

## Evaluation de l'effet fertilisant de *Mucuna utilis* L. face à deux doses de NPK (17-17-17) sur la croissance et la production de la variété samaru du maïs (*Zea mays* L.) dans les conditions optimales

Mokuba W.(1), R.V. Kizungu (1,2), K. Lumpungu(2)

### Abstract

**Comparison of fertilizing effect of green manure *Mucuna utilis* with two doses of NPK (17-17-17) on maize production.**

Published online:  
October 17<sup>th</sup> 2013

### Keywords:

*Mucuna utilis* L., NPK,  
fertilizer, maize

The negative balance in soil organic matter (SOM) remains the major biophysical cause of declining crop production by smallholder farms in sub-saharian Africa. Appropriate practices to enhance soil fertility are critical for improving crop productivity. This study investigates the use of green manure from *Mucuna utilis* and compares the results with the recommended rate of organic fertilizer (60 kg.N.kg<sup>-1</sup>) to improve maize (*Zea mays*) in savanna regions of Democratic Republic of Congo. Sole application of 2, 3 4 kg.m<sup>-1</sup> of *M. utilis*, 60 Kg.N.ha<sup>-1</sup> and 96 kg.N.ha<sup>-1</sup> are tested in a completely randomized bloc design and compared to the unamended control. These treatments maintained maize yields to 2.9-6.3 t.ha<sup>-1</sup> and increases yields by 250-667 % over unamended control. The use of 3 kg.m<sup>-1</sup> and 4 kg.m<sup>-1</sup> of *M. utilis* increase yields of maize respectively by 118 % and 98 % over the recommended rate of organic fertilizer (60 kg.N.kg<sup>-1</sup>, or 209.5 kg.ha<sup>-1</sup> of N17P17K17). This was mainly attributed to restoration of SOM of the soil.

(1)Faculté des Sciences Agronomiques

(2)Institut National pour l'Etude et la Recherche Agronomiques

Correspondant: [kizunguvumilia@yahoo.fr](mailto:kizunguvumilia@yahoo.fr)

### 1. Introduction

En Afrique Sub-Saharienne (ASS), chez les producteurs orientés vers l'agriculture de subsistance, la culture continue du maïs (*zea mays* L) entraîne une balance négative en matières organiques du sol (MOS). La perte est estimée entre 13 et 48 kg.ha<sup>-1</sup> pour l'Azote (N), entre 1 et 6 kg.ha<sup>-1</sup> pour le Phosphore (P), et entre 1 et 2.5 kg.ha<sup>-1</sup> pour le Potassium (K) (Mafongoya et al, 2007, Okalebo, 2007). Sans une restauration des MOS, le sol accuse une perte progressive de sa fertilité. (Muyayabantu et al, 2012, Gichuru et al., 2003; Tumuhairwe et al., 2007, Sanchez and Jama, 2002,

Shisanya et al., 2009). Cette perte de fertilité s'exprime à son tour par une diminution brusque ou graduelle de rendement selon le type de sol (Bekunda et al., 2010). Ainsi, la faible fertilité des sols est de plus en plus reconnue comme la cause biophysique fondamentale de la diminution de la productivité agricole donc de la sécurité alimentaire en ASS. (Bationo et al., 2004, Mafongoya et al. 2007). Dans ces conditions, la protection et l'amélioration des sols, constituent un challenge pour le bien-être humain et pour la croissance économique et devient de ce fait, un enjeu à la fois social et économique (Bekunda et al., 2010).

En République Démocratique du Congo, dans la zone de savane et plus spécialement à Kinshasa, le maïs est une culture de plus en plus importante avec une consommation annuelle par personne qui est passée de 2,84 kg en 1975 à 6,68 kg en 2000, soit une augmentation de 135 %. (Tollens, 2004). Mise à part cet intérêt affiché pour le maïs, la ville est caractérisée par une croissance rapide de la population et donc une demande de plus en plus grande en ressources agricoles. D'autres auteurs mentionnent que dans la même contrée, les producteurs affichent un taux d'adoption faible des technologies et des pratiques agricoles y compris les variétés améliorées. Bien que les petits exploitants déclarent que le maïs est leur aliment de base, le rendement de cette culture dans cette région varie entre 0.7 et 1.2 t.ha<sup>-1</sup>. Donc, couplée au phénomène de baisse de fertilité de sol, cette situation met en péril l'environnement car les agriculteurs ont de plus en plus besoin des terres pour réaliser les récoltes de plus en plus faibles.

Traditionnellement, en ASS, la première pratique de restauration des MOS est la jachère naturelle de plus de 10 ans (FAO 1986). Beaucoup d'auteurs ont proposé la jachère améliorée, souvent à base des arbres fixateurs d'azotes, grands producteurs de biomasse et qui réduisent à deux ans le temps de régénération des sols. Cette pratique a fait ses preuves quant à l'amélioration du rendement de maïs. Elle est pourtant confrontée à la contrainte de la pression démographique et de la propriété de terrain. Une deuxième pratique courante de restauration des MOS est le paillis. Elle a aussi des témoignages quant à l'amélioration du rendement du maïs. Elle souffre pourtant d'une adoption faible puisqu'elle exige beaucoup de travail supplémentaire de collecte de la matière organique. Une troisième pratique dans le même sens est l'utilisation du fumier de bétail. Là où elle est pratiquée, elle améliore nettement le rendement du maïs. Malheureusement, l'élevage n'est pas très intégré à l'agriculture. Le bétail est élevé en divagation et les cultures ne savent pas profiter du fumier. Une quatrième pratique est l'utilisation du compost. Cette pratique a amélioré le rendement du maïs. Elle est, en revanche, très lourde en terme de travail, à savoir : l'apport en eau et le retournement du compost jusqu'à maturité. Une cinquième pratique de restauration des MOS est l'importation de biomasse des points où l'on a installé l'agroforesterie ou des champs où l'on a cultivé les légumineuses. Cette pratique augmente la fertilité de sol et est rentable pour le maïs. Il faut pour l'appliquer, une main d'œuvre qui manque souvent aux

petits agriculteurs. Une sixième pratique d'amélioration de la fertilité des sols est l'utilisation du phosphate naturel broyée finement (Sanchez et al., 2002). Cette méthode a été attestée sur le maïs. Elle souffre néanmoins de l'indisponibilité de cette matière pour l'agriculteur. Une septième pratique plus porteuse des espoirs depuis les années 50 à nos jours est l'application des fertilisants minéraux. Cette pratique a porté le rendement du maïs jusqu'au-delà de 10 t.ha<sup>-1</sup>. En ASS, l'usage moyen des engrais se chiffre à 8 kg.ha<sup>-1</sup> soit le dixième de la moyenne mondiale. Les petits producteurs n'ont souvent pas de ressource financière pour l'achat de cet intrant coûteux et rare sur le marché. Ceux qui ont le moyen d'y accéder ont souvent besoin d'une formation supplémentaire pour leur utilisation adéquate (Bekunda et al., 1997; Sanginga et al., 2003). Elle a donc montré ses limites quant au prix, à son accessibilité et aux normes d'utilisation. Une septième pratique couramment utilisée aujourd'hui est l'association et la rotation du maïs avec les légumineuses consommables et fixatrices d'azote. Ce système est favorable à la culture du maïs, la rotation mieux que l'association. Une huitième pratique est l'enfouissement des feuilles avant le semis, mieux identifiée comme engrais vert. L'incorporation de la fumure verte améliore les propriétés physiques du sol, permettent la conservation du sol contre les érosions (Lal et al., 1991) et améliore le rendement du maïs.

