

Effet du Di-ammonium Phosphate (DAP) sur la valeur fertilisante de la balle de riz (*Oryza sativa* L.)

Désiré Nimubona et Salvator Kaboneka*

Département Sciences et Technologies de l'Environnement (STE). Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie (FABI). B.P. 2940. Bujumbura. Burundi.

* Auteur pour correspondance. Email / salvator.kaboneka@ub.edu.bi

Reçu: le 3 février 2022

Accepté pour publication: le 25 mars 2022

Publié en ligne pour la première fois: le 31 mars 2022

Résumé

La présente initiative de recherche avait pour but d'évaluer la valeur fertilisante de la balle de riz en utilisant du (DAP) pour réduire ses rapports C/N et C/P. La culture test était le maïs récolté à l'état végétatif à 1 mois du semis. Le dispositif expérimental était en randomisation totale avec 5 traitements et 3 répétitions. La balle de riz (BR) a été appliquée à un équivalent de 1 T/ha. Les traitements testés étaient : T₁ = Témoin (sol seul), T₂= BR+ 0 kg DAP/ha, T₃=BR+27 kg DAP/ha, T₄=BR+54 kg DAP/ha, T₅=BR+81 kg DAP/ha. Trois récoltes ont été effectuées 4 semaines après le semis. A chacune des 3 récoltes et leur combinaison, des analyses de la variance, suivies du test de Newman-Keuls ont été effectuées sur : hauteur des plants, biomasse sèche racinaire, biomasse sèche aérienne, biomasse sèche totale et la biomasse cumulée des plants de maïs. Bien que l'effet dose de DAP n'ait pas été apparent à la troisième récolte, la croissance en hauteur et la production de biomasses suivaient l'ordre : T₅ > T₄ >T₃ T₂ >T₁, sans qu'une nette proportionnalité des doses d'engrais minéral ne soit visible. Tout compte fait, les résultats obtenus ont prouvé que la balle de riz complétementée avec du DAP pourrait être directement utilisée comme fumure organique. Cependant, pour pouvoir tirer des conclusions fiables, nous recommandons de mener des essais en champ, au mieux avec la balle de blé préalablement compostée et complétementée avec des engrais minéraux ou des résidus organiques à base de légumineuses riches en N.

Mots clés: *Balle de riz, adjuvants minéraux, DAP, valeur fertilisante, maïs.*

Abstract

The present experimental pot study aimed at evaluating the fertilizer value of rice husks complemented with DAP (18-46-0). Addition of DAP was expected to boost mineralization and nutrient release from rice husks through C/N and C/P ratios reduction. The test crop was maize (*Zea mays* L.) harvested at the vegetative stage after 1 month after seed sowing. The experimental design was a completely randomized design with 3 replicates and 5 treatments. Rice husks (RH) was applied at an equivalent of 1 T/ha. Treatments under evaluation were: T₁=Control, T₂=RH+0 kg DAP/ha, T₃=RH+27 kg DAP/ha, T₄=RH+54 kg DAP/ha, T₅=RH+81 kg DAP/ha. Three harvests were performed at 4 weeks interval. At each of the 3 harvests and their combination, an analysis of variance followed by a test of Newman-Keuls were performed on maize plant height, root, shoot and total dry biomass. Although the effect of DAP fertilizer application rates had disappeared at the third harvest, maize growth and biomass production followed the decreased order hereafter: T₅ > T₄ >T₃ T₂ >T₁, without a clearly expressed proportionality of DAP application rates. In the end, the study indicates that rice husks could directly be used as organic manure provided they are complemented with mineral fertilizers. However, we advise that to be conclusive, our results are to be tested under field conditions, with co-composted rice husks with mineral fertilizers or low C/N ratio organic residues.

Keywords: *Rice husk, complementation, mineral additives, DAP, fertilizer value, maize.*

1. Introduction

Le Burundi, pays essentiellement agricole où plus de 90 % de la population active s'occupe de l'agriculture, reste caractérisé par une production agricole faible. La pression démographique qui engendre l'atomisation et la surexploitation des terres sans restitution de leur fertilité est une des causes majeures de la faible productivité des sols burundais. L'une des solutions qui pourraient augmenter la production est l'amélioration de la fertilité du sol par l'utilisation des engrais chimiques et de la fumure organique.

Néanmoins, les engrais chimiques sont importés et ne sont pas disponibles au moment propice ni accessibles à la population dont les revenus sont faibles. Ainsi, l'enquête nationale agricole du Burundi 2011-2012 a montré que la proportion au plan national des ménages qui ont utilisé des engrais chimiques a été estimée à 28,4 % en saison A, à 32,4 % en saison B et à 11,4 % au cours de la saison C (ISTEEBU, 2013). C'est à cause du faible pouvoir d'achat des paysans et du prix excessif des engrais qui a fait que leur utilisation reste plus faible au Burundi à savoir 8 kg/ha/an contre 102 kg en Asie du Sud, 157 kg au Brésil et 202 kg en Asie de l'Est (ADISCO, 2013).

D'autre part, la réduction des litières, des espaces pâturables et des effectifs du bétail ne permettent plus à l'agriculteur de produire assez de fertilisants organiques. Enfin, certaines matières organiques restent inutilisables en agriculture du fait de leur rapport carbone/azote (C/N) élevé qui ne facilite pas l'activité microbienne responsable de la décomposition de celles-ci. Le rapport C/N idéal pour la vie microbienne est voisin de 25 (M. Vilain, 1997). De même que dans le cas de l'azote, la richesse en phosphore des résidus végétaux enfouis oriente les résultats de la dégradation de ces résidus, soit vers une minéralisation apparente pour un rapport carbone/phosphore (C/P) < 200, soit vers une immobilisation pour un rapport C/P > 300 (R. Morel, 1996). En principe, lorsqu'on incorpore au sol la matière organique dont le rapport C/N est élevé (> 30), sa décomposition est lente. Cependant, on assistera chez la culture en place à ce qu'on appelle « faim d'azote » causée par les microorganismes qui vont satisfaire une partie de leurs besoins en azote aux dépens de l'azote du sol, si un apport minéral n'a pas été prévu lors de l'enfouissement de la matière organique (C. Chauv et C. Foury, 1994).

La balle de riz est un produit dérivé de la transformation du riz. Elle est constituée de l'ensemble des bractées ou glumelles qui renferment le grain. Les balles de riz représentent environ 20 % du poids total du riz récolté. Elles sont riches en fibres (35-46 %) mais pauvres en protéines (2-6 %). Leurs cendres sont riches en silice (M.

Arraudeau, 1998). Au Burundi, la production de riz paddy s'élevant à 64 629 tonnes (ISTEEBU, 2013) qui correspond à environ 12 926 tonnes de balles. La balle de riz peut être utilisée comme fumure organique mais ses rapports C/N et C/P élevés limitent son utilisation au Burundi où elle est fortement utilisée comme combustible dans la fabrication des briques.

