

Effet de la fertilisation minérale, de l'étêtage du manioc et des légumineuses à graines sur le rendement du manioc en culture associée et sur les propriétés d'un Arénoferralsols à Kinshasa/RDC

Lele B. N.¹, Kachaka S. C.², Lejoly J.³

- (1) École Régionale post-universitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrée des Forêts et Territoires Tropicaux (ERAIFT), B.P 127 Kinshasa XI / République Démocratique du Congo / e-mail : lelebonaventure72@yahoo.fr
(2) Université de Kinshasa, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Gestion des Ressources Naturelles
(3) Université Libre de Bruxelles, Belgique

Résumé

Ce travail a pour objectif d'évaluer l'effet du fertilisant minéral et des légumineuses à graines sur les propriétés du sol et sur le rendement en tubercules de manioc pendant deux campagnes culturales. L'étude a eu lieu à la station Phytotechnique de N'djili Brasserie, en République Démocratique du Congo (RDC), dont les coordonnées géographiques sont comprises entre 4° 29' et 4° 32' latitude Sud et 15° 20' et 15° 23' longitude Est. Les facteurs sous étude ont été : la légumineuse associée au manioc avec quatre variantes (*Arachis hypogaea* (L) (arachide), *Phaseolus vulgaris* (L) (haricot), *Vigna unguiculata* (L.) (niébé) et *Glycine max* ((L.) (Merr.) (soja)), l'engrais minéral avec deux variantes (avec et sans engrais) et l'étêtage avec deux variantes (avec et sans étêtage). Ces facteurs ont été combinés pour donner 20 traitements. Le dispositif expérimental a été en Blocs Complets Randomisés (BCR). Après la récolte des légumineuses, leurs biomasses ont été enfouies superficiellement comme engrais vert au niveau de chaque parcelle. Après la récolte du manioc, ce dernier a été replanté en culture pure et sans apport de fertilisant minéral en vue d'évaluer les effets résiduels des différents traitements. Au début de l'étude, un échantillon composite du sol a été prélevé et analysé pour déterminer

les propriétés initiales du sol. A la fin de l'expérimentation, dix échantillons ont été prélevés et analysés pour évaluer l'effet des traitements sur les propriétés du sol. A l'issue de cette expérimentation, les résultats ont montré que l'association du manioc fertilisé avec les légumineuses dont les biomasses seront enfouies dans le sol a augmenté la teneur en carbone, en azote, en Capacité d'Echange Cationique (CEC) du sol et amélioré le rendement de la culture de manioc après deux campagnes culturales. La CEC du sol a augmenté de 59% avec l'enfouissement de la biomasse de soja fertilisé, de 50% avec celle de niébé fertilisé, de 47% avec celle d'arachide fertilisé et a diminué de 12% à 14% dans les sols sous manioc pur. La cueillette des feuilles tendres de manioc à 3 et à 6 mois après reprise ne réduit pas le rendement de la culture. Au regard des indices d'acceptabilité T_{16} (manioc*soja (IA=2,06)), T_{17} (manioc*soja*étêtage (IA=2,7)), T_{18} (manioc*soja*engrais (IA=2,78)) et T_{19} (manioc*soja*étêtage*engrais (IA=3,76)), l'association entre le manioc et le soja avec ou sans apport d'engrais minéral peut être diffusé facilement auprès des paysans car elle génère plus du double de bénéfice par rapport à la culture pure.

Mots clés : Fertilisation minérale, association manioc-légumineuses à graines, fertilité du sol, Arénoferralsols, indice d'acceptabilité.

Abstract

This work aims to evaluate the effect of mineral fertilizer and grain legumes on soil properties and yield of cassava tubers during two growing seasons. The study took place at the station Phytotechnie N'djili Brasserie, DRC, whose geographical coordinates are 4° 29' and 4° 32' South latitude and 15° 20' and 15° 23' east longitude. The factors of study were mineral fertilizer with two levels (with and without fertilizer), associated legume with four variants (*Arachis hypogaea* (L) (peanut), *Phaseolus vulgaris* (L) (bean), *Vigna unguiculata* (L.) (Cowpea) and *Glycine max* ((L.) Merr.) (soybean)) and topping with two variants (with

and without topping). These factors were combined to give 20 treatments. The experimental design was Randomized Complete Block (RCB). After harvesting legumes, their biomasses were buried superficially as green manure in each plot. After harvesting cassava, it was planted in pure culture without the addition of mineral fertilizer in order to evaluate the residual effect of the different treatments. At the beginning of the study, a composite sample of soil was taken and analyzed for the initial properties of the soil. At the end of the study, ten samples were collected and analyzed for the effect of treatments on soil properties. At the end of the

experiment, ten samples were collected and analyzed to evaluate the effect of treatments on soil properties. At the end of this experiment, the results showed that cassava combination fertilized with legumes which biomass will be buried in the soil increased the carbon, nitrogen, soil CEC and improved the performance of the cassava crop after two growing campaign. The CEC of the soil has increased by 59% with the burial of soybean biomass fertilized, 50% with that of cowpea fertilized, 47% with that of fertilized peanut and decreased from 12% to 14% in soil under

pure cassava. Picking tender cassava leaves at 3 and 6 months after recovery does not reduce the crop yield. In view of the index of acceptability T_{16} (cassava*soybean (IA=2.06)), T_{17} (cassava*Soybean*pollarding (IA=2.7)), T_{18} (cassava*Soybean*fertilizers (IA=2,78)) and T_{19} (cassava*soybean*pollarding*fertilizers (IA=3.76)), the association between cassava and soybeans with or without input of mineral fertilizer can be easily distributed to farmers because it generates more than double profit compared to pure crop.

Keywords: Mineral fertilization, cassava-legume association, Soil fertility, Arénoferralsols, Acceptability Index.

1. Introduction

Les sols tropicaux tout comme ceux de la province de Kinshasa et ses environs sont soumis à une forte minéralisation de leur matière organique et un lessivage accru des éléments minéraux suite aux pluies intenses et aux fortes températures. Le lessivage des éléments minéraux dans ces sols est exacerbé par leur texture sableuse et leur structure particulière. Ces phénomènes associés aux processus pédologiques naturels aboutissent à des sols fortement dégradés et très acides (Pieter et al., 2012). Ces sols présentent des contraintes chimiques et biologiques liées à l'acidité, à la toxicité aluminique, à une forte capacité de rétention du phosphore (P), à une forte désaturation en cations échangeables (Ca, Mg, K, Na) qui ont pour résultat la réduction de leur productivité (Kadiata et al., 2003 ; Ruganzu, 2009 ; Pieter et al., 2012). Sur le plan agricole, les conséquences se traduisent par de faibles rendements pour les principales cultures vivrières notamment le manioc dont le rendement en tubercules frais ne dépasse guère 8t/ha (Carsky et al., 2005, Chianu et al., 2005 ; Fermont et al., 2008). Malgré l'utilisation des fertilisants minéraux, le rendement des principales cultures baisse significativement après une saison culturale à cause du lessivage intense des éléments minéraux (Adjei-Nsiah et al., 2007, Egesi et al., 2007). Ainsi, la mise en valeur de ces sols exige des amendements, organiques ou calcaires, pour améliorer leurs propriétés physiques et rentabiliser l'utilisation des engrais minéraux (Muna-Mucheru, 2007 ; Uyo et al., 2009). Mais, l'indisponibilité de la matière organique en quantité suffisante et le coût élevé de la chaux nous ont amené à explorer d'autres pistes pour diversifier les solutions. C'est pourquoi, dans le cadre de cette étude, nous avons pensé à associer le manioc aux légumineuses à graines dont les biomasses seront enfouies superficiellement comme engrais vert après leurs récoltes. Ces légumineuses peuvent, en association avec le rhizobium, fixer l'azote atmosphérique et le transférer au sol, par