Lunze et al. (2007) disent que la meilleure pratique pour améliorer la fertilité de sol reste l'utilisation du fumier organique. La seule difficulté est l'utilisation de la technique à grande échelle de suite de l'indisponibilité de la matière organique (Palm et al., 1997).

Il y a donc urgence à développer et promouvoir une technologie appropriée alternative qui va favoriser l'enrichissement du sol. Une pratique qui va le rendre plus meuble, plus perméable à l'eau et à l'air, plus apte à se réchauffer, plus profondément pénétrable par les racines et plus apte à les alimenter en eau et en minéraux. Une méthode qui va lui donner une meilleure aptitude à retenir l'eau et les engrais, et à les mettre facilement à la disposition des plantes tout en évitant leur perte vers les nappes phréatiques. Bref, améliorer ses propriétés physiques, chimiques et biologiques par les amendements humifères ou apporter à la plante, les composants chimiques manquants par les engrais

Cet article propose une variante innovante de l'utilisation de l'engrais vert. Il s'agit de sécher les feuilles et de les garder pour les enfouir au moment voulu. Il se

propose d'évaluer l'effet fertilisant de *Mucuna utilis* L. séché face à deux doses de NPK (17-17-17) sur la production du maïs.

## 2. Matériels et Méthodes

Le jardin expérimental de l'Université de Kinshasa ( $4^{\circ}25' 02.43''$  S,  $15^{\circ} 18' 29.45''$  E, 440m) a servi de site d'étude du 20 avril au 28 juillet 2011. Son sol est sableux de type oxisol (ferralsols), avec une structure particulière fine caractérisé par un pH ( $H_2O$ ) autour de 4.58, 0.651 % de carbone organique, 0.069 % d'azote, 1.121 % de matière organique, 9.44 C/N, 0.258 meq/100g de Mg; 0.139 meq/100g de Ca; 1.414 meq/100g d'oxyde de potassium ( $K_2O$ ), et 22.55 mgkg<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$ . (Kadiata et al, 2012). La porosité du sol y est élevée et sa consistance est friable à l'état frais. Son profil pédologique est du type AC, comprenant un horizon A1 et un autre C1 marquant la transition entre A1 et C1 constitué des matériaux originaux. Son climat, selon la classification de Köppen, est du type Aw4 caractérisé par le climat tropical chaud et humide. La température du mois le plus froid est supérieure à 18°C. La température moyenne annuelle oscille autour de 25°C et la moyenne de l'humidité relative se situe aux environs de 80 %. Il connaît d'une part, une grande saison de pluie d'une durée de 240 jours (8 mois : de la mi-septembre à la mi-mai) coupée par une petite saison sèche de 60 jours (de la mi-décembre à la mi-février), et d'autre part, d'une saison sèche qui va de la mi-mai à la mi-septembre. Sa pluviométrie annuelle approche 1500 mm (Makoko et al, 1991). Sa hauteur des pluies du mois le plus sec est inférieure à 60 mm et elle est pratiquement nulle de juin à septembre.

Pendant la durée de l'expérimentation, autour du Centre de Recherche Nucléaire de Kinshasa, à 500 m du terrain expérimental, au mois d'avril il est tombé 208.4 mm de pluie, la température moyenne était de 25.8°C et l'humidité était de 76.9 %. Au mois de mai, 221.5mm de pluie sont tombés. La température moyenne était de 24.6 °C et l'humidité a augmenté jusqu'à 81.4%. Le mois de juin n'a pas connu de précipitation (0 mm), la température était de 22.5 °C et l'humidité de 78%. Le mois de juillet n'a pas connu non plus de précipitation (0 mm), la température moyenne était de 21.8 °C (souvent la plus basse de l'année) et l'humidité était de 73 %. Pendant ces deux mois, nous avons arrosé nos plantes à raison de 200 à 400 ml.jour<sup>-1</sup>.plant<sup>-1</sup>.

Nous avons utilisé la variété Samaru, provenant de l'INERA Mvuazi, dans la province de Bas-Congo. Elle a une précocité à maturité moyenne et fleurit entre 50 et 55 jours et a un cycle végétatif de 90 à 120 jours. Elle est résistante à la striure et à la verse. La couleur de la graine est jaune. C'est une variété composite à pollinisation ouverte. Sa farine est de bonne qualité. Le rendement attendu dans le milieu contrôlé est de 3 t.ha<sup>-1</sup>. En milieu paysan, le rendement attendu est de 1 à 1.5 t.ha<sup>-1</sup>. Elle est adaptée à la basse et moyenne altitude.

L'engrais vert utilisé est le *Mucuna utilis* L. Il a été coupé une année avant puis séché au soleil jusqu'à ce qu'il ait une humidité inférieure à 10 %. A trois mois, nous avons récolté 23.3 t.ha<sup>-1</sup> de biomasse fraîche qui a donné 4.4 t de *M.utilis* séché. A 4 mois nous avons récolté 23.3 t.ha<sup>-1</sup> et avons obtenu 5.8 t.ha<sup>-1</sup> séché.

La préparation du terrain s'est réalisée du 23/03/2011 au 02/04/2011, soit 11 jours avant l'enfouissement de *M. utilis*.

