

Rentabilité agro-économique d'un fertilisant biologique à base du biochar en culture de variétés de haricot nain (Phaseolus Vulgaris).

Randriamanana Nasandy Edouard ⁽¹⁾, Randriamboavonjy Jean Chrysostome ⁽¹⁾, Raharimalala Laurence Eliane ⁽²⁾, Rarojoson Ndrianja Jemisa ⁽³⁾, Andriambinintsoa Ranaivoson Tojonirina²

andymyou@gmail.com

1 : Département de Gestion des Ressources Naturelles et de Développement (GRND), Université d'Antananarivo, BP 906, Antananarivo101, Madagascar.

2 : Département de l'Écologie Industrielle et des Procédés (EIP). Université d'Antananarivo, BP 906, Antananarivo101, Madagascar

3 : Département de centre de recherche de laboratoire du sol (FOFIFA), Tsimbazaza Antananarivo 101, Madagascar.

Résumé

Cette étude a été menée dans le but d'étudier l'effet d'un engrais biologique fabriqué à partir de matériaux de biocharbon mélangés avec des débris végétaux et du guano, ainsi que des variétés de haricots nains (*Phaseolus vulgaris*), sur le rendement et la rentabilité économique sur un sol acido-sableux. L'essai a été installé à Mahabo selon un dispositif split-plot avec trois répétitions. Le facteur principal comprenait la variété lingot blanc et nombril de bonne sœur tandis que le facteur secondaire, l'apport d'engrais biologique à la dose croissante, était constitué de sept niveaux : LT₀₀ : témoin (sans engrais), LT₅ (5g de l'engrais biologique), LT₁₀ (10g de l'engrais biologique), LT₁₅ (15g de l'engrais biologique), LT₂₀ (20g de l'engrais biologique), LT₂₅ (25g de l'engrais biologique), LT₃₀ (30g de l'engrais biologique). Les observations ont porté sur les paramètres de rendement est influencé par l'effet variété et traitement (la variété nombril de bonne sœur produisant un rendement moyen de 3848.56 kg. ha⁻¹ supérieurs à celui de la variété lingot blanc de 3461.11 kg.ha⁻¹, et la rentabilité économique de valeur du RVC supérieur à 1 à partir de la dose 5g de l'engrais biologique à base de biochar. En ce qui concerne l'état morphologique des plantes, une nuance de couleur verte intense avec des pieds faiblement attaqués par les ennemis du haricot a été observée. En conclusion, l'utilisation de cet engrais semble être une solution agro-économique rentable qui permet de réactiver le fonctionnement du sol à produire mieux tout en préservant l'environnement.

Mots clés : Engrais, Biologique, Variétés, Haricot, Rendement, Rentabilité agro-économique.

Agro-economic profitability of organic fertilizer based a biochar in cultivation of dwarf bean varieties (Phaseolus Vulgaris).

Abstract

This study was conducted to investigate the effect of organic fertilizer made by biochar materials and crushed plant debris, and varieties on the yield and economic profitability of bush bean (*Phaseolus Vulgaris*) on acid-sandy soil. The trial was set up in Mahabo, under a split plot device with three repetitions. The main factor included the white ingot and umbril variety of good sister while the secondary factor, the contribution of organic fertilizer at the increasing dose, consisted of seven levels: LT₀₀: control (without fertilizer), LT₅ (5g of fertilizers biological), LT₁₀ (10g of fertilizers biological), LT₁₅ (15g of fertilizers biological), LT₂₀ (20g of fertilizers biological), LT₂₅ (25g of fertilizers biological), LT₃₀ (30g of fertilizers biological). Observations focused on yield parameters influenced by the variety and treatment effect (the umbril de bonne Soeur variety producing an average yield of 3848.56 kg.ha⁻¹ higher than that of the white lingot variety of 3461.11 kg.ha⁻¹, and the economic profitability of value of the RVC higher than 1 from the 5g dose of fertilizers biological based a biochar. Regarding the morphological state of the plants, a shade of intense green color with feet weakly attacked by bean enemies was observed. This fertilizer seems to be an agro-economic solution to reactivate the functioning of the soil to produce better while preserving the environment.

Keywords: Fertilizers, Biological, Varieties, Beans, Yield, Agro-economic profitability.

الربحية الاقتصادية الزراعية للأسمدة البيولوجية المعتمدة على الفحم النباتي في زراعة أصناف الفول القزم

ملخص

أجريت هذه الدراسة للتحقيق في تأثير السماد العضوي المصنوع من مواد الفحم الحيوي الممزوجة بحطام النبات وذرقة الطائر، والأصناف على المحصول والربحية الاقتصادية للفول القزم على التربة الحمضية الرملية. تم تثبيت الاختبار في ماهابو، تحت جهاز مؤامرة مقسمة مع ثلاثة تكرار. وشمل العامل الرئيسي سبيكة بيضاء ومجموعة متنوعة مظلة من الأخت الطيبة في حين أن العامل الثانوي تناول الأسمدة العضوية في جرعة متزايدة، يتكون من سبعة مستويات. تم التركيز على معايير الإنتاجية والتي تتأثر بتأثير الصنف والمعالجة حيث ينتج صنف سره الراهبة متوسط إنتاجية 3848.56 كجم/هكتار أعلى من إنتاجية صنف اللوب الأبيض الذي يصل إلى 3461.11 كجم/هكتار، والربحية الاقتصادية التي تفوق قيمة 1 RVC اعتباراً من الجرعة 5 جرام من الأسمدة الحيوية على أساس الفحم الحيوي. فيما يتعلق بالحالة المورفولوجية للنباتات، لاحظت درجة لون خضرة كثيفة مع أقدام قليلة تتعرض لهجوم أعداء الفاصوليا. في الخلاصة، يبدو أن استخدام هذا السماد يعد حلاً اقتصادياً زراعياً رابحاً

الكلمات المفتاحية: الأسمدة، العضوية، الأصناف، الفاصوليا، المحصول، الربحية الاقتصادية الزراعية

Introduction

Depuis la révolution industrielle de l'après-guerre, en passant par la préservation de la biodiversité, récemment, la crise alimentaire est devenue la préoccupation capitale des différents Etats du monde entier. Toutefois, le noyau primordial de cette crise alimentaire est l'Agriculture. D'ores et déjà, la survie de l'homme en dépend et pour un ensemble de raisons, l'Agriculture a une grande importance dans l'économie et la société d'un pays. Parmi les diverses alternatives proposées, l'introduction des légumineuses dans les systèmes de culture est une solution pour pallier à la fois aux problèmes de la malnutrition et à la faible fertilité du sol des services de soutien dans le contrôle de la fertilité et l'apport de nutriments, et sont considérées de ce fait comme des agents restaurateurs de la fertilité du sol (Zoundji *et al.*, 2015), des services de régulation à travers leurs rôles sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Elles contribuent à l'atténuation de l'effet du réchauffement global, étant donné que la fertilisation azotée est responsable de la moitié des émissions de gaz à effet de serre par l'agriculture (Jensen *et al.*, 2010 ; Köpke et Nemecek, 2010) et des services d'approvisionnement à travers la qualité de la production offerte pour la population humaine ou les animaux d'élevage. Grâce à leur richesse en produits azotés, elles constituent une source importante de protéines. Les légumineuses à graines, en particulier, sont largement utilisées pour la consommation humaine. Elles constituent la seconde source d'aliment après les céréales et jouent un rôle très important dans le régime alimentaire de la population (Du *et al.*, 2014). Les légumineuses à graines tiennent une place assez importante dans l'alimentation des êtres humains parmi les aliments d'origine végétale les plus consommés dans le monde. A côté des céréales, elles ne sont pas à négliger puisqu'elles constituent la seconde source d'aliments des humains et jouent un rôle très important dans le régime alimentaire, plus particulièrement pour les pays en voie de développement (Du *et al.*, 2014 ; Nedumaran *et al.*, 2015). Le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) est une légumineuse très consommée dans le monde avec une très grande valeur nutritionnelle, une source majeure de protéines pour l'alimentation dans plusieurs pays en voie de développement (Devi *et al.*, 2013). De nombreux pays utilisent ce produit agricole comme source de revenu par l'exportation de grains de haricot le plus souvent en graines sèches. Par conséquent, le haricot sec demeure une filière à promouvoir et présente des potentialités à exploiter. A Madagascar, le haricot est cultivé dans toutes les régions de l'île et qui occupe, la quatrième place après le riz, le manioc et le maïs dans l'alimentation des malagasy (Maep, 2006). Le haricot sec est un des produits qui répond aux besoins, à la fois alimentaire (substitue la viande comme source de protéine) et source de revenus des paysans malgaches (pouvant être vendu selon les besoins des ménages et facile à stocker) (Ralison et Goossens, 2006). En termes de rendement, le haricot est non seulement une culture améliorante du sol, mais, il a aussi une grande potentialité de production et qui est d'environ 5 tonnes par hectare (Maep, 2006). Suivant la fertilité du sol, le rendement en haricot sec malgache varie de 0,8 à 2,5 tonnes par hectare. Par ailleurs, avec l'épuisement des stocks alimentaires au niveau mondial et la nécessité de satisfaire les besoins nationaux, l'augmentation du rendement en haricot sec constitue une voie incontournable (Rakotoarisoa, 2008). Les cultures de haricots sont sujettes à de nombreuses attaques de ravageurs et de nombreuses maladies cryptogamiques, bactériennes ou virales sont susceptibles d'affecter les cultures de haricots. (Claire N. et Julien C., 2010), qui peuvent entraîner

