Mineral fertilization; bean phenology; ferralitic soil; crop yield.

INTRODUCTION

Le haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L) contribue de manière complémentaire à la sécurité alimentaire de la population malgache. Il est largement cultivé dans la Grande-Ile et se trouve à la troisième place des cultures vivrières les plus pratiquées par la population après le riz et le manioc (INSTAT, 2013). Il s'adapte à toutes les conditions écologiques de Madagascar, et plus particulièrement en zone d'altitude. Sa culture est pratiquée par la quasi-totalité des ménages ruraux et devient ainsi une importante source de revenus sûre et stable pour les paysans par son cycle de culture court et grâce à son mode de conservation sous forme de grains secs. Sur les Hautes Terres malgaches, en culture pluviale, le haricot se cultive en association avec d'autres cultures vivrières ou en culture pure dans des parcelles de *tanety* (colline) de type ferrallitique ou dans les parties basses de la topographie, les plus fertiles. Sa production est assurée principalement par les petits exploitants agricoles qui utilisent très peu d'intrants synthétiques (Dabat and Jenn- Treyer, 2010). Cette faible utilisation des intrants est attribuée au coût élevé des engrais chimiques qui n'est pas à la portée de toutes les bourses de paysans. D'après Feller et al. (2009), la consommation d'engrais minéraux à Madagascar est nettement inférieure à $10 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$; alors que cinq à dix fois plus seraient nécessaires pour atteindre une productivité correcte. Sur les Hautes Terres centrales malgaches, le fumier est largement utilisé par les agriculteurs (Blanchart and Trap, 2020), généralement produit à l'échelle de l'exploitation agricole. Ce fumier en tant qu'amendement organique

contribue à restaurer la fertilité de sols (Ganry and Thuriès, 2017).

Mais, selon l'expérience des paysans, le fumier de zébu doit être combiné avec d'autres fertilisants avec une richesse minérale supérieure, pour apporter un effet immédiat sur les cultures. Mais, vu le coût élevé des intrants chimiques, les paysans s'orientent vers d'autres intrants localement disponibles tels que la poudre d'os brûlée (*taolana dorana*) ou non. La poudre d'os calcinée est réputée pour sa richesse en composés minéraux, particulièrement en calcium et phosphore rapidement bio-disponibles (Warren et al., 2009 ; Nogalska and Zalewska, 2013) et être ainsi une succédanée au fertilisant phosphaté de synthèse (Chen et al., 2011). Elle est susceptible d'améliorer le rendement de culture des sols ferrallitiques caractérisés par une acidité élevée, une faible capacité d'échange ainsi qu'une faible teneur en phosphore bio-disponible (Rabeharisoa, 2004).

Cependant, les informations s'intéressant à la valorisation agronomique de poudre d'os dans le cadre de pratiques agricoles sont insuffisamment documentées à Madagascar. C'est ainsi qu'une étude a été effectuée pour évaluer l'effet de la poudre d'os et le fumier de zébu sur la croissance et le rendement de haricot. Spécifiquement, il s'agissait de (i) de suivre l'évolution phénologique de haricots en fonction des fertilisants employés ; (ii) de comparer l'effet de différents fertilisants sur la hauteur de la plante et le nombre des feuilles ; et (iii) d'analyser les paramètres de rendement. La présente étude a été réalisée avec un dispositif expérimental pour tester l'hypothèse que cette ressource locale encore trop peu utilisée par la

majorité de paysans malgaches pourrait être une voie prometteuse pour obtenir un meilleur rendement en haricot.

MATERIEL ET METHODES

Site d'étude

L'étude a été réalisée dans le *Fokontany* (une subdivision administrative de base malgache) d'Amboniloha (entre 18°56'19.255'' de latitude Sud et 47°14'58.361'' de longitude Est), Commune Urbaine Ambatomainty, District d'Antananarivo Avaradrano et Région Analamanga. Comme toute la Région d'Analamanga, il jouit d'un climat tropical d'altitude. Pour l'ensemble de la période 2014-2019, la pluviométrie moyenne annuelle et la température moyenne annuelle sont respectivement de 1 730,2 mm et 19,64 °C. Le climat est marqué par une alternance de deux saisons bien marquées : (i) une saison pluvieuse et relativement chaude, d'octobre à avril, et (ii) une saison froide et sèche, durant le reste de l'année.

Le sol du dispositif expérimental est de type ferrallitique, légèrement en pente (3%). Avant l'implantation de la monoculture de patate douce (*Impomea Batatas*) en 2012 jusqu'à la mise en place de dispositif expérimental en 2019, le terrain était une jachère, dominée par des plantes graminéennes spontanées. Les caractéristiques du sol recueilli avant la préparation du sol sur les 20 premiers cm de profondeur sont réunies dans le Tableau 1.