Pour notre essai, nous avons adopté le dispositif en Blocs Complets Randomisés, avec 3 répétitions. Le terrain expérimental avait une superficie de 121,5 m<sup>2</sup> (soit 13,5 m x 9 m). Il a été divisé en 18 parcelles de 5,6 m<sup>2</sup> (2,8 m x 2,0 m) chacune. Entre les parcelles, il y avait des allées de 0,3 m suivant la longueur et 0,2 m suivant la largeur. Neuf parcelles témoins ( $T_0$ ) n'ont reçu aucun apport. Neuf parcelles ont reçu 2 kg de *M.utilis* séché soit 3571,4 kg.ha<sup>-1</sup> ( $T_1$ ). Neuf parcelles ont reçu 3 kg de *M.utilis* séché soit 5357.1 kg.ha<sup>-1</sup> ( $T_2$ ). Neuf parcelles ont reçues 4 kg de *M.utilis* séché soit 7142.8 kg.ha<sup>-1</sup> ( $T_3$ ). *M.utilis* séché a été enfoui dans les 15 premiers centimètres de la couche superficielle du sol en date du 03/04/2011, soit 17 jours avant le semis. Neuf parcelles ont reçu 210.5 g de N17P17K17 par parcelle, équivalent à 64 kg de N, 64 kg de  $P_2O_5$  et 64 kg de  $K_2O$  par hectare ( $T_4$ ). Chaque parcelle avait 16 plants, donc chaque plant de ce traitement avait reçu 13,1 g de NPK. Neuf parcelles ont reçu 309.6 g de N17P17K17 par parcelle, équivalent à 94 kg de N, 94 kg de  $P_2O_5$  et 94 kg de  $K_2O$  par hectare ( $T_5$ ). Autrement dit, 19,3 g de N17P17K17 par plant pour ce traitement. Ainsi, nous avons appliqué les deux doses de NPK par localisation autour de chaque plant, en date du 04/05/2011, soit 7 jours après la levée totale de plantules.

Nous avons semé le maïs aux écartements de 0,8 m x 0,5 m inter et intra lignes, à raison de 2 grains par poquet. Le semis a été réalisé dans toutes les parcelles en date du 20/04/2011 soit 17 jours après enfouissement de *M.utilis* séché. Les premières levées ont été observées le

24/04/2011, soit 3 jours après semis. En date du 27/04/2011 : nous avons constaté la levée de la plupart des plantules, soit 91,6 %.

Comme soins, nous avons réalisé le premier sarclage le 13/05/2011, soit 22 jours après semis. Ensuite, le sarclage se faisait en fonction de l'apparition de mauvaises herbes. En date du 17/05/2011, nous avons procédé au buttage des plants dans le but de stimuler le développement racinaire. L'arrosage s'est fait pendant les deux mois secs et pendant les jours secs. Les premières fleurs mâles sont apparues le 09/06/2011, soit 50 jours après le semis ou 57 jours après la levée totale des plantules. Le 18/06/2011, presque la totalité de plants avait fleuri (fleurs mâles et fleurs femelles). La récolte de maïs est intervenue le 28/07/2011, soit 98 jour après semis.

Au cours de l'essai, nous avons mesuré, pour ce qui est des traits végétatifs, le diamètre au collet, la hauteur des plants et le nombre de feuilles. En ce qui concerne les paramètres de production, nous avons observé le poids des épis avec spaths, le poids des épis sans spaths, le diamètre à la base de l'épi, la longueur des épis, le diamètre au sommet de l'épi, le nombre de rangées des grains par épis, le poids de 100 grains et le rendement à l'hectare de maïs sur épis sans spaths.

La saisie des données et leur exploration se fait par la feuille de calcul Excel. Les analyses statistiques sont faites par les logiciels Statistix, Genstat 5 pour windows et le logiciel R. Après un test de normalité, les données ont été soumises à l'analyse de la variance pour tester la différence entre traitements. La différence entre traitement est déclarée au seuil de signification de 0.05. Si globalement on déclare la différence entre traitement, alors le test HSD de Tukey a été utilisé pour comparer deux à deux les moyennes.

### 3. Résultats et discussion

Les paramètres de croissances durant la période de l'expérimentation sont donnés par le tableau 1. Si on estime la vigueur de la plante par le rapport entre le diamètre et la hauteur, alors la valeur grande de cet indice correspond à une grande vigueur et vice versa. Ainsi défini, six semaines après plantation, les parcelles témoins ont la vigueur moins grande que dans les parcelles où l'on a appliqué le fertilisant.

Concernant la hauteur, les plantes des parcelles témoin qui n'ont pas reçu le fertilisant ont accusé un

retard de croissance en hauteur avec une différence moyenne de 150 % par rapport aux parcelles qui ont reçu un amendement ( $p=0.0119$ ). Pour ce qui est du diamètre au collet, elle est différente selon les traitements. Les diamètres faibles sont observés dans les parcelles témoins. Les plantes des parcelles témoins ont perdu plus de feuilles que les autres.

En appliquant  $3 \text{ kg.m}^{-1}$  de Mucuna séché sur l'oxisol dans les conditions optimales de température, d'humidité et d'arrosage, le rendement ( $6352 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) connaît un accroissement de 667 % par rapport au témoin ( $828 \text{ kg.ha}^{-1}$ ). Une application de  $4 \text{ kg.ha}^{-1}$  de Mucuna séché dans les mêmes conditions a donné un accroissement de 595 %. Notons qu'entre l'apport de  $3 \text{ kg.ha}^{-1}$  et  $4 \text{ kg.ha}^{-1}$  de Mucuna, l'accroissement est de 10 %. Le rendement du maïs sous Mucuna à  $3 \text{ kg.ha}^{-1}$  a un accroissement de 30 % par rapport à l'application du NPK  $310 \text{ kg}^{-1}$ . Le Mucuna séché enfoui 11 jours avant le semi a eu le temps de se décomposer et de rendre disponible les MOS. De même le NPK appliqué juste au moment de la croissance exponentielle du maïs a disponibilisé directement les nutriments nécessaires (tableau 2).

**Tableau 1.** Diamètre au collet (cm.plante<sup>-1</sup>), Hauteur (cm.plant<sup>-1</sup>) et Nombre de feuilles dans le temps et par niveau de traitement dans un oxisol

Traitement	Diamètre au collet (cm.plante <sup>-1</sup> )		
	1SAP.	3SAP	6SAP
T2. 3 kg de M.utilis séché.m <sup>-1</sup>	0.52±0.10 <sup>ab</sup>	2.12±0.08 <sup>a</sup>	2.18±0.13 <sup>ab</sup>
T3. 4 kg de M.utilis séché.m <sup>-1</sup>	0.62±0.08 <sup>a</sup>	1.42±0.14 <sup>b</sup>	1.73±0.07 <sup>b</sup>
T1. 2 kg de M.utilis séché.m <sup>-1</sup>	0.63±0.03 <sup>a</sup>	1.73±0.13 <sup>ab</sup>	1.83±0.13 <sup>b</sup>
T5. 309,6g de NPK (17/17/17).m <sup>-1</sup>	0.47±0.06 <sup>ab</sup>	1.75±0.18 <sup>ab</sup>	2.18±0.38 <sup>ab</sup>
T4. 210,5 g de NPK (17/17/17).m <sup>-1</sup>	0.38±0.08 <sup>b</sup>	1.47±0.26 <sup>b</sup>	2.58±0.33 <sup>a</sup>
T0. Sans Engrais	0.44±0.06 <sup>ab</sup>	0.58±0.10 <sup>c</sup>	1.05±0.16 <sup>c</sup>
Moyenne	0.51±0.11	1.51±0.51	1.93±0.53
CV	15.04	9.72	10.21
P	0.0125	3.69 10 <sup>-6</sup>	493 10 <sup>-5</sup>
Décision	*	***	***
Erreur Standard	0.077	0.147	0.197

