

## Effet de l'application d'engrais minéral complet NPK et de biochar sur les performances de la culture pure du manioc et de l'association manioc - maïs dans les conditions du plateau des Batéké en République Démocratique du Congo (RDC)

B. Lele<sup>1,2</sup>, J. Lejoly<sup>2,3</sup> & C. Kachaka<sup>1</sup>

**Keywords:** Mineral fertilizer- Biochar- sandy soil- Association cassava-maize- D.R. Congo

### Résumé

*Dans le but de mettre au point un système de culture durable adapté aux conditions du plateau des Batéké, un essai préliminaire a été réalisé entre janvier 2012 et mars 2013 au niveau du domaine agro-forestier d'Ibi sur ouverture d'une jachère de 10 ans (dont les trois dernières années sans destruction du couvert végétal par les feux de brousse) dans un sol sableux selon un dispositif en blocs aléatoires complets avec 4 répétitions. Cinq objets ont été comparés: la culture pure du manioc (variété Maribuata) avec et sans application de 40 kg N, 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 40 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, la culture associée du manioc et du maïs (variété Samaru) avec et sans application de 40 kg N, 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 40 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, et la culture associée du manioc et du maïs, avec application de 40 kg N, 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 40 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> et de 15 tonnes ha<sup>-1</sup> de biochar. Les résultats obtenus montrent que dans les conditions édapho-climatiques de l'essai, l'installation simultanée du manioc et du maïs en début de petite saison des pluies permet d'obtenir une valeur ajoutée brute nettement supérieure à celle de la culture pure du manioc. L'application de la dose d'engrais minéral testée n'améliore pratiquement pas la valeur ajoutée brute du manioc cultivé en pur et profite principalement au maïs quand il est associé au manioc en l'absence d'application de biochar. L'application combinée d'engrais minéral et de biochar permet de quasiment doubler les quantités de manioc et tripler celles de maïs récoltées par ha par rapport au témoin ne recevant pas d'intrants. Le bénéfice brut généré par l'association manioc-maïs avec apport d'engrais minéral et de biochar est environ deux fois plus important qu'en cas d'absence d'application*

### Summary

#### Effect of the Application of Complete NPK Mineral Fertilizer and Biochar on the Performance of Cassava Sole Cropping and Cassava-Maize Intercropping in the Conditions of the Batéké Plateau in the Democratic Republic of Congo (DRC)

*In order to develop a sustainable farming system adapted to the conditions of the Batéké plateau, a preliminary trial was conducted between January 2012 and March 2013 at the Ibi agro-forestry domain after a fallow of 10 years (the last three years without destruction of the vegetation by bush fires) in sandy soil according to a randomized complete block design with four replications. Five treatments were compared: the cassava sole cropping (Maribuata variety) with and without application of 40 kg N, 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and 40 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, cassava and maize (Samaru variety) intercropping with and without application of 40 kg N, 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and 40 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, and cassava and maize intercropping with application of 40 kg N, 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 40 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> and 15 t ha<sup>-1</sup> of biochar. The results show that in the edaphic and climatic conditions of the test, the simultaneous installation of cassava and maize at the start of short rains provides a gross added value significantly higher than that of cassava sole cropping. The application of mineral fertilizers hardly improves the gross value added for cassava sole cropping while they however benefits to maize when it is associated with cassava in absence of biochar application. The combined application of mineral fertilizer and biochar make it possible to almost double cassava yield and triple the one of maize compared to the*

<sup>1</sup>Université de Kinshasa, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Gestion des Ressources Naturelles Kinshasa, R.D. Congo.

<sup>2</sup>Ecole Régionale Post-Universitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux, Kinshasa, R.D. Congo.

<sup>3</sup>Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgique; ONG Groupe d'Initiatives pour l'Agroforesterie en Afrique, Kinshasa, R.D. Congo.

