

Effet du biochar sur la rétention et la disponibilité en eau et éléments minéraux pour les plantes dans un sol sableux de Kinshasa

Bonaventure Lele Nyami⁽¹⁾, Claude Kachaka Sudi⁽¹⁾, Jean Lejoly⁽²⁾, Paul Muesa Kalala⁽¹⁾

⁽¹⁾Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Agronomiques. Département de Gestion des Ressources Naturelles. BP 127 Kinshasa XI (RDC). E-mail : lelebonaventure72@yahoo.fr

⁽²⁾ONG-Groupe d'Initiatives pour l'Agroforesterie en Afrique. Commune de Lemba. BP 15373 Kinshasa (RDC).

Reçu le 13 mars 2022, accepté le 11 avril 2022, publié en ligne le 30 juin 2022

RESUME

Description du sujet. Les contraintes agricoles du sol à Kinshasa sont entre autres la texture sableuse et la structure particulière qui limitent un bon développement des cultures. C'est ainsi qu'une étude a été menée sur l'amélioration du pouvoir de rétention et la disponibilité en eau du sol.

Objectif. L'étude vise à évaluer l'effet du biochar sur la rétention et la disponibilité en eau et éléments minéraux pour les plantes dans un sol sableux de Kinshasa (Station Météorologique de Mbinza).

Méthodes. Deux lysimètres ont été construits : le premier a été rempli du sol témoin et le deuxième du sol amendé au biochar. La quantité de biochar utilisée a été de 2 kg pour 286 kg de terre. Cette quantité équivaut à 30 tonnes par ha. Cinq cents grammes d'engrais minéral (NPK 17-20-19) dissous préalablement dans 10 litres d'eau ont été apportés dans chaque lysimètre. L'eau percolée dans chaque lysimètre, après fertilisation, a été récupérée et analysée pour déterminer le lessivage de l'azote, du potassium et du phosphore. Deux tensiomètres ont été installés dans chaque lysimètre à 30 et 60 cm pour évaluer la disponibilité en eau pour les plantes.

Résultats. La percolation de l'eau dans le sol témoin a été largement supérieure à celle du sol amendé au biochar. Le sol témoin a fait lessiver plus d'éléments minéraux que le sol amendé au biochar. Ce lessivage a été de 8,1 %, 5,7 % et 4,4 % respectivement pour l'azote, le potassium et le phosphore dans le sol témoin et de 0,42 %, 0,27 % et 0,10 % respectivement pour les mêmes éléments dans le sol au biochar. Trente-cinq jours après la dernière pluie, l'eau était disponible dans le sol au biochar (pF : moins de 20 Centibar) alors que dans le sol témoin, l'eau avait atteint le point de flétrissement permanent (pF : 70 Centibar).

Conclusion. L'application du biochar a permis d'améliorer la rétention et la disponibilité en eau et éléments minéraux pour les plantes des sols sableux de Kinshasa.

Mots-clés : Sol sableux, biochar, rétention d'eau et des éléments minéraux, tension de l'eau du sol, République Démocratique du Congo.

ABSTRACT

Effect of biochar on the retention and availability of water and mineral elements for plants in a sandy soil of Kinshasa

Description of the subject. The agricultural constraints of the soil in Kinshasa are, among others, the sandy texture and the particulate structure which limit a good development of the crops. Thus, a study was conducted on the improvement of the soil's water retention capacity and availability.

Objective. The study aims at evaluating the effect of biochar on the retention and availability of water and mineral elements for plants in a sandy soil of Kinshasa (Mbinza Meteorological Station).

Methods. Two lysimeters were constructed: the first was filled with control soil and the second with soil amended with biochar. The quantity of biochar used was 2 kg for 286 kg of soil. This amount is equivalent to 30 tons per ha. Five hundred grams of mineral fertilizer (NPK 17-20-19) previously dissolved in 10 liters of water were applied to each lysimeter. The water percolated in each lysimeter, after fertilization, was collected and analyzed for nitrogen, potassium and phosphorus leaching. Two tensiometers were installed in each lysimeter at 30 and 60 cm to assess water availability to plants.

Results. Water percolation in the control soil was much higher than in the biochar-amended soil. The control soil leached more mineral elements than the biochar-amended soil. Leaching was 8.1%, 5.7%, and 4.4% for nitrogen, potassium, and phosphorus, respectively, in the control soil, and 0.42%, 0.27%, and 0.10%, respectively, for the same elements in the biochar-amended soil. Thirty-five days after the last rainfall, water was available in the

biochar soil (pF: less than 20 Centibar) while in the control soil, water had reached the permanent wilting point (pF: 70 Centibar).

Conclusion. The application of biochar improved the retention and availability of water and mineral elements for plants in sandy soils of Kinshasa.

Keywords : Sandy soil, biochar, water and mineral retention, soil water tension, Democratic Republic of Congo.

1. INTRODUCTION

Les sols de la province de Kinshasa et ses environs présentent pour la plupart une texture sableuse (environ 85 % de sable), une structure particulière et un pH acide (5 en moyenne). Ces sols sont soumis à une forte minéralisation de leur matière organique et un lessivage accru des éléments minéraux causés par les pluies intenses et les fortes températures. En plus, pour y cultiver, les agriculteurs font recours à la coupe à blanc et au brulis en vue de dégager le terrain.