l'enfouissement de leur biomasse, pour le bénéfice de la culture associée ou subséquente (Sanginga et al., 1990 ; Escalada et Ratilla, 1998). Cette étude a pour objectifs d'évaluer l'effet de la fertilisation minérale, des légumineuses associées et de l'étépage du manioc sur les propriétés du sol et sur le rendement en tubercules de manioc pendant deux campagnes culturales. Ce travail rentre également dans le cadre de l'agriculture écologique qui est de plus en plus recommandée pour la durabilité de systèmes de production agricole.

2. Matériel et méthodes

2.1. Site expérimental

L'étude a eu lieu au Centre Phytotechnique de N'djili-Brasserie de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Kinshasa, située dans la ville province de Kinshasa, dont les coordonnées géographiques sont comprises entre 4° 29' et 4° 32' latitude Sud et 15° 20' et 15° 23' longitude Est. Le climat qui prévaut à la station appartient au type AW4 selon la classification de Köppen. C'est un climat tropical humide comportant deux saisons dont la saison sèche de 4 mois qui va de mai à septembre et la saison pluvieuse de 8 mois qui va de septembre à mai. La température moyenne annuelle est de 24,5°C. Il y a trois saisons culturales dont la saison A qui va d'octobre à février, la saison B de février à juin et la saison C de juin à octobre. La saison C ne concerne que les cultures de bas fond aimant la fraîcheur. Le manioc peut être planté pendant les trois saisons agricoles. Cependant, les meilleurs rendements sont obtenus pendant les saisons A et B. Les légumineuses à graines sous études sont semées généralement pendant les saisons A et B à l'exception du haricot qui peut être aussi semé pendant la saison C. Les précipitations pendant la période expérimentale indiquent une répartition irrégulière des pluies mensuelles avec une période de sécheresse totale de juin à Août (figure 1).

Les sols identifiés sur le site appartiennent à

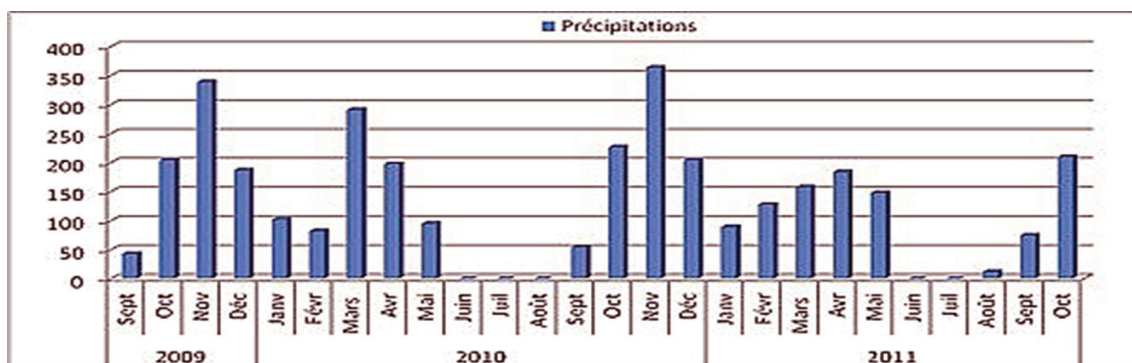


Figure 1 : Précipitations pendant la période expérimentale (Source : Station aéroport de N’djili)

l'unité taxonomique des arenoferralsols et au sous groupe de Hydro-Xérokaolisols selon le système de classification de l'INEAC issu du système de classification américaine (Sys et al., 1961). Ce sont des sols qui ont un horizon ferrallitique, une structure pauvrement développée, une faible profondeur avec des traces des minéraux altérables. Ils se sont développés sur du matériau parental d'origine continentale du quaternaire. Ce sont des sables de la « série des sables ocres » du Kalahari qui se sont déposés sur un substratum gréseux. Le faciès géomorphologique d'ensemble est représenté par un versant à faible pente (Ndembo, 2009). Le terrain se prête aisément au labour. Mais on identifie à certains

endroits, la présence de termitières dont la taille peut atteindre 1 m. La teneur en argile augmente avec la profondeur. Le profil pédologique illustré par la photo 1 est constitué de trois horizons, limités par les lignes parallèles de la surface à la profondeur, qui sont : A₁, A₃ et C₁.

2.2. Engrais minéral

L'engrais minéral utilisé a été le NPK 17-17-17. Il est presque le seul engrais composé disponible sur le marché et utilisé pour les cultures vivrières en RDC. La quantité apportée est celle recommandée par Pieter et al. (2012) pour les sols ferrallitiques de Kinshasa et ses environs. La quantité apportée et rapportée en Kg.ha⁻¹ est présentée dans le tableau 1.

2.3. Matériel végétal et étêtage

Les boutures du *Manihot esculenta* Crantz. (manioc : variété Zizila) et les semences de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (niébé : variété H4), d'*Arachis hypogaea* (L) (arachide : variété JL24), de *Phaseolus vulgaris* (L) (haricot commun : variété Tendezi) et de *Glycine max* (L.) Merr.) (Soja : variété TEG 888- 49 C) ont été le matériel végétal de notre étude. Le choix de la variété zizila pour le manioc est dû à sa résistance contre la mosaïque et la bactériose. Les espèces de légumineuses à graines choisies sont les plus consommées à Kinshasa. Les choix de variétés de ces légumineuses a été fait en fonction de la résistance aux maladies et de l'adaptation aux conditions locales (CIALCA, 2007).



Photo 1 : Profil pédologique du sol expérimental

Tableau 1. Quantité d'engrais minéral apportée sur 49m² (parcelle expérimentale) et rapportée en Kg.ha⁻¹.

Quantité apportée en kg sur 49 m ²	Quantité rapportée en kg.ha ⁻¹	Quantité de N, P, K en kg.ha ⁻¹ contenue dans l'engrais apporté
3,46	706	N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀

L'étêtage a consisté à cueillir les feuilles tendres du manioc (consommée souvent comme légumes), généralement pris au sommet de la canopée, à 3 et à 6 mois après levée durant la première campagne culturale. Le rendement de feuilles tendres de manioc présenté est celui cumulé de deux cueillettes.