d'importants dégâts et constituent l'un des facteurs qui affectent le rendement en l'absence de moyens de lutte appropriés. La production est perdue chaque année en estimant qu'en Afrique tropicale plus de 50 %. De même, pour les pesticides de synthèses, ils sont prêts à l'emploi, à action rapide et souvent très efficaces contre les ennemis cibles (Zehrer, 2000). Cependant, les fongicides chimiques, non seulement toxiques, mais aussi onéreux, ne sont pas toujours efficaces entièrement contre les ennemis les plus redoutés (déperissement par pourriture au niveau du collet, la rouille, les taches anguleuses du haricot, les pucerons et le chenille) de culture. A cet effet, afin d'obtenir un produit sain, exigé par certaines réglementations techniques et économiques surtout, beaucoup de recherches sont en cours pour trouver des solutions alternatives aux pesticides chimiques pour lutter contre les ennemis de culture. Un des principes pour combattre ce champignon du haricot est l'utilisation de produits naturels dans le cadre d'une lutte biologique. Consciente des enjeux environnementaux et de santé humaine, cette étude est un moyen permettant de fournir non seulement des mesures techniquement et économiquement accessibles aux paysans. Il est certain que le recours à l'agriculture intensive est le meilleur moyen pour assurer une production élevée. Les chercheurs n'ont pas pensé que les plantes préfèrent s'assimiler des éléments minéraux du sol qui sont préparés par les microorganismes. Sur ce, l'agriculture intensive n'est alors qu'une solution à l'immédiat, mais à long terme, elle est destructrice (Randriatsarafara, 2000). La réduction de la dépendance des agriculteurs aux engrais minéraux, grâce à des pratiques agro écologiques, est ainsi devenue un des enjeux majeurs du développement durable (Duru et al., 2015 ; Stavi et al., 2016). A cet effet, l'agroécologie à travers les pratiques qu'elle promeut, procure plusieurs avantages tant sur l'utilisation des ressources de recyclage de biomasse et du charbon du bois. C'est une technique moderne plus reconnue pour l'agriculture. L'objectif de la présente étude est d'évaluer l'efficacité de la dose croissante de l'engrais biologique composé de 50% du charbon de bois broyé, 50% des débris végétaux et guano) sur la performance technico-économique de deux variétés de haricot nain.

Matériels et méthodes

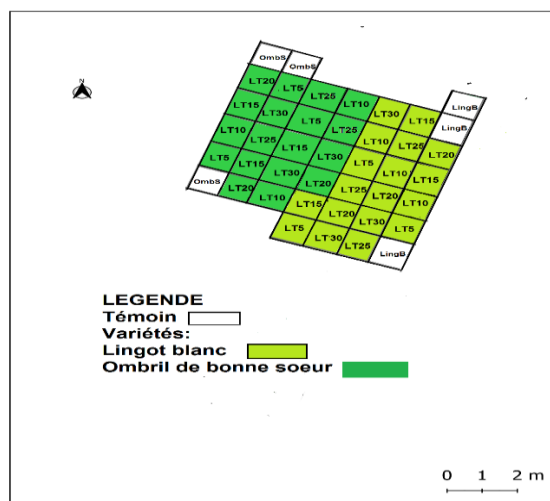
Site d'étude

Cette étude a été menée dans le Chef-lieu de Fokotany de la Commune Mahabo. Elle se situe à 45 km d'Antananarivo suivant la Route Nationale 4 (RN4), District d'Ambohidratrimo, Région Analamanga de haute terre centrale de coordonnées géographiques : 47° 20' 02.3" de longitude Est, 18°39' 19.4" de latitude Sud et 1385 m d'altitude. La zone d'étude a un climat du type tropical, caractérisé par deux saisons : la saison pluvieuse (novembre à mars) et la saison sèche (avril à octobre). Le pic de la pluviosité se situe au mois de janvier où elle atteint à 350mm. La température maximale oscille entre 22°C et 25°C et le minimal entre 10°C et 17°C. Elle varie en fonction de la pluviosité c'est-à-dire si la pluviométrie est élevée, la température est également élevée. Si la pluviosité est faible, la température est aussi faible. L'expérimentation est menée pendant la saison culturale allant de mois de décembre 2019 au mois de mars 2020. Le lieu de l'essai est choisi, d'abord suivant les conditions pédoclimatiques de la région qui doivent être favorables à la culture, puis suivant la disponibilité de surface cultivable appropriée au besoin de haricot et au dispositif pré

établi, ensuite suivant l'aplanissement de la surface et la facilité de surveillance des parcelles. Le sol de ce site est classifié en sol ferrallitique rouge de type acido-sableux à pH égal à 6 et présente une structure grumeleuse et une texture sablo-limoneuse.

Dispositif expérimental

Le dispositif choisi pour cette expérimentation est un bloc de Fischer randomisé (répartitions faites au hasard) avec trois répétitions de chaque dose adoptée par bloc. (carte 1). Les modalités de traitement sont caractérisées par trois blocs de six parcelles correspondant à 6 traitements dont un témoin par chaque type de variété donc 12 parcelles élémentaires dont chacune ayant été une dimension de 1m x 1m soit une surface de 1m². Les blocs sont séparés par une allée de 0.5 m tandis que les parcelles dans chaque bloc sont distantes de 0,5m. Le témoin non traité est considéré comme un outil de référence (aucun mode de fertilisation) pour cet essai. Outre leurs caractéristiques, les six doses par variété suivent les mêmes itinéraires techniques. Cet essai n'est sujet à aucun recours à l'agriculture intensive à aucune modalité de traitement phytosanitaire pour suivre les comportements de l'engrais biologique avec ses doses croissantes sur les deux variétés naines de haricot. Le semis a réalisé le 27 novembre 2019, est effectué à raison d'une graine par trou. La distance entre les trous sur une ligne est de 5 cm. En effet, chaque parcelle élémentaire est présentée de quatre lignes de cinq graines, suivant les lignes de semis, la densité de plantation correspondante soit de vingt graines/ m². L'arrosage est fait de tous les deux jours. Pour favoriser la maturation des graines, il est arrêté deux semaines avant la récolte. Durant le cycle de haricot, deux sarclages sont réalisés. Le premier a lieu au stade 4 feuilles (20 à 25 jours après semis) et le second vers la fin de la floraison (40 à 44 jours après semis).



Carte 1. Dispositif expérimental à Mahabo (Source : Auteur)

Facteurs étudiés

- L'expérimentation inclut six doses croissantes du fertilisant biologique (50 % biochar + 50 % débris végétaux broyés) et un témoin. Cette étude consiste à varier la quantité de cet engrais en dose croissante : LT₀₀ : témoin (sans engrais),

LT₅ : 5g du fertilisant biologique, LT₁₀ : 10g de du fertilisant biologique, LT₁₅ : 15g du fertilisant biologique, LT₂₀ : 20g du fertilisant biologique, LT₂₅ : 25g du fertilisant biologique, LT₃₀ : 30g du fertilisant biologique par pied d'haricot. Le tableau 1 montre la propriété chimique du fertilisant biologique.

