

Impact de l'agriculture de conservation sur le rendement du bananier de hautes altitudes (*Musa* spp. AAA-EA) de l'Afrique de l'Est.

Tony M. Muliele^{1*}

Abstract

Impact of conservation tillage on yields of the East-African Highland bananas (*Musa* spp. AAA-EA)

Published online:
27 July, 2014

Keywords:

manual tillage, no-till,
banana yield, East
African highlands, crop
cycle, cost-benefit,

This study aimed at assessing the impact of conventional manual tillage (CMT) on the yield of the East African highlands bananas (*Musa* spp. AAA-EA). Experiment was carried out at the Institut National pour l'Étude et la Recherche Agronomiques (INERA) Mulungu research station / Sud-Kivu in RD Congo. Two treatments with four replicates were compared: CMT with export of crop residues (= T0), and No-till with banana residues mulch (= T1). Bunch weight was monitored from 15 mats per replicate throughout 4 crop cycles. For each crop cycle, banana yield (t.ha⁻¹) was calculated based on the average bunch weight and plant density (2.500 plants.ha⁻¹). Treatment and crop cycle had a significant effect on banana yield. The highest yields were observed in T1 treatment for all crop cycles, with an average 42 t.ha⁻¹ compared with 36 t.ha⁻¹ obtained in the T0 treatment. Banana yield in the T1 treatment increased by 6.7, 8.1, 21.3, and 22.9% in the first, second, third and fourth cycles, respectively. This may indicate that constraints related to CMT with export of banana residues increases through crop cycles. Regardless of treatments, banana yield was highest in the second cycle and tended to decrease gradually thereafter. A cost-benefit analysis (based on banana yield in the fourth crop cycle) revealed that T1 is more profitable (US\$ 707ha⁻¹) compared to T0 (US\$ 271ha⁻¹). We conclude that CMT with export of crop residues had negative impact on yield of East African highlands banana, and should be avoided by farmers interested in producing bananas.

¹ Institut National pour l'Étude et la Recherche Agronomiques (INERA), B.P 2037, Kinshasa/Gombe, Centre de Mulungu, RD Congo

* To whom correspondence should be address. E-mail address: tonymuliele@yahoo.fr

INTRODUCTION

En Afrique de l'Est, les associations banane-cultures annuelles (e.g. banane-haricot) sont couramment pratiquées dans le but d'accroître la productivité et diversifier les récoltes des exploitations agricoles de petites tailles [Ouma, 2009]. Au Sud-Kivu, en République Démocratique du Congo (RD Congo), au Rwanda et au Burundi en particulier, avant le semis de haricot (septembre et février), les résidus de récolte (feuilles et pseudo-tronc de bananier et fanes de

haricot) sont écartés de la bananeraie et le sol sous bananier est labouré manuellement au moyen d'une houe en vue de préparer le lit de semis [Muliele et al, 2012]. Pour le bananier (*Musa* AAA, sous-groupe Cavendish, cvs 'Valery' et 'Grande naine'), Araya [2005] a rapporté que, du fait de son enracinement superficiel (70 à 90% de la biomasse racinaire localisés dans les 40 premiers centimètres de profondeur et 90 % des racines s'étendent sur un mètre autour du pseudo-tronc), le labour dans une bananeraie établie devait être évité en

vue de ne pas endommager le système racinaire. De même pour le bananier de hautes altitudes (*Musa AAA-ÉA*), Lassoudière [1989] a rapporté que le labour réalisé très près de la souche de bananiers pourrait entraîner des perturbations de croissance consécutives au sectionnement des racines. Malgré les effets négatifs potentiels du labour sur le système racinaire et la croissance du bananier susmentionnés, aucune étude expérimentale détaillée de l'impact du labour sur la croissance et le rendement du bananier ne semble jusqu'ici être rapportée. Pour combler cette lacune, les hypothèses ci-dessous ont été vérifiées en conditions d'essais expérimentaux [Muliele et al, 2012]: i) le labour améliore la performance du haricot, mais peut également sérieusement endommager le système racinaire superficiel du bananier, ii) le labour pourrait affecter négativement le rendement du bananier et favoriser l'infestation des racines du bananier par les nématodes et champignons.