Une étude récente commanditée par IFDC/PAGRIS indique que les résidus du riz totalisent 123 098 tonnes par an, représentant un peu moins de 30 % du total des déchets agro-industriels et urbains produits en 2021. De cette quantité, les balles de riz représentent 48114 tonnes essentiellement produits autour de l'axe rizicole Gihanga-Bubanza (B. Minani et al., 2021).

Dans le but de contribuer au maintien de la fertilité des sols, les institutions de recherches agronomiques comme l'ISABU, la Faculté des Sciences Agronomiques (FACAGRO) et aujourd'hui la Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie (FABI) de l'Université du Burundi se sont intéressées sur la valeur agronomique des matières organiques (fumier, composts et résidus végétaux divers) complémentée par des apports minéraux (V. den Berghe, S. Kaboneka et al., 2020-2021). A titre d'exemple, A. Nizigiyimana (1986) a relevé l'effet améliorateur de la production agricole avec le fumier et a avancé que cet effet peut être significativement amélioré par addition de suppléments minéraux. Hennebert (1988-1989) a aussi montré que l'adjonction d'engrais minéraux sur base d'éléments majeurs a permis de corriger les équilibres entre éléments (C/N, C/P) des matériaux organiques compostés. Le même investigateur a observé et rapporté que la valeur fertilisante des substrats compostés a été significativement augmentée, avec une efficacité dépendante des éléments chimiques ajoutés. C'est ainsi que de bonnes performances ont été enregistrées avec des doses de complémentation minérale correspondant à 1-1,5 % N et 1-2 % de P sur base de matière sèche.

Aussi, les travaux réalisés dans le cadre du projet CVHA (Cultures Vivrières en Haute Altitude) ont pu démontrer que les composts améliorés donnent des rendements plus élevés par rapport aux composts non améliorés. Dans ce cadre, C. Hicintuka (1991) stipule que la complémentation minérale du compost au moment de son application en champ au Centre de Rapiro a permis d'enregistrer des rendements significativement supérieurs à ceux obtenus avec le compost traité dans la compostière. Ces résultats ont été confirmés à Campazi et Muruta où le compost amélioré par addition d'engrais minéraux a donné des rendements plus élevés que ceux obtenus avec le compost traditionnel non amélioré.

D'autre part, les travaux de laboratoire effectués à la FACAGRO sur la décomposition de la paille de blé ont abouti à des conclusions similaires suivantes :

- i. Un sol paillé et amendé à hauteur de 120 kg de P_2O_5 /ha permet d'avoir une décomposition la plus élevée de la paille de blé appliquée (+ 59 %) au bout de 56 jours d'incubation. Cette augmentation de décomposition est plus réduite pour les doses inférieures : + 40 pour 40 kg de P_2O_5 /ha et + 51 % pour 80 kg de P_2O_5 /ha (J.C. Nivyiza, 2001; S. Kaboneka et al., 2004).
- ii. La décomposition de la paille de blé augmente avec les doses d'engrais N ajoutés (40, 80, 120 kg N/ha). Néanmoins, il a été observé que la dose optimale se situe à 80 kg N/ha car les effets de cette dose sur la vitesse de décomposition de la paille de blé sont équivalents à ceux obtenus avec la dose supérieure de 120 kg N/ha. La complémentation des pailles de blé enfouies dans le sol double leur vitesse de décomposition, tandis que celle de 80 kg et 120 kg N par hectare la triple (L. Sibomana, 2000 ; S. Kaboneka et al., 2004).

Les différents travaux répertoriés dans les paragraphes ci-dessus montrent bien l'intérêt de la valorisation des matières organiques de toutes natures dans une tentative d'augmenter la production agricole au Burundi. C'est dans cette même optique qu'une recherche sous serre a été réalisée en visant la restitution au sol des éléments contenus dans la balle de riz par complémentation minérale. Le but recherché était la valorisation agronomique de la balle de riz en utilisant un complément minéral à base de DAP (18-46-0) en escomptant un déclenchement d'une rapide décomposition du matériau organique en réduisant ses rapports C/N et C/P.

2. Matériels et méthodes

2.1. Caractérisation du sol utilisé

Le sol utilisé a été prélevé dans une ferme privée sise à Kirekura 13^{ème} Avenue dans la commune Mutimbuzi de la province Bujumbura. Ses principales caractéristiques sont résumées dans le tableau 1. Il a été séché à l'air libre, puis broyé et tamisé à travers un tamis de 2 mm de maille. Des échantillons ont été soumis à des analyses granulométriques et chimiques au Laboratoire d'Analyses des sols et Produits agro-alimentaires de l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU). Les méthodes analytiques sont celles en vigueur dans ce laboratoire (C. Kibiriri & al., 1986a ; C. Kibiriri & al., 1986b).

2.2 Analyses de la balle de riz

A l'époque de l'étude en serre qui fait l'objet du présent document, les analyses chimiques de la balle de riz n'ont

pas pu être effectuées. A titre informatif et en supposant une faible variabilité compositionnelle, nous nous permettons de présenter les résultats d'une récente analyse chimique de la balle de riz et des autres sous-produits de riz. L'étude a été conduite par l'IFDC en collaboration avec l'Université de Ngozi. Dans le cadre de cette étude, une série d'éléments ont été analysés par l'ISABU.

L'azote total d'un échantillon représentatif a été déterminé par digestion avec l'acide sulfurique (H_2SO_4) et le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) suivie de distillation (J.M. Bremner & C.S. Mulvaney, 1982). Le carbone total a été déterminé par la combustion sèche (D.W. Nelson & L.E. Sommers, 1982). Les autres éléments, à savoir P, S, K, Ca, Mg, Pb, Ni, Co, Cu et Zn ont été analysés par spectrophotométrie (ICP) après digestion d'un échantillon de 0,2 g avec HNO_3 et H_2O_2 à 120° C pendant trois heures (B.A. Zarcinas & al., 1987). Les rapports C/N, N/P, N/S, C/P et C/S ont également été évalués pour relever les potentiels déséquilibres nutritionnels pouvant être associés à la balle de riz. Les analyses chimiques de la balle, du son et de la paille de riz d'échantillons représentatifs sont consignées dans le tableau 2.

2.3 Conduite de l'essai

Les travaux d'expérimentation ont été réalisés en pots sur la culture test du maïs et ont été installés à côté du Laboratoire d'Agrochimie de la Faculté d'Agronomie dans les enceintes de l'Université du Burundi. Le dispositif expérimental était en randomisation totale avec 5 traitements répartis en 3 répétitions. Il s'agissait du traitement Sol seul (T_1) qui constituait le témoin et 4 autres traitements (T_2 , T_3 , T_4 , T_5) amendés avec la balle de riz (équivalent à 1 T/ha) et qui recevaient respectivement les équivalents de 0, 27, 54 et 81 kg de DAP/ha. En pratique, chaque pot contenait 4 kg de sol pour tous les traitements. Excepté le traitement témoin, les autres traitements recevaient 1,5 g de balle de riz par pot amendé avec 0, 0,05, 0,11 et 0,16 g de DAP, respectivement. Ces apports en DAP correspondent à des doses respectives de 27, 54 et 81 kg/ha sur base d'une masse moyenne de 2×10^6 kg/ha se sol. L'ajout de ces quantités de N et de P contenus dans le DAP permettait de réduire les rapports C/N et C/P du mélange balle de riz et DAP.