Tableau 1. Propriété chimique du fertilisant biologique

| Sigle | Humidité (%) | M.O (%) | C (%) | N (%) | C/N | P ₂ O ₅ (%) | K ₂ O (%) | CaO (%) | MgO (%) | pH |
|------------------------|--------------|---------|-------|-------|-----|-----------------------------------|----------------------|---------|---------|------|
| Fertilisant biologique | 21.3 | 8.27 | 4.81 | 1.10 | 4.4 | 7.35 | 0.72 | 14.70 | 0.91 | 6.01 |

Source : Laboratoire FOFIFA, 2018

- **Deuxième facteur étudié** comporte deux variétés naines de haricot sec de types lingot blanc et nombril de bonne sœur (une strie rouge sur les graines) ont été choisies, car ce sont les plus cultivées par les paysans. En plus, elle figure parmi les variétés les plus appréciées des consommateurs malgaches et des exportateurs (Rakotoarisoa, 2008) et les meilleures variétés et productives dans la région. Leurs graines sont des bonnes qualités (goût et calibre). Ce sont des semences locales sans subir aucun traitement chimique.

Paramètres et méthodes d'évaluation

Deux types d'évaluation sont réalisés tout au long de l'expérimentation : les évaluations qualitatives et les évaluations quantitatives des paramètres du rendement (feuilles, tiges, biomasse totale). La détermination du rendement en grain est obtenue par l'élaboration des composantes de rendement selon la formule suivante :

R = P x G x g x p : **R** = Rendement (g/m²) ; **P** = Nombre de plantes/unité de surface ; **G** = Nombre de gousses/plante ; **g** = Nombre de graines/gousse ; **p** = Poids d'un grain (g). Une note de 0 à 5 est donnée à chaque pied d'observation suivant l'importance du signe de la maladie : la note 0 correspond à un pied sain ne présentant pas la maladie ; la note un 1 est attribué à un pied qui présente la maladie ; la note deux 2 pour les pieds faiblement malades ; la note trois 3 pour les pieds moyennement atteints ; la note quatre 4 est affectée aux pieds gravement atteints. Concernant les résultats économiques, le calcul des différents ratios est essentiel afin d'évaluer la rentabilité de traitement biologique en voyant la dose la plus rentable économiquement avec les variétés de culture. Le rapport valeur coût (RVC) permet d'évaluer la rentabilité économique ou non, de chaque dose et variété adoptée : RVC < 1 signifie que le traitement en engrais biologique en fonction des variétés en question n'est pas intéressant du point de vue économique, 1 < RVC < 2 veut dire que le traitement biologique en fonction des variétés nécessite une amélioration pour être vulgarisée et RVC > 2 implique que la technique est apte à la vulgarisation.

Analyse statistique

Les analyses statistiques des données ont été effectuées avec le logiciel R 3.2.5. L'analyse de la variance a été utilisée pour les traitements statistiques. Les résidus de l'ANOVA ont été soumis au test de normalité. Les données n'ayant pas respecté la normalité ont subi des transformations de variables, puis ont été soumises de nouveau à ces tests. Les paramètres étudiés ayant répondu significativement aux effets de l'ANOVA ont par la suite été soumis au test de comparaison de poste hoc de moyennes suivant le test HSD de Tukey. Les analyses statistiques ont été effectuées au risque de $\alpha = 5\%$.

Résultats

Influence des variétés et des traitements sur les paramètres de croissance et le rendement de *Phaseolus vulgaris* L.

Le **tableau 2** illustre les résultats de l'influence des variétés et traitements sur le comportement de *Phaseolus vulgaris*. Sur le nombre des graines semées par traitement, les deux variétés lingot blanc et l'Nombril de bonne sœur ont un même taux de germination moyen de 89.04% (a) et à un fort taux de survie quel que soit le traitement adopté. Statistiquement, ces chiffres ne se diffèrent pas entre eux et appartiennent au même groupe sauf le traitement sans fertilisant (témoin LT₀₀) appartenant au groupe « b » c'est-à-dire que la réponse de deux variétés appartenant au même groupe vis-à-vis du traitement qui n'a pas de différence significative au seuil de signification de 5% ($p=1.000$). Le **tableau 2** illustre l'analyse de la variance de l'effet des variétés, des traitements ainsi que l'interaction variété*traitement ont induit des effets similaires sur le nombre de jours à la floraison ; le nombre de jours à la récolte. Ceci implique que les nombres de jours à la floraison sont similaires entre la variété lingot blanc et nombril de bonne sœur et que la dose croissante du fertilisant biologique ne raccourcit ou n'entraîne pas un retard de floraison chez le haricot (**tableau 3**) avec $p= 0.981$ et 0.530 . D'après les résultats du **tableau 3**, la hauteur moyenne à la phase de maturité, le nombre de feuilles obtenues après la récolte, l'analyse de la variance montre une différence très hautement significative sur l'effet de dose croissante de traitement avec $p= 0.000$ et l'effet de variété à une même valeur de $p=0.006$ ainsi que l'interaction variété*traitement ont induit des effets similaires respectivement $p=0, 983$ et $p= 0.975$ au seuil de signification 5%. Pour les paramètres sur le nombre de graines par gousse et le nombre de gousses par tige des différences hautement significatives au niveau traitement ($p=0.000$) et des effets similaires entre les variétés ($p=0.01$ et $p=0.110$) et l'interaction entre traitement*variété ($p=0.816$ et $p=0.951$). Il ressort de l'analyse de la variance que le poids moyen de 100 graines obtenu en fonction de traitement et avec la variété nombril de bonne sœur a été supérieur à celui obtenu avec la variété lingot blanc ($p=0.000$). Ceci implique que pour une même superficie, il faudra utiliser une grande quantité de semence de la variété nombril de bonne sœur que de la variété lingot blanc tandis

Tableau 2. Influence des traitements et des variétés sur le comportement de *Phaseolus vulgaris*

| Traitement | Taux de levée (%) | Taux de survie (%) | Nbr jr flor | Nbr jr rec |
|------------------------|-------------------|--------------------|---------------|---------------|
| LT ₀₀ LingB | 48.34b ±2.88 | 43.34 c ±2.88 | 36b ±1.00 | 97 c ±1.00 |
| NombS | 48.33b ±2.88 | 45 c ±5.00 | 36b ±1.00 | 97 c ±1.00 |
| LT ₅ LingB | 91.67 a ±2.88 | 91.67 a ±5.00 | 24.33a±4.57 | 81b±8.26 |
| NombS | 91.67a±2.88 | 93.34a±2.88 | 23.66a±4.80 | 79.67b±8.62 |
| LT ₁₀ LingB | 95a±5.00 | 91.67a±2.88 | 24a±1.00 | 74ab±0.57 |
| NombS | 95a±5.00 | 93.34a±2.88 | 23a±1.00 | 72.34a±0.57 |
| LT ₁₅ LingB | 98.34a±2.88 | 96.67a±5.77 | 23a±1.00 | 74a±1.00 |
| NombS | 98.34a±2.88 | 96.67a±2.88 | 22.34a±1.00 | 73.34a±1.15 |
| LT ₂₀ LingB | 96.67a±5.77 | 98.34a±5.00 | 23a±1.00 | 73.67a±0.57 |
| NombS | 96.67a±5.77 | 96.67a±2.88 | 22.34a±1.15 | 73a±1.00 |
| LT ₂₅ LingB | 96.67a±2.88 | 96.67a±2.88 | 23.67a±0.57 | 73.67 a ±0.57 |
| NombS | 96.67 a ±2.88 | 96.67 a ±0.27 | 22.67 a ±1.00 | 72.67 a ±1.00 |
| LT ₃₀ LingB | 96.67 a ±2.58 | 95 a ±0.25 | 23.67 a ±0.57 | 74 a ±0.00 |
| NombS | 96.67 a ±2.88 | 96.67 a ±0.350 | 23 a ±1.00 | 74 a ±1.00 |
| Moyenne V. Ling B | 89.04 a ±17.43 | 87.38 a ±18.81 | 25.28 a ±4.57 | 78.19 a ±8.26 |
| Moyenne V. NombS | 89.04 a ± 17.43 | 88.57 a ±18.51 | 24.71 a ±4.80 | 77.28 a ±8.62 |
| P. Effet Variété | 1.000 | 0.285 | 0.55 | 0.01 |
| P. Effet Traitement | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| P.Interaction T*V | 1.000 | 0.998 | 0.981 | 0.530 |