\*Auteur correspondant: E Mail: lelebonaventure72@yahoo.fr

Reçu le 05.11.13 et accepté pour publication le 21.05.15

*d'intrants. L'application combinée de biochar et d'engrais minéral s'est traduite par une augmentation importante du pH. Ce qui a dû s'accompagner par une meilleure disponibilité du phosphore, du calcium et du magnésium présents dans le sol.*

*no-input control. Gross profit generated by the combination of cassava and maize with mineral fertilizers and biochar application is about twice higher than what is obtained for the control. The combined application of biochar and mineral fertilizer resulted in a significant increase in pH. This should have been accompanied by improved availability of Phosphorus, Calcium and Magnesium in the soil.*

## Introduction

L'agriculture en RDC constitue un secteur important de l'économie nationale. Elle contribue à 50% au PIB et occupe 70% de la population active (14). Cependant, elle est confrontée à de nombreuses difficultés pour assurer la sécurité alimentaire de la population (12). C'est le cas au plateau des Batéké où l'activité agricole est soumise aux nombreuses contraintes liées aux sols et au système agricole (9). Les sols du plateau de Batéké sont acides et caractérisés pour la plupart par: une texture sableuse (moins de 6% d'argile), une structure particulière, une faible teneur en éléments nutritifs, une très faible rétention de l'eau et des éléments minéraux, un blocage du phosphore dû à l'acidité. Ces caractéristiques défavorables font qu'ils ne peuvent soutenir de manière durable la production agricole (8, 9). En plus, les paysans y pratiquent une agriculture itinérante sur brûlis qui a pour conséquences la perte rapide de la fertilité, de l'activité biologique ainsi que l'érosion du sol (3, 22, 23). A la longue, les processus pédogénétiques naturels couplés aux facteurs anthropiques aboutissent à des sols fortement dégradés et très acides (20). 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 se traduisent par la réduction drastique de la production agricole (20, 21). Malgré l'utilisation des fertilisants minéraux, le rendement des principales cultures reste faible à cause du lessivage intense des éléments minéraux. Ainsi, la mise en valeur de ces sols exigeraient des amendements, organiques ou calcaire, pour améliorer leurs propriétés

physiques et rentabiliser l'utilisation des fertilisants (15, 25). Cependant, l'indisponibilité de la matière organique en quantité suffisante et le coût élevé de la chaux oblige à explorer d'autres pistes pour gérer durablement la fertilité du sol. Sur base des résultats obtenus dans d'autres parties du monde, l'incorporation au sol de biochar (charbon de bois broyé) constitue une alternative prometteuse (5, 7, 32). C'est, en effet, avec le biochar que les Amérindiens d'Amazonie ont créé la terra prêta (sols noirs très fertiles). Des travaux récents ont montré qu'il présente aussi un intérêt contre le réchauffement climatique en conservant le carbone dans le sol et en luttant contre la déforestation en sédentarisant l'agriculture (1, 10, 11, 16, 29, 30, 31). Par ailleurs, au plateau des Batéké, le manioc suivi du maïs constituent les principales sources d'aliments et de revenus. Le manioc est habituellement planté en culture pure sur ouverture d'une longue jachère ou associé à l'arachide et quelques rares fois au maïs. Dans les conditions d'association, sur un sol pauvre et acide, on constate une très faible fixation symbiotique de l'azote atmosphérique pour l'arachide qui donne des rendements très faibles (8). Ces contraintes nous ont conduits à tester les performances de l'association manioc-maïs avec installation simultanée de deux composantes, en considérant différentes modalités de fertilisation minérale et d'amendement du sol au moyen de biochar. Semer le maïs au même moment que la plantation du manioc offre l'avantage de maximiser l'assimilation de l'engrais minéral par les cultures associées et permet de raccourcir le délai préalable à la réalisation d'une première récolte de denrée alimentaire dans le champ.

Compte tenu des caractéristiques des sols du plateau des Batéké, l'ajout de biochar devrait être particulièrement favorable à l'amélioration durable de leur fertilité. Les résultats d'un essai préliminaires visant à tester ces différents facteurs sont présentés et discutés ici en vue de mettre au point un système de culture durable adapté aux conditions locales.