Le sol a une réaction acide (pH = 5,19) ; il est moyennement riche en azote (0,14%), en carbone (1,51%) et matière organique (2,59%). Le rapport C/N est de 10,7 indiquant une minéralisation satisfaisante de la matière organique. Le sol est pauvre en phosphore assimilable (2,9 mg.kg⁻¹) selon la méthode Olsen ; riche en calcium ; moyennement riche en potassium et magnésium ; et pauvre en sodium. Il présente une texture argilo-sableuse (AS) avec 47% de sable, 39% d'argile et 14% de limon.

Dispositif expérimental et traitements comparés

Le dispositif expérimental comprend 16 parcelles élémentaires de dimension 6 m x 3 m soit 18 m² de chaque. Quatre traitements, répétées sur 4 blocs ont été comparés : (1) le traitement T0 : témoin absolu sans apport de fertilisants afin d'évaluer la fertilité naturelle du sol ; (2) le traitement Tfu : parcelles fertilisées uniquement avec du fumier de zébu malgache ; (3) le traitement Tfu+NPK : parcelles fertilisées avec du fumier de zébu malgache + N₁₁P₂₂K₁₆ et (4) le traitement Tfu+os : parcelles fertilisées avec le fumier de zébu malgache + poudre d'os.

Le fumier de zébu est collecté chez les paysans. La préparation de la poudre d'os est effectuée en simulant l'une de modes traditionnelles de fabrication de la poudre d'os brûlée appelée localement « *taolana* (os) *dorana* (brûlé) » (littéralement os brûlés). Les déchets d'abattoir composés de carcasses d'os sont séchés au soleil. Après séchage, ils sont placés dans un demi-fût en métal et mis à feu jusqu'à ce qu'on obtient de matière de couleur gris-blanchâtre. La poudre d'os utilisée durant cette expérimentation était obtenue à partir de cette matière première brûlée puis broyée.

Les caractéristiques des fertilisants employés sont réunies dans le Tableau 2. Le fumier de zébu est plus riche en azote, carbone, matière organique, potassium par rapport à la poudre d'os. Le rapport C/N de 11,9 indique une bonne maturité, le pH est neutre (7,32). La poudre d'os est plus riche en éléments minéraux (calcium, phosphore et sodium) que le fumier. Le rapport C/N est très bas (2,69) et le pH est fortement alcalin (10,1).

Conduite de culture

Pour se rapprocher de la réalité paysanne, les itinéraires techniques de la production de haricot adoptés sont ceux utilisés par les paysans de Hautes Terres malgaches. Le labour est réalisé avec l'*angady* (bêche traditionnelle avec une lame de 30-40 cm de long et 15 cm de large, munie d'une longue manche en bois de 1 à 1,5 m de long) sur une profondeur d'environ 25 cm, un mois avant le semis. Le semis est effectué manuellement,

avec un écartement de 0,40 x 0,20 m à raison de deux graines par poquet, soit une densité de plantation de 125 000 plants par hectare.

Le mode et les quantités des fertilisants employés sont issus d'une étude effectuée séparément sur la « diversité des pratiques de gestion de la fertilité des sols à l'unité de paysage sur les Haute-Terres malgaches » (un article non encore publié). L'apport de tous les fertilisants est réalisé de façon localisée au moment du semis, à raison de deux poignées de mains d'une personne adulte par poquet pour le fumier de zébu, soit d'environ 180 g (23 t.ha⁻¹); d'une poignée de main adulte de N₁₁P₂₂K₁₆ pour six poquets, soit d'environ 5 g par poquet (625 kg.ha⁻¹) et d'une poignée de main adulte de poudre d'os pour six poquets, soit d'environ 5,3 g par poquet (663 kg.ha⁻¹).

La variété de haricot utilisée était le *ranjonomy* ou lingot blanc; les semences ont été achetées à l'AGRICOM Nanisana. *Ranjonomy* est une variété de haricot, résistante à la maladie des tâches anguleuses et sensible à l'excès d'humidité, le rendement étant de 1500 à 2200 kg. ha⁻¹ en station expérimentale et de 1000 à 1200 kg.ha⁻¹ en milieu réel suivant les conditions de culture. Son cycle végétatif est de 80 à 85 jours (MAEP, 2007).

Tous les traitements ont subi la même conduite culturale. Pour favoriser la germination, un arrosage a été effectué au moment du semis. En absence des pluies, un arrosage hebdomadaire a été réalisée jusqu'au début de la phase de remplissage de gousses.

Mesures et observations *in situ*

Mesures phénologiques

Les observations phénologiques consistent à repérer les différentes dates de la levée; de l'apparition de la première feuille trifoliée et de la floraison. Ces dates phénologiques ont été déterminées lorsque 50% des plantes de la parcelle élémentaire ont atteint le stade concerné. Le taux de la levée a été calculé par le rapport (nombre de plantes levées/nombre de graines semées)*100.

La date de la maturité des gousses fait partie de stades phénologiques de la plante. Elle est déterminée lorsque près de 95% des

gousses de la parcelle élémentaire sont mûres. Les indicateurs du murissement se traduisent par le jaunissement des feuilles et le dessèchement des gousses. La récolte a été effectuée manuellement à cette date.

Trois paramètres du rendement ont fait l'objet d'observation: le nombre de gousses par plante, le nombre de graines par gousse et le rendement en graines sèches (t.ha⁻¹).