2.4. Dispositif expérimental, facteurs et traitements sous études

Les facteurs sous étude ont été : la légumineuse associée au manioc avec 4 variantes (arachide, haricot, niébé et soja), l'engrais minéral avec 2 variantes (avec et sans engrais) et l'étêtage avec deux variantes (avec et sans étêtage). Ces facteurs ont été combinés pour donner 20 traitements au total dont : T₀ (manioc : Témoin), T₁ (manioc*étêtage), T₂ (manioc*NPK), T₃ (manioc*étêtage*engrais), T₄ (manioc*arachide), T₅ (manioc*arachide*étêtage), T₆ (manioc*arachide*engrais), T₇ (manioc*arachide*étêtage*engrais), T₈ (manioc*haricot), T₉ (manioc*haricot*étêtage), T₁₀ (manioc*haricot*engrais), T₁₁ (manioc*haricot*étêtage*engrais), T₁₂ (manioc*niébé), T₁₃ (manioc*niébé*étêtage), T₁₄ (manioc*niébé*engrais), T₁₅ (manioc*niébé*étêtage*engrais), T₁₆ (manioc*soja), T₁₇ (manioc*soja*étêtage), T₁₈ (manioc*soja*engrais), T₁₉ (manioc*soja*étêtage*engrais). Le dispositif expérimental a été en Blocs Complets Randomisés (BCR) avec des parcelles expérimentales de 7m*7m soit 49 m².

2.5. Conduite expérimentale

Cette étude s'est déroulée de septembre 2009 à octobre 2011 soit pendant deux ans et un mois. La préparation du terrain a consisté à faire un dessouchage, suivi d'un labour à 30cm de profondeur sans brûlis préalable de la végétation herbacée puis d'un hersage. Pendant la première campagne culturale, la plantation du manioc est intervenue le 25 septembre alors que les légumineuses ont été semées le 09 octobre 2009. A la deuxième campagne, le manioc a été planté le 03 octobre 2010. La culture de manioc a été conduite pendant trois saisons agricoles (A, B et C) pour chacune de deux campagnes culturales tandis que celle des légumineuses ne s'est réalisée que pendant la saison agricole A de la première campagne culturale. Les boutures de manioc plantées provenaient des tiges principales. Nous avons planté, horizontalement à la profondeur de 10 cm, des micro boutures de 5 cm par emplacement. Deux lignes de légumineuses alternées avec une ligne de manioc. Les lignes de manioc étaient distantes de 40 cm de celles de légu-

mineuses. Il y avait 7 lignes de manioc dans chaque parcelle de culture pure et 7 lignes de manioc ainsi que 14 des légumineuses dans chaque parcelle de cultures associées. L'écartement entre le manioc a été de 1m*1m avec une densité de 10.000 plantes par ha tandis que les légumineuses avaient un écartement de 20cm*10cm pour une densité de 200.000 pieds par ha. L'engrais minéral a été appliqué deux fois dont la première au début de l'expérience et la deuxième quatre mois après la récolte des légumineuses. Les deux applications se sont effectuées le long des lignes des semis des légumineuses et de plantation de manioc. Après la récolte des légumineuses, leurs biomasses ont été enfouies superficiellement comme engrais vert au niveau de chaque parcelle. Après la récolte du manioc, ce dernier a été replanté en culture pure avec les boutures provenant de la première campagne et sans apport de l'engrais minéral en vue d'évaluer les effets résiduels des traitements. L'écartement et la densité ont été identiques à celles de la première campagne culturale. Les soins culturaux ont consisté en quatre sarclages pendant la première campagne et cinq pendant la deuxième campagne.

2.6. Evaluation des rendements

Pour les légumineuses, le rendement en biomasses sèches a été évalué à 25% de nouaison pour le haricot commun, le niébé et le soja et à 75% de floraison pour l'arachide. Ce rendement a concerné 2 de 14 lignes des légumineuses. Un petit échantillon de la biomasse a été pris, mis à l'étuve à 105°C pendant 24 heures pour déterminer le taux de matière sèche, à partir duquel le rendement brut est converti en termes de matières sèches. Par contre, le rendement en graines sèches de toutes les légumineuses a été évalué à la maturité pour chaque espèce. Les gousses étaient séchées sur une toile dans un hangar pendant deux semaines puis pesé et ensuite décortiquées avant le pesage des grains.

Le rendement en tubercules secs de manioc (matière sèche) a été évalué sur les cinq lignes internes (parcelle utilitaire) de chaque parcelle expérimentale en laissant les lignes de bordures. Après la récolte du manioc, les tubercules de la parcelle utilitaire ont été pesés et ensuite un sous échantillon de 5 tubercules (S.E) a été pris, dans chaque traitement, et pesé immédiatement. Ensuite ce sous échantillon a été épluché et séché d'abord sur une toile sous le soleil pendant trois jours et enfin mis à l'étuve à 65°C pendant 48 heures. Le rendement en matière sèche est calculé à partir de l'équation 1.

$$\text{Rdt en matière sèche} = \frac{\text{Poids frais tubercules de la parcelle utilitaire} \times 10000 \times \text{poids sec de S.E}}{\text{Poids frais de S.E} \times \text{surface de la parcelle utilitaire}}$$

Eq. 1

Légende : Rdt = rendement, S.E= sous échantillon de 5 tubercules.

2.7. Echantillonnage et analyse des sols

Au début de l'étude, neuf prélèvements de sol ont été réalisés sur le terrain expérimental à la profondeur de 0 à 30 cm, suivant la méthode des diagonales, puis mélangés pour constituer un seul échantillon composite. A la fin de l'expérimentation, nous avons prélevé des échantillons de sol dans 10 traitements de chaque bloc en tenant compte seulement des facteurs engrais minéral et légumineuse associée. Nous avons estimé que le facteur étage de manioc n'avait pas de l'influence sur les propriétés du sol. Ces échantillons ont été analysés pour déterminer : la texture (proportion en sable, limon et argile), le pH, le carbone organique total, l'azote total, les bases échangeables (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺), le phosphore assimilable, la capacité d'échange cationique du sol (CEC) et la saturation en Aluminium. Ces analyses ont été effectuées au laboratoire du Centre Régional d'Etudes Nucléaires de Kinshasa (CREN-K) selon les protocoles décrits par Van Ranst et al. (1999).

2.8. Analyse des données

Nous avons recouru à l'analyse de la variance au seuil de probabilité de 5 %, à l'aide du logiciel GenStat. Ensuite, nous avons procédé au test de comparaisons de moyennes (LSD) pour déceler les différences entre les traitements. Le pourcentage de changement des rendements du manioc entre les deux campagnes culturales a été calculé à partir de l'équation 2.

$$X (\%) = \frac{100 \times (\text{Rendement de la deuxième campagne} - \text{Rendement de la première campagne})}{\text{Rendement de la première campagne}}$$

Eq.2

X (%) : Pourcentage de changement des rendements de manioc entre les deux campagnes culturales.