Le sol utilisé a été prélevé dans une ferme privée sise à Kirekura 13^{ème} Avenue dans la commune Mutimbuzi de la province Bujumbura Rural. Le sol était d'abord séché à l'air libre puis broyé et l'incorporation de la balle de riz et du DAP a été effectuée dans les 4 kg de sol sec. Le semis du maïs, variété Ecavel II (ISABU, 2012) a été effectué à raison de 5 graines par poquet. Un démariage laissant trois plants par pot a été effectué une semaine après la levée. L'arrosage avec l'eau de robinet a été effectué chaque fois que de besoin, comme l'a été le sarclo-binage à l'apparition des recrues de mauvaises herbes.

2.4 Collecte des données et analyses statistiques

Trois récoltes ont été effectuées à intervalle de quatre semaines après le semis. La récolte consistait à déraciner toute la partie entière du plant (partie racinaire et aérienne). Avant chacune des trois récoltes, la hauteur de chaque plant a été mesurée, et la moyenne de hauteur des trois plants par pot a été calculée. Les biomasses étaient mesurées après étuvage à 65°C pendant 48 heures. L'étuvage concernait la biomasse des plants entiers. L'estimation de leurs masses sèches concernaient les biomasse racinaires et aériennes séparément. La biomasse cumulée a été calculée après la dernière récolte.

L'analyse statistique a été effectuée grâce au logiciel SPSS (Statistical Package for Social Sciences). Elle consistait à établir le degré de signification entre les traitements par l'analyse de la variance à un seul critère de classification (ANOVA 1) et à classer les moyennes des traitements par ordre décroissant par la méthode de Newman-Keuls au seuil de 5 %. L'interprétation des résultats a été faite en référence à l'ouvrage de P. Dagnélie (1987).

3. Présentation et discussion des résultats

3.1 Analyses de sol

Les résultats des analyses de sols sont synthétisés dans le tableau 2 ci-après.

Tableau 1. Composition chimique du sol utilisé.

Paramètre	Valeur
pHeau	6,22
pHKCl	5,52
C.E (dS/m)	0,061
% C	0,66
% N	0,12
C/N	5,50
Ca échangeable (méq/100 g de sol)	4,35
	1,36
	1,16
Mg échangeable (méq/100 g de sol)	3,20
K échangeable (méq/100 g de sol)	1,17
	4,92
Ca/Mg	5,70
Mg/K	
(Ca+Mg)/K	
CEC (méq/100 g de sol)	

Selon E. Tessens et J. Gourdin (1993), le sol utilisé dans l'expérimentation était un bon sol sans risque de désaturation en bases et de toxicité alumino-manganique. Il est sans risque de salinité ($CE \ll 4$ dS/m) et son pH exclut aussi toute incidence de sodicité qui est observée à des pH

$\gg 8,5$. Son très faible contenu en % C dénote une forte minéralisation de la matière organique du sol qui transparait également dans son faible rapport C/N de loin inférieur à la norme minimale (C/N=9).

Les contenus en Ca échangeable sont bons et ceux en Mg échangeable sont moyens, alors que le sol est riche en K échangeable. En fin de compte, le sol utilisé dans l'expérimentation présente un fort risque de déséquilibre cationique en défaveur du Ca et du Mg échangeable et une faible Capacité d'Echange Cationique associée à son faible contenu en C (matière organique).

Les contenus en Ca échangeable sont bons et ceux en Mg échangeable sont moyens, alors que le sol est riche en K échangeable. En fin de compte, le sol utilisé dans l'expérimentation présente un fort risque de déséquilibre cationique en défaveur du Ca et du Mg échangeable et une faible Capacité d'Echange Cationique associée à son faible contenu en C (matière organique).

3.2. Analyses chimiques de la balle de riz

Nous tenons à informer le lecteur que la balle de riz utilisée dans notre expérimentation n'a pas pu être chimiquement caractérisée. Nous prenons l'hypothèse que de tels résidus sont généralement caractérisés par de faibles variations compositionnelles. Ceci dit, le tableau 2 indique la composition de la balle de riz échantillonnée dans le secteur rizicole Gihanga-Bubanza comparée à celles du son et de la paille de riz (B. Minani et al., 2021).

Tableau 2. Analyses chimiques comparées de balle, de son et de paille de riz.

Paramètre chimique	Balle de riz (1)	Son de Riz (2)	Paille de riz (2)
% M.S	84,9	89,6	81,7
pH	5,9	5,8	6,1
C.E (dS/m)	1,313	1,787	0,966
% C	31,1	32,9	32,4
% N	0,17	0,97	0,45
C/N	182	34	72
% P	0,045	0,034	0,054
C/P	691	968	600
% Ca	0,112	0,114	0,139
% Mg	0,024	0,112	0,129
% K	0,265	0,320	0,085
Ca/Mg	4,7	1,02	1,08
Mg/K	0,09	0,35	1,52
(Ca+Mg)/K	0,51	0,71	3,15
Pb (mg/kg)	$\leq 1,6$	$\leq 1,6$	$\leq 1,6$
Cd (mg/kg)	$\leq 0,06$	$\leq 0,06$	$\leq 0,06$
Ni (mg/kg)	24,8	14	45,4

Co (mg/kg)	1,04	1,17	1,06
Cu (mg/kg)	0,795	1,26	1,27
Zn (mg/kg)	-	705	214

Source : B. Minani & al. (2021). IFDC/Université de Ngozi

T1	27,0±1,1ab	1,3±0,2a	3,0±0,4bc	4,3±0,4b
T2	24,7±2,3b	1,6±0,2a	2,5±0,2c	4,1±0,3b
T3	29,5±1,2a	1,9±0,2a	3,3±0,4b	5,2±0,3ab
T4	29,0±1,0a	1,9±0,2a	3,8±0,3ab	5,7±0,5a
T5	29,2±1,0a	1,9±0,6a	4,3±0,4a	6,2±0,9a

Évaluées sur base des normes de M.R. Motsara et R.N. Roy (2008), la balle de riz est caractérisée par un pH moyennement acide, de très faibles contenus en N, P, K, de faibles contenus en Ca et en Mg, qui génèrent des déséquilibres cationiques, particulièrement en défaveur du Mg et du K. Par contre, elle ne présente pas de risque de salinité sur base de leur conductivité électrique qui est loin du seuil acceptable de 4 dS/m. Aussi, ces rapports C/N et C/P sont très élevés et doivent être corrigés pour s'approcher des rapports favorables à leur minéralisation (Motsara & Roy, 2008).