Mesures de la croissance

Quinze jours après la levée jusqu'à la croissance végétative, des mesures hebdomadaires étaient effectuées dans chaque parcelle. À l'exception d'une rangée de plantes autour de la parcelle de culture, l'ensemble des plantes a été mesuré. Il s'agissait de mesurer la hauteur de la plante à partir de la base du collet jusqu'au bourgeon terminal et le nombre de feuilles par pied. La récolte a été réalisée manuellement lorsque les signes de maturité sont apparus, par passages fréquents (2 à 3 fois).

Les récoltes de grains ont été effectuées sur toutes les parcelles sauf sur une rangée de plantes autour de la parcelle de culture afin d'éviter l'effet-bordure.

Traitements des données

Les traitements statistiques des données ont été effectués à l'aide du logiciel XL STAT (Addinsoft, 2020). Pour tester l'hypothèse d'égalité des traitements (mode de fertilisation), une ANOVA à 2 facteurs a été réalisées en prenant en compte l'effet bloc. Suite à l'ANOVA, un test de comparaison des moyennes a permis de classer les moyennes des différents traitements, utilisant des tests de comparaison multiple de Tukey HSD ou High Significant Difference à un seuil de signification $\alpha = 0,05$ pour les variables dont la distribution est normale et respecte l'homoscédasticité.

Dans le cas contraire (la distribution n'est pas normale), le test non paramétrique de Kruskal Wallis ($p < 0,05$) a été adopté, en utilisant la procédure de Dunn, basée sur la comparaison des moyennes des rangs et non pas sur les valeurs numériques des mesures issues des échantillons.

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques du sol en place (0-20 cm) sur le dispositif expérimental.

Paramètres	Quantité
Potentiel hydrogène (pH, eau) (1:2,5)	5,19
Azote total (N), %	0,14
Phosphore (P Olsen), mg.kg ⁻¹	2,9
Carbone (C), %	1,51
Matière organique (MO), %	2,59
Rapport carbone- azote (C/N), %	10,7
Calcium (Ca), cmol+.kg ⁻¹	5,95
Magnésium (Mg), cmol+.kg ⁻¹	1,28
Sodium (Na), cmol+.kg ⁻¹	0,14
Potassium (K), cmol+.kg ⁻¹	0,21
Argile (%)	39
Limon (%)	14
Sable (%)	47

% : pourcentage ; mg.kg⁻¹ : milligrammes par kilogramme ; cmol+.kg⁻¹ : centimole de charges positives par kilogramme. Méthodes d'analyse.

pHeau : Méthode au 2/5; azote total : méthode du Kjeldahl ; phosphore assimilable : méthodes Olsen ; carbone organique : méthode de Walkley et Black ; bases échangeables (calcium, magnésium, sodium, potassium): méthode d'acétate d'ammonium; analyse granulométrie (% sable argile, limon) : densimétrie après dispersion à l'héxaméthaphosphate de soude.

Tableau 2 : Compositions chimiques du fumier de zébu et de poudre d'os de zébu.

Fertilisants	Humidité (%)	pH	N (%)	P (%)	C (%)	MO (%)	C/N	Ca (%)	K (%)	Na (%)
Fumier de zébu	48,58	7,32	1,79	0,61	21,4	36,8	11,9	0,35	2,46	0,3
Poudre d'os de zébu	7,47	10,1	0,6	1,45	1,62	2,79	2,69	8,55	0,12	0,62

% : pourcentage ; pH : potentiel hydrogène; N: azote; P: phosphore ; C: carbone; MO : matière organique ; Ca : calcium ; K : potassium ; Na : sodium ; C/N : rapport carbone-azote.

RESULTATS

Phénologie des haricots suivant les traitements comparés

Les plants de haricot sont apparus dès le 7^{ème} jour après le semis (JAS). Il a fallu 10 JAS pour que toutes les parcelles de traitements étudiés atteignent un taux de levée de 50% au plus. À 16 JAS, presque toutes les graines semées ont germé avec un taux de levée variant de 90% à 96%. Une absence de différences significatives est signalée (p-value = 0,692) entre les traitements comparés : le taux de levée sur les traitements Tfu+os, Tfu+NPK, Tfu et T0 sont respectivement de 96%, 95%, 91% et 90%.

La première feuille trifoliée apparaît à partir du 15^{ème} JAS. La phase végétative a pris fin à partir du 30^{ème} JAS. Le haricot entre en floraison entre le 39^{ème} à 50^{ème} JAS. À 42^{ème} JAS, les trois traitements fertilisés ont atteint un taux de floraison de 50% au plus. Le traitement Tfu+os avait un taux de floraison le plus élevé (64%), suivi respectivement des traitements Tfu+NPK (59%) et Tfu (56%). Le taux de germination du témoin T0 est relativement faible (30%) avec une différence significative à celui du traitement Tfu+os (p-value =0,024).