Légende : Fertilisant biologique : 50% du biochar +50% débris végétaux et guano, **Traitement (dose croissante)** : LT₀₀ : témoin absolu (sans traitement) ; LT₅ : 5g de fertilisant biologique ; LT₁₀ : 10g de fertilisant biologique ; LT₁₅ : 15g de fertilisant biologique ; LT₂₀ : 20g de fertilisant biologique ; LT₂₅ :25g de fertilisant biologique ; LT₃₀ : 30g de fertilisant biologique. **Variété** : LingB : Lingot blanc et NombS : Nombriil de bonne soeur

Tableau 3. Influence des variétés lingot blanc et nombril de bonne sœur et des traitements sur le comportement de haricot

| Traitement | Paramètres de rendement | | | | | | |
|---------------------|-------------------------|--------------------|-----------------|---------------|---------------|------------------------|--------------------|
| | Haut (cm) | Nbr Feuil | Pds 100 grn (g) | Nbr gous/plt | Nbr grn/ gous | Biom tot (kg.ha-1) | Rdt (kg.ha-1) |
| LT00 LingB | 19,82 c ±0.23 | 19.71 c ±0.78 | 6,19 c ±0.19 | 1,66 c ±0.57 | 2 c ±1.00 | 149.34d ±1.52 | 131,67 e ±2.88 |
| NombS | 20,53c±0.69 | 20.04c±0.93 | 7,02c±0.85 | 2c±0.57 | 2.33c±0.57 | 154.34d±4.16 | 137,67e±2.51 |
| LT5 LingB | 50,54b±0.68 | 36.88bc±0.25 | 30,08bc±1.49 | 6b±0.00 | 5,67b±0.57 | 3358.15c±64.94 | 2164,79d±30.24 |
| NombS | 51,19ab±1.08 | 37.56b±0.87 | 31,11bc±0.36 | 6,66b±0.57 | 6b±1.00 | 3590.64c±25.90 | 2291,17d±113.23 |
| LT10 LingB | 51,67ab±1.09 | 37.96b±0.62 | 34,22abc±1.02 | 6,66b±1.00 | 6,67a±0.57 | 3816.90bc±15.87 | 2531,13d±71.42 |
| NombS | 52,83a±0.65 | 38.49ab±0.57 | 35,55abc±1.02 | 7,66b±1.15 | 6.67a±0.57 | 4365.96bc±112.40 | 3060,82c±58.02 |
| LT15 LingB | 52,04a±0.76 | 39.170.24ab±0.31 | 39,01ab±0.77 | 7.66b±1.15 | 6,67a±0.57 | 4862.82b±86.22 | 3676,58c±19.01 |
| NombS | 52,81a±0.32 | 39.47a0.24± | 41,01ab±0.71 | 7,66b±1.00 | 7a±0.57 | 5348.19b±59.58 | 4033,11bc±2.68 |
| LT20 LingB | 53,05a±0.59 | 41.04a0.20 | 49,41a±1.03 | 9a±0.00 | 6,67a±0.00 | 6313a±32.85 | 5340,93b±64.54 |
| NombS | 53,51a±0.61 | 41.22a±0.25 | 50,79a±0.69 | 10,33a±0.57 | 6.67a±0.57 | 7123.01a±44.29 | 5799,17a±64.61 |
| LT25 LingB | 53,08a±0.58 | 40.84a±0.35 | 50,05a±0.23 | 9,33a±1.15 | 7±0.00 | 6331.59a±84.08 | 5316,21ab±88.39 |
| NombS | 53,32a±0.55 | 41.01a±0.27 | 50,78a±0.30 | 10,33 a ±1.15 | 7.67 a ±0.57 | 7157.1 a ±65.01 | 5835,43 a ±44.88 |
| LT30 LingB | 52,45 a ±0.58 | 40.83 a ±0.25 | 48,79 a ±0.05 | 9 a ±0.57 | 7 a ±0.00 | 6227.72 a ±31.21 | 5066,44 ab ±56.10 |
| NombS | 52,96 a ±0.52 | 41.19 a ±0.350. 25 | 49,88 a ±0.48 | 9,33 a± | 7.66 a ±0.57 | 7109.5 a ±25.90 | 5782,59 a ±26.03 |
| Moyenne V. Ling B | 47.52bc ±111.63 | 36.63bc ±7.42 | 36.82bc ±14.87 | 6.95b ±2.61 | 5.95b ±1.77 | 4437.07bc ± 2245.37 | 3461.11 c ±1867.22 |
| Moyenne V. NombS | 48.16b ± 11.56 | 37.01b ±7.23 | 38.02ab ±15.02 | 7.71ab ±2.72 | 6.28ab ±1.84 | 4978.39b ±2437.58 | 3848.56bc ±2062.49 |
| P. Effet Variété | 0.006 | 0.06 | 0.000 | 0.01 | 0.110 | 0.000 | 0.000 |
| P. Effet Traitement | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| P.Interaction T*V | 0.983 | 0.975 | 0.742 | 0.816 | 0.951 | 0.000 | 0.000 |

Légende : Fertilisant biologique : 50% du biochar +50% débris végétaux et guano, **Traitement (dose croissante) :** LT₀₀ : témoin absolu (sans traitement) ; LT₅ : 5g de fertilisant biologique ; LT₁₀ : 10g de fertilisant biologique ; LT₁₅ : 15g de fertilisant biologique ; LT₂₀ : 20g de fertilisant biologique ; LT₂₅ : 25g de fertilisant biologique ; LT₃₀ : 30g de fertilisant biologique. **Variété :** LingB : Lingot blanc et NombS : Nombril de bonne sœur. **Moyennes ± écart-type.** Les différentes lettres à côté des moyennes indiquent de différence significative après le test de LSD (p=0,05). Haut : hauteur des plants, **Nbr feuil** : Nombre de feuilles, **Pds 100 grn** : Poids 100 graines, **Nbr gous/plt** : Nombre gousses/ tige, **Nbr grn/gous** : nombre graines/gousse : Biom tot : Biomasse totale ; Rdt : Rendement en graines ; Nbr Flor : Nombre de jours à la floraison ; Nbr rec : Nombre de jours à la récolte.

que l'interaction de variété traitement a induit une différence non significative (respectivement $p=0.742$). Les résultats de l'analyse de la variance sur les effets des traitements et la variété ainsi que l'interaction variété*traitement ont montré cependant que des effets très hautement significatifs ($p=0.000$) sur la biomasse totale et le rendement en graines obtenus. Sur ce, le rendement moyen de variété nombril de bonne sœur est supérieure à celui obtenu avec la variété lingot blanc.

Influence de la variété et le traitement sur l'état phytosanitaire de la culture de haricot

En général, toute la dose de traitements adoptés, les plants ont eu de la couleur verte catégorisée par un vert foncé avec des feuilles assez étouffantes des plants à partir de la dose du traitement LT_{15} pour les deux variétés, un vert moyennement clair et des feuilles moyennement abondantes sur les parcelles au traitement LT_5 et LT_{10} tandis qu'une couleur verte pâle pour les témoins LT_{00} . La résistance à la verse a été évaluée en fonction des différents traitements appliqués aux deux variétés de haricot. Les traitements LT_5 , LT_{10} , LT_{15} et LT_{30} sont considérés comme résistants à la verse, alors que les traitements LT_{20} et LT_{25} sont considérés comme très résistants aux ravageurs. De plus, l'état sanitaire des pieds de haricot a été évalué en fonction de la présence ou non de la rouille et de l'attaque des maladies. Une note de 0 a été attribuée aux pieds sains ne présentant pas la maladie, une note de 1 a été attribuée aux pieds présentant la maladie, et le témoin a reçu une note de 2, indiquant que les pieds étaient faiblement malades. Ces évaluations permettront de déterminer si les différents traitements ont un effet sur la résistance aux maladies et à la verse des deux variétés de haricot. (**Tableau 4**).