3.3 Croissance en hauteur et production de biomasses

Les performances de croissance et de production de biomasse du maïs (*Zea mays* L.) seront présentées et discutées récolte par récolte (Tableaux 3-5), de même que leur cumul (Tableau 6).

3.3.1. Première récolte

L'analyse de la variance révèle un effet simplement significatif ($p < 0,05$) du facteur traitement sur la croissance en hauteur des plants de maïs à la première récolte. Le tableau 3 ci-après présente les résultats de l'analyse de la variance des variables hauteur de croissance et production de biomasse racinaire (BR), aérienne (BA) et totale (BT) pour la première récolte des plants de maïs.

Hauteur de croissance

La comparaison des moyennes par le test de Newman-Keuls permet de distinguer deux groupes de moyennes homogènes qui se chevauchent. Les traitements amendés avec la balle de riz et recevant différentes doses de DAP (27, 54, 81 kg/ha) se distinguent significativement de celui amendé avec la balle de riz seule. Ils ne se distinguent cependant pas du traitement témoin, bien que des augmentations de croissance relative en hauteur de 9,4, 8 et 7,4 % sont enregistrées par rapport à celui-ci. Le traitement amendé avec la balle de riz sans DAP montre une réduction de la croissance en hauteur par rapport au traitement témoin (-8,5 %), signe d'immobilisation de l'azote ou du phosphore consécutive à l'addition de la balle de riz dont les rapports C/N et C/P sont au-delà des normes favorables à la minéralisation de N et P (Tableau 1) sur base des normes de M.R. Motsara & R.N. Roy, 2008).

Tableau 3. Croissance en hauteur et production de biomasse de maïs (Première récolte).

Traitement	Hauteur (cm)	BR (g/pot)	BA (g/pot)	BT (g/pot)
------------	--------------	------------	------------	------------

Biomasse racinaire (BR)

L'analyse de la variance révèle un effet non significatif ($p > 0,05$) entre traitements pour la biomasse sèche racinaire enregistrée à la première récolte. La comparaison des moyennes avec la méthode de Newman-Keuls groupe tous les traitements dans un même et seul groupe de moyennes homogènes. De même, l'effet du facteur dose n'est pas net, du fait qu'il n'apparaît pas de proportionnalité entre la production de biomasse racinaire du maïs et les doses de DAP appliquées.

Biomasse aérienne (BA)

L'analyse de la variance révèle un effet hautement significatif ($p < 0,01$) du facteur traitement sur la production de biomasse sèche aérienne. La comparaison des moyennes avec la méthode de Newman-Keuls groupe tous les traitements dans trois groupes de moyennes qui se chevauchent. Le traitement de tête est constitué par celui ayant été amendé avec la balle de riz + 81 kg de DAP/ha. Le traitement le moins performant est celui qui a été amendé avec la balle de riz sans DAP. Ce dernier a donné une production de biomasse sèche aérienne significativement inférieure à celles obtenues avec les traitements amendés avec la balle de riz + 81 kg de DAP/ha, balle de riz + 54 kg de DAP/ha et balle de riz + 27 kg de DAP/ha. Le traitement avec balle de riz sans DAP produit une biomasse sèche aérienne inférieure à celle du traitement témoin (-18 %), une indication de la présence du processus d'immobilisation des éléments nutritifs par suite de l'ajout de la balle de riz. Cet effet d'immobilisation des éléments nutritifs (N et P) est contrebalancé par l'ajout du DAP aux trois doses d'application.

En termes relatifs, les gains de production de biomasse sèche aérienne enregistrés par rapport au traitement témoin sont de + 44 % pour le traitement à base balle de riz +81 kg de DAP/ha, + 26 % pour le traitement balle de riz +54 kg de DAP/ha et + 11 % pour balle de riz +27 kg de DAP/ha. Ces résultats indiquent un effet dose de DAP sur la production de biomasse sèche aérienne de maïs à la première récolte.

Biomasse racinaire + Biomasse aérienne (BT)

L'analyse de la variance révèle un effet hautement significatif ($p < 0,01$) du facteur traitement sur la production de biomasse sèche totale à la première récolte.

La comparaison des moyennes par la méthode de Newman-Keuls permet de dégager deux groupes de moyennes homogènes qui se chevauchent. Le traitement balle de riz + 81 kg de DAP/ha en tête du classement est significativement différent du traitement témoin et du traitement amendé avec la balle de riz sans application de

DAP. Ces deux traitements étant classés en bas du classement et ne sont pas significativement différents du traitement balle de riz + 27 kg de DAP/ha, en position intermédiaire.

Un effet dose d'application de DAP est net dans la mesure où les gains de production de biomasse sèche totale par rapport au traitement témoin suit l'ordre suivant : + 46 % pour le traitement balle de riz + 81 kg de DAP/ha, 34 % pour le traitement balle de riz + 54 kg de DAP/ha et 22 % pour le traitement balle de riz + 27 kg de DAP/ha.

3.3.2. Deuxième récolte

Le tableau 4 synthétise les résultats de l'analyse de la variance et les groupements des moyennes de croissance en hauteur des plants de maïs et leurs productions de biomasse.

Tableau 4. Croissance en hauteur et production de biomasse de maïs: Deuxième récolte.

	Hauteur (cm)	BR (g/pot)	BA (g/pot)	BT (g/pot)
T1	21,5±1,7b	1,1±0,4a	1,6±0,6b	2,7±1,0b
T2	24,0±2,5ab	1,5±0,3a	2,3±0,5ab	3,8±0,7ab
T3	25,7±1,5a	1,6±0,2a	3,0±0,7ab	4,6±0,7ab
T4	27,5±0,5a	1,7±0,1a	3,0±0,1a	4,7±0,2a
T5	26,5±1,4a	1,6±0,2a	2,6±0,3ab	4,2±0,7ab

Hauteur de croissance

L'analyse de la variance révèle un effet simplement significatif ($p < 0,05$) du facteur traitement sur la croissance en hauteur des plants de maïs à la première récolte. Sans être significativement différents entre eux, les traitements ayant reçu la balle de riz avec le DAP le sont néanmoins supérieurs par rapport au témoin (sol seul). Le traitement amendé avec la balle de riz sans DAP occupe une position intermédiaire. Il n'est significativement différent ni des traitements avec balle de riz et DAP, ni du témoin. Aussi, l'effet dose de DAP n'est pas apparent, par ce qu'il n'y a pas de proportionnalité entre la croissance en hauteur de la plante-test et les doses de DAP appliqués.

En termes relatifs, les gains de croissance en hauteur des plants de maïs dus aux traitements amendés avec la balle de riz et fertilisés avec le DAP varient de 11 à 28 %. Le plus grand gain de croissance étant observé avec le traitement à base de balle de riz avec 54 kg de DAP/ha, tandis que le plus faible gain de croissance en hauteur est obtenu avec le traitement amendé avec la balle de riz seule.