L'agriculture itinérante sur brulis a pour conséquences la perte rapide de la fertilité, de l'activité biologique, l'érosion du sol, la réduction de la recharge de la nappe aquifère, etc. (Serpantié, 2009). Ce système, combiné aux processus pédologiques naturels, aboutit 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) ayant pour effet la réduction drastique de la production agricole (Dabin, 1984 ; 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 maïs (*Zea mays* L.), dont le rendement en grains ne dépasse guère 1 t ha⁻¹ (Van Den Berghe et al., 1990 ; Chianu et al., 2002 ; Adjei-Nsiah et al., 2007).

Malgré l'utilisation des engrais chimiques, le rendement des principales cultures baisse significativement après une saison culturale à cause de la lixiviation des éléments minéraux (Vanlauwe et al., 2006 ; Adjei-Nsiah et al., 2007). Ainsi, la mise en valeur de ces sols exige des amendements, organiques ou calcaires en vue d'améliorer leurs propriétés physiques et rentabiliser l'utilisation des fertilisants minéraux (UyoYbesere et al., 2000 ; Muna-Mucheru et al., 2007). En effet ; l'indisponibilité de la matière organique en quantité suffisante et le coût élevé de la chaux ont

conduit plusieurs chercheurs à explorer d'autres pistes de solution.

Tableau 1. Paramètres climatiques pendant la période expérimentale

Mois	Température	Evaporation	Pluviométrie	Hygrométrie	Vent en m/s
------	-------------	-------------	--------------	-------------	-------------

Plusieurs études ont été menées à Ibi au plateau des Batéké et dans le Jardin expérimental de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Kinshasa pour évaluer l'effet du biochar comme amendement, combiné à l'engrais minéral sur le manioc (*Manihot esculenta* C.) et le maïs cultivés en association ou en culture pure (Tomisa, 2012 ; Ibanda, 2013 ; Nkala, 2013, Lele et al., 2016 (a), Lele et al., 2016 (b), Lele et al., 2021). Ces études ont montré que le biochar combiné à l'engrais minéral avait quadruplé et quintuplé respectivement les rendements en tubercules de manioc et en grains de maïs. Ces chercheurs ont pensé que ces résultats seraient dus au rôle qu'aurait joué le biochar dans l'amélioration de la rétention en eau et en éléments minéraux du sol.

Pour confirmer ou infirmer ces conclusions, il a été utile de mener une étude en lysimètre en vue d'évaluer le pouvoir de rétention d'eau et des éléments minéraux par le biochar.

L'étude vise à évaluer l'effet du biochar sur la rétention et la disponibilité en eau et éléments minéraux pour les plantes dans un sol sableux de Kinshasa (Station Météorologique de Mbinza).

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Site expérimental

L'étude a eu lieu dans la Station Météorologique de Binza (METTELSAT), commune de Ngaliema dans la ville de Kinshasa dont les coordonnées géographiques sont 4°45' de latitude sud et 15°25' de longitude Est. Le choix du site a été conditionné par la disponibilité des données météorologiques telles que la hauteur de pluies, la température et l'évaporation. Le climat est du type AW₄ selon la classification de Köppen. C'est un climat tropical humide comportant deux saisons, une saison sèche de quatre mois, qui va de mi-mai à mi-septembre et une saison pluvieuse de huit 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. La température moyenne annuelle est de 24,5 °C.

Les paramètres climatiques pendant la période expérimentale sont présentés dans le tableau 1.

	en °C	en mm	en mm	en %	
Octobre	25	92,9	180,7	80,0	3,4
Novembre	25,4	51,1	262,4	83,5	2,8
Décembre	25,1	59,9	375,0	85,0	2,5
Janvier	26,2	91,4	216,8	84,5	2,4
Février	26,3	86,5	33,8	79,8	3,1
Mars	26,0	80,6	182,4	84,0	2,6
Avril	26,5	142,2	196,8	82,3	2,6
Mai	26,0	68,9	214,6	83,2	2,5
Juin	24,0	77,7	0	83,4	3,2
Total	230,5	751,2	1643,5	745,7	25,1
Moyenne	25,6	83,4	182,6	82,8	2,7

Au regard de ces paramètres, le mois de juin a été le plus sec avec 0 mm des précipitations, 77,7 mm d'eau évaporée et 83,4 % d'humidité relative de l'air.

2.2. Matériel

Fertilisant

Le fertilisant utilisé était le NPK 17-17-17. Il représente l'engrais composé le plus disponible sur le marché et utilisé pour les cultures vivrières en RDC.

Biochar

Le charbon de bois issu d'une plantation d'*Acacia mangium* de 7 ans a été utilisé comme amendement du sol. Il a été broyé et tamisé pour obtenir des particules de dimensions inférieures à 2 mm. Sa teneur en carbone était de 49 % et son pH de 7,8.

2.3. Méthodes

Echantillonnage et analyse du sol

Avant la construction des lysimètres, on a prélevé deux échantillons de sols aux profondeurs de 0-30 cm et 30-60 cm. Ces échantillons ont été analysés pour déterminer le pH eau, le carbone organique total, l'azote total, le K^+ et le phosphore assimilable. Ces analyses ont été effectuées au laboratoire de chimie du sol du Centre Régional d'Etudes Nucléaires de Kinshasa (CREN-K) selon les méthodes décrites par Anderson et al. (1993) et Buondonno et al. (1995).