2.9. Calcul de l'indice d'acceptabilité des différents traitements

L'indice d'acceptabilité (IA) a été calculé pour identifier le meilleur traitement facilement adoptable par les cultivateurs. Cet indice est le rapport entre le bénéfice brut des nouveaux traitements et le bénéfice brut du traitement témoin (Jama et al., 2000 et Muna-Mucheru et al., 2007). Le bénéfice brut est le bé-

néfice non amputé des charges fixes soit les mêmes pour tous les traitements. Ces charges concernent la préparation du terrain, la plantation du manioc et les sarclages. Ainsi, une technologie ne peut être facilement adoptée que si la valeur de l'IA est égale ou supérieure à 2. L'adoption se fait avec réticence si cette valeur est entre 1,5 et 2; et en dessous de 1,5 il y a rejet (Muna-Mucheru et al., 2007 et Kaho et al., 2011). Le prix de l'engrais minéral sur le marché est de 110\$/50kg. Les coûts variables totaux concernent la cueillette de feuilles de manioc (100\$/ha), l'épandage de l'engrais minéral (50\$/ha), l'achat de semences des légumineuses et leur semis. Les grains de légumineuses se vendent à 5\$ pour 1 kg de soja, 4,6\$ pour celui d'haricot et 3,3\$ pour ceux d'arachide et de niébé. La tonne des cosettes de manioc coûte 500\$.

3. Résultats

3.1. Propriétés du sol au début et à la fin de l'expérimentation

Le tableau 2 reprend les résultats sur les propriétés physiques et chimiques du sol au début et à la fin de l'expérimentation. Les propriétés du sol à la fin de l'expérimentation sont présentées en fonction de différents traitements. Il ressort des résultats sur les propriétés du sol au début de l'expérimentation que ce sol est sableux (prêt de 88% du sable), acide (pH<6) et a des très faibles teneurs en éléments nutritifs, une faible capacité d'échange cationique et une saturation en aluminium très élevée. Après deux campagnes culturales, les résultats de l'analyse des sols sous l'influence des facteurs légumineuse associée et fertilisant minéral ont montré des changements par rapport aux propriétés initiales du sol. Les pourcentages en limon et en argile ont légèrement augmenté alors que celui du sable a diminué par rapport au sol initial (tableau 2).

Le pH ainsi que les teneurs en P, K, Ca et Mg dans les sols sous différents traitements ont diminué par rapport au sol initial (tableau 2). Les teneurs en carbone et en azote ainsi que la CEC ont diminué dans les traitements sous manioc pur (T₀ et T₂) et ont augmenté dans les traitements sous manioc associé aux légumineuses (T₄, T₆, T₈, T₁₀, T₁₂, T₁₄, T₁₆ et T₁₈) (tableau 2). Les valeurs de la saturation en aluminium du complexe adsorbant sont en relation inverse avec celles du pH (tableau 2). Elles sont les plus élevées pour des valeurs de pH plus basses et les plus faibles pour des valeurs de pH les plus élevées.

Tableau 2 : Composition granulométrique et chimique du sol expérimental au début et à la fin de l'expérimentation

Traitement	Argile %	Limon %	Sable %	pH Eau	Carbone (%)	Azote (%)	P (ppm)	K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	CEC (cmol/kg)	mAl (%)
Au début	5,64	6,85	87,51	5,13	0,93	0,071	11,2	0,041	3,27	0,32	5,9	75
A la fin												
T ₀	7,34	8,12	84,34	4,01	0,80	0,010	5,34	0,011	1,02	0,13	5,1	81
T ₂	7,07	8,46	84,47	4,09	0,82	0,021	7,24	0,015	0,92	0,17	5,2	79
T ₄	8,55	11,83	79,62	4,21	1,28	0,112	8,18	0,027	1,15	0,21	6,6	77
T ₆	7,69	10,97	81,34	4,17	1,35	0,124	9,01	0,039	1,85	0,25	8,7	78
T ₈	7,54	9,78	82,68	4,65	0,98	0,091	7,34	0,021	1,06	0,19	6,0	75
T ₁₀	6,67	9,82	83,51	4,84	1,13	0,098	8,01	0,029	1,14	0,21	6,9	75
T ₁₂	8,02	11,07	80,91	4,64	1,21	0,104	7,42	0,024	1,14	0,21	6,5	76
T ₁₄	8,71	11,62	79,67	4,12	1,31	0,119	8,41	0,031	1,15	0,23	8,9	78
T ₁₆	8,84	12,29	78,87	4,20	1,30	0,120	8,22	0,027	1,89	0,21	7,2	77
T ₁₈	6,98	11,54	81,48	4,03	1,42	0,135	9,27	0,038	1,91	0,27	9,4	80

(Source : Laboratoire du CREN-K, 2011)

3.2. Rendements des légumineuses et du manioc

Le tableau 3 présente les résultats sur les rendements en biomasse et en graines sèches des légumineuses ainsi que les résultats sur les rendements en feuilles tendres et en tubercules secs de manioc. Les résultats de l'analyse de la variance (ANOVA) et ceux du test de comparaisons de rendements (LSD) en fonction de traitements sont également consignés dans le tableau 3. Il ressort de ces résultats que : les rendements en biomasse et en graines sèches des légumineuses ont montré des différences significatives entre les traitements selon l'analyse de la variance au seuil de probabilité de 5%. De même, l'analyse de la variance au seuil de probabilité de 5% des résultats sur les rendements en feuilles tendres et en tubercules secs de manioc a montré des différences significatives entre les traitements. Les légumineuses à graines fertilisées ont produits plus des biomasses et des graines que celles non fertilisées. Le classement des légumineuses selon leur production en biomasse et en grains est le suivant : Soja fertilisé (T₁₈ et T₁₉) > Niébé fertilisé (T₁₄ et T₁₅) > Arachide fertilisé (T₆ et T₇) > Soja non fertilisé (T₁₆ et T₁₇) = Haricot fertilisé (T₁₀ et T₁₁) = Arachide non fertilisé (T₄ et T₅) > Niébé non fertilisé (T₁₂ et T₁₃) > Haricot non fertilisé (T₈ et T₉). Les rendements en graines des légumineuses pour les sols non fertilisés sont de 396,75 et 397,0 kg/ha pour l'arachide, 217,0 et 236,25 kg/ha pour l'haricot, 384,5 et 400,5 kg/ha pour le niébé et 532,25 et 536,5 kg/ha pour le soja. A la pre-

mière campagne culturale, le manioc en culture pure a produit plus des biomasses et des tubercules que le manioc associé aux légumineuses tout autres facteurs restants égaux. A la deuxième campagne culturale, les parcelles de manioc associé aux légumineuses lors de la première campagne ont produit plus de tubercules que les parcelles du manioc en culture pure tout autres facteurs restants égaux. Le pourcentage de baisse de rendement le plus élevé (42% et 43%), entre les deux campagnes culturales, a été observé chez le manioc fertilisé en culture pure (T₂ et T₃) (tableau 3). Nous notons également que les biomasses du niébé, du soja et de l'arachide non fertilisés et enfouies la première année ont augmenté le rendement du manioc à la deuxième campagne de 14 et 20% pour celle de niébé, 17 et 18% pour celle de soja (T₁₆ et T₁₇) et 5% pour celle d'arachide (T₄) (tableau 3).