À 50^{ème} JAS, toutes les plantes ont fleuri avec un taux de floraison respectivement de 100%, 98%, 98% et 93% pour les traitements

Tfu+os, Tfu+NPK, Tfu et T0. La maturation des plantes se traduisant par la fanaison et la chute des feuilles a eu lieu à partir de la 51^{ème} JAS. La récolte a eu lieu à 85 JAS pour les trois traitements fertilisés (Tfu, Tfu+NPK et Tfu+os) et à 95 JAS pour le témoin non fertilisé (T0), soit un retard de 10 jours.

Réponses des fertilisants sur la croissance en hauteur et le nombre de feuilles

Il est apparu que la croissance en hauteur et le nombre de feuilles de haricot étaient d'une manière générale liés à la nature des fertilisants apportés (Figure 1). La combinaison de la matière organique avec la matière minérale a primé par rapport au simple apport de la matière organique et au traitement sans apport de fertilisant.

Dès le début de la croissance à 16 JAS, la hauteur du haricot est significativement supérieure (p-value < 0,0001) sur les parcelles fertilisées avec Tfu+os (10,77 cm) comparativement à celles des parcelles fertilisées uniquement avec du fumier de zébu (9,68 cm) et à celles sans apport de fertilisant (7,54 cm). Toutefois, on note une absence de différence significative entre la hauteur du haricot du traitement Tfu+os (10,77 cm) et celle du traitement Tfu+NPK (10,26 cm) (Figure 1-A).

À 22, 29, 37 et 44 JAS, les mêmes tendances ont été constatées. Les hauteurs du haricot sur les parcelles fertilisées (Tfu, Tfu+NPK et Tfu+os) sont significativement plus élevées par rapport à celles sur les parcelles non fertilisées (T0). À 51 JAS, toutes les plantes atteignent leur hauteur définitive, les hauteurs de haricot sur les parcelles du traitement Tfu+os (61,24 cm) sont nettement supérieures par rapport à celles mesurées sur les parcelles Tfu (55,52 cm) et T0 (39,26 cm). Une absence de différence significative est constatée entre les hauteurs de haricots enregistrées sur les traitements Tfu (55,52 cm) et Tfu+NPK (60,01 cm), une observation similaire est constatée entre les traitements Tfu+os (61,24 cm) et Tfu+NPK (60,01 cm).

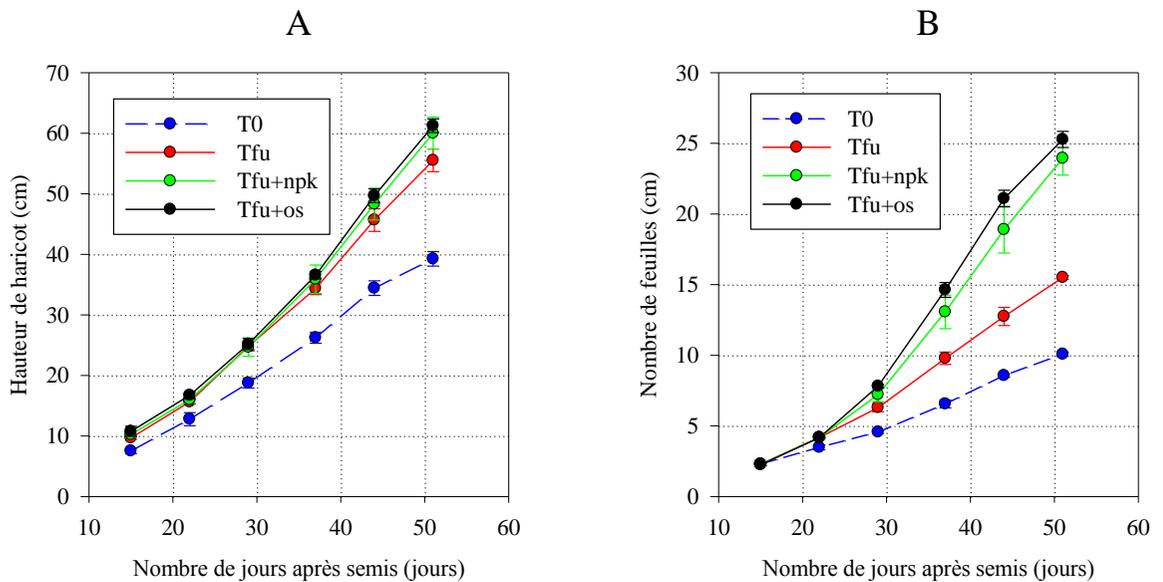
Concernant le nombre de feuilles (Figure 1-B), au début de la mesure à 16 JAS,

les traitements comparés sont statistiquement identiques (p-value = 0,107). À 22 JAS, le nombre de feuilles sur le traitement T0 est significativement inférieur (variant de 2 à 4 feuilles) par rapport aux traitements fertilisés (Tfu, Tfu+NPK, Tfu+os), dont le nombre enregistré varie de 3 à 6 feuilles. À 29 JAS et 37 JAS, l'analyse des données a relevé des effets significatifs (p-value < 0,0001) entre les traitements T0, Tfu et Tfu+os. Cependant aucun effet significatif n'a été décelé d'une part entre Tfu et Tfu+NPK (p-value = 0,014) et d'autre part entre Tfu+NPK et Tfu+os (p-value = 0,327) selon le test de Mann-Whitney.