Construction et fonctionnement des lysimètres

Pour construire les deux lysimètres, deux puits de 2 m de longueur, 1 m de largeur et 2,5 m de profondeur du côté le plus profond et 1 m de profondeur du côté le moins profond ont été creusés (Figure 1). De chaque côté de la largeur du puits, un

fût en plastique de 1m de hauteur et 0,52 m de diamètre a été placé. Le fût placé du côté le moins profond a servi à recevoir les précipitations alors que celui placé du côté le plus profond a servi à abriter le récipient qui devrait recueillir l'eau de pluie percolée. Les deux fûts de chaque lysimètre ont été troués et connectés, dans leur partie inférieure, par un tuyau en plastique de 1 m qui devait canaliser l'écoulement de l'eau. Les points de contact entre les fûts et le tuyau ont été couverts d'un tinflot avec un manchon et du ciment pour éviter les fuites d'eau qui pouvaient biaiser les résultats. Une couche de ciment dont la surface formait une pente qui laisse couler l'eau jusqu'à l'orifice connecté au tuyau, a été mise au fond du fût qui recevait l'eau des précipitations (premiers fûts). Au-dessus de la couche de ciment, venait une couche de graviers de 10 cm d'épaisseur pour faciliter les écoulements. Le deuxième fût était couvert, comme le montre la figure 1, pour éviter que l'eau venant directement des précipitations n'y pénètre.

Après la construction des lysimètres, le fût le moins profond du premier lysimètre a été rempli avec le sol expérimental. Dans le deuxième lysimètre, le fût le moins profond a été rempli du sol expérimental mélangé au biochar. La quantité de sol apportée, à 85 cm (85%) de la hauteur du fût, dans chaque lysimètre a été de 286 kg. Le sol dans les fûts n'a pas été rempli pleinement pour éviter le ruissellement en cas des très fortes précipitations. Le premier lysimètre représentait le témoin et le deuxième a servi d'évaluer l'effet du biochar sur la percolation de l'eau et des éléments minéraux.



Figure 1. Construction des lysimètres

La percolation de l'eau ou l'infiltration efficace désigne l'écoulement vertical de l'eau, dans le sol (milieu poreux non saturé), vers la nappe phréatique sous l'effet de la pesanteur.

Amendement du sol au biochar

La quantité de biochar utilisée a été de 2 kg pour 286 kg de terre. Cette quantité équivaut à 30 tonnes par ha qui est la dose recommandée par Tomisa (2012) et Lele et *al.* (2016(a) pour les sols sableux de Kinshasa.

Fertilisation du sol et analyse des eaux percolées

On a apporté, le 07 janvier 2014, dans chaque lysimètre 500 g d'engrais minéral (NPK 17-20-19) dissous préalablement dans 10 litres d'eau. Les dix litres d'eau représentent 50 mm de précipitations. Pour convertir la quantité d'engrais apportée à l'hectare, un trou de 1 m² jusqu'à la profondeur de 30 cm a été creusé. Cette profondeur est celle exploitée généralement par les racines des cultures vivrières. Le sol issu du trou a été pesé et la valeur trouvée a été multipliée par 10.000 (l'hectare) pour une densité de 1,5. Ce calcul a donné le poids de 4350 tonnes de sol à l'hectare, ce qui correspond à 7605 kg ha⁻¹ d'engrais minéral (tableau 2). Cette très grande dose d'engrais a été apportée pour permettre une percolation rapide d'éléments minéraux.

Tableau 2. Quantités de NPK apportés dans 286 kg de sol et rapportées en kg ha⁻¹

Quantité apportée en kg dans 286 kg de sol	Quantité rapportée en kg ha ⁻¹	Quantités d'N, de P et de K en kg ha ⁻¹ contenues dans les différents apports
0,5	7605 kg	N ₁₂₉₂ P ₁₅₂₁ K ₁₄₄₅

Après quatre pluies, il a été procédé à la récolte et à la conservation de l'eau percolée dans les bouteilles de 300 ml. Ces eaux ont été analysées au spectrophotomètre (DR/2400) au laboratoire de Physique de sol et d'Hydrologie du CREN-K. Les éléments analysés sont l'azote (N), le potassium (K) et le phosphore (P).

Evaluation mensuelle du pourcentage des précipitations retenues par le sol

Le pourcentage des précipitations retenues par le sol (PPRS) représente la proportion de l'eau des pluies retenue dans chaque lysimètre. Ce pourcentage a été calculé par la relation (4) :

$$PPRS = (PP - PE) * 100 / PP$$

Où: PP = Précipitations mensuelles en mm.

PE = Percolations mensuelles de l'eau dans chaque lysimètre en mm.