3.3. Choix des traitements à diffuser en fonction de l'indice d'acceptabilité

Les valeurs des indices d'acceptabilité des différents traitements ainsi que celles des variables qui ont servi à leurs calculs sont présentées dans le tableau 4.

AAu regard de ces valeurs, les traitements
 T₃ (manioc*étêtage*engrais (IA=2,2)),
 T₆ (manioc*arachide*engrais (IA=2,11)),
 T₇ (manioc*arachide*étêtage*engrais (IA=2,87)),
 T₁₁ (manioc*haricot*étêtage*engrais (IA=2,63)),
 T₁₅ (manioc*niébé*étêtage*engrais (IA=2,57)),

Tableau 3 : Rendements en biomasse et en graines des légumineuses et rendement en feuilles tendres et tubercules de manioc

Traitement	Facteurs			Variables					% de changement de Rdt du manioc entre les deux campagnes agricoles
	Légumineuse associée	Engrais minéral	Etêtage du manioc	Rdt en graines sèches des légumineuses en kg.ha ⁻¹	Rdt en biomasse sèches des légumineuses en kg.ha ⁻¹	Rdt en feuilles tendres de manioc en kg.ha ⁻¹ *	Rdt en tubercules secs de manioc en kg.ha ⁻¹ la première année	Rdt en tubercules secs de manioc en kg.ha ⁻¹ la deuxième année	
T ₀	Pur	Sans	Sans				3287efg	2112h	-36
T ₁	Pur	Sans	Avec			1125e	3162fgh	2087h	-33
T ₂	Pur	Avec	Sans				6162a	3462cd	-43
T ₃	Pur	Avec	Avec			2700a	5925a	3400cd	-42
T ₄	Arachide	Sans	Sans	396,75e	891,5d		2825h	2975ef	5
T ₅	Arachide	Sans	Avec	397,0e	892,3d	1400de	2762h	2712fg	-2
T ₆	Arachide	Avec	Sans	988,5a	1907,5c		4300cd	3950ab	-8
T ₇	Arachide	Avec	Avec	981,0a	1971,3c	2100b	4262d	3725bc	-13
T ₈	Haricot	Sans	Sans	236,25f	406,3e		3050gh	2675fg	-12
T ₉	Haricot	Sans	Avec	217,0f	399,5e	1150e	3075gh	2562g	-17
T ₁₀	Haricot	Avec	Sans	595,5c	947,0d		4850b	3500cd	-28
T ₁₁	Haricot	Avec	Avec	595,75c	946,5d	1875bc	4725bc	3487cd	-28
T ₁₂	Niébé	Sans	Sans	400,5b	553,5e		2150i	2450gh	14
T ₁₃	Niébé	Sans	Avec	384,5e	542,5e	1400de	2025i	2425gh	20
T ₁₄	Niébé	Avec	Sans	864,5b	2346,8b		3587ef	3325de	-7
T ₁₅	Niébé	Avec	Avec	914,5b	2191,5b	2050bc	3650e	3300de	-10
T ₁₆	Soja	Sans	Sans	532,25d	967,8d		2800h	3275de	17
T ₁₇	Soja	Sans	Avec	536,5d	979,5d	1700cd	2737h	3225de	18
T ₁₈	Soja	Avec	Sans	977,0a	2918,0a		4587bcd	4150a	-10
T ₁₉	Soja	Avec	Avec	979,0a	2881,3a	2550a	4475bcd	4112a	-8
SP				0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
P-value				0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	
CV				6,37	9,45	14,28	8,14	8,23	

Notes : SP : seuil de probabilité
P-value : est la probabilité d'obtenir la même valeur (ou une valeur encore plus extrême) du test si l'hypothèse nulle était vraie
CV : Coefficient de variation
NB : Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes.
T : traitement
* : Rendement cumulé des cueillettes de feuilles tendres à 3 et à 6 mois.

T₁₆ (manioc*soja (IA=2,06)), T₁₇ (manioc*soja*étêtage (IA=2,7)), T₁₈ (manioc*soja*engrais (IA=2,78)) et T₁₉ (manioc*soja*étêtage*engrais (IA=3,76)) peuvent être acceptés facilement par les paysans pour peu qu'ils aient accès aux intrants nécessaires (tableau 4). Compte tenu du coût élevé des engrais minéraux, l'association entre le manioc et le soja peut être recommandé avec ses 4 variantes du fait que c'est la seule qui a été rentable avec ou sans usage d'engrais

minéraux. En plus, le soja riche en protéines pourrait accroître, par son incorporation dans l'alimentation, la valeur nutritionnelle des mets traditionnels d'environ 300%, qui pour la plupart ne sont constitués que d'aliments riches en calories (IITA, 1998). Par ailleurs, les feuilles de manioc peuvent être vendues deux fois par campagne culturale avant 7 mois après reprise en vue de subvenir au coût des engrais minéraux.

Tableau 4 : Analyse économique des traitements

Traitement	Coût du NPK (\$/ha)	Coûts variables totaux (\$/ha)	Quantité des feuilles récoltées de deux années (kg/ha)	Rdt des légumineuses (kg/ha)	Rdt manioc de deux années (kg/ha)	Revenu brut feuilles de manioc de deux années (\$/ha)	Revenu brut légumineuses (\$/ha)	Revenu brut manioc (\$/ha)	Bénéfice brut (\$/ha)	IA
T ₀					5399			2699,5	2699,5	
T ₁		100	1125		5249	1237,5		2624,5	3762	1.39
T ₂	1553,2	50			9624			4812	3208,8	1.19
T ₃	1553,2	150	2700		9325	2970		4662,5	5929,3	2.2
T ₄		133		396,75	5800		1322,48	2900	4089,48	1.51
T ₅		233	1400	397,0	5474	1540	1323,32	2737	5367,32	1.99
T ₆	1553,2	183		988,5	8250		3294,96	4125	5683,76	2.11
T ₇	1553,2	283	2100	981,0	7987	2310	3269,96	3993,5	7737,26	2.87
T ₈		146		236,25	5725		1102,34	2862,5	3818,84	1.41
T ₉		246	1150	217,0	5637	1265	1012,52	2818,5	4850,02	1.8
T ₁₀	1553,2	196		595,5	8350		2778,60	4175	5204,4	1.93
T ₁₁	1553,2	296	1875	595,75	8212	2062,5	2779,76	4106	7099,06	2.63
T ₁₂		133		400,5	4600		1334,98	2300	3501,98	1.3
T ₁₃		233	1400	384,5	4450	1540	1281,65	2225	4813,65	1.78
T ₁₄	1553,2	183		864,5	6912		2881,63	3456	4601,43	1.7
T ₁₅	1553,2	283	2050	914,5	6950	2255	3048,30	3475	6942,1	2.57
T ₁₆		150		532,25	6075		2661,25	3037,5	5548,75	2.06
T ₁₇		250	1700	536,5	5962	1870	2682,5	2981	7283,5	2.7
T ₁₈	1553,2	200		977,0	8737		4885	4368,5	7500,3	2.78
T ₁₉	1553,2	300	2550	979,0	8587	2805	4895	4293,5	10140,3	3.76

