

Amélioration des rendements de la culture du manioc (*Manihot esculenta* Crantz, Euphorbiales, Euphorbiaceae) par les terres de termitières dans la zone de savane de Damara en République Centrafricaine)

C. Ballot^{1,2}, S. Wango³, W. Atakpama², S. Semballa¹, I. Zinga¹, K. Batawila², K. Akpagana²

(Reçu le 18/06/2016; Accepté le 06/07/2016)

Résumé

Les effets des termitières sur la culture de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) ont été évalués afin d'améliorer la fertilité des sols et la productivité du manioc en Centrafrique. L'étude a porté sur l'échantillonnage des terres de termitières et de leurs analyses au laboratoire et la mise en place d'un essai agronomique pendant 12 mois de culture en utilisant les termitières et les engrais minéraux. Les résultats montrent que les termitières sont riches en éléments minéraux. L'apport des terres de termitières et des engrais minéraux, ont augmenté significativement le rendement du manioc avec 40,3 T. ha⁻¹ pour le traitement manioc + termitière + NKP (T₃) et de 18,7 T. ha⁻¹ pour le témoin (T₀). L'utilisation des engrais minéraux combinée avec la terre des termitières (T₃) a généré un bénéfice de 510.000 F CFA et 630.000 F CFA supérieurs au traitement témoin (T₀) qui est de 433.000 F CFA et 490.000 F CFA, respectivement après la vente des tubercules/cuvette et des sacs de cossettes du manioc, par le groupe d'entraide villageois. L'application de terre des termitières serait une méthode envisageable pour réduire les charges de production, d'augmenter le rendement et les revenus des producteurs du manioc en Centrafrique.

Mots clés: Termitière, Fumures minérales, Productivité manioc, Revenu, République Centrafricaine.

Abstract

The effect of termitary soil on the cassava (*Manihot esculenta* Crantz) crop was assessed in order to improve soil fertility and productivity of cassava in Central Africa Republic. The study focused on soil samplings and laboratory analysis of ground termitary, followed by agronomic field experiments through 12 months of cultivation using termite mounds and mineral fertilizers. Results showed that termite mounds are rich in minerals. The contribution of ground termitary and mineral fertilizer significantly increased the yield of cassava with 40.3 T. ha⁻¹ for the treatment cassava + termite + NKP (T₃) and 18.7 T. ha⁻¹ for the control (T₀). The use of mineral fertilizer combined with termitary soil (T₃) generated an income of 510,000 F CFA and 630,000 F CFA higher than the control treatment (T₀) evaluated at 433,000 F CFA and 490,000 F CFA, respectively after the sale of tubers/basin and bags of dried cassava by the villagers self-help group. The use of ground termitary would be a feasible method to reduce production expenses, increase yield and income of cassava producers in Central Africa Republic.

Keywords: Termite mounds, Mineral fertilizer, Cassava yield, Income, Central Africa Republic.

INTRODUCTION

Le manioc (*Manihot esculenta* Crantz) est une culture semi-pérenne, une plante à racines tubéreuses amyliacées appartenant à la famille des Euphorbiacées. Selon la division statistique de la FAO, le manioc nourrit près de 700 millions de personnes dans le monde et occupe d'ores et déjà le 5^{ème} rang mondial après le blé, le riz, le maïs et la pomme de terre. En Afrique, sa production est estimée à 134 millions de tonnes en 2010, ce qui fait de cette culture la première ressource alimentaire du continent (La France et al., 2012; Von Grebmer et al., 2013).

En République Centrafricaine (RCA), le manioc est l'aliment de base des centrafricains et aussi une importante source de revenus. Cependant, la production nationale du manioc est estimée à 2,6 millions tonnes de tubercules

frais (10,8 T ha⁻¹) à 646 000 tonnes de cossettes/an; mais toujours insuffisante pour satisfaire à la demande de la population centrafricaine (Zoundi, 2012; Zinga et al., 2013). La culture du manioc se trouve confrontée à des séries de contraintes dont les effets n'ont pas permis un développement harmonieux et durable de l'agriculture centrafricaine. Il s'agit (i) des conflits armés qui ont fragilisé les institutions publiques et avec comme conséquence directe la destruction des infrastructures socio-économiques de bases; (ii) les techniques d'exploitation agricole dominés par une agriculture extensive et itinérante sur brûlis; (iii) la fragilisation rapide de la structure des sols par l'utilisation abusive des feux de brousse (iv) les maladies (virose, bactérioses, etc....) et les ravageurs (cochenilles, etc....) du manioc comme facteurs biotiques majeurs qui limitent la production du manioc; (v) la baisse de la fertilité des sols