## Matériel et méthodes

### Site expérimental

L'expérience a eu lieu sur le plateau des Batéké au niveau du domaine agro-forestier d'Ibi dans une savane à *Hyparhenia diplandra*. Ce domaine se situe à 140 km à l'Est du centre-ville de Kinshasa. La savane avait connue une jachère de 10 ans dont les trois dernières années sans destruction du couvert végétal par les feux de brousse. Avant cette jachère, le terrain était cultivé avec du manioc. Les coordonnées du site sont 651 m d'altitude, S4°19,886' de latitude et EO16°7,504' de longitude. Le climat est du type AW<sub>4</sub> selon la classification de Köppen. C'est un climat tropical humide comportant une saison sèche de 4 mois qui va de mi-mai à mi-septembre et une saison pluvieuse de 8 mois qui va de mi-septembre à mi-mai. La saison des pluies est entrecoupée d'une petite saison sèche entre mi-janvier et mi-février. Nous avons trois saisons culturales dont la saison A qui va de mi-octobre à mi-janvier, la saison B de mi-février à mi-juin et la saison C de mi-juin à mi-octobre. Habituellement, le manioc est planté soit pendant la saison A soit pendant la saison B. Le choix de la saison B pour l'essai est dû à la disponibilité du terrain. Le cycle des précipitations pendant l'expérience indique une période de sécheresse de juin à août (Tableau 1). Le terrain expérimental se trouve sur une très faible pente. Au démarrage de l'étude, deux échantillons de sol ont été constitués par la méthode d'échantillonnage composite à partir d'échantillons simples prélevés au niveau des horizons A<sub>1</sub> et A<sub>3</sub> du sol, situés respectivement de 0 à 25 cm et de 25 à 100 cm de la surface. Les résultats des analyses réalisées sur ces échantillons au niveau du laboratoire de pédologie du Centre Régional d'Etudes Nucléaires de Kinshasa (CREN-K) sont présentés dans le tableau 2.

Le sol contient près de 88% du sable avec une faible teneur en C, N, P et K et une forte acidité qui laisse présager un blocage du Phosphore (8). La CEC est très faible à cause des faibles teneurs en argile et en humus.

### Objets comparés

Les objets (traitements) étudiés sont: T<sub>0</sub> (manioc pur sans intrant: témoin), T<sub>1</sub> (manioc+maïs sans intrant), T<sub>2</sub> (manioc+engrais minéral), T<sub>3</sub> (manioc+maïs+engrais minéral) et T<sub>4</sub> (manioc+maïs+engrais minéral+biochar). La dose d'engrais minéral testée dans l'essai est de 40 kg de N, 40 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et de 40 kg de K<sub>2</sub>O par ha; ce qui correspond à 235 kg d'engrais composé 17-17-17. Cette dose, basée sur l'élément N, est celle recommandé par Pieter *et al.* (18). La quantité de biochar apportée a été de 15 tonnes par ha. C'est la quantité optimale recommandée pour le sol sableux du plateau de Batéké selon Lejoly (communication personnelle).

### Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental retenu était en Blocs Complets Randomisés (BCR) avec quatre répétitions de cinq objets. La surface des parcelles expérimentales élémentaires était de 126 m<sup>2</sup> (14 m de long x 9 m de large). Chacune d'elles contenait 126 pieds de manioc de la variété Maribuata (10.000 pieds/ha, 1 m x 1 m) répartis en 14 lignes dont 2 de bordures et, en cas de culture associée, 351 pieds de maïs de la variété Samaru (30.000 plantes/ha, 1 m x 0,33 m) répartis en 13 lignes. Les lignes de maïs alternaient avec celles de manioc, à une distance de 0,5 m l'une de l'autre.

### Conduite expérimentale

L'étude s'est déroulée pendant une année, deux mois et trois jours soit du 2 janvier 2012 au 5 mars 2013. La préparation du terrain a consisté à faire un dessouchage, suivi d'un labour à 30 cm de profondeur sans brûlis préalable de la végétation herbacée puis d'un hersage. Le biochar a été broyé finement, tamisé pour obtenir une dimension moyenne des particules inférieure ou égale à 2 mm et mélangé au sol sur une profondeur de 30 cm à la dose de 15 tonnes/ha.

**Tableau 1**

Précipitations (PP') et température moyenne journalière (t°) observées pendant l'expérience (février 2012 à mars 2013).

Mois	Fév	Mars	Av	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Total
PP (mm)	47,2	210	118	118	0	0	0	86	111,5	407	204,8	80	74	163	1618.95
t (°C)	25	27	26	25	22	21	22	24	26	25	29	26	26	27	

**Tableau 2**

Composition granulométrique et chimique du sol expérimental.

Horizon	Argile %	Limon %	Sable %	pH Eau	pH KCl	Carbone (%)	Azote (%)	C/N	K <sub>2</sub> O (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	CEC (cmol/kg)
A <sub>1</sub>	5,64	6,85	87,51	4,93	4,73	0,92	0,061	15	0,06	0,91	0,52	30	2,031
A <sub>3</sub>	2,56	8,46	88,89	4,77	4,58	0,82	0,064	12,8	0,04	0,82	0,34	18	2,001

(Laboratoire du CREN-K, 2013).