Notes : T₀ (manioc : Témoin), T₁ (manioc*étêtage), T₂ (manioc*NPK), T₃ (manioc*étêtage*engrais), T₄ (manioc*arachide), T₅ (manioc*arachide*étêtage), T₆ (manioc*arachide*engrais), T₇ (manioc*arachide*étêtage*engrais), T₈ (manioc*haricot), T₉ (manioc*haricot*étêtage), T₁₀ (manioc*haricot*engrais), T₁₁ (manioc*haricot*étêtage*engrais), T₁₂ (manioc*niébé), T₁₃ (manioc*niébé*étêtage), T₁₄ (manioc*niébé*engrais), T₁₅ (manioc*niébé*étêtage*engrais), T₁₆ (manioc*soja), T₁₇ (manioc*soja*étêtage), T₁₈ (manioc*soja*engrais), T₁₉ (manioc*soja*étêtage*engrais), Rdt : Rendement, IA : Indice d'acceptabilité.

4. Discussions

4.1. Propriétés du sol au début de l'expérimentation

Les teneurs initiales en carbone (0,93%) et en azote (0,071%) (tableau 2) du sol expérimental sont très faibles comparativement aux valeurs tests proposées par Landon (1991). Le rapport C/N de 13 montre que la matière organique se décompose normalement. Les valeurs de phosphore (11,2 ppm) et du potassium (0,041 cmol/kg) obtenues sont faibles pour assurer une bonne nutrition des cultures. Le rapport Ca/Mg de 10.2 au delà de l'optimum approximatif (3-4) de la plupart des cultures pourrait laisser supposer une inhibition de l'absorption du magnésium (Ruganzu, 2009). La

CEC est faible (5,7 Cmolc.kg⁻¹) selon les valeurs test proposées par Landon (1991). Par conséquent, ce sol contient des faibles réserves d'éléments nutritifs (tableau 2). La faible CEC de ce sol est due à sa minéralogie, dont la fraction argileuse est dominée par la kaolinite (phyllosilicate 1:1) avec des hydroxydes/oxydes résiduels d'Al (Al(OH)₃) (Baert, 2009 et Koy, 2010) et à la faible teneur en matière organique (tableau 2). La saturation en aluminium est de 75%. Selon Boyer (1976) et Landon (1991), les sols saturés à plus de 60 % d'Al³⁺ présentent une toxicité aluminique considérable. Au regard de ces résultats d'analyse, ce sol nécessite des amendements et des apports externes

des éléments minéraux à travers la fertilisation pour répondre au mieux aux besoins des plantes et des micro-organismes.

4.2. Effet de différents traitements sur les propriétés du sol

L'augmentation de proportions en limon et en argile dans les sols sous différents traitements, après deux campagnes culturales, serait due aux apports par érosion le long de la pente. La diminution du pH est due à la présence des anions acides NO_3^- et SO_4^{2-} provenant en grande partie de la décomposition des biomasses des légumineuses. Ces anions ont mobilisé l'Aluminium qui, à son tour, a remplacé le Ca et les autres cations non acides dans le complexe, facilitant ainsi leur lixiviation par les précipitations intenses qui se sont abattues dans la zone pendant la période expérimentale (Koy, 2009 ; Mulaji, 2012 ; Pieter et al., 2012). C'est pourquoi, le complexe absorbant est saturé en ions Al^{3+} (tableau 2). Les diminutions en P, K, Ca et Mg sous différents traitements seraient dues aux exportations par les cultures sous études et aux lixiviations particulièrement pour le Ca et le Mg. Les pertes de ces éléments, dans le sol, pendant la période expérimentale seraient supérieures aux apports par les biomasses des légumineuses et par l'engrais minéral. Les augmentations des teneurs en carbone et en azote dans les traitements sous association culturale sont essentiellement dues aux apports par les biomasses des légumineuses. Toutefois, une partie de l'azote contenu dans les biomasses proviendrait de l'azote atmosphérique fixé par les légumineuses. Nous signalons que la nodulation a été plus abondante chez les légumineuses fertilisées que chez celles non fertilisées. L'augmentation de la CEC dans les traitements sous association culturale est due à l'accroissement des colloïdes organiques, provenant de la décomposition de biomasses des légumineuses, traduits par la teneur en carbone organique total (tableau 2). Des augmentations similaires de la CEC ont été également obtenues dans les sols de Kinshasa avec l'apport de la dolomie et de la parche du café par Koy (2010) et l'apport du compost des biodéchets ménagers par Mulaji (2012).

4.3. Effet des différents traitements sur les rendements des légumineuses et du manioc

Le rendement de quatre espèces de légumineuses fertilisées, en culture associée avec le manioc, a doublé par rapport aux légumineuses non fertilisées (tableau 3). Des augmentations similaires ont été obtenues par Koy (2010), en culture pure sur sol

sableux de Kinshasa, avec l'apport du phosphate naturel, de la dolomie et de la parche de café. Mulaji (2012) a quintuplé et triplé respectivement avec l'apport du compost des biodéchets ménagers et de l'engrais minéral, les rendements de l'arachide et du soja en culture pure sur sol sableux de Kinshasa. Une augmentation significative du rendement en graines de soja, sur sol acide, suite à l'apport de la chaux et des engrais phosphatés et organiques a été également mentionnée par Ogoke et al. (2003) et Anetor et Akinrinde (2006).

Le rendement du manioc, pendant la première campagne culturale, a été positivement influencé par l'apport du fertilisant minéral (NPK) et négativement influencé par la compétition avec les légumineuses associées (tableau 3). L'engrais minéral, par son apport en azote, en phosphore et en potassium, a favorisé la production en biomasse et en graines des légumineuses ainsi que la production en biomasse et en tubercules de manioc (tableau 3). Par contre, les légumineuses, au regard de leur croissance rapide, ont étouffé pendant 3 à 4 mois la croissance du manioc à cause du faite que ce dernier est héliophile. Au regard de la couverture du sol par les espèces de légumineuses, la compétition a été plus forte avec le niébé suivi du soja et de l'arachide et moins forte avec le haricot. De ce fait, le manioc pur fertilisé (T_2 et T_3) a donné le meilleur rendement en tubercules secs et le plus faible rendement a été obtenu avec le manioc non fertilisé associé au niébé. Par ailleurs, le rendement du manioc fertilisé associé ou non aux légumineuses a doublé par rapport au manioc non fertilisé. Pieter et al., (2012), sur sol sableux du Bas Congo (RDC), ont doublé et triplé respectivement avec l'apport simple de l'engrais minéral et l'apport de l'engrais minéral combiné à la biomasse végétale le rendement du manioc par rapport au témoin à la première campagne culturale. De même Lele et al., (2014), dans les sols sableux et acides du plateau de Batéké (Kinshasa), ont également doublé avec l'apport de l'engrais minéral le rendement du manioc en association avec le maïs par rapport au témoin à la première campagne culturale.