¹ Laboratoire des Sciences Biologiques et Agronomiques pour le Développement (LaSBAD), Faculté des Sciences, Université de Bangui. Email: ballotchristian@ymail.com

² Laboratoire de Botanique Écologie Végétale (LBEV), Faculté Des Sciences, Université de Lomé, BP: 1515, Lomé-Togo.

³ Laboratoire de Biologie Animale Appliquée et de Biodiversité (LABAAB), Faculté des Sciences, Université de Bangui.

et de la production agricole; et enfin (vi) l'impossibilité d'utiliser des engrais minéraux à cause de leur coût élevé et l'absence de leur marché stable (Muengula-Manyi et al., 2012; Zinga et al., 2012).

L'une des solutions pour améliorer la fertilité des sols pourrait résider dans l'utilisation des termitières comme fertilisants locaux et accessibles à tout le monde (Boga et al., 2000). Longtemps considérés comme ravageurs des cultures et des productions végétales pour leurs activités destructrices, certains termites présenteraient au regard des récents travaux sur l'utilisation des matériaux termites comme amendement naturel un intérêt environnemental et agronomique pour les pays en voie de développement (Boyer, 1969; Boyer, 1975; Boulvert, 1995; Boga et al., 2000; Mokossesse et al., 2009). Cependant, on dispose de peu d'information concernant leurs effets sur le rendement des cultures (Boga et al., 2000).

C'est dans ce contexte que cette étude se propose de l'application des terres de termitières comme amendement organique naturel combinée avec les engrais minéraux pour augmenter la production du manioc dans la zone de savane de Damara en Centrafrique. Les objectifs spécifiques assignés à cette étude consistent à (i) caractériser les éléments physico-chimiques des sols et des terres de termitières afin de déterminer les carences en éléments minéraux; (ii) déterminer l'effet des terres de termitières et des engrais minéraux sur le rendement du manioc; et (iii) d'évaluer les revenus économiques du rendement obtenu en fonction des traitements utilisés au cours de cette étude.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Milieu d'étude

L'étude s'est déroulée sur un site expérimental du Laboratoire des Sciences Biologiques et Agronomiques pour le Développement (LaSBAD), au village Ndara 1, appartenant à la Sous-préfecture de Damara, situé à 80 km au nord de Bangui (RCA), à une latitude 04°59'622 nord et une longitude 18°40'442 est (Figure 1). C'est un site de champs-écoles paysans, réservé aux essais agronomiques pour le renforcement des capacités des producteurs de manioc.

Le climat est de type Soudano-oubanguien caractérisé par l'alternance de deux saisons: une saison pluvieuse qui s'étend d'avril à septembre et une saison sèche de novembre à janvier, intercalées par une période d'intersaison de février à mars. La pluviométrie annuelle varie de 1200 mm à 1600 mm.

La température moyenne mensuelle varie entre 23 et 27°C. La végétation est dominée par *Chromoleana odorata* (L.) R.M.King, *Panicum maximum* Jacq., *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth., *Mimosa pudica* L., *Daniella oliveri* (Rolfe) Hutch et Dalziel (L.), *Andropogon gayanus* Kunth et *Piliostigma thonningii* Schumack (Koko, 2008). Les sols sont de type ferrallitique moyennement désaturé,

moins profond avec une bonne porosité et une activité biologique intense. D'une façon générale, ils présentent une structure massive et une texture argilo-limono-sableuse.

L'activité principale des habitants de la zone est l'agriculture dont les cultures dominantes sont le manioc (*M. esculenta* Crantz), le riz (*Oryza sativa* L.) et la banane (*Musa sapientum* L.). À côté de cette activité agricole se pratiquent la pêche et la chasse (Tambashe et al., 2008).

Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est issu d'un cultivar de manioc "Gabon". Ce cultivar a été choisi par rapport aux résultats des travaux antérieurs réalisés par l'équipe des chercheurs du Laboratoire des Sciences Biologiques et Agronomiques pour le Développement (LaSBAD) de la Faculté des Sciences à l'Université de Bangui (Centrafrique). Il a été identifié comme cultivar résistant à la mosaïque africaine de manioc (CMD), performant du point de vue rendement, très apprécié par les producteurs du manioc et disponible dans le site pilote d'étude (Zinga et al., 2012). Des boutures de manioc ont été constituées par 576 micro-boutures de manioc d'écotype Gabon âgées de 9 à 15 mois.

Matériel fertilisation minérale

Les engrais minéraux utilisés sont constitués de i) l'urée ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) contenant 46 % de N, comme source d'azote; ii) du sulfate de potassium (K_2SO_4) contenant 50 % de K, comme source de potassium et iii) du triple super phosphate TSP ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) contenant 46 % de P, comme source de phosphore. Les doses appliquées pour ces trois types de fertilisant ont été de 0, 40, 80 et 120 kg.ha⁻¹.

Matériel d'amendement organique

Les termitières qui ont été utilisées comme amendement sont celles de *Cubitermes sankurrensis* Wasman et *Cubitermes ugandensis* Fuller. Elles désignent les formations des complexes «nids ou termitières» construites au-dessus du sol par les termites pour leur servir de lieu d'habitation sous forme de gros champignon (Grassé, 1984). Dans les écosystèmes tropicaux, les termites jouent un rôle de premier plan tant par leur activité de consommateurs primaires que par leurs actions sur la morphologie, la physique et la chimie des sols (Wood et al., 1983). Leur action sur le sol est connue par les remontées de matériaux de construction des profondeurs à la surface du sol et par la récolte de nourriture qu'effectuent les ouvriers (Grasse et Noiro, 1957; Boyer, 1975). L'incorporation de fèces et l'enrichissement des termitières en cations, argile et en matières organiques confèrent à la termitière une plus grande stabilité par rapport au sol témoin. Cet enrichissement en constituants matériaux et organiques des termitières joue un rôle important dans la conservation des sols et dans sa fertilité. Ils se rencontrent en majorité dans les régions tropicales et subtropicales (Afrique, Amérique du Sud, Indo-Malaisie) (Grasse et Noiro, 1957).



Figure 2: Termitière de *Cubitermes* spp. Wasman

Méthodologie

Collecte des données

L'étude est centrée sur les échantillonnages de sol et des terres de termitières, et de leurs analyses physico-chimiques au laboratoire de sols et d'un suivi agronomique de la parcelle expérimentale installée dans la zone d'étude pendant douze mois. Et enfin, l'évaluation des revenus économiques du rendement obtenu a été réalisée en fonction des traitements utilisés.

Échantillonnage et analyses physico-chimiques des sols et des termitières

Des échantillons de sol ont été prélevés avant l'apport de fertilisant au moyen d'une tarière manuelle dans les vingt premiers centimètres supérieurs assimilables à l'horizon organique (0 à 20 cm). Des échantillons ont été prélevés par randomisation respectivement au centre et aux quatre coins du champ de 0,50 ha et ont été mélangés pour constituer un échantillon composite de 1 kg par point de prélèvement (Buol et al., 2011). Ces échantillons composites ont été séchés à la température ambiante de laboratoire (25° à 30°C) et tamisés avec un tamis de 2 mm.

Les échantillons de terre fine ont été conditionnés dans des sachets plastiques et transmis au laboratoire d'analyse des eaux, sols et végétaux du CIRAD de Montpellier (France), pour des analyses physico-chimiques. Par contre, les échantillons de terres des termitières ont été collectionnés dans la zone de savane de Damara, au village Ndara 1 près de la parcelle expérimentale dans un rayon de 100-200 m et ramenée auprès de la parcelle expérimentale et réduite (broyer) en poudre à l'aide d'une massue. Dix (10) échantillons sont conditionnés pour des analyses au laboratoire des sols et des végétaux de l'École Supérieure d'Agronomie (ESA) de l'Université de Lomé Togo.