À 44 JAS et 51 JAS, deux tendances ont été observées. Premièrement, l'apport combiné de fertilisants organique et minéral a un effet significatif sur le nombre de feuilles par rapport à l'apport simple de la matière organique (Tfu) (p-value < 0,0001). Deuxièmement, l'apport simple de la matière organique a un effet bénéfique significatif sur le nombre des feuilles par rapport au traitement sans fertilisant (T0), selon toujours le test de Mann-Whitney (p-value < 0,0001).

Influence des différents fertilisants sur les composantes du rendement

Sur les trois composantes du rendement, des différences hautement significatives (p < 0,0001) sont observées entre les parcelles fertilisées (Tfu, Tfu+NPK et Tfu+os) et celles non fertilisées (T0) (Tableau 3). Les résultats statistiques de comparaison de moyenne sont les mêmes pour les deux composantes du rendement, à savoir le nombre des gousses par plante et le nombre des graines par gousse. Il a été constaté que c'est le traitement Tfu+os qui produit un grand nombre de gousses par plante (7 gousses au plus) ainsi que plus de graines par gousse (4), suivi respectivement par les traitements Tfu+NPK, Tfu et T0. Quant au rendement en grains, les résultats obtenus révèlent que la poudre d'os a un effet significatif sur la production de haricot grain (1,77 t.ha⁻¹) par rapport aux traitements Tfu+NPK (1,47 t.ha⁻¹); Tfu (1,32 t.ha⁻¹) et le témoin T0 (0,73 t.ha⁻¹).



T0 : témoin absolu sans apport de fertilisants ; Tfu : parcelles fertilisées avec du fumier de zébu malgache ; Tfu+NPK : parcelles fertilisées avec du fumier de zébu malgache et engrais N₁₁P₂₂K₁₆ ; Tfu+os : parcelles fertilisées avec du fumier de zébu malgache et poudre d'os calcinée de zébu ; % : pourcentage ; t.ha⁻¹ : tonne par hectare.

Figure 1 : Évolution temporelle de la hauteur (A) et du nombre de feuilles (B) de haricot selon les traitements comparés.

Tableau 3 : Réponses des différents fertilisants sur les paramètres rendements (n=4).

Traitement s	Nombre de gousses par plante	Nombre de graines par gousse	Rendement en grain (t.ha ⁻¹)
T0	4,78 ± 0,37 (a)	2,60 ± 0,11 (a)	0,73 ± 0,10 (a)
Tfu	5,61 ± 0,26 (b)	2,98 ± 0,30 (b)	1,32 ± 0,12 (b)
Tfu+NPK	6,50 ± 0,67 (bc)	3,22 ± 0,08 (bc)	1,47 ± 0,23 (b)
Tfu+os	7,17 ± 0,80 (c)	3,61 ± 0,06 (c)	1,77 ± 0,19 (c)

Moyennes ± Ecart-type. Les moyennes qui sont munis de lettres différentes, diffèrent significativement entre elles, et que celles ayant les mêmes lettres ne diffèrent pas significativement selon le test de Kruskal-Wallis au seuil de signification de 5%.

T0 : témoin absolu sans apport de fertilisants ; Tfu : parcelles fertilisées avec du fumier de zébu malgache ; Tfu+NPK : parcelles fertilisées avec du fumier de zébu malgache et engrais N₁₁P₂₂K₁₆ ; Tfu+os : parcelles fertilisées avec du fumier de zébu malgache et poudre d'os ; % : pourcentage ; t.ha⁻¹ : tonne par hectare.

DISCUSSION

Cette étude montre que la culture de haricot grain a répondu positivement à l'apport de poudre d'os associé à une fertilisation traditionnelle à base de fumier de zébu. Ces résultats sont conformes à plusieurs études antérieures qui ont confirmé l'intérêt d'apport conjoint de matières fertilisantes organo-minérales (Ouedraogo and Hien, 2015 ; Ballot et al., 2016 ; Somda et al., 2017) avec des effets sur différents indicateurs de la production agricole, avec une amélioration du développement végétatif en début de cycle, une floraison plus précoce et abondante, une meilleure production de biomasse aérienne et des rendements plus élevés (Peksen, 2007).

Effets de la poudre d'os et fumier de zébu sur les paramètres de croissance

Le traitement Tfu+os a des meilleures croissances en hauteur et en nombre des feuilles ; par rapport aux traitements Tfu et T0. Dans les conditions de notre expérimentation, il ressort qu'à la fin de la croissance végétative, une absence de différence significative sur la hauteur de la plante a été constatée entre Tfu et Tfu+NPK. Ce qui n'était pas le cas rencontré sur le traitement Tfu+os.