Note. Sur chaque colonne, une même lettre désigne que les deux moyennes ne sont pas différentes au seuil de 5 % par le test HSD de Tukey

**Tableau 2.** Diamètre au collet (cm.plante<sup>-1</sup>), Hauteur (cm.plant<sup>-1</sup>) et Nombre de feuilles dans le temps et par niveau de traitement dans un oxisol

	Hauteur (cm.plant <sup>-1</sup> )			
Traitement	6SAP	1SAP	3SAP	6SAP
T2. 3 kg de M.utilis séché.m <sup>-1</sup>	1.1±0.07 <sup>ac</sup>	2.28±0.38	7.43±1.21 <sup>a</sup>	205.27±9.90 <sup>a</sup>
T3. 4 kg de M.utilis séché.m <sup>-1</sup>	1.3±0.37 <sup>bc</sup>	2.10±0.43	6.32±1.43 <sup>ab</sup>	138.37±36.99 <sup>a</sup>
T1. 2 kg de M.utilis séché.m <sup>-1</sup>	1.27±0.17 <sup>abc</sup>	2.45±0.30	6.35±1.37 <sup>ab</sup>	146.13±16.94 <sup>a</sup>
T5. 309,6g de NPK (17/17/17) .m <sup>-1</sup>	1.43±0.21 <sup>bc</sup>	1.87±0.53	6.40±1.14 <sup>ab</sup>	156.55±44.11 <sup>a</sup>
T4. 210,5 g de NPK (17/17/17) .m <sup>-1</sup>	1.91±0.24 <sup>bc</sup>	2.45±0.49	5.45±0.59 <sup>abc</sup>	135.37±0.25 <sup>a</sup>
T0. Sans Engrais	2.67±1.26 <sup>b</sup>	1.82±0.03	2.70±1.20 <sup>c</sup>	45.35±21.61 <sup>b</sup>
Moyenne	1.61±0.73	2.16±0.42	5.78±1.83	137.84±53.64
CV	32.03	16.66	20.85	20.64
P	0.0305	0.198	0.0108	0.00119
Décision	*	ns	*	**
Erreur Standard	0.516	0.36	1.21	28.45

Note. Sur chaque colonne, une même lettre désigne que les deux moyennes ne sont pas différentes au seuil de 5 % par le test HSD de Tukey

**Tableau 3.** Diamètre au collet (cm.plante<sup>-1</sup>), Hauteur (cm.plant<sup>-1</sup>) et Nombre de feuilles dans le temps et par niveau de traitement dans un oxisol

	Nombre des feuilles		
Traitement	1SAP	3SAP	6SAP
T2. 3 kg de M.utilis séché.m <sup>-1</sup>	8.67±0.76 <sup>a</sup>	10.33±1.04 <sup>a</sup>	12.33±0.58 <sup>a</sup>
T3. 4 kg de M.utilis séché.m <sup>-1</sup>	8.17±1.04 <sup>a</sup>	10.00±0.50 <sup>a</sup>	10.67±0.58 <sup>a</sup>
T1. 2 kg de M.utilis séché.m <sup>-1</sup>	7.67±0.29 <sup>a</sup>	9.83±0.29 <sup>a</sup>	10.67±0.58 <sup>a</sup>
T5. 309,6g de NPK (17/17/17) .m <sup>-1</sup>	7.17±0.58 <sup>a</sup>	9.67±1.76 <sup>a</sup>	11.33±1.15 <sup>a</sup>
T4. 210,5 g de NPK (17/17/17) .m <sup>-1</sup>	7.33±1.04 <sup>a</sup>	9.00±0.87 <sup>a</sup>	10.00±1.00 <sup>a</sup>
T0. Sans Engrais	4.33±0.29 <sup>b</sup>	5.33±0.58 <sup>b</sup>	6.67±2.08 <sup>b</sup>
Moyenne	7.22±1.56	9.03±1.93	10.28±2.05
CV	9.09	10.09	10.75
P	0.000168	0.000482	0.00167
Décision	***	***	**
Erreur Standard	0.66	0.91	1.11

Note. Sur chaque colonne, une même lettre désigne que les deux moyennes ne sont pas différentes au seuil de 5 % par le test HSD de Tukey

**Tableau 4.** Paramètres de production par niveau de traitement dans un oxisol

Traitement	PoidsEpi s avecSpat hes (g)	PoidsEpi s sansSpat hes (cm)	Diamet re Base épis (cm)	Longueu r Epis (cm)
T5. 309,6g de NPK (17/17/17) /m <sup>2</sup>	193.33±52.32 <sup>ab</sup>	163.00±43.21 <sup>b</sup>	4.27±0.49 <sup>a</sup>	15.67±0.58 <sup>ac</sup>
T4. 210,5 g de NPK (17/17/17) /m <sup>2</sup>	116.00±27.78 <sup>c</sup>	101.67±22.94 <sup>d</sup>	3.90±0.44 <sup>ab</sup>	13.00±1.00 <sup>bc</sup>
T3. 4 kg de M.utilis séché/m <sup>2</sup>	223.50±12.50 <sup>a</sup>	201.50±9.50 <sup>ab</sup>	4.07±0.68 <sup>a</sup>	14.17±2.75 <sup>abc</sup>
T2. 3 kg de M.utilis séché/m <sup>2</sup>	258.00±26.51 <sup>a</sup>	222.33±25.70 <sup>a</sup>	4.17±0.57 <sup>a</sup>	18.33±1.53 <sup>a</sup>
T1. 2 kg de M.utilis séché/m <sup>2</sup>	128.00±20.66 <sup>bc</sup>	109.67±16.01 <sup>c</sup>	3.67±0.59 <sup>ab</sup>	13.83±0.76 <sup>abc</sup>
T0. Sans Engrais	34.67±4.51 <sup>d</sup>	29.00±5.00 <sup>e</sup>	2.93±0.61 <sup>b</sup>	10.00±4.00 <sup>b</sup>
Moyenne	158.92±80.39	137.86±70.36	3.83±0.66	14.17±3.17
CV	14.99	15.16	10.21	12.88
P	4.84 10 <sup>-6</sup>	4.8410 <sup>-6</sup>	0.0182	0.00488
Décision	***	***	*	**
Erreur standard	23.82	20.90	0.39	1.83