Des essais expérimentaux ont été installés sur deux sites : Mulungu (jeunes plantations, essai en milieu contrôlé) et Kabamba (anciennes plantations, essai en milieu paysan). Les caractéristiques des racines primaires (biomasse, longueur, nécroses racinaires) et la croissance des bananiers ont été mesurées mensuellement pendant 5 (essai en milieu contrôlé) et 6 (essai en milieu paysan) mois après un labour (0-20 cm de profondeur). Immédiatement après le labour, le poids frais et la longueur des racines primaires (0-10 cm) des parcelles labourées ont été réduits de 74% (anciennes plantations) et 95% (jeunes plantations) par rapport à ceux des parcelles en non labour. Le labour n'a pas favorisé l'infestation des racines par les nématodes, mais a réduit significativement ($P < 0,05$) la croissance des bananiers des jeunes plantations à partir du quatrième mois après le labour [Muliele et al, 2012]. Du fait que les observations sur les racines et la croissance de bananiers ont été faites au cours d'une période de 5 à 6 mois (durée entre deux labours consécutifs), l'effet du labour sur le rendement du bananier n'a cependant pas été évalué.

Chez le bananier, plusieurs études [Blomme, 2000; McIntyre et al, 2000; Serrano, 2005; Blomme et al, 2008] ont établi l'existence de fortes corrélations entre l'appareil végétatif et le système racinaire telle qu'une quelconque réduction du système racinaire conduirait à la réduction de la performance de l'appareil végétatif (feuilles, pseudo-tronc, poids de régime). Il apparaît donc que le labour avec exportation de résidus de

cultures dans une bananeraie pérenne pourrait avoir un effet négatif sur le rendement du bananier.

En Afrique de l'Est, les zones de culture de la banane sur les hauts plateaux sont situées à des altitudes moyennes ou élevées (de 900 à 2000 m) et présentent des pentes moyennes à fortes, propices à l'érosion [van Asten et al, 2005]. Dans ces conditions, la pratique du labour avec exportation de résidus de cultures dans les associations banane-haricot pourrait engendrer la dégradation de la qualité du sol, en particulier à cause de la désagrégation du sol par le labour [Carter, 2002; Chen et al, 2001], de la diminution de la teneur en matière organique du sol (exportation et minéralisation accélérée, [Franzluebbers, 2002; Gosai et al, 2009] et de la perte en terres par érosion suite à l'absence de couverture du sol par les résidus de culture [Rishirumhirwa, 1997; Araya, 2005; Triplett & Dick, 2008]. Pour remédier concomitamment à la dégradation de la qualité du sol et à la baisse des rendements due à l'élagage mécanique des racines du bananier sur la couche du sol labourée, la culture sans labour avec paillis serait une alternative applicable. La culture non labour avec paillis pourrait nécessiter l'apport de pailles externes (coût lié à la coupe, au transport et l'application de paille) à l'installation de l'essai, mais présente entre autres les effets bénéfiques ci-après : accroissement de la fertilité du sol (teneur en matière organique et éléments minéraux), accroissement du taux d'infiltration, réduction de l'érosion et contrôle de mauvaises herbes [Rishirumhirwa, 1997; McIntyre et al, 2000; Dorel et al, 2010; Chen et al, 2011]. Dans ce système de culture, c'est la stimulation de l'activité biologique plutôt que le travail mécanique qui pourrait assurer l'ameublissement du sol en vue d'un bon développement des cultures annuelles. L'objectif de cette étude consiste donc à évaluer l'impact du non labour avec paillis sur le rendement du bananier de hautes altitudes de l'Afrique de l'Est.

MATERIEL ET METHODES

Site expérimental

Cette étude a été conduite au centre de recherche INERA Mulungu (2,335°S, 28,788°E, 1699m d'altitude) / Sud-Kivu en R.D. Congo. Le sol de Mulungu appartient à la classe de Nitisols de la classification FAO, développé sur cendre volcanique, et caractérisé par une teneur élevée en argile et matière organique, une large réserve minérale et modérément acide. Le climat est de type

Aw3 de la classification de Köppen, climat tropical avec 3 mois de saison sèche [Muliele et al, 2013].