Le NPK a été appliqué le long des lignes des semis du maïs et de plantation de manioc. La totalité de la dose d'engrais a été appliquée au début de l'essai. Le biochar a été incorporé de manière homogène sur l'ensemble de la parcelle une semaine avant l'installation de cultures. Le semis du maïs a été réalisé à raison de 2 graines par poquet. Le démariage a eu lieu deux semaines après le semis pour laisser un seul pied par poquet. La densité de plantes à la récolte correspondait presque qu'à celle prévue au départ. Les travaux d'entretien ont consisté en 5 sarclages combinés aux binages.

### Evaluation des rendements

Pour le maïs, la biomasse aérienne a été séchée à l'air libre pendant 2 jours et les graines pendant 4 jours avant pesée. Le rendement du manioc à 9 mois a été évalué sur une des 12 lignes de la parcelle utile c.à.d. en laissant les 2 lignes de bordures. A 12 mois, le rendement a été évalué sur les 10 lignes restantes de la parcelle utile. Après récolte à 9 et à 12 mois, nous avons pesé tous les tubercules de la parcelle utile. On a ensuite prélevé de manière aléatoire un sous-échantillon de 5 tubercules, dans chaque traitement, que nous avons pesé immédiatement, puis épluché, séché d'abord à l'air libre et puis dans l'étuve à 65 °C pendant 24 heures pour avoir le poids sec. La formule I nous a permis de calculer le rendement en tubercules secs.

$$Rdt M.S. = \frac{P.Tub.Parc.U.x10000xP.SecS.E.}{P.Frais.S.E.xSurf.Parc.U.I}$$

Légende: Rdt M.S.= Rendement en Matière Sèche, P. Tub. Parc. U.= Poids tubercules de la parcelle utile, P. Sec= Poids Sec, S.E.= sous échantillon de 5 tubercules, P. Frais= Poids frais, Surf. Parc. U.= surface de la parcelle utile

### Analyse du sol

Outre les analyses réalisées sur les deux échantillons de sol prélevés au début de l'expérience (Tableau 2), le pH à eau a été évalué au début de l'essai, à 6 et à 12 mois dans des échantillons prélevés à 30 cm de profondeur selon la méthode des diagonales, puis mélangés pour constituer un seul échantillon composite. L'échantillonnage a été effectué seulement dans les objets sous association culturale (T1, T3 et T4). Le comptage et la pesée de la macrofaune ont été réalisés à titre indicatif.

### Analyse des données

Les données récoltées ont été soumises à l'analyse de la variance au seuil de probabilité de 5%, à l'aide du logiciel GenStat.

Ensuite, nous avons procédé à un test de comparaisons multiples des moyennes (LSD) pour déceler les différences entre les traitements.

## Analyse économique des traitements

Le bénéfice brut généré par chaque traitement a été calculé en faisant la différence entre le revenu attendu de la vente du manioc et du maïs récoltés et les charges effectives de l'agriculteur au plateau des Batéké. Les charges des travaux réalisés par le paysan et de l'achat des boutures de manioc n'ont pas été prises en compte. Les boutures de manioc sont gratuitement obtenues dans les champs ou chez les voisins. Les travaux réalisés par les paysans se rapportent à la préparation du terrain, la plantation du manioc, le semis du maïs, les sarclages et la récolte. Les charges effectives concernent le prix des engrais chimiques (110\$/50kg). Le prix de la production et de l'incorporation du biochar dans le sol est de (53,33\$/tonne). Les semences de maïs se vendent à 5 \$ US le kg, la tonne de maïs à 700 \$US et celle de manioc à 500 \$US à Ibi. Il faut 10 kg de semences de maïs pour un ha.

Le bénéfice brut de chaque traitement a été divisé par le bénéfice brut du témoin pour calculer l'indice d'acceptabilité ( $IA = \text{Bénéfice du traitement} / \text{Bénéfice du témoin}$ ) (6, 14). Si l'IA est égal ou supérieur à 2, la technologie est facilement adoptée. Entre 1,5 et 2, l'adoption est difficile et en-dessous de 1,5 il y a rejet.

## Résultats et discussion

### Effet des différents traitements sur les rendements du maïs et du manioc

L'analyse de la variance (AV), au seuil de probabilité de 5%, des données sur les rendements en biomasse et en graines sèches de maïs et sur le rendement en tubercules secs de manioc à 9 et à 12 mois a montré des différences significatives entre les traitements (Tableau 3). Le classement des traitements par ordre décroissant de leur effet sur le rendement du maïs est:  $T_4 > T_3 > T_1$ . Pour le manioc, le classement des traitements par ordre décroissant sur le rendement est:  $T_4 > T_2 > T_3 = T_0 > T_1$ .