Note. Sur chaque colonne, une même lettre désigne que les deux moyennes ne sont pas différentes au seuil de 5 % par le test HSD de Tukey

Notons que Bationo et al. (2006) rapportent que les fertilisants minéraux se sont avérés comme la meilleure voie pour renverser la balance négative en nutriments et donc ils ont permis l'amélioration des revenus des agriculteurs. Ils précisent cependant que sur le plan environnemental, l'application excessive des fertilisants inorganiques (de l'ordre de 200 kg.ha<sup>-1</sup>) a entraîné une altération de l'environnement par la contamination des nappes phréatiques dans les pays avancés. Ils précisent aussi que la faible utilisation et l'utilisation en quantités insuffisantes de ces fertilisants (moins de 50 kg.ha<sup>-1</sup>) a causé ci et là une dégradation du sol en Afrique (Bationo et al., 2006). L'utilisation des fertilisants inorganiques dans l'ASS est faible (moins de 1 % de la consommation mondiale globale, exceptée l'Afrique du sud), et les quantités utilisées (8 kg.ha<sup>-1</sup>) comparée à la moyenne mondiale (87 kg.ha<sup>-1</sup>), de l'est et sud-est asiatique (96 kg.ha<sup>-1</sup>) ou du sud asiatique (101 kg.ha<sup>-1</sup>) demeurent insuffisantes (Morris et al., 2007). Et cela, malgré le fait que toutes les enquêtes attestent que les agriculteurs soient conscients de l'effet bénéfique de la fertilisation sur la production attesté aussi par cette expérimentation. Cela serait dû au manque de confiance sur le gain après utilisation des fertilisants et le manque d'informations

sûres sur les taux recommandés pour leurs cultures et le temps propice d'application ainsi que le type de sol et les conditions climatique propices, De suite du prix exorbitant, de temps de livraison aléatoire, du manque de lois sur les engrais, d'une faible infrastructure du marché, les rares agriculteurs qui achètent les fertilisants inorganiques utilisent des taux faibles qui donnent évidemment de faibles productions.

**Tableau 5.** Paramètres de production par niveau de traitement dans un oxisol

Traitement	Diamètre	Nbre des	Poids 100 grain	Rdt/ha
	somme tEpis (cm)	rangées	(g)	(kg)
T5. 309,6g de NPK (17/17/17)/m2	3.07± 0.45 <sup>a</sup>	14.67± 1.15 <sup>a</sup>	31.00±7 .00 <sup>ac</sup>	4657.14±1 234.54 <sup>bc</sup>
T4. 210,5 g de NPK (17/17/17)/m2	2.73± 0.40 <sup>a</sup>	14.33± 0.58 <sup>a</sup>	24.67±0 .58 <sup>bc</sup>	2904.76±6 55.48 <sup>d</sup>
T3. 4 kg de M.utilis séché/m <sup>2</sup>	3.23± 0.74 <sup>a</sup>	14.33± 1.53 <sup>a</sup>	36.00±7 .00 <sup>ac</sup>	5756.93±2 71.43 <sup>ab</sup>
T2. 3 kg de M.utilis séché/m <sup>2</sup>	3.10± 0.20 <sup>a</sup>	14.67± 1.15 <sup>a</sup>	36.33±3 .79 <sup>a</sup>	6352.38±7 34.20 <sup>a</sup>
T1. 2 kg de M.utilis séché/m <sup>2</sup>	2.57± 0.64 <sup>a</sup>	13.33± 1.15 <sup>a</sup>	28.00±2 .65 <sup>abc</sup>	3133.33±4 57.44 <sup>cd</sup>
T0. Sans Engrais Moyenne	1.93± 0.25 <sup>a</sup>	12.67± 1.53 <sup>a</sup>	19.33±5 .86 <sup>b</sup>	828.38±14 2.86 <sup>e</sup>
CV	17.56	8.04	13.73	15.16
P	0.069	0.252	0.00261	4.8 10-6
Décision	.	ns	**	***
Erreur standard	0.486	1.13	4.01	5.972.571

Note. Sur chaque colonne, une même lettre désigne que les deux moyennes ne sont pas différentes au seuil de 5 % par le test HSD de Tukey

Cette expérience a montré que l'enfouissement de M. utilis séché est une alternative conseillée pour les agriculteurs qui ont la capacité de séchage. Cette pratique est de loin mieux conseillée que la jachère de plusieurs années mais ne peut pas la remplacer. N'oublions pas que la jachère permet la capture des particules riches en K et en Ca issus de l'érosion par le vent des terres environnantes (Schlecht E. et al, 2007). N'oublions pas non plus que la minéralisation des racines

et des feuilles pendant la jachère augmente les MOS et donc améliorent la composition du sol. La jachère peut être améliorée par les légumineuses à croissance rapide comme le Sesbania (*Sesbania sesban*), le Tephrosia (*Tephrosia vogelii*), le Glyricidia (*Gliricidia sepium*), le Pois cajan (*Pigeon pea*, *Cajanus cajan*), le Crotolaria, le leucaena (*Leucaena leucocephala*), le Calliandra calothyrsus, l'Entada abyssinica Steud) (Mafongoya & Dzowela, 1999). Ces légumineuses permettent l'augmentation de la teneur en azote par la fixation symbiotique de N<sub>2</sub> et réduit la durée de la jachère à deux ans. La jachère *Sesbania sesban* a donné 3.6 t ha<sup>-1</sup> contre 4 t ha<sup>-1</sup> pour le fertilisant inorganique et 0.8 t ha<sup>-1</sup> pour le témoin. L'année deux et l'année 3 le rendement ont baissé (2 et 1.6 t ha<sup>-1</sup>). La jachère *Tephrosia* a donné 3.1 t ha<sup>-1</sup> l'an 1, 2.4 t ha<sup>-1</sup> l'an 2 et 1.3 t ha<sup>-1</sup> l'an 3. Alors que le témoin donnait respectivement 0.8, 0.1 et 0.5 kg ha<sup>-1</sup> et avec l'engrais, respectivement 4.2, 3 et 2.8 t ha<sup>-1</sup>. Cette pratique connaît néanmoins une limite dans le contexte de la pression démographique. Elle a, en beaucoup de milieux, disparu et la culture continue devient la norme (Mafongoya et al. 2007). Là où la pratique continue, la durée de la jachère a néanmoins diminué et devient insuffisante pour la restauration des MOS.