Cette différence est attribuée aux caractéristiques des fertilisants employés sur les parcelles Tfu+os. Le premier fertilisant, le fumier de zébu est la source de fertilisation organique la plus utilisée par les paysans malgaches. Il constitue une source d'énergie pour les microorganismes telluriques, favorisant ainsi la stimulation de l'activité biologique du sol et améliorent quelques propriétés physico-chimiques du sol (Feller et al., 2000) et par voie de conséquence favorisant la disponibilité des éléments nutritifs (Yaméogo et al., 2013) y compris le phosphore (Traoré, 2007) dans le sol.

Le second fertilisant, la poudre d'os (Tableau 2) est un fertilisant riche en phosphore et calcium avec un pH très basique. Ces éléments apportés par la poudre d'os ont

dû influencer la croissance et le développement des haricots et compléter certaines déficiences du fumier et du sol en place.

Tout d'abord, le phosphore est un composant majeur et un élément minéral essentiel pour la croissance de la plante, mais le phosphore bio disponible est souvent faible (Hinsinger, 2001) dans le sol, surtout de type ferrallitique (Rabeharisoa, 2004). La déficience en phosphore est reconnue pour affecter la croissance des haricots (Bernal et al., 2005 ; Djadjaglo et al., 2008) et altérer son développement, marqués par une croissance tardive des cellules végétales, notamment au niveau foliaire, induisant une réduction de l'activité photosynthétique (Sato, 2003). Dans le cas du traitement Tfu+os, l'effet du fumier de zébu combiné avec le phosphate venant de la poudre d'os contribue à améliorer le statut de l'azote du sol et la fixation symbiotique de l'azote chez les légumineuses devient plus élevée (Dabre et al., 2016), justifiant ainsi la bonne croissance en hauteur et l'augmentation du nombre des feuilles de haricot sur le traitement Tfu+os par rapport aux traitements Tfu et témoin (T0).

Ensuite, la poudre d'os est réputée pour sa richesse en calcium. Au même titre que le phosphore, il participe ainsi à la croissance végétative des haricots. L'étude entreprise par El-Dahshouri (2017) en Egypte postule que la pulvérisation foliaire de calcium favorise la croissance des haricots se traduisant par l'augmentation du nombre des feuilles, et de la longueur de plante, ce qui était appuyé par Favaro et al. (2007). Enfin, l'effet combiné du calcium ; le pH relativement basique (Tableau 2) de la poudre d'os (10,10) et le fumier de zébu (7,32) pouvant affecter favorablement le pH du sol en place reconnu par son acidité (Tableau 1). Il est à noter que le pH du sol exerce un effet direct sur la biodisponibilité des nutriments, et notamment du phosphore, à travers les phénomènes de solubilisation et d'insolubilisation propres (Genot et al., 2009) à chaque élément chimique utile à la plante.

Effets de la poudre d'os et fumier de zébu sur la phénologie de la plante et le rendement de production.

Au début du développement de haricot, les analyses statistiques révèlent que les fertilisants apportés n'ont pas eu d'effets significativement différents sur le taux de levée de tous les traitements comparés. Ces résultats sont conformes aux recherches conduites par Mufind et al. (2017) en République démocratique du Congo sur huit variétés de haricot.

L'absence de différence significative est attribuée à la nutrition de l'embryon au moment de la germination jusqu'à l'émergence. Durant cette période, la nutrition est assurée exclusivement par les réserves nutritives contenues dans l'albumen et les cotylédons des grains des haricots; c'est après le développement des racines et des feuilles que la plantule doit assurer son alimentation nutritionnelle en puisant les éléments nutritifs disponibles dans le sol et l'atmosphère.

À 42 JAS, coïncidant à l'époque de la pleine floraison que la différence est alors bien visible. Les plantes sur les parcelles Tfu+os ont été les plus précoces, à ce stade le taux de floraison est la plus élevé (64%) alors que sur les parcelles non fertilisées (T0), seulement 30% des haricots étaient fleuris. Adams et al. (1985) ont montré la sensibilité du haricot à son mode de fertilisation concernant la date de la première floraison et l'échelonnement de celle-ci. Le traitement Tfu+os montrant une floraison plus précoce par rapport aux autres traitements indiquerait une meilleure disponibilité en éléments nutritifs pour la plante jusqu'à la fin de son cycle de développement. Ce qui pourrait expliquer un meilleur rendement en graines du haricot commun (Tableau 3) sur les parcelles Tfu+os par rapports aux autres traitements. Des résultats similaires ont été trouvés par Deshbhratar et al. (2010) et Randriamboavonjy et al. (2013) à Manankazo sur les Hautes Terres malgaches. Une des hypothèses possibles est

que comparativement la poudre d'os aurait pu mieux agir que l'engrais par un effet de meilleure complémentarité avec le fumier de zébu à rechercher dans sa richesse en calcium, élément pouvant agir dans la correction de l'acidité du sol, facteur important pour la réussite de la culture de haricot.

L'absence de différence significative sur le rendement en grain du haricot (Tableau 3) entre les traitements Tfu+NPK et Tfu est à relever. Dès la phase de la croissance en hauteur, une absence de différence significative a été constatée entre les deux traitements comparés et ceci jusqu'à la fin de la phase végétative de la plante (Figure 1-A). Cette absence de la différence en hauteur se reflète au niveau des toutes les composantes du rendement (Tableau 3).