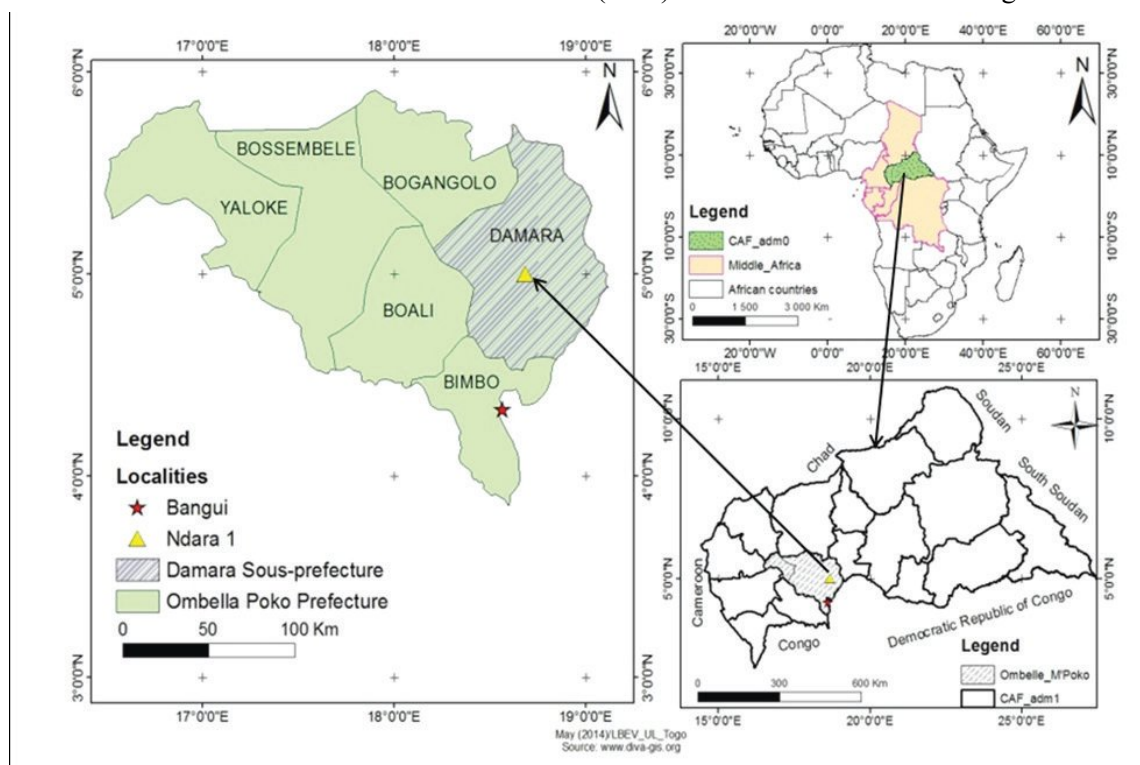


Figure 1: Zone d'étude

Les paramètres suivants sont analysés: le pH, le carbone organique total, l'azote total, les bases échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} et Na^{+}), le phosphore assimilable et la capacité d'échange cationique du sol (CEC) selon les protocoles décrits par Moufti et Mountadar (2004), Buol et al., (2011), Saragoni et al., (1992) et Van Ranst et al., (1999).

Mise en culture de la parcelle expérimentale

Des micro-boutures de 25 à 30 cm de la variété de manioc «Gabon» comportant 5 à 8 nœuds ont été repiquées. Le dispositif expérimental adopté est un bloc complètement randomisé d'une parcelle (50 m x 25 m) subdivisé en 4 blocs et avec 2 facteurs étudiés. Les terres de termitières constituent le premier facteur principal avec trois doses de traitements: 750, 1500, et 3000 g.plant⁻¹ de manioc. Ensuite, les engrais minéraux (urée, sulfate de potassium et triple superphosphate) constituent le second facteur avec trois doses de traitements: le témoin sans engrais 0, une dose d'engrais de 80N, 40P et 120K kg/ha.