Par ailleurs, dans la région de savane de Kinshasa, l'activité culturelle la plus coûteuse est le sarclage. Les mauvaises herbes sont en très forte compétition avec la culture principale. Le réflexe de l'agriculteur devra être une des pratiques courantes pour la restauration des MOS à savoir le paillis. Elle réduit l'érosion par les eaux et par le vent. Elle réduit l'émergence de mauvaises herbes, la résistance du sol à la pénétration des racines, favorise les racines superficielles, stimule l'activité des termites, améliore la porosité, l'infiltration de l'eau, cause une grande capacité de rétention d'eau, diminue la température de la surface du sol, augmente le pH et le K par la minéralisation, augmente la capacité d'échange cationique, augmente le P à travers la décomplexation de P issu de l'Al et le Fe à travers l'échange de liquide par les acides organiques. Cette pratique se butte certes à une difficulté, celle de la disponibilité des résidus. Dans le contexte d'envahissement de mauvaises herbes, il y a lieu donc de vulgariser cette pratique en lieu et place de l'exportation de l'herbe issue du sarclage. Notons que les expériences agronomiques courantes utilisent 2t.ha<sup>-1</sup> de paillis. Notre expérimentation montre que c'est la quantité qui mobiliserait un demi hectare pendant près de 4 mois avec comme avantage de disponibiliser l'azote dans le sol. Informons ici en passant que les autres



biomasses souvent perdues sont celles de l'arachide (*Arachis hypogaea* L.). Mafongoya et al. 2007 rapportent qu'elles peuvent contenir jusqu'à  $160 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Ces auteurs renseignent aussi que la biomasse du niébé fixe  $28 \text{ kg N ha}^{-1}$ , L'arachide fixe  $33 \text{ kg N ha}^{-1}$ . L'Acacia angustissima fixe entre 122 et  $210 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Sesbania sesban fixe  $84 \text{ kg N ha}^{-1}$ , Gliricidia sepium fixe  $212 \text{ kg N ha}^{-1}$ , Leucaena collinsii fixe  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$ , Tephrosia candida fixe  $280 \text{ kg N ha}^{-1}$ , Tephrosia vogelii fixe  $157 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Le Calliandra calothyrsus produit  $200\text{--}643 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Le Pois cajan (pigeon pea, *Cajanus cajan*) peut laisser tomber jusqu'à  $40 \text{ kg N ha}^{-1}$  durant sa croissance.

Un autre réflexe à développer pour une agriculture durable est l'élevage contrôlé. En effet, une autre source des MOS et nutriments est le fumier du bétail. Beaucoup d'études sont disponibles sur la disponibilité, la qualité, le stockage et l'application de ces fumiers. Dans un contexte d'élevage extensif qui caractérise la région de Kinshasa, les bêtes se nourrissent dans la nature et dans les jachères. Les déchets des céréales leur sont disponibles après la récolte des graines et au début de la prochaine saison. Il est connu que 50 % de fèces et des urines sont excrétés pendant la nuit (Schlecht, 2007). Si le logement est fixe, on peut donc collecter les déchets et les apporter au champ. Si en plus les pâturages sont contrôlés, le sol gardera les fèces et les urines de la journée. De Jager et al. (1998) informent qu'une chèvre produit  $3.7 \text{ kg}$  de fèces par tête et par jour. Ce chiffre est de  $0.2 \text{ kg}$  par tête de volaille. Une population de 10 chèvres très courante dans le milieu en étude produirait par mois près d'une tonne de fumure. Cette quantité appliquée dans des poquets où l'on met les déchets avant plantation entraîne des rendements quadruples par rapport au témoin. Cette pratique a pour avantage d'apporter au sol le carbone organique du sol dans le milieu où cette quantité est inférieure à  $20\text{--}30 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Mafongoya et al. 2007 renseignent que les quantités recommandées pour la fumure issue du bétail se situent entre 10 et  $40 \text{ t.ha}^{-1}$ .

La fumure d'origine animale peut être préalablement transformée en compost. L'application des composts augmente le pH, la capacité d'échange cationique, le P et le N ainsi que les nutriments. Une application de  $5 \text{ t.ha}^{-1}$  a occasionné une augmentation de l'ordre de 46 à 69 % du rendement en grain et de l'ordre de 16 à 20 % de rendement de sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) (Schlecht, 2007) par rapport à un sol non amendé au Burkina Faso. Il a été observé une augmentation de 13 et

54 % sur le soja (*Glycine max* L. Merr) quand on a appliqué 1.5 et  $2 \text{ t.ha}^{-1}$  de compost (Schlecht, 2007). L'intégration élevage-agriculture peut donc résoudre le problème de disponibilité des MOS.

L'importation de la biomasse que nous conseillons dans ce travail peut se faire aussi sur d'autres plantes. Beaucoup d'auteurs ont travaillé sur le *Tithonia diversifolia*. L'enfouissement entre 2.8 et  $5.4 \text{ t.ha}^{-1}$  de biomasse de soja a donné entre 1.4 et  $2.3 \text{ t}$  de maïs là où le témoin donnait  $0.2 \text{ kg ha}^{-1}$  (Mafongoya et al. 2007). On a montré que  $10 \text{ t.ha}^{-1}$  de leucaena importé avait le même effet que  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de fertilisant inorganique. Le *Faidherbia albida* permet un accroissement de 50 à 250 % du rendement de maïs (Mafongoya et al. 2007).

De plus en plus d'auteurs conseillent la combinaison de plusieurs pratiques de restauration des MOS dans le champ tout en spécifiant que sur des terres de type oxisols, le lessivage est très rapide et le rendement peut chuter rapidement d'une année à une autre. La pratique de l'enfouissement des engrais verts peut être bénéfique si cela se fait en plus dans un champ qui a abrité le M. utilis séché. En effet, les légumineuses fixent l'azote, améliorent la disponibilité en P à travers la sécrétion des enzymes ou acides dans le rhizosphère des légumes (Schlecht et al, 2007). L'apport substantiel d'azote (N) en agriculture vient de la fixation d'azote par les légumineuses en association ou en rotation. L'arachide et le soja fixent entre 0.6 et  $1.7 \text{ g}$  de N par plante. C'est l'équivalent de 1.2 à 1.5 % de l'azote total contenu dans la biomasse. L'association soja-millet augmente le rendement du millet de 30 % par rapport au contrôle. La rotation maïs-arachide a entraîné une augmentation de 80 % du rendement par rapport au témoin. La rotation est donc de loin durable que l'association.