Influence du traitement et de la variété sur la rentabilité agro-économique de la culture de haricot

D'après les résultats de l'analyse économique présentée dans le tableau 5, il semble que la diffusion du fertilisant biologique à partir de la dose de 5g est une pratique à conseiller en termes de rapport valeur-coût (RVC), qui est un indice d'acceptabilité du fertilisant biologique. Cela signifie que la dose de 5g est la plus efficace en termes d'amélioration du rendement des deux variétés de haricot tout en restant économiquement rentable. Il est donc recommandé d'utiliser cette dose du fertilisant biologique pour améliorer le rendement des cultures de haricot. Étant donné que le Rapport Valeur Coût (RVC) calculé est supérieur à 1 avec le choix de deux variétés locales qui se trouve dans la catégorie des technologies à accepter. L'utilisation du fertilisant biologique en fonction de deux variétés est généralement rentable à l'exception la dose LT_{20} ont été donnés un RVC qui est égal environ à 2 (RCV : 2.01 pour la variété : NombS et RVC : 1.99 pour la variété : lingB), toutefois, toutes autres doses avec les deux variétés ont été efficaces aussi à un RCV supérieur à 1.

Tableau 4. Etat morphologique de haricot

| Traitement | Couleur | Résistance à la verse | Note de l'attaque maladie par pied |
|-------------------------|-------------------|------------------------|------------------------------------|
| LT ₀₀ Ling B | Verte Pâle | Sensible | 2 |
| NombS | Verte Pâle | Sensible | 2 |
| LT ₅ Ling B | Moyennement verte | Peu Résistante | 1 |
| NombS | Moyennement verte | Peu Résistante | 1 |
| LT ₁₀ Ling B | moyennement verte | Moyennement Résistante | 1 |
| NombS | Moyennement verte | Moyennement Résistante | 1 |
| LT ₁₅ Ling B | Moyennement verte | Résistante | 0 |
| NombS | Verte foncée | Résistante | 0 |
| LT ₂₀ Ling B | Verte foncée | Résistante | 0 |
| NombS | Verte foncée | Résistante | 0 |
| LT ₂₅ Ling B | Verte foncée | Très résistante | 0 |
| NombS | Verte foncée | Très résistante | 0 |
| LT ₃₀ Ling B | Verte foncée | Résistante | 0 |
| NombS | Verte foncée | Résistante | 0 |

Légende : Fertilisant biologique : 50% du biochar +50% débris végétaux et guano, **Traitement (dose croissante) :** LT₀₀ : témoin absolu (sans traitement) ; LT₅ : 5g de fertilisant biologique ; LT₁₀ : 10g de fertilisant biologique ; LT₁₅ : 15g de fertilisant biologique ; LT₂₀ : 20g de fertilisant biologique ; LT₂₅ : 25g de fertilisant biologique ; LT₃₀ : 30g de fertilisant biologique. **Variété :** LingB : Lingot blanc et NombS : Nombri de bonne sœur, **Note de l'attaque de la maladie :** Note 0 : signe d'un pied sain ne présentant pas la maladie ; Note 1 : signe d'un pied qui présente la maladie ; note 2 : signe des pieds faiblement malades

Discussion

L'une des multifonctionnalités du sol est sa capacité à assurer une bonne croissance aux plantes cultivées, ce qui renseigne sur son aptitude à fournir les éléments nutritifs à la plante et détermine par conséquent son niveau de fertilité (Bünemann et al., 2018). Les résultats obtenus au cours de cet essai montrent que tous les paramètres de rendement mesurés sont influencés significativement par les variétés utilisées. Il s'agit de la biomasse totale ($p=0.000$) et le poids de 100 graines ($p=0.000$) et le nombre de gousses par plante ($p= 0.01$) où les différences ont été significatives tandis que le nombre de graines par gousse ($p= 0.110$) n'a pas été significatif. Sur le taux de levée et le taux de survie n'ont pas été déduits de différence significative entre les variétés testées, mais au niveau traitement, ils ont des effets non similaires à très hautement significatives ($p=0.00$). La variété nombri de bonne sœur a donné un meilleur rendement moyen estimable de 3848.56 kg. ha⁻¹ que celui de la variété lingot blanc de 3461.11 kg. ha⁻¹ détaillé par le traitement LT₂₀ qui a offert un meilleur 5340,93 kg. ha⁻¹ pour la variété nombri et de

5799,17 kg. ha⁻¹ pour la variété lingot. Le plus faible rendement a été le témoin de la variété lingot de 131,67 kg. ha⁻¹. Ces résultats soulignent l'importance de sélectionner la variété appropriée et de déterminer les traitements les plus efficaces pour augmenter les rendements de la culture.

De plus, la matière organique apportée par les composts augmente la capacité de rétention en eau du sol (Bünemann et al., 2018 ; Tittarelli et al., 2007 ; Giacometti et al., 2012 ; Lima et al., 2012) due aux débris végétaux de cet engrais. De ce fait, le haricot est une plante résistante à la pluie et la température moyenne journalière seront plus importante aux variétés de haricot testées, d'où un meilleur degré jour de croissance. Ensuite, la texture limono-sableuse des sols permettrait aux variétés de haricot de mieux résister à cette saison culturale pluvieuse et aussi de mieux profiter des éléments nutritifs apportés par les amendements du fertilisant biologique (50% du biochar +50% débris végétaux et guano). Cette variation intervariétale de rendement de haricot commun pouvait être due au patrimoine génétique des différentes variétés utilisées en favorisant ou en défavorisant l'une ou l'autre variété utilisée dans les conditions édaphoclimatiques de notre milieu (Mufind et al. 2017). Ce constat a aussi été noté par Lubobo et al, 2016.

En effet, celui-ci a non seulement trouvé que, différents génotypes pouvaient induire des différences de rendement hautement significatives ($p < 0,001$), mais aussi, le rendement d'un même génotype était significativement influencé par le milieu et même les traitements à dose croissante de l'engrais. C'est ici qu'il faut relever l'importance du choix des variétés plus performantes et les traitements adaptés afin de les mettre dans un environnement leur permettant d'exprimer leurs potentiels génétiques et surtout productifs.

Ici, qui sont de variétés locales lingot blanc et nombril de bonne sœur avec un taux de germination acceptable grâce aux préparations du sol. Le labour bien effectué et l'arrosage adéquat en plus de la pluie facilitent un meilleur contact entre le sol et les grains de haricot, ce qui fait que les graines semées disposent assez d'humidité pour leur levée. Pour ce qui est

Tableau 5. Calcul de rentabilité économique des variétés en fonction des traitements