Dispositif expérimental et conduite de l'essai

L'essai expérimental a été installé en mars 2008. Le système local courant ou T0 (labour et exportation des résidus de cultures) a été comparé à trois traitements alternatifs en non labour et paillés de résidus de bananiers uniquement (T1), de résidus de bananiers et d'un paillage supplémentaire de *Hyparrhenia diplandra* (T2) ou de résidus de bananiers avec un paillage de *Tripsacum laxum* (T3). Les pailles ont été appliquées à la dose de 25 tonnes par hectare (t.ha⁻¹) de matière sèche (MS) à la première année et 12.5 t.ha⁻¹ de MS à la deuxième année (12 mois plus tard). A l'installation de l'essai, une dose unique de résidus de bananiers déterminée en fonction de rendement potentiel dans la région de Mulungu (22.0 t.ha⁻¹ de MS) a été appliquée. Tous les traitements étaient soumis à une association bananier-haricot. Le précédent cultural était la culture de patate douce. Le dispositif expérimental était le bloc complet randomisé à quatre traitements et quatre répétitions. Après un parage (nettoyage du rhizome au moyen d'une machette qui consiste à éliminer les lésions sur le rhizome) soigneux puis désinfection à l'eau bouillante (30 secondes) dans le but de détruire les parasites du rhizome, les rejets 'baïonnettes' (rejet à feuilles lancéolées) de la variété locale de bananes à jus ('bière') de hautes altitudes 'Ndundu' ont été plantés aux écartements de 2 m x 2 m (2.500 plants.ha⁻¹) dans des trous de plantation de 50 x 50 x 50 cm, remplis avec le sol des horizons de surface. Le haricot de type nain a été semé dans tous les traitements aux écartements de 40 cm x 20 cm, à raison de deux graines par poquet (environ 250.000 plants.ha⁻¹). Aucun engrais minéral ou fumure organique de fond n'a été appliqué. Les parcelles du traitement témoin (T0) ont été labourées à chaque saison culturale de haricot (septembre et février). Les résidus de récoltes étaient préalablement évacués de la parcelle élémentaire pour faciliter le travail du sol. Dans les autres traitements (T1, T2 et T3), les résidus de récolte et les feuilles de bananier non fonctionnelles (surface du limbe moins de 50% verte) coupées mensuellement étaient laissés en place (auto-paillage). L'œilletonnage a été pratiqué mensuellement pour éliminer les rejets en surnombre, un plant de chaque cycle étant conservé par souche de bananiers. Le sarclage était pratiqué en fonction du développement des adventices. Dans les parcelles labourées et sans

paillage (T0), vu l'importance des mauvaises herbes, le sarclage a été fait à la houe. Les parcelles en non labour et paillées (T1, T2 et T3) étaient généralement désherbées par arrachage. Les feuilles non fonctionnelles étaient élaguées une fois par mois dans tous les traitements. En fonction de la taille du bananier, le tuteurage était appliqué pour lutter contre la verse et aider la plante à supporter le poids du régime. Le bourgeon mâle était éliminé après ouverture complète des fleurs femelles.

Observations

Le poids de régime de bananes a été rassemblé sur quatre cycles consécutifs de récolte. Les traitements n'ayant pas affecté le rendement des bananiers au cours de deux premiers cycles de récolte, l'apport de pailles externes (T2 et T3) a été abandonné à partir de la troisième année de culture. Ainsi, seuls les rendements des traitements T0 et T1 qui n'ont pas été modifiés sur les 4 cycles de récolte seront discutés dans cet article. Le rendement du haricot a été évalué sur six saisons culturales (2009A, 2009B, 2010A, 2010B, 2011A, 2011B), et n'a pas été affecté par les traitements. Nous supposons donc que la culture du haricot sous bananier n'a pas affecté le rendement du bananier. Le poids de régime (kg) a été mesuré au moyen d'une balance de pesage. Pour chaque cycle de récolte, le rendement (t.ha⁻¹) a été calculé sur base du poids de régime moyen (15 plants par répétition) et de la densité de plantation (2.500 plants.ha⁻¹). L'approche d'analyse coût-bénéfice a été utilisée pour évaluer la rentabilité des traitements appliqués. L'analyse de la variance (ANOVA, procédure Model Linéaire Généralisé) a été appliquée au moyen du Logiciel SAS 9.2 Enterprise Guide 4.2 pour déterminer l'effet traitement et cycle de récolte sur le rendement du bananier.