Biomasse racinaire (BR)

L'analyse de la variance révèle un effet non significatif ($p > 0,05$) entre traitements pour la biomasse sèche racinaire. Les gains de croissance les plus élevés par rapport au traitement témoin sont observés dans l'ordre ci-après : traitement avec balle de riz + 54 kg de DAP/ha (+ 61 %), traitement avec balle de riz + 81 kg de DAP/ha (+ 49 %), le

traitement avec balle de riz + 27 kg de DAP/ha (+ 48 %), et enfin le traitement avec balle de riz sans DAP (+ 33 %).

Biomasse aérienne (BA)

L'analyse de la variance révèle un effet significatif ($p > 0,05$) du facteur traitement sur la production de biomasse sèche aérienne à la deuxième récolte. La comparaison des moyennes par la méthode de Newman-Keuls permet de dégager deux groupes moyennes homogènes qui se chevauchent entre eux. Seul le traitement balle de riz + 54 kg de DAP/ha en tête du classement est significativement différent du traitement témoin situé en bas du classement. Les gains de production de biomasse sèche aérienne ne sont pas proportionnels aux doses de DAP appliquées. En effet, les gains de production de biomasse sèche aérienne par rapport au traitement témoin enregistrées à la deuxième récolte sont dans l'ordre suivant : + 92 % pour balle de riz + 54 kg de DAP/ha et balle de riz + 27 kg de DAP/ha, 66 % pour balle de riz + 81 kg de DAP/ha et 45 % pour le traitement avec la balle de riz (BR) seulement.

Biomasse racinaire + Biomasse aérienne (BT)

L'analyse de la variance révèle un effet hautement significatif ($p < 0,01$) du facteur traitement sur la production de biomasse sèche totale. La méthode de Newman-Keuls permet d'obtenir deux groupes homogènes qui se chevauchent entre eux. Seul le traitement balle de riz + 54 kg de DAP/ha, en haut du classement, est significativement supérieur au traitement témoin (sol seul), en bas du classement. Les gains de production de biomasse sèche totale par rapport au témoin suivent l'ordre suivant : + 110 % pour le traitement balle de riz + 54 kg de DAP/ha, 87 % pour le traitement balle de riz + 81 kg de DAP/ha, 84 % pour le traitement balle de riz + 27 kg de DAP/ha et 65 % pour le traitement balle de riz + 0 kg de DAP/ha.

3.3.3. Troisième récolte

L'analyse de la variance ne révèle pas d'effet significatif ($p > 0,05$) pour la troisième récolte pour tous les paramètres mesurés. Le tableau 5 synthétise les résultats de l'analyse de la variance et les groupements des moyennes de croissance en hauteur des plants de maïs et leurs productions de biomasse.

Tableau 5. Croissance en hauteur et production de biomasse de maïs: Troisième récolte.

	Hauteur (cm)	BR (g/pot)	BA (g/pot)	BT (g/pot)
T1	19,2±0,8a	0,7±0,2a	1,1±0,2a	1,8±0,4a
T2	24,0±0,8a	0,7±0,4a	1,3±0,4a	2,0±0,7a
T3	20,3±0,6a	0,5±0,2a	1,1±0,1a	1,6±0,2a
T4	21,1±1,5a	0,6±0,1a	1,0±0,2a	1,6±0,3a
T5	20,2±1,2a	0,9±0,1a	1,2±0,2a	2,1±0,4a

Hauteur de croissance

La comparaison des moyennes avec la méthode de Newman-Keuls groupe tous les traitements dans un même et seul groupe de moyennes homogènes à la troisième récolte. Les gains de croissance les plus élevés par rapport au traitement témoin sont observés dans l'ordre pour le traitement avec balle de riz et sans DAP (+ 13 %), le traitement avec balle de riz + 54 kg de DAP/ha (+ 10,3 %), le traitement avec balle de riz + 27 kg de DAP/ha (+ 6 %), et enfin le traitement avec balle de riz avec la plus grande dose de DAP (+ 5,6 %). Ainsi, l'effet du facteur dose d'application de DAP est absent à la troisième récolte.

Biomasse racinaire (BR)

Contrairement aux résultats obtenus avec les deux premières récoltes, pour la troisième récolte, le traitement témoin occupe une position intermédiaire entre les traitements amendés avec de la balle de riz, avec ou sans DAP. Le traitement avec de la balle de riz seul est caractérisé par une production de biomasse sèche racinaire équivalente à celle du témoin (sol seul), tandis que le meilleur gain de production de biomasse sèche racinaire est observé avec le traitement balle de riz + 81 kg/ha de DAP (+ 30 %). De l'autre côté, les traitements avec balle de riz ayant reçu respectivement 54 kg (-15 %) et 27 kg (-20 %) de DAP/ha sont caractérisés par des productions de biomasse sèche racinaire inférieures à celle du traitement témoin.

Biomasse aérienne (BA)

La comparaison des moyennes avec la méthode de Newman-Keuls groupe tous les traitements dans un même et seul groupe de moyennes homogènes à la troisième récolte (Tableau 5). Le traitement témoin enregistre une production de biomasse sèche aérienne supérieure au traitement balle de riz +54 kg de DAP/ha, avec une réduction de 3 % de production de biomasse sèche aérienne par rapport au témoin (sol seul). Parallèlement, les gains de production de biomasse sèche aérienne par rapport au traitement témoin sont de 22 % pour le traitement balle de riz sans DAP, 9 % pour balle de riz+81 kg de DAP/ha. Le traitement balle de riz +27 kg de DAP/ha enregistre une production de biomasse sèche aérienne identique à celle du traitement témoin (sol seul).

Biomasse racinaire + Biomasse aérienne (BT)

La comparaison des moyennes avec la méthode de Newman-Keuls groupe tous les traitements dans un même et seul groupe de moyennes homogènes. Le traitement témoin enregistre une production de biomasse sèche totale supérieure au traitement balle de riz + 27 kg de DAP/ha et au traitement balle de riz + 54 kg de DAP/ha, avec des réductions de production de biomasse équivalentes à 8 %, par rapport au témoin (sol seul). Parallèlement, les gains de production de biomasse sèche totale par rapport au

traitement témoin sont de 14 % pour le traitement balle de riz sans DAP et 17 % pour le traitement balle de riz + 81 kg de DAP/ha.

3.3.4. Biomasses cumulées

Rappelons que la biomasse sèche cumulée est obtenue en sommant les biomasses issues des trois récoltes : biomasse sèche racinaire, biomasse sèche aérienne et biomasse sèche totale. Les résultats sont synthétisés dans le tableau 6 ci-après.

L'analyse de la variance révèle un effet hautement significatif ($p < 0,01$) du facteur traitement sur la production de biomasse sèche racinaire cumulée et sur la production de biomasse sèche totale des plants de maïs. Par contre, l'analyse de la variance révèle un effet simplement significatif ($p < 0,05$) du facteur traitement sur la biomasse sèche aérienne cumulée.