Le dispositif expérimental est constitué de 24 parcelles élémentaires (placettes) réparties en 6 traitements (5 traités et 1 témoin non traité) sur les 4 blocs (Tableau 1). Chaque traitement représente une parcelle élémentaire d'une superficie de 24 m² soit 6 m x 4 m. L'espacement entre les pieds de manioc est de 1 m² et 2 m entre les parcelles élémentaires puis 3 m entre les blocs. Un bloc est constitué de 50 m de longueur et de 10 m de largeur et subdivisé en 6 placettes élémentaires. La surface totale cultivable sur les quatre blocs est de 576 m².

La fertilisation d'un champ d'un hectare (1 ha) du manioc nécessite 4 sacs d'urée (N), 2 sacs de triple superphosphate (TSP) et de 5 sacs de sulfate de potassium (K_2SO_4). La quantité des combinaisons d'engrais à fournir au sol, au pied des jeunes plantules de manioc après un mois de plantation et elle est indiquée dans le tableau 2. Les engrais et les terres de termitières sont pesés et conditionnés dans un sac à conditionnement en fonction des traitements.

Mode d'application des fertilisants (engrais minéraux et terre des termitières)

La méthode de la localisation en ligne a été adoptée pour appliquer les engrais en utilisant la méthode de «split-application», au bouturage du manioc. Cette méthode consiste à diviser la quantité d'intrants en plusieurs fois en fonction du cycle végétatif du manioc et des traitements retenus pour l'expérimentation. En ce qui concerne l'application des engrais minéraux, l'urée et le sulfate de potassium ont été appliqués en trois fois et le phosphore en une seule application. Ainsi, 1/3 de la quantité d'urée et de potassium a été appliquée après un mois de la plantation (après reprise de la bouture), 1/3 à 2 mois puis le dernier tiers au 5^{ème} mois de la plantation. Quant au phosphore, c'est sa quantité totale qui a été appliquée lors du premier traitement.

Les termitières sont réduites (concassées) en poudre à l'aide d'une massue pour permettre d'appliquer à chaque pied des plants de manioc selon les traitements. Les doses d'application retenue au cours cette étude selon les traitements sont: 750 g, 1500 g et 3000 g/plant, dont respectivement 250 g,

Tableau 1: Combinaison des doses d'engrais minéraux utilisées

Séries de traitements	Termitières			Engrais minéraux		
	g.plant ⁻¹	g.plant ⁻¹	g.plant ⁻¹	Urée kg/ha	K_2SO_4 kg/ha	TSP kg/ha
Effet témoin (T_0)	0	0	0	0	0	0
Effet de termitières (T_1)	750	0	0	0	0	0
Effet termitières (T_2)	0	1500	0	0	0	0
Effet termitières (T_3)	0	0	3000	0	0	0
Effet NPK (T_4)	0	0	0	80	120	40
Effet NPK + termitières (T_5)	0	0	3000	80	120	40

Effet de N dans l'urée (46%) ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$). Effet de P dans triple super phosphate (TSP) (46%) ou ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$). Effet de K dans le Sulfate potassium (50%) (K_2SO_4). Effet des termitières selon leurs doses d'application en 3 phases: 250, 500 et 1 000 g/plant.

Tableau 2: Quantité de doses d'engrais à appliquer par plant de manioc

Engrais minéraux	Doses utilisées	Quantité (g)/pied pour 3 applications	Quantité(g) pied/ application	Quantité pour 1 ha (kg)	Nombre de sacs 1 ha
Urée (N)	80	17,38	5,79	174	4
TSP (P)	40	8,69	8,69	87	2
K_2SO_4 (K)	120	24,00	8,00	240	5
Total				501	11

Effet de N dans l'urée (46,65%) ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$). Effet de P dans triple super phosphate (TSP) (26,46%) ou ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$). Effet de K dans le Sulfate potassium (44,8%) (K_2SO_4). Effet des termitières selon leurs doses d'application en 3 phases: 250, 500 et 1000g/plant. 1 sac d'urée c: 35 000 Frs CFA, 1 sac de TSP: 35 000 Frs CFA et 1 sac de K_2SO_4 : 45 000 Frs CFA.