L'existence des pluies diluviennes juste après un apport non fractionné d'engrais pourrait avoir un impact négatif sur la nutrition de la plante au niveau du traitement Tfu+NPK. Le phénomène de lixiviation est susceptible de diminuer les éléments apportés par l'engrais. Par rapport aux résultats que nous avons obtenus, il est fort probable qu'à partir de la fin de la phase de la végétation de haricot jusqu'à la fin de son cycle de développement, la plupart des éléments nutritifs absorbés par les plantes sur le traitement Tfu+NPK est assurée par les éléments assimilables apportés par le fumier qui se libèrent progressivement (Nyembo et al., 2014) ainsi que ceux contenu dans le sol.

Conclusion

Cette recherche permet de déduire que l'utilisation de sous-produits agricoles tels que la poudre d'os pouvait être un substitut à la fertilisation de synthèse, dont l'engrais tertiaire $N_{11}P_{22}K_{16}$, en créant une meilleure synergie avec le fumier de zébu. Durant le cycle cultural, les apports de poudre d'os combinés avec le fumier de zébu (Tfu+os) ont eu un effet positif sur la phénologie et le rendement de

haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L) par rapport aux autres traitements.

Ces résultats originaux et prometteurs quant au potentiel de valorisation d'une ressource locale actuellement sous-valorisée mériteraient d'être confirmés (1) dans des conditions pédoclimatiques différentes; (2) avec des doses plus contrastées pour mieux déterminer la faisabilité économique de ce fertilisant; ainsi que (3) sur d'autres potentialités culturelles notamment labellisées biologiques.

D'autres études mériteraient également d'être poursuivies sur ce fertilisant en appui aux organisations de producteurs engagées dans cette filière. Plus généralement, l'accroissement du coût des engrais de synthèse en relation avec raréfaction de gisements, notamment en phosphates naturels, nous engage à des recherches d'alternatives sur des sous-produits encore sous valorisés.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts entre eux au sujet de cet article.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Tous les auteurs ont participé activement à la réalisation du présent article.

REMERCIEMENTS

Ce travail est le fruit d'une collaboration fructueuse entre plusieurs personnes. Mais nous tenons tout particulièrement à remercier l'ensemble des personnes qui ont rendu possible la rédaction de ce manuscrit ainsi que les techniciens pour leurs implications dans la collecte des données sur terrain durant l'expérimentation.

REFERENCES

Adams MW, Coyne DP, Davis, JHC, Graham PH, Francis CA. 1985. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In *Grain Legume*

Crops, Summerfield RJ, Roberts EH (eds). Collins: London; 433-476.

Addinsoft. 2020. XLSTAT statistical and data analysis solution. Paris, France. <https://www.xlstat.com>.

Ballot CS, Semballa S, Atakpama W, Yangakola TM, Doubro Bo-Mbi A, Blavet D, Zinga I, Wala K, Batawila K, Akpagana K. 2016. Effet de fumures minérales sur le rendement et la qualité organoleptique du manioc (*Manihot Esculenta* Crantz) dans la zone de savane au centre-sud de Centrafrique. *European Scientific Journal*, **12**: 185-211.

Bernal L, Coello P, Martinez-Barajas E. 2005. Possible role of RI protein on starch accumulation in bean seeding (*Phaseolus vulgaris* L.) under phosphate deficiency. *J. Plant Physiol.*, **16** (2): 970-976.

Blanchart E, Trap J. 2020. Intensifier les fonctions écologiques du sol pour fournir durablement des services éco systémiques en agriculture. *Étude et Gestion des Sols*. Numéro spécial Fonctions des sols et services écosystémiques, **27** : 121-134.

Chen L, Kivelä J, Helenius J, Kangas A. 2011. Meat bone meal as fertiliser for barley and oat. *Agricultural and Food Science*, **20**: 235-244.

Dabat MH, Jenn-Treyer O. 2010. Madagascar face au défi des Objectifs du millénaire pour le développement. In *Gastineau Bénédicte*, Gubert F, Robilliard A-S, Roubaud F (eds). IRD: Marseille ; 299-318.

Dabre A, Hien E, Some D, Drevon JJ. 2016. Impacts des pratiques culturales sur la production du sorgho (*Sorghum bicolor* L.) et du niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) et sur le bilan partiel de l'azote sous niébé au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **10**(5): 2215-2230. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i5.22>.