Installation des tensiomètres et prélèvement de la tension

Les tensiomètres ont été installés le 2 février 2014. Deux tensiomètres ont été placés dans chaque lysimètre à 30 et 60 cm de profondeur pour évaluer la tension de l'eau du sol. Lorsque l'eau s'infiltré dans le sol, elle est soumise à deux forces d'attractions : la force de pesanteur qui l'attire vers le bas (vers le centre de gravité de la terre) et une résultante des forces (la succion) qui l'attire vers les particules du sol. La succion est la résultante des forces capillaires, d'attraction coulombienne et d'attraction newtonienne entre l'eau infiltrée et les particules du sol. Cette succion est d'autant plus grande que la distance du centre de gravité de l'eau est proche de celle de la particule du sol. Ainsi,

l'eau qui est très proche de la particule du sol reste collée à la particule et celle qui est éloignée poursuit sa descente vers le bas par l'effet de la pesanteur. Le tensiomètre mesure la force nécessaire pour arracher l'eau collée aux particules du sol. Ainsi, plus le sol est sec, plus l'eau collée demande plus de force pour l'arracher de la particule du sol. Les valeurs indiquées par le tensiomètre seront d'autant plus élevées que le sol est sec. La plus part des végétaux peuvent encore assimiler l'eau du sol tant que celle-ci à une tension inférieure à 70 centibars (cbar). Cette valeur (70 cbar) est le point de flétrissement permanent à partir duquel la majorité des végétaux et quelques

microorganismes ne peuvent plus assimiler l'eau du sol.

Les tensiomètres utilisés étaient constitués d'une bougie poreuse en céramique reliée à un manomètre par un tube. A la veille de l'installation des tensiomètres, les bougies ont été plongées dans l'eau pendant 24 heures. Au cours de l'installation, les tubes des tensiomètres ont été remplis de l'eau à l'aide d'une seringue pour éviter l'apparition des bulles d'air (figure 2). Ensuite, les bougies ont été enrobées dans la boue argileuse (figure 2). Après enrobage, les tensiomètres ont été installés dans les deux lysimètres.



Figure 2. Installation des tensiomètres

La tension de l'eau du sol était prélevée tous les jours à 17h00 du mois de mars au mois de juin 2014. Dans le cadre de cette étude, les données considérées sont celles du mois de mai et juin.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Composition du sol

Les résultats de l'analyse granulométrique montrent que le sol expérimental est sableux avec 83% des sables (tableau 3). Ce sol est constitué principalement de sables fins classés dans la série de *rubiques arenoferralsols (dystriques)* (Soil Survey Staff, 2006 ; WRB, 2006). Des textures analogues ont également été trouvées par Koy (2009) pour les sols du Plateau des Batéké (Mbankana, Mampu et Kinzono), Mulaji (2011) pour les sols de Kimuenza et Mont Amba et *Lele et al.* (2016(a)) pour les sols de Mont-Amba et du Plateau des Batéké tous dans la province de Kinshasa. Ces études ont révélé que la fraction limon-argile est nettement dominée par le quartz, et la kaolinite est le minéral argileux important en plus de quelques oxydes résiduels (gibbsite et anatase). La présence d'horizons superficiels à texture grossière (sable) a été indiquée dans les sols de la région intertropicale par plusieurs auteurs (Soil Survey Staff, 1975; Bravard et Righi, 1990; Marcelino, 1995; Koy, 2009).

Tableau 3. Composition granulométrique et chimique du sol expérimental

Site d'étude	Argile %	Limon %	Sable %	pH Eau	Carbone (%)	Azote (%)	P (mg.kg ⁻¹)	K (cmol/kg)
Stat Mét.	9,64	6,85	83,1	4,97	1,34	0,10	12,9	0,05

3.2. Effet du biochar sur la rétention d'eau et des éléments minéraux

Effet du biochar sur la percolation et la rétention d'eau de pluies dans le sol

Le volume d'eau de pluies percolé dans le sol témoin a été supérieur à celui percolé dans le sol amendé au biochar pendant toute la période expérimentale (tableau 4). Ceci indique que la perméabilité hydrique du sol expérimental est élevée. Cette perméabilité est fonction de porosité et montre que le sol expérimental est d'excellente fertilité physique, due aux conditions optimales de drainage, de circulation de l'air et de pénétration facile des racines comme les montrent Landon (1991) ; Koy (2009), Magalie *et al.* (2017).

Le pourcentage d'eau de pluies retenue mensuellement par le sol amendé au biochar a été largement supérieur à celui du sol témoin (tableau 4). Ce pourcentage varie entre 12,2 % et 94,9 % pour le sol témoin et entre 91,8 % et 100 % pour le sol amendé au biochar (tableau 4). Ces résultats confirment ceux obtenus par plusieurs auteurs qui

ont montré que le biochar augmentait significativement la capacité de rétention en eau des sols sableux (Lehman et al., 2006 ; Woolf, 2010 ; Lui et al., 2012 ; Oleszczuk et al., 2012 ; Schulz et Glaser, 2012 ; Schulz et al., 2012).

Toutefois, le pourcentage d'eau de pluies retenue par un sol dépend aussi de la saturation du sol, de la quantité d'eau tombée et de l'intensité de la pluie.

Ainsi, pendant les mois les moins pluvieux de la période expérimentale (octobre 2013, février, mars et avril 2014), le sol témoin a retenu respectivement 73,8 %, 90,6 %, 64,4 % et 94,9 % d'eau de pluies (tableau 4). Pour les mois pluvieux, le pourcentage d'eau de pluies retenue par le sol témoin a été inférieur à 50 %.