RESULTATS

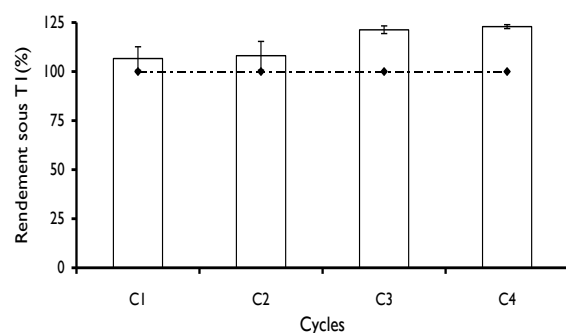


Figure I. Rendement du traitement T1 exprimé en pourcentage du rendement du traitement T0. Valeur = moyenne \pm erreur standard. La ligne horizontale en discontinu indique le niveau de rendement de T0.

La Figure I présente le rendement du traitement T1 exprimé en pourcentage du rendement du traitement T0. Comparé au traitement T0, on observe que le rendement du traitement T1 s'accroît de 6,7 ; 8,1 ; 21,3 et 22,9%, respectivement, au premier, deuxième, troisième et quatrième cycle de récolte.

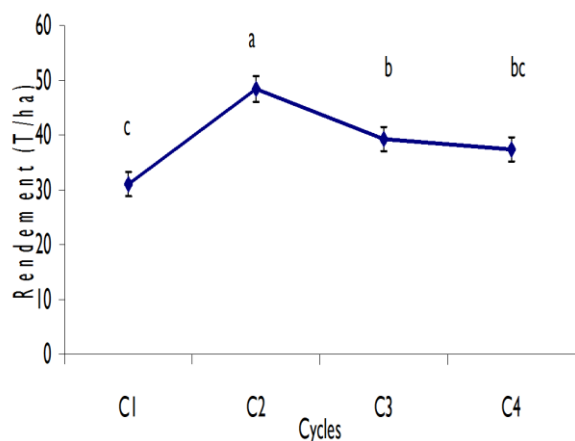


Figure II. Evolution du rendement du bananier suivant les cycles de récolte. Valeur = moyenne \pm erreur standard. Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil 0,05.

Le traitement ($P < 0.05$) et le cycle de culture ($P < 0.001$) ont affecté de manière significative le rendement du bananier. Tous traitements confondus, le rendement le plus élevé a été observé au deuxième cycle de récolte (48 t.ha⁻¹) tandis que le premier cycle a donné le plus faible rendement (32 t.ha⁻¹). Les troisième et quatrième cycles ont donné des rendements intermédiaires, 39 et 37 t.ha⁻¹, respectivement (Figure 2). Il n'y a pas eu de différences significatives de rendement entre le premier et le quatrième cycle d'une part, et entre le troisième et le quatrième cycle d'autre part. L'analyse coût-bénéfice (Tableau I) a révélé un coût de production relativement plus élevé sous T0, notamment en ce qui concerne les pratiques culturales liées au travail du sol (inputs 1 et 2). Le traitement T1 a, par contre, donné un bénéfice supérieur (707 dollars américains, US\$) à celui du traitement T0 (US\$ 271ha⁻¹).