| Traitement | MO | Variété | Rdt estimé en ha (kg/ha) | CI (Ar) (Capital investi) | PB (Ar) (Produit brut) | VAB (Ar) (Valeur ajoutée brute) | VAN (Ar) (valeur ajoutée nette) | Revenu /ha | (1) Totale Charge (en Ar) | (2) Coût de revient | (3) RVC: VAB/CI | (4) RVP : VAB/MO |
|------------------|-----|---------|--------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------|---------------------------|---------------------|-----------------|------------------|
| LT ₀₀ | 516 | LingB | 131.67 | 150 000 | 395 000 | 245 000 | -536 733.12 | -2 858 733.10 | 3 253 733.12 | 24 711.27 | 0.12 | -5 530.49 |
| | | NombS | 137.66 | 140 000 | 385 448 | 250 448 | -531 285.12 | -2 853 285.1 | 3 243 733.12 | 23 497.99 | 0.11 | -5 529.63 |
| LT ₅ | 541 | LingB | 2164.79 | 1 350 000 | 6 494 370 | 5 144 370 | 4 741 766.89 | 2 307 266.89 | 4 566 233.12 | 2 109.32 | 1.42 | 4 264.81 |
| | | NombS | 2291.16 | 1 340 000 | 6 415 248 | 5 075 248 | 4 362 636.88 | 1 928 636.88 | 4 466 233.12 | 1 949.33 | 1.43 | 3 564.94 |
| LT ₁₀ | 541 | LingB | 2531.13 | 2 550 000 | 7 593 410.01 | 5 043 410.01 | 4 261 676.89 | 1 827 176.89 | 5 676 233.12 | 2 242.57 | 1.33 | 3 377.40 |
| | | NombS | 3060.82 | 2 540 000 | 8 570 296 | 6 030 296 | 5 248 562.88 | 2 814 062.88 | 5 666 233.12 | 1 851.21 | 1.51 | 5 201.59 |
| LT ₁₅ | 541 | LingB | 3676.58 | 3 750 000 | 11 029 750 | 7 279 750 | 6 498 016.88 | 4 063 516.88 | 6 876 233.12 | 1 870.27 | 1.60 | 7 511.12 |
| | | NombS | 4033.106 | 3 740 000 | 11 293 680 | 7 553 600 | 6 771 866.88 | 4 337 366.88 | 6 866 233.12 | 1 702.47 | 1.64 | 8 017.31 |
| LT ₂₀ | 541 | LingB | 5340.94 | 4 950 000 | 16 022 810 | 11 072 810 | 10 291 076.90 | 7 856 576.90 | 8 076 233.12 | 1 512.13 | 1.99 | 14 522.32 |
| | | NombS | 5799.17 | 4 940 000 | 16 237 676 | 11 297 676 | 10 515 942.9 | 8 081 442.9 | 8 066 233.12 | 1 390.92 | 2.02 | 14 937.97 |
| LT ₂₅ | 541 | LingB | 5316.21 | 6 150 000 | 15 948 650 | 9 798 650 | 9 016 916.88 | 6 582 416.88 | 9 276 233.12 | 1 744.89 | 1.71 | 12 167.12 |
| | | NombS | 5835.43 | 6 140 000 | 16 339 204 | 10 199 204 | 9 417 470.88 | 6 982 940.88 | 9 266 233.12 | 1 587.92 | 1.76 | 12 907.46 |
| LT ₃₀ | 541 | LingB | 5066.45 | 7 350 000 | 15 199 340 | 7 849 340 | 7 067 606.88 | 4 633 106.88 | 10 476 233.12 | 2 067.77 | 1.45 | 8 567.50 |
| | | NombS | 5782.591 | 7 340 000 | 16 191 252 | 8 851 252 | 8 069 518.88 | 5 635 018.88 | 10 466 233.12 | 1 809.96 | 1.54 | 10 415.93 |

Légende : Traitement (dose croissante) : LT₀₀ : témoin absolu (sans traitement) ; LT₅ : 5g Fertilisant biologique ; LT₁₀ : 10g Fertilisant biologique ; LT₁₅ : 15g Fertilisant biologique ; LT₂₀ : 20g Fertilisant biologique ; LT₂₅ : 25 g Fertilisant biologique ; LT₃₀ : 30g 50% du biochar +50% débris végétaux et guano. Variété : LingB : Lingot blanc et NombS : Nombril de bonne sœur (1) Capital investi (CI)= Charge + Amortissement + Main d'œuvre (MO), (2) Coût de revient = Totale charge / produit brut rdt , (3), Rapport Valeur Coût (RVC) = produit brut (PB)/ CI, (4) Rapport Valeur Peine (RVP) = Revenu / Totale main d'œuvre, Rdt :Rendement,

de l'effet de l'engrais sur les paramètres de rendement, il est à noter que des différences hautement significatives étaient observées sur tous les paramètres étudiés ($p=0,000$) et l'effet de variété, à l'exception le nombre de feuilles ($p=0,060$) et le nombre de graines par gousse ($p=0,0110$), des différences significatives ont été induites ($p<0,005$) ainsi que l'effet d'interaction traitement*variété, ils ont des effets similaires ($p>0,005$) sauf que la biomasse totale et le rendement obtenu ont été des différences très hautement significatives ($p=0,000$).

L'effet traitement sur le taux de levée ($p=0,000$) et le taux de survie ($p=0,000$) ont été des effets significatifs tandis que l'effet variété sur le taux de levée ($p=1,000$) et le taux de survie ($p=0,285$) et l'interaction traitement*variété sur le taux de levée ($p=1,000$) et le taux de survie ($p=0,998$) ont été des différences non significatives.

La variété nombS a été donné un meilleur rendement estimable pour la dose LT_{25} ($5835,43 \text{ kg. ha}^{-1}$) suivie de la dose LT_{20} ($5799,17 \text{ kg. ha}^{-1}$) $> LT_{30}$ ($5782,59 \text{ kg. ha}^{-1}$) que la variété lingB LT_{20} ($5340,93 \text{ kg. ha}^{-1}$) $> LT_{25}$ ($5316,21 \text{ kg. ha}^{-1}$) $> LT_{30}$ ($5066,44 \text{ kg. ha}^{-1}$). Par rapport au rendement moyen national de 1 t/ha , le rendement commercial du témoin est le plus faible largement moins de cette valeur. Or, les variétés lingot blanc et nombril de bonne sœur ont donné à la dose LT_5 des meilleurs rendements supérieurs à 1 t/ha jusqu'à 500% à LT_5 face au rendement international de 5 t/ha (Maep, 2006), le haricot sec issu de la dose LT_{20} lui est plus proche pour les deux variétés. Mais il reste encore du chemin à faire, soit de plus en plus d'intensification de la conduite de culture en mono système ou associés aux autres cultures. Du point de la diminution de rendement lorsque la dose d'engrais augmente à partir de LT_{25} , les biochars ne sont pas toxiques pour l'activité biologique, par contre, ils peuvent causer des problèmes en concentration extrêmement élevée comme c'est le cas d'essais avec 50% de biochar sur la culture de poireau, pomme de terre et chou dans le rapport présenté par The Char Team en 2015. Cette variabilité des résultats peut être expliquée par les conditions d'humidité différentes au niveau des sols influencés par les composts dans des conditions climatiques sèches comme il a été observé par les études de Vanden Nest et al. (2014) et Juhos et al. (2015). Dans de telles situations, l'efficacité des fertilisants chimiques est donc réduite par rapport aux amendements organiques qui retiennent l'humidité autour de la zone racinaire (Tittarelli et al., 2007). De préférence, la dose de 20 g du fertilisant biologique environ par trou d'un grain est suffisante pour avoir de bon rendement avec l'activation biologique de la composition de cet engrais. Cette différence de rendement entre parcelles traitées à différentes doses peut s'expliquer par le fait que la productivité du haricot est grandement influencée par la fertilité du sol (Nyabyenda, 2014 et Bargaz, 2012) y compris l'azote et le fonctionnement des microorganismes du sol. Les différences de croissances causées sur les mêmes raisons avancées comme les microclimats, les types de sols différents et la vitesse de minéralisation différente en fonction des conditions pédoclimatiques sont valables pour expliquer ces variations. Les composantes du rendement : le poids de 100 graines et la biomasse totale par plante ont suivi la même tendance que le rendement c'est aussi le cas pour l'étude des différentes variétés communes de haricot par Mufind et al., 2017. Se référant au résultat de ses expérimentations, il apparaît donc bénéfique d'assurer un apport adéquat d'engrais pour optimiser le rendement de haricot commun vu au constat de certaines variétés (COD MLB001, HM 21-7, K132 et RWR2245), un grand écart de rendement a été