Tableau 6. Production de biomasse de maïs: Récoltes combinées.

Traitement	BRC (g/pot)	BAC (g/pot)	BTC (g/pot)
T1	3,0±0,1b	5,7±1,0b	8,7±1,4c
T2	3,8±0,1a	6,1±0,2ab	9,9±0,2b
T3	4,0±0,3a	7,4±1,0a	11,4±0,8ab
T4	4,2±0,2a	7,8±0,3a	12,0±0,2a
T5	4,4±0,4a	8,1±0,4a	12,5±0,8a

BRC=Biomasse racinaire cumulée BAC=Biomasse aérienne cumulée BTC=Biomasse totale cumulée

Biomasse racinaire cumulée (BRC)

Pour la biomasse sèche racinaire cumulée, la comparaison des moyennes par la méthode de Newman-Keuls permet de dégager deux groupes de moyennes homogènes distincts. Le traitement témoin est en bas du classement. Tous les autres 4 traitements amendés avec de la balle de riz sont significativement supérieurs au traitement témoin (sol seul), sans toutefois l'être entre eux. De ce fait, l'effet dose n'est pas statistiquement exprimé. Néanmoins, les gains de production de biomasse sèche racinaire cumulée par rapport au traitement témoin suit l'ordre suivant : + 45 % pour le traitement balle de riz + 81 kg de DAP/ha, + 41 % pour le traitement balle de riz + 54 kg de DAP/ha, + 33 % pour le traitement balle de riz + 27 kg de DAP/ha et + 23 % pour le traitement balle de riz + 0 kg de DAP/ha.

Biomasse aérienne cumulée (BAC)

La comparaison des moyennes des biomasses aériennes cumulées par la méthode de Newman-Keuls montre deux groupes homogènes qui se chevauchent. Sans être significativement différents entre eux, les traitements ayant reçu la balle de riz avec le DAP le sont par rapport au témoin. Le traitement amendé avec la balle de riz sans DAP occupe une position intermédiaire et n'est significativement différent ni des traitements avec balle de riz et DAP, ni du témoin. Aussi, bien que l'effet dose de DAP soit apparent,

il n'est pas statistiquement significatif, dans la mesure où les biomasses sèches aériennes correspondant aux traitements avec DAP ne sont pas significativement différentes entre elles. Malgré tout, en termes relatifs, les gains de production dus aux traitements amendés avec la balle de riz et fertilisés avec le DAP varient de 23 à 44 %. Le plus grand gain de production en biomasse sèche aérienne cumulée sur les trois récoltes cumulées est observé pour le traitement à base de balle de riz + 81 kg de DAP/ha (+ 42 %), suivi du traitement balle de riz + 54 kg de DAP/ha (+ 37 %), du traitement balle de riz + 27 kg de DAP/ha (+ 30 %) et enfin du traitement balle de riz + 0 kg de DAP/ha (+ 7 %).

Biomasse totale cumulée (BTC)

La comparaison des moyennes de biomasses totales cumulées avec la méthode de Newman-Keuls groupe tous les traitements dans trois groupes homogènes qui se chevauchent entre. Le traitement de tête est celui ayant été amendé avec la balle de riz + 81 kg de DAP/ha. En revanche, celui en bas du classement est le traitement témoin (sol seul). Ce dernier a donné des productions de biomasse sèche cumulée significativement inférieures à celles obtenues avec le traitement balle de riz + 81 kg de DAP, le traitement balle de riz + 54 kg de DAP/ha et le traitement balle de riz + 27 kg de DAP/ha. De l'autre côté, le traitement avec balle de riz sans DAP n'est pas statistiquement différent du traitement balle de riz + 27 kg de DAP/ha.

En termes relatifs, les gains de production de biomasse totale cumulée enregistrés par rapport au traitement témoin par suite de l'application de balle de riz et de DAP sont de + 44 % pour le traitement balle de riz + 81 kg de DAP/ha, + 38 % pour le traitement balle de riz + 54 kg de DAP/ha, + 31 % pour le traitement balle de riz + 27 kg de DAP/ha, et + 14 % pour le traitement balle de riz + 0 kg de DAP/ha.

En tout état de cause, à la conclusion de l'essai sur l'amélioration de la valeur fertilisante de la balle de blé par addition d'une source minérale N et P (DAP), les commentaires suivants s'imposent. A la première récolte, toutes les variables ont eu un effet au moins simplement significatif sauf pour la biomasse sèche racinaire. Le traitement balle sans DAP s'est classé le dernier avec une diminution par rapport au témoin de 8,5, 17,8 et 4,7 % respectivement pour la hauteur des plants, la biomasse sèche aérienne et la biomasse sèche totale. Cela montre que l'incorporation de la balle a causé une immobilisation des éléments du sol par les micro-organismes satisfaisant leurs besoins au cours de la décomposition de celle-ci.

Des résultats similaires ont été obtenus par d'autres chercheurs, notamment Bouckman & Brady (1960) cités par J. Bukitse (2003). Ces derniers investigateurs affirment

que lorsqu'on ajoute au sol des grandes quantités de résidus organiques ayant un rapport C/N élevé, dans des conditions favorisant la digestion microbienne, un changement se produit rapidement. Une flore hétérotrophe (bactérie, champignons et actinomycètes) devient active et se multiplie dans des proportions considérables. En conséquence, l'azote minéral est momentanément utilisé pour la synthèse des cellules microbiennes. Dans la même ligne de réflexion, C. Chaux & C. Foury (1994) précisent que si le rapport C/N est supérieur à 40, ce qui est de loin plus élevé dans la balle de riz utilisée, les micro-organismes prélèvent au sol 5 à 10 kg d'azote/tonne de produits enfouis.

Avec la deuxième récolte des plants de maïs (*Zea mays* L.), le test de classement des moyennes par la méthode de Newman-Keuls classe le traitement témoin en dernière position lieu contrairement à la première récolte. Nous en déduisons que pendant cette période la balle de riz s'est décomposée et a permis la libération des éléments nutritifs. Ceux-ci ont généré une augmentation de la croissance et la production de biomasse pour le traitement balle sans DAP de 11, 44,7 et 64,7 %, respectivement pour la hauteur des plants, la biomasse sèche aérienne et la biomasse sèche totale par rapport au témoin. Même si la balle de riz a un rapport C/N très élevé (C/N=182), les autres facteurs de décomposition sont favorables. En effet, les résultats d'analyse du sol utilisé ont montré un pH favorable à une intense activité microbienne et qu'il est de bonne fertilité en azote en fonction de ce pH. Cette observation est soutenue par D. Soltner (1994) qui avance qu'en milieu aéré, peu acide et riche en azote, des champignons basidiomycètes (pourritures blanches) dégradent très rapidement la lignine, qui est naturellement résistante, en formant de composés phénoliques solubles.