En l'absence de fertilisation minérale, la variété Samaru, bien qu'adaptée aux caractéristiques du milieu, n'a produit que 1,19 t/ha (14).

Ce qui est assez loin des 1,8 tonnes attendues en bonnes conditions de culture. Il est probable que la faible teneur en azote du sol (<1%) (19, 23) n'a pas permis aux plantes de maïs d'exprimer pleinement leurs potentialités, telles que mentionnées par plusieurs auteurs (2, 4, 17, 26, 27). Toutefois, ce rendement ( $T_1$ ) reste supérieur à celui obtenu dans le milieu paysan en RDC qui varie entre 0,7 et 0,9 t/ha. Le rendement obtenu avec le traitement  $T_4$  prouve qu'avec l'usage des fertilisants minéraux et du biochar, on peut tripler ( $T_4 = 3,7$  t/ha) le rendement du maïs cultivé en association avec le manioc. De plus, le rendement obtenu avec le  $T_4$  (3,7 t/ha) est largement supérieur à ceux obtenus dans la plupart des centres de recherche en RDC actuellement (1500 à 2500 kg/ha).

A 9 et à 12 mois, la culture associée du manioc et du maïs avec application de 40 kg N, 40 kg  $P_2O_5$  et 40 kg  $K_2O$  ha<sup>-1</sup> et de 15 tonnes ha<sup>-1</sup> de biochar ( $T_4$ ) a donné le meilleur rendement en tubercules secs par rapport aux autres traitements. Ceci serait dû à l'amélioration de la capacité de rétention d'eau et des éléments minéraux par le biochar comme le montre aussi Lehmann *et al* (11). Le rendement obtenu avec le manioc associé au maïs sans apport d'intrants ( $T_1 = 2,670$  t/ha) montre qu'avec l'usage de 40 kg N, 40 kg  $P_2O_5$  et 40 kg  $K_2O$  ha<sup>-1</sup> et de 15 tonnes ha<sup>-1</sup> de biochar ( $T_4$ ), on peut doubler le rendement en tubercules secs de manioc en culture associée avec le maïs ( $T_7 = 5,783$  t/ha).

### Effet du biochar sur quelques propriétés du sol

On constate une augmentation du pH pour tous les traitements comparés (Tableau 4). Cependant, l'analyse de la variance, au seuil de probabilité de 5%, des données concernant l'évolution du pH du début jusqu'au 12<sup>e</sup> mois de l'essai n'a pas montré des différences significatives pour les traitements  $T_1$  (manioc+maïs sans intrant) et  $T_3$  (manioc+maïs+engrais minéral). Par contre, des différences significatives ont été notées, entre le pH du début et ceux mesurés à 6 et à 12 mois pour le traitement  $T_4$  (manioc+maïs+engrais minéral+biochar). Ainsi, le biochar a joué un rôle significatif dans l'augmentation du pH du sol (Tableau 4). Le pH du sol amendé au biochar atteint une valeur proche de la neutralité après 12 mois (Tableau 4).

**Tableau 3**  
Performances des systèmes de culture comparé

Traitement	Facteurs			Rendement du maïs		Rendement du manioc	
	NPK 17-17-17	Culture associée	Amendement	En biomasse en t/ha	En graines en t/ha	A 9 mois en t/ha	A 12 mois en t/ha
T <sub>0</sub>						1,486(0,183)c	3,335(0,225)c
T <sub>1</sub>		Maïs		2,08(0,238)c	1,19(0,216)c	1,214(0,149)c	2,670(0,348)d
T <sub>2</sub>	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>					2,435(0,148)a	4,706(0,204)b
T <sub>3</sub>	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	Maïs		3,76(0,265)b	2,08(0,330)b	1,883(0,208)b	3,271(0,207)c
T <sub>4</sub>	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	Maïs	Biochar	7,14(0,160)a	3,70(0,182)a	2,694(0,153)a	5,783(0,310)a
SP				0,05	0,05	0,05	0,05
P-value				0	0	0	0
CV				5,23	10,8	8,77	6,73