déduit entre parcelles fertilisées et non fertilisées. Cet auteur aussi a remarqué qu'il y avait des variétés qui expriment leur potentiel génétique seulement sur un environnement fertile (jusqu'à une certaine dose) certaines variétés ne réagissent pas à la fertilisation minérale, car n'étant pas dans leur zone écologique favorable, par contre d'autres variétés sont capables à produire aussi bien que sur les conditions de fertilité défavorables. C'est pourquoi, la décision d'application de cet engrais biologique à base de biochar considéré comme une technologie adéquate à la protection de l'environnement et à la productivité du sol. Dans cet écosystème, il est très important de nourrir la plante par l'entretien des microflore et microfaunes dans le sol qui apporte l'ensemble des nutriments dont la plante a besoin. Ainsi, elle sera en parfaite santé et elle pourra lutter contre ses parasites. (Franck T., 2016). C'était la raison pour laquelle de choisir les variétés locales et le type de sol sans subir de traitement chimique pour bien saisir et suivre le comportement de la plante en fonction de ces traitements en faisant renouveler le sol à apte de travailler et de produire biologiquement dans une condition favorable nécessaire à la culture même si le sol a une texture acido-sableux. A ce stade, certaines variétés qui expriment leur potentiel génétique seulement sur un environnement fertile (jusqu'à une certaine dose), certaines variétés ne réagissent pas à la fertilisation minérale, car n'étant pas dans leur zone écologique favorable aussi bien que d'autres variétés par contre sont capables d'exprimer leur potentiel génétique sur les sols fertiles aussi bien que sur les conditions de fertilité défavorables. (Mufind, 2017). En effet, excepté les autres éléments essentiels, la nutrition azotée du haricot commun se fait par deux processus complémentaires au cours du cycle de croissance de la plante : soit par assimilation de l'azote minéral du sol, soit par fixation symbiotique de l'azote atmosphérique (Voisin et Gastal, 2015 ; Mufind et al, 2017). Il devient alors nécessaire de préciser que la nutrition azotée des légumineuses est tout d'abord assurée par la réduction du NO_3^- du sol avant que la fixation symbiotique prenne la relève (Guene, 2002). Cependant, l'efficacité de cette dernière est souvent réduite sous les tropiques où le haricot est fréquemment cultivé sur des sols marginaux où il devient difficile d'assurer le potentiel d'assimilation symbiotique de la légumineuse et par conséquent, une production élevée et stable en gousses et en graines (Baudoin et al., 2001). À propos de la composante essentielle de rendement, la forte dépendance du rendement à la quantité de biomasses produites à la floraison (**tableau 3**), également un fort effet de disponibilité des éléments issu du fertilisant biologique dans le sol sur la production de biomasses totales et, en conséquence, sur le rendement. Ces effets de variété et le traitement par le fertilisant biologique se traduisent par une augmentation du rendement de l'ordre de 99 %, en passant de 131 à 6000 kg. ha⁻¹ (**tableau 3**). Au sujet du traitement aux ennemis de la culture, il est préférable de ne traiter aucune maladie fongique, mais une des techniques naturellement comme la pratique paysanne Malgache contre la rouille en utilisant l'extrait aqueux de piment, quand les attaques surviennent tardivement vers la fin des stades végétatifs. Cependant, la lutte contre l'attaques précoces des ravageurs et des maladies repose sur la combinaison de différentes méthodes l'emploi de variétés résistantes et de semences saines, indemnes de germes pathogènes, la rotation culturale qui permet d'éviter le retour trop rapide de haricots ou d'autres légumineuses sur la même parcelle, une irrigation maîtrisée et sans excès (et surtout la non dépendance aux engrais chimiques qui ont un impact négatif sur l'environnement et la santé humaine. Généralement, l'agriculture

moderne est essentiellement dépendante d'intrants inorganiques pour une production intensive (FAO, 2003 ; Bouet et al., 2012 ; Tunya et al., 2014).

Le prolongement de la maturité physiologique du haricot issu de deux variétés par rapport aux témoins est probablement dû aux fonctionnements du fertilisant biologique. Toutefois, l'emploi du fertilisant biologique ont été contribués à une bonne vigueur (nuance de la couleur verte sur les deux variétés en fonction de la dose croissante, l'attaque des pucerons, la rouille sur les feuilles et les chenilles jeunes se sont faits au moment de floraison, les plants les plus attaqués sont les plants des parcelles témoins selon l'ordre décroissant de $LT_{20} < LT_{25} < LT_{30} < LT_{15} < LT_{10} < LT_5 < LT_0$ suivant la note du signe de la maladie par pied de la note 0 (LT_{20} , LT_{25} , LT_{30} , LT_{15}) pour un pied sain ne présentant pas de la maladie ; de la note 1 signifie un pied qui présente la maladie et la note 2, un signe des pieds faiblement malades. Cet engrais biologique a été diminué l'attaque de la population des ravageurs du haricot, et améliore la qualité et la quantité produite. La différence de comportement des plants et la productivité du sol à la fertilité auront d'ailleurs des conséquences directes sur la rentabilité économique liée à l'utilisation de l'engrais. Strictement parlant, l'un RVC (Rapport Valeur Coût) supérieur à 1 est économiquement rentable c'est-à-dire, le coût d'investissement est couvert et il reste quelque chose comme profit. (Mufind, 2017). Cependant, des agriculteurs, à ressources financières limitées, s'attendant à des risques élevés dans la production et les prix. (Mufind, 2017). Ils sont rarement enclins à risquer un investissement, à moins que les bénéfices ne soient substantiellement plus élevés que l'investissement. Sous les deux variétés, la valeur ajoutée brute augmente avec la dose croissante apportée à la culture et la plus haute valeur enregistrée est à la dose LT_{20} : c'est la VAB (Valeur ajoutée brute) optimale correspond à la dose moyenne puis décline en croissant la dose. Le présent tableau montre qu'à la dose LT_{20} ($RVC = 1.99$ (LingB), $RVC = 2.02$ (NombS) a un bénéfice brut optimal. C'est aussi le cas de Nyembo (2014) qui avait remarqué que lorsque les fortes doses des fertilisants sont utilisées, l'augmentation de rendement qu'elles entraînent ne faisait que compenser les dépenses engagées pour leur achat sur la culture de maïs à Lubumbashi. Du fait que l'effet du biochar dans ce fertilisant biologique peut se manifester durant 50 ans (Lehman et al., 2006) ce qui en fait un choix intéressant et pourrait être accepté à diffuser pour l'amendement du sol à long terme au choix d'une dose à moindre coût à partir de la dose 5g jusqu'à la dose optimale de 20g environ par poquet.

Conclusion

Cette étude a montré que l'engrais biologique fabriqué à partir des matériaux disponibles sur place tels que le biochar, les débris végétaux et guano, constitue une source non négligeable capables d'améliorer la fertilité des sols et de donner des résultats similaires ou plus intéressants que les autres fertilisants. Au regard du potentiel de cet engrais, les résultats obtenus lors de l'expérimentation sur le rendement moyen estimé avec la variété nombril de bonne sœur ($3848.56 \text{ kg. ha}^{-1}$) sont supérieurs à ceux obtenus avec la variété lingot blanc ($3461.11 \text{ kg. ha}^{-1}$). En revanche, la dose de l'engrais biologique à partir de 5g permettrait déjà d'obtenir une augmentation significative de rendement. Toutefois, les résultats de l'analyse économique des données montrent que le rapport valeur-coût (RVC) est supérieur à 1 pour toutes les doses de cet engrais

biologique, à l'exception du témoin, ce qui les rend économiquement intéressantes. Cet engrais est une technologie qui pourrait être acceptée pour être diffusée au vu des économies réalisées en termes de lutte contre les différentes maladies et ravageurs pendant la phase de culture, au lieu d'utiliser une agriculture intensive. En général, il agit en double effet en protégeant naturellement la culture contre les ennemis tout en améliorant l'activité biologique du sol, ce qui permet d'obtenir de bons rendements. Ainsi, il semble que cette technologie permet d'atténuer les effets des éléments perturbateurs en les adsorbant grâce au biochar, tout en favorisant les conditions optimales nécessaires à la production. En outre, la cherté des produits phytosanitaires et leurs impacts néfastes sur la santé est incontournable alors que cet engrais est non toxique au sol et bénéfique pour les paysans en expliquant qu'à la moindre dose de 5g par graine peut être suffire pour tout cycle de culture des haricots. Etant donné que l'investissement nécessaire à la production constitue déjà une charge lourde pour l'agriculture. Il est recommandé de valoriser les potentielles sources de biomasse organique disponibles localement, en les combinant avec du biochar pour évaluer leurs effets sur les propriétés biologiques du sol. Il convient surtout de considérer le potentiel du biochar comme amendement du sol, car cela pourrait représenter une opportunité intéressante pour améliorer la fertilité des sols de manière durable. Il incite également de mener des études similaires dans d'autres régions présentant des contraintes similaires en termes de sols, avec différentes variétés de cultures, et de poursuivre les recherches en collaboration avec les agriculteurs locaux qui doivent être informés des bonnes pratiques d'utilisation du biochar telles que la quantité optimale à appliquer, la fréquence d'application et les types de cultures qui bénéficient le plus de l'utilisation de cet amendement du sol. Toutefois, en explorant différentes combinaisons de biochar avec d'autres matières organiques, il sera possible de trouver leurs combinaisons optimales capable d'améliorer les propriétés du sol et d'obtenir des rendements optimaux pour les cultures. Ainsi, l'usage agricole du biochar qui est une richesse invisible et précieuse pour faire face aux changements climatiques en favorisant le stockage de carbone organique dans le sol. Cependant, avec une forte raison d'avoir la bonne fertilité et ses bienfaits au sol, la mise en place d'une politique adaptée serait également nécessaire pour faciliter la diffusion de son application comme amendement du sol, en priorité la continuité de la sensibilisation des gens à planter davantage les arbres. En fin de compte, la promotion de l'utilisation du biochar comme amendement du sol doit être une approche collaborative, impliquant les gouvernements, les agriculteurs, les chercheurs et les entreprises, pour assurer un impact positif sur la fertilité des sols et sur l'environnement dans son ensemble.