L'analyse de la variance a révélé un effet non significatif pour toutes les variables à la troisième récolte, avec en conséquence l'absence de différence significative entre les traitements par le test de Newman-Keuls. L'effet du DAP et de ses doses aura disparu à la troisième récolte. Ceci s'explique par le fait que, d'une manière générale, les engrais minéraux sont solubles et sont utilisables par la plante dans un court délai. De plus, à ce stade de l'expérimentation (troisième mois), la balle de riz aura subi une décomposition et minéralisation suffisante des éléments constitutifs suivie de leur libération et absorption par la plante.

Lorsque l'effet de la balle de riz amendée ou pas sur la production de biomasses cumulatives des trois récoltes de maïs est statiquement évalué. Il ressort un effet significatif ($p < 0,05$) pour la biomasse aérienne totale et un effet hautement significatif ($p < 0,01$) pour la biomasse racinaire totale et la biomasse totale cumulée. De manière synthétique, tous les traitements ont manifesté une augmentation de production de biomasse. Cependant, cette augmentation n'est pas proportionnelle aux doses de DAP appliquées. A titre d'exemple, nous aurons observé et relevé

que les gains de production en biomasse totale cumulée de la culture test de maïs suivait l'ordre ci-après : + 14 % pour la balle de riz + 0 kg de DAP/ha, + 31 % pour la balle de riz + 27 kg de DAP/ha, + 38 % pour la balle de riz + 54 kg de DAP/ha et + 44 % pour la balle de riz + 81 kg de DAP/ha.

Cette tendance décroissante des effets des doses de DAP s'observe sur tous les paramètres mesurés. C'est typiquement un exemple d'application de la loi des rendements ou excédents de rendements moins que proportionnels ou loi dite de Mitscherich.

La présente recherche s'inscrit dans une certaine continuité de recherche sur la valorisation agronomique des matières organiques de toute nature. Qu'il s'agisse des résidus de récolte (R. Rurangwa, 1990 ; S. Kaboneka & al., 1995, S. Kaboneka et al., 1997 ; S. Kaboneka & W. Sabbe, 2004 ; S. Kaboneka & al., 2021), des biomasses des engrais verts (S. Kaboneka & al., 2019; S. Kaboneka et al., 2021) ou de composts à base de sous-produits agro-industriels (Sibomana & al., 2021 ; Sibomana et al., 2022).

4. Conclusion

Le but recherché était la valorisation agronomique de la balle de riz en utilisant un complément minéral à base de DAP (18-46-0) et en escomptant un déclenchement d'une rapide décomposition du matériau organique en réduisant ses rapports C/N et C/P. Le dispositif expérimental était en randomisation totale avec 5 traitements répartis en 3 répétitions. Il s'agissait du traitement Sol seul (T₁) qui constituait le témoin et 4 autres traitements (T₂, T₃, T₄, T₅) amendés avec la balle de riz (équivalent à 1 T/ha) et qui recevaient respectivement les équivalents de 0, 27, 54 et 81 kg de DAP/ha. Trois récoltes de maïs à l'état végétatif ont été effectuées à intervalle de quatre semaines après le semis. La récolte consistait à déraciner toute la partie entière du plant (partie racinaire et aérienne). L'analyse statistique a été effectuée grâce au logiciel SPSS (Statistical Package for Social Sciences) sur la croissance en hauteur et la production des biomasses racinaires, aériennes et totales, ainsi que sur les productions cumulées des trois récoltes. Les résultats obtenus indiquent un effet dose de DAP sur la production de biomasse sèche aérienne de maïs à la première récolte. Un effet dose d'application de DAP est net dans la mesure où les gains de production de biomasse sèche totale par rapport au traitement témoin. De manière synthétique, tous les traitements ont manifesté une augmentation de production de biomasse. Cependant, cette augmentation n'était pas proportionnelle aux doses de DAP appliquées. Cette tendance décroissante des effets des doses de DAP s'observe sur tous les paramètres mesurés. C'est typiquement un exemple d'application de la loi des rendements ou excédents de rendements moins que proportionnels ou loi dite de Mitscherich.

Nos résultats prouvent que la balle de riz complétementée avec du DAP peut être directement utilisée comme fumure organique. Néanmoins, le recours au compostage de balle de riz complétementée avec les engrais minéraux ou les résidus organiques riches en N, avant son application au sol augmenterait les rendements. C'est une voie de recherche qui s'ouvre consécutivement aux résultats de notre travail.

Références

1. ADISCO, 2013. Trimestriel d'information et d'action du monde rural, 32 P.
2. Arraudeau, M., 1998. Le riz irrigué. Collection Les techniques d'agriculture tropicale, Maisonneuve et Larose, Paris, 338 p.
3. Bremner, J.M. & C.S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-Total. pp. 595-624. In A.L. Page et al. (ed.). Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agronomy 9. ASA, Madison, WI.
4. Bukiste, J., 2003. Minéralisation de l'azote à partir des résidus du petit pois appliqués dans deux sols d'altitude du Burundi, Mémoire, U.B, FACAGRO, Bujumbura, 70 p.
5. Chaux, C. & Foury, C., 1994. Production légumières ; Tome3. Légumineuses potagères, légumes. Technique et documentation-Lavoisier, Paris, 563 p.
6. Dagnélie P., 1987. Méthodes de l'inférence statistique. Vol II. Presse Agronomique de Gembloux, 461 p.
7. Hicintuka, C. 1992. Fertilisation intégrée en milieu paysan : amélioration des compostières et études arrières-effets des composts améliorés dans la région Campazi-Muruta. Mémoire, Facagro. Bujumbura, UB. 92 p.
8. ISABU. 2012. Catalogue des espèces et variétés vivrières sélectionnées par l'ISABU. Deuxième édition, 126 p.
9. ISTEEBU, 2013. Enquête nationale agricole du Burundi 2011-2012. Volume 1 : Résultats de la campagne agricole, 243 p.
10. Kaboneka, S. & Sabbe W.E. 2004. Evaluation of crop availability of K and Mg in organic materials under greenhouse conditions. 163-171. IN A. Bationo. Managing Nutrient Cycles to Sustain Soil Fertility in Sub-Saharan Africa. AfNet-CIAT. 608 p. Triscope Consulting Publishers. Nairobi.
11. Kaboneka, S. 2019. Valeur fertilisante du compost à base de résidus de maïs et de feuilles de *Calliandra calothyrsus* Meisn au site expérimental SADeR/VLIR/UOS de Matongo (Kayanza). Conférence régionale à l'Université du Burundi.