Tableau I. Résumé de l'analyse coût-bénéfice du rendement du bananier obtenu en quatrième cycle de récolte dans une association banane-haricot

Outputs	T0		T1	
	Rendement (t/ha)	Revenu (\$)	Rendement (t/ha)	Revenu (\$)
Prix unitaire (\$ 43/t)	34	1462	41	1763
Inputs	Hj/ha	Coût (\$)	Hj/ha	Coût (\$)
1. Mise en place de l'essai ¹		402		436
2. Préparation semis haricot: sarclage (T1)/labour (T0) (\$ 1,3/Hj) ²	200	260	134	174
3. Semis haricot + sarclage (\$ 1,3/Hj) ²	200	260	134	174
4. Cailletonnage + tuteurage (\$ 1,3/Hj)	70	91	91	91
5. Paillage avec résidus de récolte (T1) (\$ 1,3/Hj)	-	-	70	91
6. Exportation de résidus de récolte (T0) (\$ 1,3/Hj)	68	88	-	-
7. Récolte (bananes)	69	90	69	90
Total		1191		1056
Balance		271		707

HJ : Hommejour. Tous les travaux ont été faits manuellement. ¹ Coût étalé sur 4 cycles de récolte de bananes. ² Pratiques culturales répétées deux fois (deux campagnes de haricot pour un cycle de bananier). Revenu sous-estimé : Les inputs 2 et 3 concernent essentiellement la culture de haricot sous bananier dont le rendement n'a pas été pris en compte dans cette étude. Soumis à la loi de l'offre et de la demande, le revenu présenté dans cette étude peut fluctuer dans le temps.

DISCUSSION

Le faible rendement sous T0 (Figure 1) serait principalement lié à l'effet mécanique du labour qui coupe les racines sur la couche du sol labourée et à l'absence de couverture au sol. Pour d'autres cultures (e.g. les oliviers, *Olea europaea*), ce même résultat a été obtenu par Rodrigues et Cabanas (2009) qui ont rapporté que la plus faible performance des plantes pérennes soumises à l'élagage des racines serait liée au dommage mécanique des racines sur la couche labourée et aux stress hydrique et carence nutritive consécutives à une plus faible capacité d'absorption ainsi qu'une grande consommation d'hydrates de carbone nécessaires pour restaurer le système racinaire endommagé. Les propriétés du sol auraient un effet négligeable sur le rendement du bananier dans la mesure où l'analyse des sols n'a pas révélé de différences significatives entre les deux traitements. De plus, les plus faibles rendements sous traitement T0 sont en accord avec la plus faible croissance des bananiers observée précédemment sur le même essai, et pourraient donc confirmer la forte corrélation entre le système racinaire du bananier et son appareil végétatif/rendement rapportée par plusieurs auteurs [Blomme, 2000 ; McIntyre et al, 2000 ; Serrano, 2005]. Muliele et al (2012) ont rapporté que le renouvellement du système racinaire consécutif au labour requiert plusieurs mois. Ainsi, si le labour coïncide avec la phase de floraison ou de grossissement des bananes, le stress hydrique et les carences nutritives dues à une plus faible capacité d'absorption pour l'eau et les nutriments pourraient affecter négativement le rendement du bananier. Comparé au T0, le rendement augmente de 6,7 % au premier cycle à 22,9 % au quatrième cycle sous T1, et pourrait dépasser 22,9% aux cycles subséquents (voir courbe de tendance à la Figure III). L'écart croissant de différences de rendement entre T0 et T1 en fonction de cycles de récolte (Figure III) peut indiquer un accroissement de contraintes liées au labour et exportation de résidus de cultures en fonction du nombre des épisodes de labour. Sur sol pauvre, les contraintes de fertilité seraient additionnées au dommage mécanique des racines, et la différence de rendements entre les deux traitements pourrait être plus importante que celle observée dans cette étude. Pour le bananier (*Musa* spp.), Blomme [2000] et autres collaborateurs [Blomme et al, 2008] ont rapporté une forte corrélation positive entre la vigueur du pied-mère

et celle de son rejet. L'élagage des racines des pied-mères au cours du labour et l'absence de paillis dans les parcelles de T0 pourraient donc conduire à des rejets moins performants qui, à leurs tour, donneraient des plants moins performants caractérisés par un faible développement de l'appareil végétatif (pseudo-tronc, feuilles, régime).