Remerciement.

Nous tenons à remercier les membres du comité de suivi de thèse-GRND, le laboratoire de Pédologie FOFIFA et le laboratoire d'analyse microbiologique du sol et de contrôle des aliments et des Eaux au CNRE Antananarivo- Madagascar pour avoir facilité les travaux de laboratoire et les analyses.

Références bibliographiques

- Bargaz A. (2012). Caractérisation agrophysiologique et biochimique de symbioses Haricot (*Phaseolus vulgaris*)-Rhizobia performantes pour la fixation symbiotique de l'azote sous déficit en phosphore, thèse de Doctorat, Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, Université Caddy Ayyad, 163p.
- Baudoin J.-P., Vanderborght T., Kimani P.M. et Mwang'ombe A. W., Les légumineuses à graines : Le Haricot commun. In : Raemaekers R. H. (éditeur) (2001). Agriculture en Afrique tropicale, Bruxelles, Belgique : DGCI (Direction Générale de la Coopération Internationale), Ministère des Affaires Étrangères, du Commerce Extérieur et de la Coopération Internationale, 317-334 p.
- Bouet A, Nicaise Acho Amancho A, Sanogo S, Camara M. 2012. Effet de la fertilisation azotée et phosphorée sur le développement de la Panachure jaune en riziculture aquatique en Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 6(6). p. 4071-4079. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i6.17>
- Bünemann S.K., Giulia B., Zhanguo B., Rache C. (2018), Qualité des sols-un examen critique, biologie, biochimie des sols 120 (5). 105
- Chaux C. & Foury C. (1994), Productions légumières, tome3, Technique et Documentation Lavoisier Paris. p. 75- 142
- Claire Neema et Julien Capelle (Agroparistech) : Recherches sur un champignon à l'origine de l'une des principales maladies du haricot dans *Du fayot au mangetout, l'histoire du haricot sans en perdre le fil*, Rouergue, 2010 (ISBN 978-2-8126-0172-9). P. 134-137.
- Du Jingshu, Bart Leton, Wim Vanhaverbeke (2014), Gestion de projet d'innovation ouverte avec des partenaires basés sur la science et sur le marché 43 (5)
- Duru, M., Therond, O., 2015. Livestock system sustainability and resilience in intensive for the Semi-Arid Tropics. 57 p.
- Giacometti, C., Demyan, M. S., Cavani, L., Marzadori, C., Ciavatta, C., Kandeler, E., (2012). Chemical and microbiological soil quality indicators and their potential to differentiate fertilization regimes in temperate agroecosystems. *Applied Soil Ecology* 64 (2013). p. 32-48.
- Guene N.F.D.E. (2002). Utilisation des inoculums de rhizobium pour la culture du haricot (*Phaseolus vulgaris*) au Sénégal, Thèse de Doctorat, Facultés des Sciences et techniques, Université CHEIKH ANTA DIOP DAKAR, Dakar. 112 p.
- FAO, 2003, Association Internationale de l'Industrie des Engrais, Les engrais et leurs applications : Institut Mondial du Phosphate : Rabat ; 76.
- Frank T., 2016, Les microflores dans le sol. Ateliers de l'herbe. (<https://www.ateliersdelherbe.org/la-microflore-quel-est-son-role-dans-le-potager-en-lasagne>.mhtmln online 2007)
- Jensen, ES Peoples, Hauggaard Nielsen H. (2010), la féverole dans les systèmes de culture. *Grandes cultures res.*, 115 (3). p. 203-216.
- Juhos K., S.Czigany, Madarasz B., Marta Iadanyi, (2015), Interpretation soil quality indication for land suitability assessment a multivariate approach for central European arable soils. p. 29.
- Köpke Ulrich et Thomas Nemeck (2010), Recherche sur les grandes cultures 115 (3). p. 217-233.
- Lehmann J, Gaunt J., Rondon M (2006) Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—A review. Mitigation and adaptation strategies for global change 11. p. 395-419.

- Lima, A.C.R., Brussaard, L., Totola, M.R., Hoogmoed, W.B., de Goede, R.G.M., 2012. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. *Applied Soil Ecology* 64 (2013). p. 194–200.
- Lubobo K., Ilunga M., Maki, Antoine, (2016), Production des variétés de haricot (*phaseolus vulgaris*) bio fortifié sous engrais verts et fumures minérales dans le Haut-Katanga, INERA, Poster. 1p.
- MAEP (2006), Système d'Information sur les Marchés Ruraux (SMIR), Ministère de l'Agriculture de l'Elevage et de la Pêche, Bulletin n° 8. 6 p.
- Mufind Kayakez M., Tshala Upite J., Kitabala Misonga A., Nyembo Kimuni L. (2017). Réponse de huit variétés de haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) à la fertilisation minérale dans la région de Kolwezi, Lualaba (RD Congo), *J. Appl. Biosci.* 10894-10904 (<http://dx.doi.org/104314/jab.v11i11.6>)
- Nedumaran, S., Abinaya, P., Jyosthnaa, P., Shraavya, B., Rao, P., Bantilan, C., (2015). Grain legumes production, consumption and trade trends in developing countries. Working Paper Series No 60. ICRISAT Research Program, Markets, Institutions and Policies. Patancheru 502 - 324, Telangana, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 57 p.
- Nyabyenda P. (2005). Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique : Généralités, Légumineuses alimentaires, Plantes à tubercules et racines, Céréales. Presses agronomiques de Gembloux, Bruxelles. 225 p.
- Rakotoarisoa M. D. (2008), Rapport d'activité, promotion de la filière haricot sec, CTHA. 12 p.
- Ralison E., Goossens F. (2006), Profil des marchés pour les évaluations d'urgence de la sécurité alimentaire, Programme Alimentaire Mondial (PAM). 42 p.
- Randriatsarafara H. R. (2000). Agriculture biologique, Les études documentaires du site, Centre d'information Technique et Economique CITE. 69 p.
- Sheela Devis, Dhanalaksmi J, Selvi S, (2013). Activité antibactérienne et antifongique de la lécithine des graines de pongamia glabra *Int.J. Curr Biotech.* 1 (8). p. 10-14
- Stavi, I., Bel, G., Zaady, E. (2016). Soil functions and ecosystem services in conventional, conservation, and integrated agricultural systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 36. p. 32-32 p.
- Tittarelli, F., Petruzzelli, G., Pezzarossa, B., Civilini, M., Benedetti, A. and Sequi, P. (2007). Quality and agronomic use of compost. *Compost science and technology*. p. 119-152.
- Unilet, (1998), Union Nationale interprofessionnelle de Légumes transformés, Haricots pour la transformation. 32 p.
- Tunya BA, Lelei JJ, Ouma JP. 2014. Effect of chickpea (*Cicerarietinum* L.) and white lupin (*Lupinus albus* L.) on phosphorus mobilization from Minjingu phosphate rock, soil chemical properties and plant nutrient uptake in various cropping systems. In innovative research and technology for global development. Proceedings 26-28 mars. Egerton University Press. p. 301-315.
- Vanden Nest, T., Vandecasteele, B., Ruyschaert, G., Cougnon, M., Merckx, R., Reheul, D. (2014). Effect of organic and mineral fertilizers on soil P and C levels, crop yield and P leaching in a long-term trial on a silt loam soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 197. p. 309–317.

Voisin A.S. & Gastal F., (2015). Nutrition azotée et fonctionnement agrophysiologique spécifique des légumineuses, In : A. Schneider, C. Huyghe (Coordonnateurs), Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables, Quae, Versailles, France. p. 79-138.

Zehrer W., (2000). Extrait de L'utilisation des Produits naturels en protection des végétaux à Madagascar. 597 p.

Zoundji C., Pascal, Houinsou D. and Fatiou T. (2015). Determination of soybean (glycine max (L), Production system in Benin. 11 p.