Deshhrbatar PB, Singh PK, Jambhulkar AP, Ramteke DS. 2010. Effect of sulphur and phosphorus on yield, quality and nutrient

- status of pigeonpea (*Cajanus cajan*). *Journal of Environmental Biology*, **31**(6): 933-937.
- Djadjaglo D, Richter C. 2008. Efficacité du prélèvement du phosphore par les plantes *Sorghum bicolor* L. Moench et *Phaseolus Vulgaris* L. *Agro Solution*, **19**(2): 45-50.
- El-Dahshouri, MF, Hamouda, HA, Anany TG. 2017. Improving seed production of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants as a response for Calcium and Boron. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, Special issue: 211–219.
- Favaro SP, Neto JAB, Takahashi HW, Miglioranza É, Ida EI. 2007. Rates of calcium, yield and quality of snap bean. *Scientia Agricola*, **64**(6): 616–620.
- Feller C, Rabeharisoa L, Husson O, Razafimbelo T, 2009. Les sols tropicaux en semis direct sous couvertures végétales. *Etude et Gestion des Sols*, **16**(1): 19-21.
- Feller C, Balesdent J, Nicolardot B, Cerri CC. 2000. Approaching "functional" soil organic matter pools through particle-size fractionation. Examples for tropical soils. In *Assessment Methods for Soil Carbon*, Lal R, Kimble JM, Follett RF, Stewart BA (eds). Lewis Publisher: Boca Raton; 53-67.
- Ganry F, Thuriès L. 2017. Intérêt des fumiers pour restaurer la fertilité des sols en zone semi-aride d'Afrique. In *Restauration de la Productivité des Sols Tropicaux et Méditerranéens : Contribution à l'Agroécologie*, Roose E (ed). IRD: Marseille; 179-195.
- Genot V, Colinet G, Brahy V, Bock L. 2009. L'état de fertilité des terres agricoles et forestières en région wallonne (adapté du chapitre 4 - sol 1 de « L'État de l'Environnement wallon 2006-2007 »). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **13**(1): 121-138.
- Hinsinger P. 2001. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant Soil*, **237**: 173-195.
- INSTAT. 2013. Enquête Nationale sur le Suivi des indicateurs des Objectifs du Millénaire pour le Développement (ENSOMD). Objectif 01 : Éliminer l'extrême pauvreté et la faim. INSTAT. Antananarivo p 262.
- MAEP (Ministère de l'Agriculture de l'Élevage et de la Pêche). 2007. Mise en place de collection généalogique et de collections testées. Rapport final. Catalogue des variétés. Projet d'appui à la diffusion des techniques agro-écologiques à Madagascar. p 111.
- Mufind KM, Tshala UJ, Kitabala MA, Nyembo KL. 2017. Réponse de huit variétés de haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) à la fertilisation minérale dans la région de Kolwezi, Lualaba (RD Congo). *Journal of Applied Biosciences*, 10894- 10904.
- Nogalska AM, Zalewska. 2013. The effect of meat and bone meal on phosphorus concentrations in soil and crop plants. *Plant Soil Environ.*, **59**(12): 575–580.
- Nyembo KL, Useni SY, Chinawej MMD, Kyabuntu ID, Kaboza Y, Mpundu MM, Baboy LL, 2014. Amélioration des propriétés physiques et chimiques des sols sous l'apport combiné des biodéchets et des engrais minéraux et influence sur le comportement du maïs (*Zea mays* L. var Unilu). *Journal of Applied Bioscience*, **74**: 6221-6130.
- Ouedraogo E, Hien E. 2015. Effet d'un compost enrichi par des spores du clone *Trichoderma harzianum* (rifaï) sur le rendement du niébé et du maïs sous abris au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **9**(3): 1330-1340. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v14i1.6>
- Peksen E. 2007. Dynamics of flower appearance, flowering, pod and seed setting performance and their relations to

- seed yield in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Pak. J. Bot.*, **39** (2): 485-496.
- Rabeharisoa Lilia. 2004. Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des Hautes-terres de Madagascar. Thèse de Doctorat d'État ès-Sciences Naturelles, Université d'Antananarivo, Antananarivo, p.196.
- Randriamboavonjy JC, Randrianja R, Ramboazanaka M. 2013. Recherche en vue de l'amélioration de la productivité des sols et des rendements de récolte sur les Hautes Terres Centrales de Madagascar par la fertilisation et l'amendement avec des broyats de roches. *Madamines*. **5**: 13-24.
- Sato S.2003. Phosphorus sorption and desorption in a Brazilian Ultisol: effects of pH and organic anions on phosphorus bioavailability. PhD thesis, University of Florida, p.124.
- Somda BB, Ouattara B, Serme I, Pouya MB, Lompo F, Taonda SJB, Sedogo PM. 2017. Détermination des doses optimales de fumures organo-minérales en microdose dans la zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **11**(2): 670-683. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i2.11>
- Traoré O, Traoré K, Bado BV, Lompo DJP. 2007. Crop rotation and soil amendments: impacts on cotton and maize production in a cotton based system in western Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **1**(2): 143-150. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v1i2.39684>
- Warren GP, Robinson JS, Someus E. 2009. Dissolution of phosphorus from animal bone char in 12 soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. **84**: 167–178.
- Yaméogo JT, Somé AN, Mette Lykke A, Hien M, Nacro HB. 2013. Restauration des potentialitésde sols dégradés à l'aide du zaï et des cordons pierreux à l'Ouest du Burkina Faso. *Tropicultura*, 31(4): 224-230. <http://www.tropicultura.org/text/v31n4/224.pdf>.