Le rendement en tubercules secs du manioc, à la deuxième campagne culturale, a été fonction de la quantité de la biomasse des légumineuses produites et enfouies pendant la première campagne culturale (tableau 3). C'est pourquoi, la biomasse de soja fertilisé et enfouie lors de la première campagne a produit plus des tubercules de manioc à la deuxième campagne (T_{17} et T_{18}) que les autres biomasses. Cette biomasse (soja fertilisé) a permis de doubler le rendement en tubercules secs de manioc à la deuxième

campagne culturale par rapport au manioc pur non fertilisé (comparaison entre T_2 , T_3 et T_{18} , T_{19}). Pieter et al., (2012) ont triplé le rendement du manioc à la deuxième campagne culturale avec l'apport de l'engrais minéral combiné à la biomasse végétale par rapport au sol témoin. De même les études conduites en milieu naturel, en pot ou en serre ont montré que les biomasses végétales, les déchets ménagers organiques, les roches naturelles et les engrais minéraux appliquées aux sols tropicaux pauvres et acides peuvent fournir les éléments nutritifs nécessaires pour l'alimentation et la croissance des plantes et par conséquent, accroître de manière significative le rendement des plantes cultivées (Bado et Hien, 1998; Voundi, 1998; Kanyakongote et al., 2005; Theodoro et Leonardos, 2006; Mbonigaba, 2007; Mze, 2008; Ruganzu, 2009; Koy, 2010 ; Kochi et al., 2010 ; Mulaji, 2011 ; Pieter et al., 2012 ; Mpundu et al., 2014).

La plus grande baisse de rendement avec le manioc fertilisé en culture pure à la deuxième campagne est due aux lixiviations des éléments nutritifs apportés par le fertilisant minéral. Ceci rapproche les résultats d'Ahuja et al., (2000) qui ont montré que la productivité des sols sous les tropiques baisse significativement après une campagne culturale avec l'utilisation simple des engrais minéraux. L'augmentation du rendement à la deuxième campagne avec l'enfouissement des biomasses du niébé, du soja et de l'arachide montre que les apports en éléments nutritifs par ces biomasses ont été supérieurs aux exportations de la première campagne et aux lixiviations de deux campagnes. Tout compte fait, les biomasses de légumineuses, en plus de leur apport en éléments nutritifs, ont également amélioré la capacité d'échange cationique et la capacité de rétention de l'eau et des éléments minéraux du sol (Kaho et al., 2007). Le facteur étêtage ou la cueillette des feuilles tendres de manioc à 3 et à 6 mois, après reprise, n'a pas eu d'effet significatif sur le rendement en tubercules (tableau 3). Ces résultats confirment ceux obtenus par Kifukieto et al. au Centre de Recherche de l'Institut National pour la Recherche Agronomique à M'vuazi en RDC qui ont montré que la cueillette de feuilles tendres de manioc avant 9 mois après reprise est sans influence significative sur le rendement en tubercules.

5. Conclusion

Cette étude avait pour objectifs d'évaluer l'effet de la fertilisation minérale, des légumineuses associées et de l'étêtage du manioc sur les propriétés du sol et sur le rendement en tubercules de manioc pendant deux campagnes culturales. A l'issue d'une expérimentation

sur le terrain pendant deux campagnes culturales, les résultats ont montré que l'association du manioc fertilisé avec les légumineuses à graines dont les biomasses ont été enfouies dans le sol a augmenté la teneur en carbone, en azote, la CEC du sol et amélioré le rendement de la culture de manioc après deux campagnes culturales. La cueillette des feuilles tendres de manioc deux fois, avant 7 mois après reprise, ne réduit pas le rendement en tubercule de la culture. Au regard de l'indice d'acceptabilité, l'association entre le manioc et le soja avec ou sans apport des fertilisants minéraux peut être facilement adopté par les paysans car elle génère plus du double de bénéfice par rapport à la culture pure de manioc.

Remerciements

Nous remercions l'ERAIFT et la WBI pour avoir financé l'analyse des sols et le projet sur la Stratégie de revalorisation du panier de la ménagère en République Démocratique du Congo (RDC) à travers une gestion intégrée de la fertilité du sol associée à la conservation du germoplasme dans les systèmes des cultures à base du manioc (Initiative du VLIR financé par la Direction générale Belge pour la Coopération au Développement (DGDA)) pour avoir permis la réalisation sur terrain de cette étude.

Bibliographie

Adjei-Nsiah, S., Kuyper, T.W., Leeuwis, C., Abekoe, M.K., and Giller, K.E., 2007. Evaluating sustainable and profitable cropping sequences with cassava and four legume crops: Effects on soil fertility and maize yields in the forest/savannah transitional agroecological zone of Ghana. *Field Crops Res.* 103:87-97.

Anetor, M.O., and Akinrinde, E.A., 2006. Response of Soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] to Lime and Phosphorus Fertilizer Treatments on Acidic Alfisol of Nigeria. *Pakistan J. of Nutrition*, 5(3): 286-293.

Bado, V.B., Hien, V., 1998. Efficacité agronomique des phosphates naturels du Burkina Faso sur le riz pluvial en sol ferrallitique. *Cahiers Agricultures*, 7 : 236-8

Beart, G., Van Ranst, E., Ngongo, M., Kasongo, E., Verdoodt, A., Mujinya, B. and Mukalay, J., 2009. Guide des Sols en République Démocratique du Congo, Description et Données Physico-Chimiques de Profils Types. ISBN 978-9-0767-6998-1. Édité par UGent, Hogent, UNILU.