- Université du Burundi, Bujumbura, Burundi. Celab. 25/10/2019.
12. Kaboneka, S. & W.E. Sabbe. 1997. Evaluation of the fertilizer value and nutrient release from corn and soybean residues under laboratory and greenhouse conditions. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26 : 469-478
 13. Kaboneka, S., B.T. Iro Ong'Or, C. Kwizera, M. Nkurunziza & E. Kwizera. 2019. Carbon mineralization kinetics from legume residues applied to a high altitude acidic soil. *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering (Ijasre)*. Volume 5 (4) : 42-48.
 14. Kaboneka, S., C. Kwizera, S. Bizimana & D. Bicereza. 2021. Cinétique de décomposition de la paille de blé dans un sol acide d'altitude du Mugamba (Burundi) : effet du mode d'application. *Revue de l'Université du Burundi. Série-Sciences Exactes et Naturelles*. Volume 30 : 9-19. Site : <http://revue.ub.edu.bi/JUB>
 15. Kaboneka, S., C. Kwizera, S. Nijimbere, W. Irakoze, P. Nsengiyumva, S. Ndiokubwayo & B. Habonimana. 2021. Direct and residual fertilizer values of maize (*Zea mays* L.) stover co-composted with *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray green manure. *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*. Volume 7 (7) : 6-17. July 2021.
 16. Kaboneka, S., C. Kwizera, S. Nijimbere, W. Irakoze, P. Nsengiyumva, S. Ndiokubwayo & B. Habonimana. 2021. Yield responses of maize (*Zea mays* L.) and successive potato (*Solanum tuberosum* L.) crops to maize stover co-composted with *Calliandra calothyrsus* Meisn green manure. *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering (IJASRE)*. Volume 7(4) : 1-15. April 2021.
 17. Kaboneka, S., J.C. Nivyiza & L. Sibomana. 2004. Effects of Nitrogen and Phosphorus Fertilizer addition on wheat straw Carbon Decomposition in a Burundi acidic soil. p. 151-161. IN A. Bationo. *Managing Nutrient Cycles to sustain Soil fertility in Sub-Saharan Africa*. AfNetCAT. 608 p. Triscope Consulting Publishers. Nairobi.
 18. Kaboneka, S., Nivyiza, J.C & Sibomana L. 2004. Effects of Nitrogen and Phosphorus Fertilizer addition on wheat straw Carbon Decomposition in a Burundi acidic soil. 151-161. IN A. Bationo. *Managing Nutrient Cycles to Sustain Soil Fertility in Sub-Saharan Africa*. AfNet-CIAT. 608 p. Triscope Consulting Publishers. Nairobi.
 19. Kaboneka, S., W.E. Sabbe, & A. Mauromoustakos. 1997. Carbon decomposition kinetics and N mineralization from corn, soybean and wheat residues. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 28 : 1359-1373.
 20. Kibiriti, C., S. Ndayiragije, J. Gourdin & P. Hollebodch. 1986a. Analyse des bases échangeables, de la CEC et de l'acidité échangeable. ISABU. 33 p.
 21. Kibiriti, C., S. Ndayiragije, J. Gourdin & P. Hollebosch. 1986b. Détermination du pH, la conductivité et l'analyse de la matière organique. ISABU. 35 p.
 22. Minani, B., S. Kaboneka, E. Kazitsa, G. Nkurunziza, C. Hicintuka & J. Banyaka. 2021. Etude préalable sur la valorisation des résidus organiques à finalité agricole : rapport Final. IFDC/Université de Ngozi. 113 pages + annexes.
 23. Moreil, R., 1996. *Les sols cultivés*, 2^{ème} Edition. Paris, Lavoisier-Technique et documentation, 389 p.
 24. Motsara, M.R. and R.N. Roy. 2008. *Guide to Laboratory establishment for plant nutrient analysis*. FAP Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
 25. Nahimana, M., 1991. *Fertilisation intégrée en milieu paysan : Amélioration des compostières et étude des arrières-effets des composts améliorés dans la région de Muramvya-Bugarama*. Mémoire, FACAGRO, Bujumbura, U.B, 74 p.
 26. Nelson, D.W. & L.E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In A.L. Page et al.
 27. Nivyiza, J.C. 2001. Effet de l'application des engrais phosphatés sur la décomposition de la paille de blé appliquée à un sol de haute altitude. Mémoire, Facagro. Bujumbura, UB. 101 p.
 28. Rurangwa, R. 1990. *Etude du compostage : comparaison des biomasses, complémentation minérale*. Mémoire, FACAGRO, Bujumbura, U.B, 89 p.
 29. Sibomana, L. 2000. Effet de l'application des engrais azotés sur la décomposition de la paille de blé appliquée à un sol de haute altitude. Mémoire, Facagro. Bujumbura, UB. 109 p.
 30. Sibomana, R., S. Kaboneka, N. Bakundukize, C. Nibashikire, L. Bukobero, D. Niyonkuru, I. Ntakarutimana, F. Barantandikiye, A. Nsabumukiza, M. Barisesa, A. Niyonzima & F. Jamubandi. 2022. Vegetable yield responses to coffee pulp co-composted with effective micro-organisms (EM) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crop residues. *International Journal of Advances in Scientific Research and*

- Engineering. Volume 8(1) : 11-18. January 2022.
<https://doi.org/10.31695/IJASRE.2022.8.12>.
31. Sibomana, R., S. Kaboneka, N. Bakundukize, C. Nibashikire, L. Bukobero, D. Niyonkuru, I. Ntakarutimana, F. Barantandikiye, A. Nsabumukiza, M. Barisesa, A. Niyonzima & F. Jamubandi. 2021. Experimental study and comparative effects of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crop residues and effective micro-organisms (EM) on the fertilizer value of coffee pulp compost. International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering. Volume 7(12) :45-56. December 2021.
<https://doi.org/10.31695/IJASRE.2021.34121>.
 32. Sinzobahamvya, P., 1989. Fertilisation intégrée en milieu paysan-Amélioration des compostières. Mémoire, FACAGRO, Bujumbura, U.B, 78 p.
 33. Soltner, D., 1994. Phytotechnie générale. Les bases de la production végétale 20^{ème} Edition. Tome 1. Le sol-climat-la plante. Collection Sciences et Techniques Agricoles. Imprimerie SIRAUDEAU et cie, 4-6 rue des bases Fonassières. 49023 ANGERS. Cedex 02. 467 p.
 34. Tessens, E. & J. Gourdin. 1993. Critères d'interprétation des analyses pédologiques. Fiche Labo N° 19. ISABU. 36 p.
 35. Den Berghe, V. 1991. Le problème des engrais acidifiants (p. 108-112). In ISABU. Séminaire national sur la fertilisation des sols au Burundi. Bujumbura, 10 au 12 Décembre 1991. 310 p.
 36. Vilain, M., 1997. La production végétale. Volume 2. La maîtrise technique de la production. 2^{ème} Edition. Paris, rue Lavoisier, F75384, cedex 08, 449 p.
 37. Zarcinas, B.A., B. Cartwright & L.R. Spouncer. 1987. Nitric acid digestion and multi-element analysis of plant material by inductively coupled plasma spectrometry. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 180:131-146.