Cela est dû à la disponibilisation de N, l'infection des racines des céréales par les mycorhizes, la diminution de l'infestation des nématodes, l'augmentation du pH, l'amélioration de la disponibilité de P. Ceci peut réduire la quantité additionnelle requise et peut rendre l'agriculture tropicale durable. Harris (1998) estime que les légumineuses peuvent contribuer jusqu'à  $48 \text{ kg N ha}^{-1}$  dans un seul champ selon la densité de ces légumineuses. Le soja et le niébé ont pour un équivalent de  $2 \text{ t.ha}^{-1}$ ,  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  dans leurs résidus qui sont malheureusement déportés du champ et souvent brûlés. Sanginga et al., (2003) ont observé un rendement double sur le maïs planté après ces légumineuses. Malgré ce potentiel, le système est exposé à plusieurs challenges comme

l'humidité du sol, l'état initial de la fertilité du sol. L'association du maïs avec le *Tephrosia candida* et le *Cajanus cajan* fait passer le rendement de 0.6 t ha<sup>-1</sup> à 1.3 t ha<sup>-1</sup> (Mafongoya et al. 2007).

L'engrais vert est aussi utilisé pour la restauration des propriétés physiques, chimiques et microbiennes des sols. Le *Crotalaria* le *Mucuna* comme engrais vert a doublé la productivité du maïs et le haricot en Afrique de l'Est (Fischler et al., 1999). Le challenge est surtout la synchronisation de l'apport et la demande de la plante. D'où la technique proposée par cet article à savoir, le séchage.

Le *Tithonia diversifolia* L. est largement connu pour sa vertu d'améliorer les caractéristiques du sol (Ikerra et al., 2007; Karundiku et al., 2007; Kimani et al., 2007; Mafuka et al., 2007; Tabu et al., 2007; Waswa et al., 2007). Ce sont les ressources végétales naturelles disponibles pour améliorer la fertilité du sol à moindre frais. *Mucuna* est utilisé comme engrais vert enfouis ou comme paillis dans les conditions de perturbation des précipitations. Le *Crotalaria* *grahamiana* est aussi utilisé dans la gestion de fertilité des sols. Quand bien même il peut dans certains cas déprimer le rendement de la culture y associé, dans certains autres, il assure l'amélioration du rendement. L'amélioration de rendement est attribuable à une meilleure nutrition, mais aussi à une bonne économie en eau, particulièrement en saison culturale B qui connaît un déficit hydrique. Le *Crotalaria* est semé en ligne continue aux écartements de 40 centimètres entre les lignes en culture pure. Dans l'association, il est semé entre les lignes de semis/plantation ou entre les billons le même jour que la mise en place de la culture y associée. Le *Crotalaria* couvre bien le sol de sorte qu'il assure une protection efficace contre l'érosion du sol.

#### 4. Conclusion et Suggestion

Des discussions précédentes, il est évident que le rendement des cultures ne peut pas être amélioré de façon durable au cours du temps sans l'amélioration de la fertilité du sol. L'apport des MOS de façon permanente par des pratiques diverses doit être un réflexe part tout agriculteur, surtout l'agriculteur à petite échelle.

La question que l'on se pose est celle de savoir comment maintenir la fertilité de sol chez les agriculteurs qui sont pauvres. Le besoin d'ajouter les intrants est impératif. Cependant, les fertilisants inorganiques sont

chers et leur utilisation s'est montrée par endroit non profitable de suite d'une utilisation non adéquate. La solution de la fertilité du sol ne sera pas résolue par l'utilisation des fertilisants non organiques seuls. Nous avons vu que l'attention doit être portée surtout à d'autres pratiques qui heureusement existent. Le paradigme de la recherche et développement sur la fertilité de sol doit changer. Nous devons adopter une approche flexible avec une forte participation des fermiers en combinant plusieurs méthodes allant des connaissances autochtones aux innovations proposées par les chercheurs. Donc, l'approche à promouvoir est la Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols (GIFS).

#### Remerciements

Nous remercions le Professeur Kongolo de l'Université Laurentienne à Sudbury au Canada, l'INERA, la FAO et enfin les Professeurs Kadiata Bakach et Kalonji Mbuyi pour avoir accepté de lire le manuscrit de ce texte.

#### 5. Références

- Bationo, A., Hartemink, A., Lungu, O., Naimi, M., Okoth, P., Smaling, E. & Thiombiano, L., (2006). African soils: their productivity and profitability of fertilizer use. In: Proceedings of the African Fertilizer Summit. June 9-13, 2006, Abuja, Nigeria, 29.
- Bekunda MA, Bationo A, Ssali H, (1997). Soil fertility management in Africa. A review of the selected trials. In: Buresh RJ, Sanchez PA, Calhoun F (eds). Replenishing soil fertility in Africa. Special Publication No. 51 of Soil Science Society of America, Madison Wisconsin, 63-79.
- Bekunda, B., Sanginga, N. & Woomer, P. L., (2010). Restoring Soil Fertility in Sub-Sahara Africa. *Advances in Agronomy*, 108, 184-236.
- De Jager, A., Onduru, D., van Wijk, M.S. Vlamming, J. & Gachini G.N. (2001). Assessing sustainability of low-external-input farm management systems with the nutrient monitoring approach: a case study in Kenya. *Agricultural Systems*, 69, 99-118.
- F.A.O., (1986). Ressources en terre, Kinshasa, RDC, 30 ;
- Fischler, M., Wortmann, C. & Feil, B., (1999). *Crotalaria* (*C. ochroleuca* G. Don.) as a green manure in maize-bean cropping systems in Uganda. *Field Crops Research*, 61, 97-107.
- Gichuru M.P., Bationo A., Bekunda M.A., Goma H.C., Mafongonya P.L., Mugendi D.N., Murwira H.M., Nandwa S.M., Nyathi P., Swift M.J., (2003). Soil fertility management in Africa: A regional perspective. Academy science publishers (ASP) in association with the tropical Soil Biology and Fertility of CIAT. Nairobi, 306.
- Harris, F.M.A., (1998). Farm-level assessment of nutrient balance in northern Nigeria. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 71, 201-214.