- Carsky, R.J. and Toukourou, M.A., 2005.** Identification of nutrients limiting cassava yield maintenance on a sedimentary soil in southern Benin, West-Africa. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 71:151–162.
- Chianu, J.N., Akintola, J.O., and Kormawa, P.M., 2002.** Profitability of cassava-maize production under different fallow systems and land-use intensities in the derived savanna of southwest Nigeria. *Exp. Agric.* 38:51–63.
- CIALCA, 2007.** Rapport de l'enquête «base line» dans les districts de la Lukaya et de Cataractes. Nairobi, Kenya, Inédit.
- Egesi, C.N., Ilona, P., Ogbe, F.O., Akoroda, M. and Dixon, A., 2007.** Genetic variation and genotype × environment interaction for yield and other agronomic traits in cassava in Nigeria. *Agron. J.* 99:1137–1142.
- Escalada, R.G. and Ratilla, B.C., 1998.** Effects of *Leucaena* biomass application in conjunction with fertilizers on cassava and taro yields in the Philippines. *Agrofor. Syst.* 41:251–266.
- Fermont, A.M., Tittonell, P.A., Baguma, Y., Ntawuruhunga, P., and Giller, K.E., 2010.** Towards understanding factors that govern fertilizer response in cassava: Lessons from East Africa. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 86:133–151.
- Fermont, A.M., van Asten, P.J.A., and Giller, K.E., 2008.** Increasing land pressure in East Africa: The changing role of cassava and consequences for sustainability of farming systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 128:239–250.
- Howeler, R.H., 2002.** Cassava mineral nutrition and fertilization. In: Hillocks R.J. (ed.) *Cassava, biology, production and utilization.* CAB Int., Wallingford. p. 115–147
- IITA, 1988.** Rapport annuel et point de la recherche de l'Institut International d'Agriculture Tropicale. Ibadan, pp53 – 54.
- Kadiata, B.D., and Lumpungu, K., 2003.** Differential phosphorus uptake and use efficiency among selected nitrogen-fixing tree legumes over time. *Journal of plant nutrition* 26: 1009-1022.
- Kaho, F., Yemefack, M., Feujio-Teguefonet, et Tchanchaouang, J.C., 2011.** Effet combiné des feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur les rendements du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitiques au Centre Cameroun. *Tropicicultura.* 29. Vol 1. 39-45.
- Kaho, F., Yemefack, M., Yongue-Fouateu, R., Kanmegne, J. and Bilong, P., 2007.** Potentials of *Calliandra calothyrsus* Meissner for improving soil fertility and crop performance in the Forest Savannah-Transition Zone of Cameroon, *Nigerian Journal of Soil and Environmental Research*, 7, 33-44.
- Kanyankogote, P., Van Ranst, E., Verdoodt, A., Baert, G., 2005.** Effet de la lave trachybasaltique broyée sur les propriétés chimiques de sols de climat tropical humide. *Etude et Gestion des Sols*, Volume 12 (4) : 301-311.
- Kotchi, V., Yao, K.A. et Sitapha, D., 2010.** Réponse de cinq variétés de riz à l'apport de phosphate naturel de Tilmes (Mali) sur les sols acides de la région forestière de Man (Côte d'Ivoire). *J. appl. Biosc.* (31) : 1895-1905.
- Koy, R., 2010.** Amélioration de la qualité des sols sableux du plateau des Batéké (RD Congo) par application des matériels géologiques et des déchets organiques industriels locaux. Thèse de doctorat, Sciences de la Terre, Université de Gent (Belgique). 361p.
- Landon, J.R., 1991.** *Booker Tropical Soil Manual.* A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. United States, New York, 474 p.
- Lele, B., Lejoly, J. et Kachaka, K., 2014.** Effet de l'application d'engrais minéral complet NPK et de biochar sur les performances de la culture du manioc et de l'association manioc-maïs dans les conditions du plateau de Batéké, In press. *Tropicicultura.*
- Mbonigaba, M.J.J., 2007.** Etude de l'impact des composts à base de biomasse végétale sur la dynamique des indicateurs physico-chimiques, chimiques et microbiologiques de la fertilité des sols: application sur trois sols acides tropicaux du Rwanda. Thèse de doctorat, FUSAGx, Gembloux, p 243.
- Mpundu Mubemba, M., Useni Sikuzani, Y., Nyembo Kimuni, L. et Gilles Colinet, G., 2014.** Effets d'amendements carbonatés et organiques sur la culture de deux légumes sur sol contaminé à Lubumbashi (RD Congo), *BASE*, Volume 18, N°3.
- Mulaji, C., 2011.** Utilisation des composts de biodéchets ménagers pour l'amélioration de la

fertilité des sols acides de la Province de Kinshasa (République Démocratique du Congo). Thèse de doctorat. Université de Liège-Gembloux Agro-Bio Tech(Belgique). 219p.

Muna-Mucheru, M., Mugendi, D., Kung'u, J., Mugwe, J. and Bationo, A., 2007. Effects of organic manure and mineral fertilizer inputs on maize yield and soil chemical properties in a maize cropping system in Meru South District, Kenya, *Agroforestry Systems*, 69, 189-197.

Mze, S.P., 2008. Influence d'apports en matières organiques sur l'activité biologique et la disponibilité du phosphore dans deux sols de la région des grands lacs d'Afrique. Thèse de doctorat, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Gembloux, 240 p.

Ogoke, I.J., Carsky, R.J., Togum, A.O., Dashiell, K.E., 2003. Maturity class and P effects on soy bean grain yield in moist savanna of West Africa. *J. Agron. Crop Sci.*, 189 : 442-427.

Pieter, P., Bimponda, W., Lodi-Lama, J.P., Lele, B., Mulumba, R., Kachaka, C., Boeckx, P., Merckx, R. and Vanlauwe, B., 2012. Combining mineral fertilizer and green manure for increased, profitable Cassava Production Cassava production. *Agronomy Journal*: Volume 104, Issue I, 178-187

Pypers, P., Sanginga, J.M., Bishikwabo, K., Walangululu, M. and Van-lauwe, B., 2011. Increased productivity through integrated soil fertility management in cassava-legume intercropping systems in the highlands of Sud-Kivu. DR Congo. *Field Crops Res.* 120:76–85.

Ruganzu, V., 2009. Potentiel d'amélioration de la fertilité des sols acides par l'apport de biomasses

végétales naturelles fraîches combinées à du travertin au Rwanda. Thèse de doctorat. Université de Liège-Gembloux Agro-Bio Tech (Belgique). 215p.

Sanginga, N.B., Ibewiro, P., Hounnandan, B., Vanlauwe, J.A., Okogun, I.O., Akobundu and Versterg, 1990. Evaluation of symbiotic properties and nitrogen contribution of *Mucuna* growth in the derived Savanna of West Africa. *Plant and soil.* 179, 119-129.

Sommer, R., Vlek, P.L.G., T.D. de A. Sá, K. Vielhauer, R., de F.R. Coelho F.R. and Fölster, H., 2004. Nutrient balance of shifting cultivation by burning or mulching in the Eastern Amazon–Evidence for subsoil nutrient accumulation. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 68:257–271.

Theodoro, H.S., Leonardos, O.H., 2006. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78 (4): 721-730.

UyoYbesere, E.O. and Elemo K.A., 2000. Effect of inorganic fertilizer and foliage of *Azadirachta* and *Parkia* species on the productivity of early maize. *Nigerian Journal of Soil Research*, 1, 17-22.

Van Ranst, E., M. Verloo, A. Demeyer and J.M. Pauwels, 1999. Manual for the soil chemistry and fertility laboratory. Analytical methods for soils and plants equipment and management of consumables. Ghent University, Ghent, Belgium (ISBN 90-76603-01-4).

Voundi, J.C., 1998. Utilisation des déchets de l'industrie du bois en vue de l'amélioration de la fertilité chimique de sols acides tropicaux. Thèse de doctorat, Faculté Landbouwkundige en Toepegaste Biologische Wetenschappen, Universiteit Gent, p 194.