Tableau 4. Quantité d'eau de pluies percolée en mm et retenue en % par le sol sous étude

Mois	Evaporation en mm	Précipitations en mm	Nbr pluies	Eau percolée en mm (sol témoin)	Eau percolée en mm (sol avec biochar)	Eau retenue par le sol témoin en %	Eau retenue par le sol avec biochar en %	Différence %
Octobre	92,9	180,7	13	47,5	12,5	73,8	93,1	19,3
Novembre	51,1	262,4	14	165,2	0,14	37,1	99,9	62,8
Décembre	59,9	375	17	251	6	33,1	98,4	65,3
Janvier	91,4	216,8	8	178,5	11,5	17,7	94,7	79,9
Février	86,5	33,8	6	3,2	0	90,6	100	9,4
Mars	80,6	182,4	16	65	0	64,4	100	35,6
Avril	142,2	196,8	14	10	2,5	94,9	98,7	3,8
Mai	68,9	214,6	14	108,7	17,5	49,3	91,8	42,5
Total	673,5	1232,1	71	848,2	30,14	299,2	585,6	
Moyenne	84,19	205,35						

Effet du biochar sur la percolation des éléments minéraux

Le tableau 5 montre que le sol témoin a fait percoler plus d'éléments minéraux (N, P et K) que le sol amendé au biochar. Ceci est conforme aux résultats des plusieurs études qui ont montré que le biochar améliorerait grandement la capacité de rétention d'éléments minéraux des sols sableux (Kimetu et al., 2010 ; Whitman et al., 2010 ; Whitman et al., 2011 ; Oleszczuk et al., 2012 ; Schulz et Glaser, 2012 ; Schulz et al., 2013).

Considérant les quantités d'éléments (N, P et K) apportés dans chaque sol, le taux de percolation a été respectivement de 8,1 %, 5,7 % et 4,4 % dans le sol témoin et de 0,42 %, 0,27 % et 0,1 % dans le sol

amendé au biochar pendant la période du 07 janvier au 24 janvier 2014 (tableau 5). Par ailleurs, l'ordre décroissant des percolations des éléments minéraux pour les deux sols a été : N > P > K. La plus grande percolation de l'azote dans les deux sols confirme le fait que l'azote est un des éléments les plus lessivés, il se perd facilement sous forme de nitrate (Duthil, 1971). Pendant la même période, pour 224,4 mm de précipitations, le sol témoin a percolé 156 mm d'eau contre 11,5 mm pour le sol amendé au biochar (tableau 5). Ces valeurs montrent que le lessivage des éléments minéraux est fonction de la quantité d'eau percolée (tableau 5).

Tableau 5. Percolation des éléments minéraux du sol témoin et du sol amendé au biochar

Date	PP	Eléments minéraux (EM) percolés en mg							
		Percolation (mm)		Sol témoin (ST)			Sol avec biochar (SB)		
		ST	SB	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	K ⁺	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	K ⁺
07/01/2014	50	2,5	0	79,2	81,7	75,1	0	0	0
10/01/2014	48,4	42,5	1	2212,4	1652,6	1300,5	42,2	38,5	16,0
13/01/2014	93	85	2,5	3924,9	3109,7	2312,0	97,3	72,5	31,7
18/01/2014	14	11	4	312,5	353,3	219,5	118,2	87,8	29,3
24/01/2014	19	15	4	322,1	512,9	288,0	96,5	69,4	21,2
Total perc	224,4	156	11,5	6851,1	5710,2	4195,1	354,2	268,2	98,2
Qté EM apportée				85.000	100.000	95.000	85.000	100.000	95.000
Taux de PEM (%)				8,1	5,7	4,4	0,42	0,27	0,10
R percolation entre ST et SB		13,5		19,3	21,1	44,0			

Légende : PP : précipitation, ST : sol témoin, SB : sol avec biochar, Qté : quantité, PEM : percolation d'éléments minéraux et R : rapport. *

La quantité d'éléments minéraux percolée a été divisée par la hauteur d'eau percolée, dans chaque sol, pour trouver la quantité moyenne d'éléments minéraux percolée par mm d'eau (tableau 6). Il ressort de ces résultats que les quantités moyennes de chaque élément (N, P et K) percolées par mm d'eau dans le sol témoin ont été supérieures à celles percolées dans le sol amendé au biochar. En effet, la percolation moyenne de l'azote par mm d'eau a été de 36,0 mg/mm dans le sol témoin contre 27,0 mg/mm dans le sol avec biochar. Pour le phosphore, la percolation moyenne dans le sol témoin a été de 34,9 mg/mm d'eau contre 21,4 mg dans le sol avec biochar alors que pour le potassium, le sol témoin a percolé 25,4 mg/mm en moyenne contre 8,3 mg/mm pour le sol avec biochar (tableau 6). La plus grande réduction entre les deux sols a été obtenue avec le potassium. Elle a été d'un tiers dans le sol avec biochar. Ceci serait

dû au fait que le potassium est un cation. En tant que cation, il est facilement retenu (liaison ionique) par le biochar qui lui, serait plus chargé négativement. Pour l'azote et le phosphore, la rétention serait due à d'autres forces comme celles de Coulomb ou de Van der Waals. Toutefois, des études approfondies au Laboratoire seraient nécessaires pour vérifier cette hypothèse.