Légende: SP= seuil de probabilité

**Tableau 4**  
Evolution du pH pendant l'essai.

Période d'évaluation	pH eau		
	SNF(T <sub>1</sub> )	SF(T <sub>3</sub> )	SFA(T <sub>4</sub> )
Au début	4,93(0,241)	4,94(0,181)	4,93(0,190)b
A 6 mois	4,95(0,247)	5,11(0,190)	5,62(0,213)a
A 12 mois	5,00(0,193)	5,20(0,282)	6,19(0,347)a
SP	0,05	0,05	0,05
P-value	0,93	0,41	0,003
CV	4,61	4,38	4,66

SNF= Sol non fertilisé (T<sub>1</sub>), SF= Sol fertilisé avec le NPK (T<sub>3</sub>), SFA= Sol fertilisé avec le NPK et amendé avec le biochar (T<sub>4</sub>), Chiffre ( )= Ecart type.

NB: Les moyennes non suivies de lettres et les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas différentes au seuil de probabilité de 0,05.

**Tableau 5**  
Analyse économique des traitements.

Traitement	Coût du NPK (\$/ha)	Coût de biochar (\$/ha)	Coût de semences du maïs	Rdt maïs (tonne/ha)	Rdt manioc (tonne/ha)	Revenu brut maïs (\$/ha)	Revenu brut manioc (\$/ha)	Bénéfice brut (\$/ha)	IA
T <sub>0</sub>	0	0	0	0	3,335		1668	1668	
T <sub>1</sub>	0	0	50	1,19	2,67	833	1335	2118	1,27
T <sub>2</sub>	518	0	0	0	4,706		2353	1835	1,1
T <sub>3</sub>	518	0	50	2,08	3,271	1456	1636	2524	1,51
T <sub>4</sub>	518	800	50	3,7	5,783	2590	2892	4114	2,47

Légende: T<sub>0</sub> (manioc), T<sub>1</sub> (manioc+maïs), T<sub>2</sub> [manioc+ (N<sub>40</sub> P<sub>40</sub> K<sub>40</sub>)], T<sub>3</sub> [manioc+maïs+ (N<sub>40</sub> P<sub>40</sub> K<sub>40</sub>)], T<sub>4</sub> [manioc+maïs+ (N<sub>40</sub> P<sub>40</sub> K<sub>40</sub>) +biochar]. Rdt: Rendement, IA= Indice d'acceptabilité.

Le changement significatif du pH dans le sol amendé avec le biochar devrait avoir des effets sur la disponibilité du Phosphore car, dans les sols tropicaux, ce dernier est bloqué pour des pH inférieurs à 6 et il est disponible pour le pH compris entre 6 et 8 (32). C'est le cas aussi avec les cations du sol tels que le calcium et le magnésium. Nous avons également observé une forte abondance spécifique et numérique de la microfaune du sol dans le sol fertilisé et amendé au biochar (T<sub>4</sub>) (données non montrées). Ceci confirme les résultats obtenus par Lehmann *et al.* (11) et Major *et al.* (13) qui montraient que le biochar améliorerait le rendement de la culture de l'aubergine dans un sol tropical acide en diminuant le taux d'aluminium bio-disponible et en réduisant l'acidité du sol. Aussi, selon Steiner (24), une disponibilité suffisante en carbone, apportée par le biochar, stimulerait l'activité biologique du sol tout en améliorant le cycle de l'Azote, grâce à une moindre lixiviation des nitrates (13, 24, 28, 32). Ainsi, avec l'apport du biochar, on a augmenté le rendement du maïs de 78% et celui du manioc de 77% (comparaison entre T<sub>4</sub> et T<sub>3</sub>). Au regard de la texture du sol, l'augmentation de ces rendements pourrait également être due à l'accroissement du pouvoir de rétention de l'eau et des éléments minéraux causée par le biochar.

#### **Analyse économique des différents traitements**

Si on considère les résultats obtenus pour l'indice d'acceptabilité, le traitement T<sub>4</sub> (IA= 2,47) devrait être adopté relativement facilement par les agriculteurs pour peu qu'ils aient accès aux intrants nécessaires (Tableau 5). Pour la même dose des fertilisants utilisés, le manioc pur a produit plus des tubercules que le manioc associé au maïs (comparaison entre T<sub>0</sub> et T<sub>1</sub> et T<sub>2</sub> et T<sub>3</sub>). Toutefois, tenant compte du bénéfice qu'on peut obtenir par unité de surface, il est avantageux de planter le manioc en association avec le maïs que de le planter en culture pure (Tableau 5).