500 g et 1000 g/plant par application au 1^{er} mois, 3^{ème} et 5^{ème} mois de la plantation de culture du manioc, au même moment que l'on applique les engrais minéraux (Tableau 1 et 2). La technique d'épandage localisée des engrais a été appliquée à 5 cm des boutures de manioc repiquées. Elle a été faite en traçant un cercle creux de 5 cm autour du pied de manioc. Après 12 mois d'essai, les paramètres suivants ont été mesurés à l'aide d'une balance de terrain: la croissance en hauteur et diamètre par plants de manioc, le rendement en poids frais par plant et le comptage systématique de nombre de tubercules par plant en fonction des traitements (engrais minéraux et termitières).

Évaluation du rendement en tubercule et en cossette du manioc

Au cours de cette étude, la quantité de tubercules frais qu'il faut pour obtenir à la fin une cuvette de cossette de manioc a été évaluée selon deux méthodes de rouissages (traditionnelle et améliorée). Pour ce fait, une enquête a été menée auprès des femmes productrices du manioc de la zone en vue d'avoir une donnée pour permettre la mise en place d'une expérience sur le procédé de transformation des tubercules en cossette de manioc. Le choix a été porté uniquement sur les femmes qui sont les habituées au procédé de transformation des tubercules en cossette et leur vente sur le marché local. Cette enquête a permis de vérifier l'hypothèse selon laquelle une cuvette et demie (1,5) des tubercules donne une cuvette de cossette de manioc. Elle permet non seulement de quantifier le tonnage des tubercules frais en cossette, mais aussi d'évaluer leur revenu économique.

Cette expérimentation a été effectuée auprès de 12 femmes productrices, dont chacune, à 2 cuvettes de tubercules frais selon les deux méthodes de rouissages (traditionnelle et améliorée). La méthode traditionnelle consiste à faire le rouissage avant épluchage des tubercules (avec la peau), mais les tromper dans un lit d'un cours d'eau, rivière ou étang pendant 3 ou 4 jours selon les saisons, suivi d'égouttage et de la fermentation pendant 24 heures. Ensuite, le défilage et l'émiettage avant le séchage au soleil pendant 10 à 24 heures ont permis d'obtenir à la fin des cossettes du manioc. La méthode améliorée consiste à éplucher et laver les pulpes avant de les introduire dans un fût en plastique, contenu de l'eau pendant 3 ou 4 jours. Ensuite, on procède au 2^{ème} lavage des pulpes et au défilage, au pressage et à l'égouttage, au stockage (fermentation) pendant 24 heures, suivi d'émiettage et du séchage au soleil pendant 10 à 24 heures selon la saison pour obtenir des cossettes du manioc.

Évaluation économique des producteurs du manioc à travers la mise en place d'un champ avec ou sans le groupe d'entraide villageois.

Ensuite, les dépenses réalisées pour la mise en place d'un champ d'un hectare de manioc en culture pure (T_0) avec un groupe d'entraide sont estimées à 100 000 Frs CFA. Par contre, elles sont estimées à 175 000 F CFA dans le cas d'une mise en place d'un champ de manioc en utilisant les termitières seules comme amendement organique naturel (T_1 , T_2 et T_3).

Elles sont estimées à 565 000 Frs CFA dans le cas où d'une fertilisation minérale du manioc avec les engrais minéraux (T_3 : manioc + NPK). Ses dépenses sont estimées à 640 000 Frs CFA dans le cas d'une fertilisation du manioc avec les engrais minéraux et combinés avec les termitières (T_5 : manioc + termitières + NPK). Les termitières sont utilisées comme amendement organique naturel au cours de cette étude (Tableau 3).

Par contre, pour la mise en place d'un champ de manioc en culture pure (T_0), sans fertilisation avec les engrais minéraux, les dépenses sont estimées à 350 000 Frs CFA. Elles sont estimées à 500 000 Frs CFA pour la mise en culture d'un champ de manioc en utilisant les termitières seules comme amendement organique naturel (T_1 , T_2 et T_3). Pour la culture de manioc fertilisée avec les engrais minéraux (Manioc + NPK: T_4), les dépenses sont estimées à 830 000 F CFA. Par contre elles sont estimées à 965 000 F CFA pour le traitement manioc fertilisé avec les engrais minéraux et combiné avec les termitières (T_5 : manioc + termitières + NPK). Les termitières sont utilisées comme amendement organique naturel au cours de cette (Tableau 4).