Toutefois, ces résultats confirment ceux de Lehmann *et al.* (2006) et Schulz et Glaser (2012) qui ont montré que le biochar améliorerait la capacité de rétention des éléments minéraux dans les sols sableux. Ainsi, l'utilisation du biochar pourrait constituer une des réponses au problème des sols sableux tropicaux en général et ceux de Kinshasa en particulier dont la texture sableuse réduit sensiblement la rétention de l'eau et des éléments minéraux.

Tableau 6. Percolation moyenne des éléments minéraux dans les deux sols par mm d'eau percolée

Date	Eléments minéraux percolés en mg/mm d'eau					
	Sol témoin (ST)			Sol avec biochar (SB)		
	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	K ⁺	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	K ⁺
07/01/2014	31,7	32,7	30,0	0	0	0
10/01/2014	52,1	38,9	30,6	42,2	38,5	16,0
13/01/2014	46,2	36,6	27,2	38,9	29	12,7
18/01/2014	28,4	32,1	20,0	29,6	22,0	7,3
24/01/2014	21,5	34,2	19,2	24,1	17,4	5,3
Total	179,9	174,5	127	134,8	106,9	41,3
Moyenne	36,0	34,9	25,4	27,0	21,4	8,3

Légende : ST : sol témoin et SB : sol avec biochar

Ces résultats confirment l'hypothèse émise par les auteurs qui ont pensé que les bons résultats obtenus par le biochar sur les cultures de maïs et de manioc seraient à l'amélioration de la rétention en eau et en éléments minéraux du sol.

3.3. Effet du biochar sur la tension de l'eau et la disponibilité de l'eau pour les plantes

Tension de l'eau du sol au mois de mai

Il ressort du tableau 7 qu'au mois de mai, la tension de l'eau dans le sol témoin a été supérieure à celle du sol avec biochar quelle que soit la profondeur. Dans le sol témoin, la tension de l'eau a été inférieure à 18 cbar alors que dans le sol avec

biochar, elle a été inférieure à 11 cbar. Ces faibles valeurs dans les deux sols sont la conséquence de nombreuses pluies (14 au total) tombées pendant ce mois (tableau 7). Ces pluies ont maintenu une forte humidité dans le sol et par ricochet, des valeurs basses des tensions de l'eau. Les plus faibles tensions observées dans le sol au biochar montrent que ce dernier améliore la disponibilité en eau de sol sableux (Major *et al.*, 2010 et Lui *et al.*, 2012). Les tensions à 60cm ont été légèrement supérieures à celles à 30cm quel que soit le sol (témoin et biochar) à cause de l'évaporation de l'eau dans les premiers centimètres du sol.

Tableau 7. Tension de l'eau du sol en centibar au mois de mai 2014

Date	Pluviométrie	Température	Evaporation	Tension sol témoin 30 cm	Tension sol témoin 60 cm	Tension sol avec Biochar 30 cm	Tension sol avec Biochar 60 cm
1	6,6	27,0	2,9	5	12	1	1
2		25,1	1,8	11	13	9	4
3	2,4	27,5	3,3	10	12	2	3

4	8,0	28,2	3,5	13	15	9	10
5	1,6	27,4	1,9	10	11	4	9
6	48,4	26,6	1,6	10	12	3	3
7	45,0	24,1	1,0	12	13	0	0
8		23,5	1,4	2	10	0	0
9	9,5	26,8	4,5	10	12	8	10
10		26,6	0,9	10	10	2	5
11		25,3	2,7	10	12	4	9
12	36,0	27,1	1,9	10	13	4	8
13	3,8	24,9	1,4	10	14	2	4
14		26,7	2,3	12	15	3	9
15	20,6	26,9	1,2	10	15	2	7
16		24,4	1,6	12	15	3	8
17	5,4	24,4	1,3	10	11	2	4
18		26,1	2,4	10	14	0	0
19	1,2	26,5	2,7	14	17	3	7
20		26,2	3,3	14	16	7	10
21	0,4	26,8	1,1	10	12	2	5
22		26,0	2,8	10	12	2	4
23		24,5	1,0	10	12	2	2
24	25,6	26,2	1,3	10	10	0	0
25		26,2	3,0	12	14	2	5
26		26,8	3,4	10	14	3	2
27		26,8	3,2	10	15	4	4
28		25,8	2,9	12	15	3	4
29		26,2	1,7	14	14	4	5
30		25,4	2,6	11	12	3	2
31		25,2	2,3	13	13	3	4

Tension de l'eau du sol au mois de juin

Pendant le mois de juin, aucune pluie n'est tombée suite à la grande saison sèche. Comme pour le mois de mai, la tension de l'eau dans le sol témoin a été supérieure à celle du sol au biochar (tableau 8). Dans le sol témoin, l'évolution de la tension de l'eau a été fonction du nombre de jours successifs sans pluie (secs). Le point de flétrissement permanent (70 cbar) a été atteint le 28 juin à 30 cm soit 35 jours après la dernière pluie tombée le 24 mai (tableau 7) et le 29 juin à 60 cm soit 36 jours après la dernière pluie. A partir de ce moment, la majorité des plantes et quelques microorganismes

ne pouvaient plus assimiler l'eau du sol. D'ailleurs, cinq jours après, les mauvaises herbes dans le lysimètre témoin commençaient déjà à flétrir. Par contre, dans le sol amendé au biochar, la tension de l'eau est restée inférieure à 15 cbar tout le long du mois. Ainsi, l'eau dans le sol amendé au biochar est restée facilement accessible aux plantes. Les mauvaises herbes également sont restées vigoureuses dans le lysimètre au biochar. Ces résultats prouvent à suffisance le rôle positif du biochar sur l'amélioration de la disponibilité en eau pour les plantes dans le sol sableux (Whitman *et al.*, 2011 et Lui *et al.*, 2012).