- Ikerra S.T., Semu E., Mrema J.P., (2007). Combining *Tithonia diversifolia* and minjingu phosphate rock for improvement of P availability and maize grain yields on a Chromic Acrisol in Morogoro, Tanzania. In: Bationo A, Waswa B, Kihara J, Kimetu J (eds). *Advances in integrated soil fertility management in Sub-Saharan Africa: Challenges and opportunities*, Springer, The Netherlands, 333-344.
- Kadiata B.D., M. Muyayabantu M., (2011). A study of *Entada abyssinica* Steud. : A new nodulating indigenous tree legume with promising agroforestry potentials on unfertile acid soils, *Journal of Animal & Plant Sciences*, 2011, 11, 3, 1424-1434
- Karundiku M.W., Mugendi D.N., Kung'u J., Vanlauwe B., (2007). Fertilizer nitrogen recovery as affected by soil organic matter status in two sites in Kenya. In: Bationo A, Waswa B, Kihara J, Kimetu J (eds). *Advances in integrated soil fertility management in Sub-Saharan Africa: Challenges and opportunities*, Springer, The Netherlands, 537-545.
- Kimani S.K., Esilaba A.O., Odera M.M., Kimenye L., Vanlauwe B., Bationo A., (2007). Effects of organic and mineral sources of nutrients on maize yields in three districts of central Kenya. . In: Bationo A, Waswa B, Kihara J, Kimetu J (eds). *Advances in integrated soil fertility management in Sub-Saharan Africa: Challenges and opportunities*, Springer, The Netherlands, 353-357.
- Lal R., Reigner E., Edwards W.M., Hammond R., (1991). Expectations of cover crops for Sustainable agriculture. In: Hargrove WL (ed). *Proceedings cover crop for clean water: an international conference*, West Tennessee experiment stations, 9-11. Soil and water conservation society, Ankeny, IA, USA. 1-11.
- Lunze L., Kimani P.M., Ngatoluwa R., Rabary B., Rachier G.O., Ugen M.M., Ruganza V., Awad elkarim E.E., (2007). Bean improvement for low soil adaptation in Eastern and central Africa. In: Bationo A, Waswa B, Kihara J, Kimetu J (eds). *Advances in integrated soil fertility management in Sub-Saharan Africa: Challenges and opportunities*, Springer, The Netherlands, 324-332.
- Mafongoya P.L., Bationo A., Kihara J., Waswa B.S., (2007). Appropriate technologies to replenish soil fertility in southern Africa, in *Advances in integrated soil fertility management in sub sharan Africa: challenges and opportunities*, A. Batiano, B. Waswa, J. Kihara, J. Kimetu (eds), Springer, 1091 .
- Mafuka M.M., Nsombo M., Nkasa C., Ibwenzi K., Taba K., (2007). Effect of combining organic leafy biomass and inorganic fertilizer on tomato yields and nematodes control in Arenosols in Kinshasa area. In: Bationo A, Waswa B, Kihara J, Kimetu J (eds). *Advances in integrated soil fertility management in Sub-Saharan Africa: Challenges and opportunities*, Springer, The Netherlands, 359-363
- Makoko M., Ndembo L. and Nsimba M. (1991). Hydrodynamique des sols de Kinshasa, les sols du Mont-Amba: caractéristiques pédologiques, mécanique et stock d'eau. *Revue Congolaise des Sciences Nucléaires* 12, 1/2, 72-82.
- Ministère du Plan (2005). Monographie de la Ville de Kinshasa, Unité de Pilotage du Processus d'Elaboration et de Mise en œuvre de la Stratégie pour la Réduction de la Pauvreté (UPPE-SRP) Comité Provincial de la Stratégie pour la Réduction de la Pauvreté
- Ministère du Plan, (2011). Document de la DSCR République démocratique du Congo, stratégie de croissance et de réduction de la pauvreté, 2001-2015.
- Morris, M., Kelly, V.A., Kopicki, R.J. et Byerlee, D., (2007). Fertilizer use in African agriculture: Lessons learned and good practice guidelines. The World Bank. 12.07.2011 Available: <http://www-wds.worldbank.org/servlet/main?menu>.
- Muyayabantu G.M., Kadiata B.D. and Nkongolo K.K., (2012). Response of maize to different organic and inorganic fertilization regimes in monocrop and intercrop systems in a Sub-Saharan Africa Region, *Journal of Soil Science and Environmental Management* Vol. 3,2, 42-48, February 2012
- Okalebo J.R., Othieno C.O., Woomer P.L., Karanja N.K., Semoka J.R.M., Bekunda M.A., Mungedi D.N., Muasya R.M., Bationo A., Mukhwana E.J., (2007). Available technologies to replenish soil fertility in East Africa, in *Advances in integrated soil fertility management in sub sharan Africa: challenges and opportunities*, A. Batiano, B. Waswa, J. Kihara, J. Kimetu (eds), Springer, 1091
- Palm, C.A., Myers, R.J.K. et Nandwa, S.M., (1997). Combined use of organic and inorganic nutrient sources for soil fertility maintenance and replenishment. In: Buresh, R.J.,
- Sanchez P.A., Jama B.A., (2002). Soil fertility replenishment takes off East and Southern Africa. In: Vanlauwe B (eds), *Integrated plant nutrition management in Sub-Saharan Africa from concept to practice*. CABI International, 23-45.
- Sanginga N., Lyasse O., Diels J., Merckx R., (2003). Balanced nutrient management systems for cropping systems in the tropics: from concept to practice. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 100, 99-102.
- Schlecht E., Buerkert A., Tielkes E., Bationo A. A critical analysis of challenges and opportunities for soil fertility restoration in sudano-sahelian west Africa, in East Africa, in *Advances in integrated soil fertility management in sub sharan Africa: challenges and opportunities*, A. Batiano, B. Waswa, J. Kihara, J. Kimetu (eds), Springer, 1091 .
- Shisanya, C.A., Mucheru, M.W., Mugendi, D.N. et Kung'u, J.B., (2009). Effect of organic and inorganic nutrient sources on soil mineral nitrogen and maize yields in central highlands of Kenya. *Soil & Tillage Research*, 103, 239-246.
- Tabu I.M., Bationo A., Obura R.K., Masinde J.K., (2007). Effect of rock phosphate, lime and green manure on growth and yield of maize in a non productive niche of a Rhodic Ferralsol in farmer's fields. In: Bationo

- A, Waswa B, Kihara J, Kimetu J (eds). *Advances in integrated soil fertility management in Sub-Saharan Africa: Challenges and opportunities*, Springer, The Netherlands, 449-456.
- Tollens, (2004). *Les défis: Sécurité alimentaire et cultures de rente pour l'exportation, Principales orientations et avantages comparatifs de l'agriculture en R.D.Congo. Table Ronde sur l'Agriculture en RDC. Kinshasa, 19 - 20 mars 2004. Vers une stratégie de développement agricole, base solide du décollage économique.*
- Waswa B.S., Mugendi D.N., Vanlauwe B., Kung'u J., (2007). *Changes in soil organic matter as influenced by organic residue management regimes in selected experiments in Kenya. In: Bationo A, Waswa B, Kihara J, Kimetu J (eds). Advances in integrated soil fertility management in Sub-Saharan Africa: Challenges and opportunities*, Springer, The Netherlands, 447-469.