#### **Conclusion**

Les résultats de cette expérience ont montré que la culture associée du manioc avec le maïs est plus rentable que la culture pure du manioc, même si cette association se traduit par une diminution du rendement du manioc par rapport à la culture pure de ce dernier. De plus, l'apport sous forme d'engrais minéral complet de 40 kg de N, 40 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et de 40 kg de K<sub>2</sub>O par ha, associé à celui de 15 t/ha de biochar permet de tripler le rendement du maïs et d'environ doubler celui du manioc par rapport aux résultats obtenus sans apport d'intrants. Ces gains de rendement s'expliquent sans doute par les améliorations des propriétés physiques et biologiques du sol d'Ibi induites par l'apport de biochar. Compte tenu de l'ampleur du gain de rentabilité qu'elle génère, l'application de 235 kg/ha de 17-17-17 en combinaison avec 15 t/ha de biochar devrait être relativement facilement acceptée par les agriculteurs. Ceci d'autant plus que l'investissement consenti dans l'apport de biochar devrait se traduire par des gains de rendement répartis sur plusieurs années. La réalisation d'investigations complémentaires sur plusieurs cycles de culture est nécessaire pour confirmer l'intérêt que présente l'incorporation de biochar dans le sol sur le long terme.

#### **Remerciements**

Nous remercions l'ERAIFT et la WBI qui ont financé ces recherches.

## Références bibliographiques

1. Cayuela M.L., Monedero M., Roig A., Hanley K., Enders A. & Lehmann J., 2013. Biochar and denitrification in soils: when, how much and why does biochar reduce N<sub>2</sub>O emissions?, *Sc. Rep.*, **3**, 1732
2. CIMMYT, 2005, The Development and promotion of quality protein maize in sub-saharan Africa. Progress report submitted to the Nippon foundation.
3. Davet P., 1996, *Vie microbienne du sol et production végétale*, INERA, Paris, 383.
4. De Léon C., 1984, Maladies du maïs. Guide d'identification au champ. Mexico DF, CIMMYT;
5. Guerena D., Lehmann J., Hanley K., Enders A., Hyland C. & Riha S., 2013, Nitrogen dynamics following field application of biochar in a temperate North American maize-based production system. *Plant Soil*, **365**, 239-254.
6. Jama B., Palm C.A., Buresh R.J., Niang A.I., Gachengo C. & Nziguheba G., 2000, *Tithonia* as a green manure for soil fertility improvement in Western Kenya: a review, *Agrofor. Sys.*, **49**, 201-221.
7. Joseph S.D., Camps-Arbestain M., Lin Y., Munroe P., Chia CH., Hook J., Van Zwieten L., Kimber S., Cowie A., Singh B.P., Lehmann J., Foidl N., Smernik R.J.
8. Amonette J.E., 2010, An investigation into the reactions of biochar in soil. *Austr. J. Soil Res.*, **48**, 501-515
8. Kadiata B.D. & Lumpungu K., 2003, Differential phosphorus uptake and use efficiency among selected nitrogen-fixing tree legumes over time, *J. Plant Nutr.*, **26**, 1009-1022.
9. Kasulu V. & Hamel O., 2008, *Boisements privés sur les plateaux de Batéké et terres dégradées du bas Congo pour l'approvisionnement en bois énergie de l'agglomération de Kinshasa*. Projet de PIN (Project Idea Note) 19.
10. Kimetu J.M. & Lehmann J., 2010, Stability and stabilization of biochar and green manure. In: Soil with different organic carbon contents, *Austr. J. Soil Res.*, **48**, 577-585
11. Lehmann J., Gaunt J. & Rondon M., 2006, Biochar sequestration in terrestrial ecosystems a review. *Mitigation and Adaptation Strategies Global Change*, **11**, 403-427
12. Lumpungu K., 2008, *Rapport final sur le système national de recherche agronomique en République Démocratique du Congo*. Analyse de la situation, 8-9.
13. Major J., Rondon M., Molina D., Riha S. & Lehmann J., 2010, Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol, *Plant Soil*, **333**, 117-128.
14. Ministère de l'agriculture, 2008, *Catalogue variétale des cultures vivrières : maïs, riz, haricot, arachide, soja, niébé, manioc, patate douce, pomme de terre et banane*. RDC.
15. Muna-Mucheru M., Mugendi D., Kung'u J., Mugwe J. & 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, *Agrofor. Syst.*, **69**, 189-197.
16. Oleszczuk P., Hale S., Lehmann J. & Cornelissen G., 2012, Activated carbon and biochar amendments decrease pore-water concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sewage sludge, *Biores. Technol.*, **111**, 84-91
17. Paliwal R.L., 2002, *Introduction au maïs et son importance*. In: *Le maïs en zones tropicales: amélioration et production*. Collection FAO. Pp.1-3.
18. Pieter P., Bimponda W., Lodi-Lama J.P., Lele B., Mulumba R., Kachaka C., Boeckx P., Merckx R. & Vanlauween B., 2012, Combining mineral fertilizer and green manure for increased, profitable Cassava Production Cassava production. *Agron. J.*, **104**, 1, 178-187
19. Planet P., Lubet E., Desvignes P. & Sombrum F., 1990, *Fertilisation azoté et composantes du rendement du maïs: effet des niveaux et des modalités d'apport*. In: *Physiologie et production de maïs*. Picard, D. (éd), 1991. INERA, France. Paris, 367-382;
20. 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, Gembloux Agro Biotech/ Université de Liège, 215.