Tableau 8. Tension de l'eau du sol en centibar au mois de juin 2014

Date	Pluviométrie	Evaporation	Température	Tension sol témoin 30 cm	Tension sol témoin 60 cm	Tension sol avec Biochar 30 cm	Tension sol avec Biochar 60 cm
1		1,9	26,4	20	18	5	2
2	0	1,8	25,3	19	19	0	0

3	0	2,9	24,7	21	21	2	2
4	0	3,1	25,4	22	24	2	3
5	0	3,1	26,2	28	28	7	7
6	0	2,1	25,6	27	26	7	5
7	0	2,2	23,4	28	27	5	3
8	0	3,0	25,0	30	30	2	2
9	0	3,3	25,0	33	30	4	4
10	0	2,0	24,3	35	30	5	5
11	0	2,9	24,2	37	35	5	5
12	0	2,4	25,4	37	37	2	2
13	0	1,9	24,1	34	38	2	2
14	0	3,3	24,0	38	38	2	4
15	0	2,0	21,9	40	40	2	4
16	0	3,6	25,1	44	43	3	4
17	0	3,9	25,5	47	47	3	3
18	0	3,6	24,1	48	47	3	4
19	0	3,0	23,3	49	48	10	5
20	0	2,5	23,2	54	48	8	8
21	0	3,1	24,1	55	48	10	10
22	0	1,4	23,0	56	50	10	10
23	0	2,4	23,3	58	56	12	10
24	0	2,6	22,7	56	55	2	2
25	0	2,2	22,5	61	58	2	3
26	0	2,9	23,2	65	62	0	4
27	0	2,2	23,3	60	63	2	3
28	0	2,8	28,1	70	65	8	10
29	0	1,3	20,2	72	70	10	12
30	0	2,3	22,1	70	68	14	12

4. CONCLUSION

Ce travail avait pour objectif d'évaluer l'effet du biochar sur la rétention d'eau et d'éléments minéraux dans le sol et sur la disponibilité en eau pour les plantes. Les résultats de cette étude ont montré que la percolation de l'eau et des éléments minéraux (N, P et K) dans le sol témoin a été largement supérieure à celle du sol au biochar. Tenant compte des quantités d'éléments (N, P et K) apportées dans chaque lysimètre, le taux de percolation a été respectivement de 8,1 %, 5,7 % et 4,4 % dans le sol témoin et de 0,42 %, 0,27 % et 0,1 % dans le sol avec biochar après quatre pluies. L'ordre décroissant des percolations des éléments minéraux pour les deux sols a été : $N > P > K$.

La tension de l'eau dans le sol témoin a été supérieure à celle du sol avec biochar quelle que soit la profondeur. Le point de flétrissement permanent (70 cbar) a été atteint dans le sol témoin le 28 juin à 30 cm soit 35 jours après la dernière pluie et le 29 juin à 60 cm soit 36 jours après la

dernière pluie. A partir de ce moment, la majorité des plantes et quelques microorganismes ne pouvaient plus assimiler l'eau du sol. Par contre, dans le sol au biochar, l'eau est restée toujours disponible aux plantes et aux microorganismes avec une tension inférieure à 15 cbar. Ainsi, il est possible d'exploiter ce potentiel du biochar dans le contexte du changement climatique, pour aider les agriculteurs de la RDC en général et ceux de Kinshasa en particulier, qui font une agriculture pluviale, à faire face au stress hydrique qui sera de plus en plus fréquent.

Références

- Adjei-Nsiah S., Kuyper T.W., Leeuwis C., Abekoe M.K. & 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.
- Anderson J.M. & Ingram J.S., 1993. *Tropical soil biology and fertility: handbook of methods*. Second edition. CAB International, Wallingford, UK., 240 p.