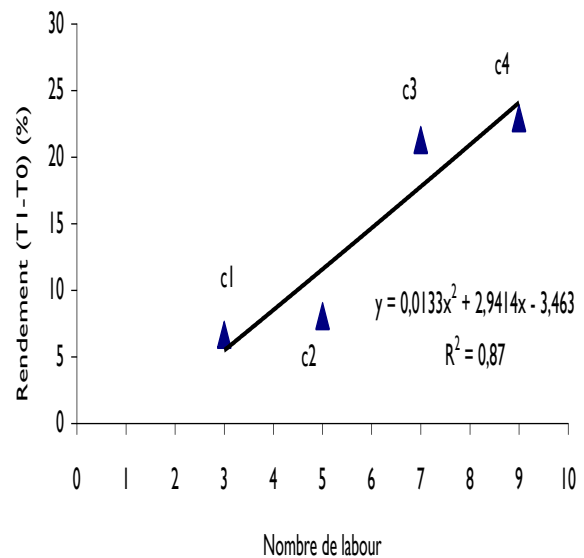


Figure III. Différences de rendement entre T1 et T0 en fonction du nombre des épisodes de labour. c1, c2, c3 et c4 : cycle 1, 2, 3 et 4, respectivement.

Tous traitements confondus, le plus faible rendement a été observé au premier cycle (31 t.ha⁻¹), comparé aux 3 cycles subséquents (37-48 t.ha⁻¹). Cette même tendance de l'évolution du rendement du bananier en fonction de cycles de récolte a été antérieurement rapportée par Esendugue et al (2007) ; Njuguna et al (2008) et Nomura et al (2013) qui ont évalué la performance du bananier pendant 6, 3, et 2 cycles de culture, respectivement. Njuguna et al (2008) ont attribué la bonne performance de second et troisième cycles par rapport au premier cycle au bon établissement des bananiers de deux derniers cycles comparés à ceux du premier cycle. Pour cette étude, la baisse de rendement observée aux troisième et quatrième cycles de récolte serait due, entre autres, à un accroissement des contraintes biotiques (pression de nématodes, champignons et maladies) qui s'observe naturellement avec l'âge de la bananeraie [Delvaux et Guyot, 1989].

L'analyse coût-bénéfice (Tableau I) a révélé que le traitement T1 a permis d'obtenir US\$ 436 ha⁻¹ excédentaire au quatrième cycle de récolte comparé au

traitement T0. Si l'on tient compte du revenu d'activité mensuel moyen en RDC (US\$ 22 ; PNUD-RDC, 2009), une plantation bananière (1 ha) en non labour avec paillis (T1) augmente de ~65% le revenu d'activité mensuel moyen des producteurs de bananes. La production bananière des associations banane-haricot en conditions de non labour avec paillis (T1) est donc plus profitable pour les producteurs de bananes que celle des associations banane-haricot soumises au labour et sans paillis (T0).

CONCLUSION

Cette étude a montré que dans les associations banane-haricot, la pratique du labour avec exportation des résidus de cultures a un impact négatif sur le rendement du bananier de hautes altitudes de l'Afrique de l'Est. Les différences de rendement entre le traitement T0 (labour et exportation des résidus de cultures) et le traitement T1 (non labour avec paillage de résidus de bananier) ont augmenté à travers les cycles de culture, de 6,7% au premier cycle à 22,9% au quatrième cycle de culture. Du point de vue économique, le traitement T1 a permis de réaliser un bénéfice supérieur (US\$ 707ha⁻¹) à celui du traitement T0 (US\$ 271ha⁻¹). Cette étude est une des premières études comparatives détaillées de l'impact des pratiques culturales labour et non labour sur le rendement du bananier des hautes altitudes des associations banane-haricot. Des mesures supplémentaires seraient donc nécessaires pour confirmer nos résultats dans d'autres zones de production bananière de l'Afrique de l'Est.