21. Sanginga N.B., Ibewiro P., Houngnandan B., Vanlauwe J.A., Okogun I.O., Akobundu & Versterg, 1990, Evaluation of symbiotic properties and nitrogen contribution of *Mucuna* growth in the derived Savanna of West Africa, *Plant Soil*, **179**, 119-129.
22. Serpantié G., 2009, L'agriculture de conservation à la croisée des chemins (Afrique, Madagascar). *Vertigo*, **9**, 3, 12.
23. Soltner D., 1996, *Les bases de la production végétale. Tome 1: le sol et son amélioration*, 26<sup>è</sup> édition. Collection Sciences et techniques agricoles. ISBN: 2- 907710-16-8. 464.
24. Steiner C., Teixeira WG., Lehmann J., Nehls T., Macedo JL.;V., Blum WEH. & Zech W., 2007, Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant Soil*, **291**, 275-290.
25. Uyo Ybesere E.O. & Elemo K.A. 2000. Effect of inorganic fertilizer and foliage of *Azadirachta* and *Parkia* species on the productivity of early maize, *Niger. J. Soil Res.*, **1**, 17-22.
26. Van Den Berghe C., Theeten D. & Totognon J., 1990, Comparative responses of two maize varieties to fertilizers on a newly cleared ferralitic soil in southern Benin Economic Analysis, *Tropicultura*, **8**,1, 3-8.
27. Violic A.D., 2002, *Gestion intégrée de la culture. In: le maïs en zones tropicales: Amélioration et production*. Collection FAO 2002. Pp. 251-299.
28. Warnock DD., Lehmann J., Kuyper TW. & Rillig MC., 2007, Mycorrhizal responses to biochar in soil – concepts and mechanisms, *Plant Soil*, **300**, 9-20.
29. Whitman T., Nicholson C.F., Torres D. & Lehmann J., 2011, Climate change impact of biochar cook stoves in Western Kenyan farm households: System dynamics model analysis. *Environ. Sci. Technol.*, **45**, 3687-3694.
30. Whitman T., Scholz S. & Lehmann J., 2010, Biochar projects for mitigating climate change: an investigation of critical methodology issues for carbon accounting. *Carbon Manage.*, **1**, 89-107.
31. Woolf D., Amonette J.E., Street-Perrott F.A., Lehmann J. & Joseph S., 2010, Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Commun.*, **1**,56. ([climatechange.cornell.edu/soil-biogeochemistry-and-soil-fertility-management](http://climatechange.cornell.edu/soil-biogeochemistry-and-soil-fertility-management)).
32. Zhang W., Niu J., Morales V.L., Chen X., Hay A.G., Lehmann J. & Steenhuis T.S., 2010, Transport and retention of biochar particles in porous media: effect of pH, ionic strength, and particle size, *Ecohydrol.*, **3**, 497-508.

---

B. Lele, Congolais (RDC), Doctorant, Ecole Régionale Post-Universitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux, Kinshasa, R.D. Congo.

J. Lejoly, Belge, PhD, Professeur Emérite, Université Libre de Bruxelles, Belgique; Ecole Régionale Post-Universitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux, Kinshasa, R.D. Congo; ONG Groupe d'Initiatives pour l'Agroforesterie en Afrique, Kinshasa, R.D. Congo.

C. Kachaka, Congolais (RDC), PhD, Professeur, Doyen de la Faculté, Université de Kinshasa, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Gestion des Ressources Naturelles, Kinshasa, R.D. Congo.