- Bravard S. & Righi D., 1990. Podzols in Amazonia. *Catena*, 17, 461-475.
- Buondonno H.O., Rashad A.A. & Coppola E., 1995. Comparing tests for soil fertility: the hydrogen peroxide/sulphuric acid treatment as an alternative to the cropper/selenium cotalysed digestion process for routine determination of soil nitrogen-kjeldahl. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 26, 1607-1619.
- Chianu J.N., Akintola J.O. & 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.
- Dabin B., 1984. Les sols acides tropicaux. *Cah. ORSTOM, Ser. Pédol.*, 21, 7-19.
- Duthil J., 1971. *Éléments d'écologie et d'agronomie : Tome 1 : Connaissance du milieu*. Presse de l'imprimerie bussière. Paris-France. 385 p.
- Ibanda A., 2013. *L'usage du charbon de bois pour améliorer la fertilité des sols tropicaux : Cas de Masoko en RD Congo*. Travail de fin d'étude de master complémentaire en Sciences et Gestion de l'Environnement dans les pays en Développement, Université de Liège. 86 p.
- Kadiata B.D. & Lumpungu K., 2003. Differential phosphorus uptake and use efficiency among selected nitrogen-fixing tree legumes over time. *Journal of plant nutrition*, 26, 1009-1022.
- Kimetu J.M. & Lehmann J., 2010. Stability and stabilization of biochar and green manure in: soil with different organic carbon contents. *Australian Journal of Soil Research*, 48, 577-585.
- 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), 361 p.
- Landon J.R., 1991. *Booker Tropical Soil Manual. A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics*. Paperback edition. Longman. Booker Tate limited, Oxon, England, 530 p.
- Lehmann J., Gaunt J. & Rondon M., 2006. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems a review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11, 403-427.
- Lele B., Lejoly J. & Kachaka C., 2016 (a). 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/République Démocratique du Congo (RDC). *Tropicicultura*. 34(1), 47-55.
- Lele Nyami B., Kachaka Sudi C. & Lejoly J., 2016(b). Effet du biochar et des feuilles de *Tithonia diversifolia* combiné à l'engrais minéral sur la culture du maïs (*Zea mays* L.) et les propriétés d'un sol ferrallitique à Kinshasa (RDC). *BASE*, 20(1), 57-67.
- Lele B.N., Kachaka S.C., Léjoly J., Ngoy H. & Amela P., 2021. Effets de l'application du biochar et de l'engrais minéral NPK sur la culture pure de manioc, l'association manioc-maïs et sur les propriétés du sol d'Ibi au plateau des Batéké (RDC). *Forêt et Environnement du Bassin du Congo*, 17, 13-23.
- Lui J., Schulz H., Brandl S., Miehtke H., Huwe B. & Glaser B., 2012. Short-term effect of biochar and compost on soil fertility and water status of a Dystric Cambisol in NE Germany under field conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 175(5), 698-707.
- Magalie D., Gavaland A., Mistou M., Burger P., Meunier F., Marande R., Miglionico G., Fargier S. & Doussan C., 2017. Mesure de l'eau du sol : questions, méthodes et outils Exemples d'application sur deux plateformes champs du réseau « PHENOME ». *Le Cahier des Techniques de l'INRA*, 90, 1-32.
- 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 and Soil*, 333, 117-128.
- Marcelino V., 1995. *Characteristics and genesis of sandy soils of Lower Congo*, Ph.D.Thesis in Earth Sciences, Ghent University, Belgium. 235 p.
- 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, 219 p.
- Muna-Mucheru M., Mugendi D., Kung'u J., Mugwe J. & Bationo A., 2000. 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.
- Nkala J., 2013. *Effet du fertilisant minéral (NPK) combiné aux feuilles de tithonia diversifolia ou au biochar sur la croissance et le rendement en graines de maïs dans les conditions de Mont Amba*, Rapport de recherche, Faculté de Sciences Agronomiques, Université de Kinshasa, 29 p.
- 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. *Bioresource Technology* 111, 84-91.
- Pieter P., Bimponda W., Lodi-Lama J.P., Lele B., Mulumba R., Kachaka C., Boeckx P., Merckx R. & Vanlauwe B., 2012. Combining mineral fertilizer and green manure for increased, profitable Cassava Production Cassava production. *Agronomy Journal*, 104(1), 178-187.
- 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, 215 p.

- Schulz H. & Glaser B., 2012. Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(3), 410–422.
- Schulz H., Dunst G. & Glaser B., 2013. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(4), 817-827.
- Serpantié G., 2009. L'agriculture de conservation à la croisée des chemins (Afrique, Madagascar). *La revue en sciences de l'environnement*, 9(3), 20-41.
- Soil Survey Staff., 2006. Keys to soil Taxonomy, 10th edition. Soil Conservation Service, USDA. Washington D.C, 332 p.
- Tomisa S., 2011. *Effet du biochar et du Tithonia diversifolia(Hemsl. A. Gray) combiné à l'engrais minéral sur la croissance et le rendement en graines de la culture en pots de maïs dans les conditions du Mont-Amba*. Travail de fin de cycle. Université de Kinshasa, 22 p.
- UyoYbesere E.O. & 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 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, 3-8.
- Vanlauwe B., Titttonell P. & Mukalama J., 2006. Within-farm soil fertility gradients affect response of maize to fertiliser application in western Kenya. *Nutr. Cycling Agroecosyst.*, 76, 171-182.
- Whitman T., Scholz S. & Lehmann J., 2010. Biochar projects for mitigating climate change: an investigation of critical methodology issues for carbon accounting. *Carbon Management*, 1, 89-107.
- Whitman T., Nicholson CF., Torres D. & Lehmann J., 2011. Climate change impact of biochar cook stoves in Western Kenyan farm households: *System dynamics model analysis*. *Environmental Science and Technology*, 45(8), 3687-94.
- Woolf D., Amonette JE., Street-Perrott FA., Lehmann J. & Joseph S., 2010. *Sustainable biochar to mitigate global climate change*. *Nature Communications 1*: 56. (supporting online information), 47 p.