RESUME

Dans les systèmes de cultures de hautes altitudes de l'Afrique de l'Est, les bananiers (*Musa* spp.) sont traditionnellement cultivés en association avec d'autres cultures, notamment le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.). Au début de la saison culturale de haricot (septembre et février), le sol sous bananier est labouré manuellement au moyen d'une houe ou d'un trident pour préparer le lit de semis. Les agriculteurs considèrent que le labour favorise la performance de haricot, mais peut également endommager le système racinaire superficiel du bananier, et par conséquent affecter négativement son rendement. L'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact du non labour sur le rendement du bananier de hautes altitudes de l'Afrique de l'Est. L'expérience a été conduite au centre de recherche INERA Mulungu (Sud-Kivu en RD Congo). Deux traitements répétés quatre fois ont été comparés : le système local dominant (labour et exportation des résidus de cultures = T0), et le non labour avec paillage de résidus

de bananiers (T1). Tous les deux traitements ont été soumis à l'association banane-haricot. Le poids de régime a été rassemblé sur quatre cycles de récolte. Pour chaque cycle, le rendement (t.ha⁻¹) a été calculé sur base du poids de régime moyen mesuré sur 15 plants par répétition et de la densité de plantation (2.500 plants.ha⁻¹). Les traitement et cycle de culture ont affecté de manière significative (0,001<P<0,05) le rendement du bananier. Pour les quatre cycles de culture, les rendements les plus élevés ont été obtenus pour les plantes de T1 (en moyenne 42 t.ha⁻¹), alors que les plantes de T0 ont donné en moyenne 36 t.ha⁻¹. Comparé au traitement T0, le rendement de traitement T1 a augmenté de 6,7 ; 8,1 ; 21,3 et 22,9%, respectivement, au premier, deuxième, troisième et quatrième cycle de culture. Ceci peut indiquer que les contraintes liées au travail du sol et exportation des résidus de cultures (T0) sur le rendement du bananier tendent à accroître à travers les cycles de cultures. Tous traitements confondus, le rendement maximal a été obtenu en deuxième cycle (48 t.ha⁻¹) suivis du troisième (39 t.ha⁻¹), quatrième (37 t.ha⁻¹) et premier (31 t.ha⁻¹) cycle. L'analyse coût-bénéfice du rendement obtenu en quatrième cycle de récolte a révélé que le traitement T1 est plus rentable (US\$ 707ha⁻¹) que le traitement T0 (US\$ 271ha⁻¹). En conclusion, la pratique du labour avec exportation de résidus de cultures (T0) dans une bananeraie pérenne affecte négativement le rendement du bananier de hautes altitudes de l'Afrique de l'Est. Pour améliorer la performance des bananiers de hautes altitudes et accroître le revenu des agriculteurs, nous recommanderions aux producteurs de bananes d'appliquer les pratiques culturales non labour.

Mots clés : manuel, Non labour, Bananier de hautes altitudes, Rendement, cycle de culture, analyse coût-bénéfice

Remerciements

L'auteur remercie la DGDC Belgique qui, à travers le Consortium for Improving Agriculture-based Livelihoods in Central Africa (CIALCA), a financé une partie de cette étude. Merci à Md Cécile DJAKA qui a financé la collecte des données additionnelles.

REFERENCES ET NOTES

- Araya M. 2005. Stratification and spatial distribution of the banana (*Musa* AAA, Cavendish subgroup, cvs 'Valery' and 'Grande Naine') root system. In: Turner D.W. and Rosales F.E. (eds) Banana root system: towards a better understanding for its productive management. INIBAP, Montpellier, France, Proceedings of an International symposium held in San Jose, Costa Rica, 3-5 November 2003, pp 83-103.
- Blomme G. 2000. The interdependence of root and shoot development in banana (*Musa* spp.) under field conditions and the influence of different biophysical factors on this relationship. PhD Thesis, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belgium, p 183.
- Carter M.R. 2002. Soil quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal* **94**: 38-47.

- Delvaux B.** and Guyot P. (1989). Caractérisation de l'enracinement du bananier au champ. Incidences sur les relations sol-plante dans les bananeraies intensives de la Martinique. *Fruits* **44**: 633-647.
- Dorel M.**, Lakhia S., Petetin C., Bouamer S. and Risede J.M. 2010. No-till banana planting on crop residue mulch: effect on soil quality and crop functioning. *Fruits* **65**: 55-68.
- Esendugue G.F.**, Agho A.C., Ndokpe O.B. and Mullinix B.G. 2007. Field evaluation of Cavendish banana cultivars propagated either by suckers or by tissue culture, over six crop cycles in the tropics. *Fruits* **62**: 205-212.
- Franzluebbers A.J.** 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil and Tillage Research*, **66**: 95-106.
- Lassoudière A.** 1989. Enquête diagnostic sur la culture bananière. Préfecture de Kibungo. IRFA-CIRAD, ISAR, p 154.
- Lassoudière A.** 1978. Quelques aspects de la croissance et du développement du bananier 'Poyo' en Côte d'Ivoire. Le système radical. *Fruits* **33**: 314-338.
- McIntyre B.D.**, Speijer P.R., Riha P.R. and Kizito F. 2000. Effects of mulching on biomass, nutrients and soil water in banana inoculated with nematodes. *Agronomy Journal*, **92**: 1081-1085.
- Muliele T.**, Biielders C. and van Asten P. 2012. Short-term effect of tillage on the rooting system and growth of East African Highland Banana. Ph.D Student Day, ENVITAM- GEPROC. Espace Senghor, Gembloux 08 February 2012. Proceedings p.67.
- Muliele T.**, Biielders C. and van Asten P. 2013. Impact du contexte pédologique sur l'enracinement du bananier (*Musa* AAA-EA) de hautes altitudes de la Région des Grands Lacs d'Afrique. In Gaidashova SV, Kagabo DM, Ebong E, Biryomumaisho S, Kugonza DR, Walyaro D, Gahakwa D and Mbonigaba Muhinda JJ (eds) 'Confronting the challenges of food insecurity in the era of climate change and variability'. RAB first Biennial Conference on Agricultural Research and Extension. Kigali 21-23 August 2013. Book of Abstracts p.30.
- Njuguna J.**, Nguthi F., Wepukhulu S., Wambugu F., Gitau D., Karuoya M. and Karamura D. 2008. Introduction and evaluation of improved banana cultivars for agronomic and yield characteristics in Kenya. *African Crop Science Journal*, **16**: 35-40.
- Nomura E.S.**, Moraes W.S., Damatto Junior E.R., Fuzitani E.J., Saes L.A., Amorim E.P. and Silva S.O. 2013. Evaluation of banana genotypes over two crop cycles under subtropical conditions in the ribeira valley. International ISHS-ProMusa Symposium on Bananas and Plantains: Towards Sustainable Global Production and Improved Use. I, São paulo, Brazil. Acta Hort. (ISHS) **986**:61-70.
- PNUD** (Programme des Nations Unies pour le Développement) RDC. 2009. Province du Sud-Kivu, profil résumé : Pauvreté et conditions de vie des ménages. PNUD RDC, Unité de lutte contre la pauvreté, mars 2009. 19p.
- Ouma G.** 2009. Intercropping and its applications to banana production in East Africa: a review. *Journal of plant breeding and crop science*, **12**: 13-15.
- Rishirimuhirwa T.** 1997. Rôle du bananier dans le fonctionnement des exploitations agricoles sur les hauts plateaux de l'Afrique centrale. Thèse, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, p 321.
- Rodrigues, MA** and Cabanas I.E. 2009. Manutenção do solo. In: Rodrigues M.A. and Correia C.M. (eds). Manual da Safra econtra safra do olival., IPB, Bragança. P. 41-57.
- van Asten P.J.A.**, Gold C.S., Okech S.H., Gaidashova S.V., Tushemereirwe W.K. and De Waele D. 2005. Problèmes liés à la qualité des sols dans les systèmes de production en Afrique de l'Est et leur lien avec les autres facteurs qui réduisent le rendement. *InfoMusa* **13**: 20-25.