TRAITEMENTS DES DONNÉES

Les données collectées sur le terrain et les résultats d'analyse ont été saisies et codifiées à l'aide du tableur Microsoft Excel 2010[®]. Cet ensemble a été soumis à des analyses statistiques en utilisant le logiciel R version 3.1.2 (2014-10-31) et le tableur Excel[®]. Le test de Dunnett a été utilisé pour analyser les effets individuels de signification des différences entre le traitement témoin manioc en culture pure et les autres traitements expérimentaux. Les paramètres sur le rendement en tubercule frais et sur la croissance des plants de manioc, ont été testés et selon les traitements utilisés au cours de l'étude.

RÉSULTATS

Caractéristiques physico-chimiques des sols et des termitières

Les résultats montrent que le sol présente un pH eau et pH KCl respectivement de 5,7 et 4,5 qui sont moyennement acide. Le sol est très pauvre en matières organiques et en azote total. La teneur en carbone organique est moyenne (1,28%). Le rapport C/N se situe dans la norme (11-25). Par contre la teneur en phosphore assimilable (2,92%), en potassium total (0,22%) et la capacité d'échange cationique (3,4) sont très inférieures aux normes de référence d'interprétation d'analyse du sol (Tableau 5). Les terres issues des termitières présentent un pH eau et pH KCl respectivement de 6 et 5,2 légèrement supérieur à ceux des sols témoins. Ces pH sont moyennement acides et favorables à la culture de manioc.

Les termitières présentent une teneur nettement plus élevée en matière organique (6,02%), en carbone organique total (3,5%) et en azote total (0,14%) supérieur que le sol témoin. Le rapport C/N (25,17) le phosphore assimilable (7,3 mg/g), le potassium total (182,85 mg/kg) et tous les éléments de bases échangeables Ca (9,39 méq/100g), Mg

(3,12 cmol⁺.kg⁻¹), K échangeable (2,98 cmol⁺.kg⁻¹) et Na échangeable (1,84 cmol⁺.kg⁻¹) nettement supérieur (élevés) par rapport au sol témoin et aux normes de référence. Enfin, la somme des bases échangeables (S) (17,34 cmol⁺.kg⁻¹) et la capacité d'échange cationique (CEC) (16,13 cmol⁺.kg⁻¹) sont toutes moyennes. Par contre, le taux de saturation (V %) des échantillons de terre de termitière est très élevé (95,72 %) par rapport normes de référence d'interprétation d'analyse du sol (Tableau 5).

Effet des terres de termitières et des fumures minérales sur le rendement en poids et en nombre des tubercules frais de manioc

L'apport des engrais minéraux (NPK) et des terres de termitières ont entraîné une augmentation significative du rendement du manioc. Le rendement moyen a été de

27,16 T.ha⁻¹ en poids de tubercules frais de manioc dans la zone au cours de cette étude.

Le meilleur un rendement en poids frais de tubercules de manioc a été obtenu par le traitement manioc + termitière + NPK (T₅) avec rendement moyen de 40,27 T.ha⁻¹ et un taux d'accroissement positif de 115,70 (%).

Le traitement manioc + NPK (T₄) viennent en second rang avec un rendement moyen de 36,23 T.ha⁻¹ avec un taux d'accroissement positif de 94,05 (%). Le plus faible rendement obtenu est de 18,67 T.ha⁻¹ et est concédé par le traitement témoin (T₀) avec un taux d'accroissement nul (Figure 2 et Tableau 5).

Les comparaisons analytiques des données avec le test Dunnett ont montré une différence très significative de rendement en poids frais des tubercules de manioc avec un P value < 0.01 au seuil alpha = 0,05 entre le traitement témoin (T₀) manioc + NPK (T₄) et le traitement de manioc + termitière + NPK (T₅).

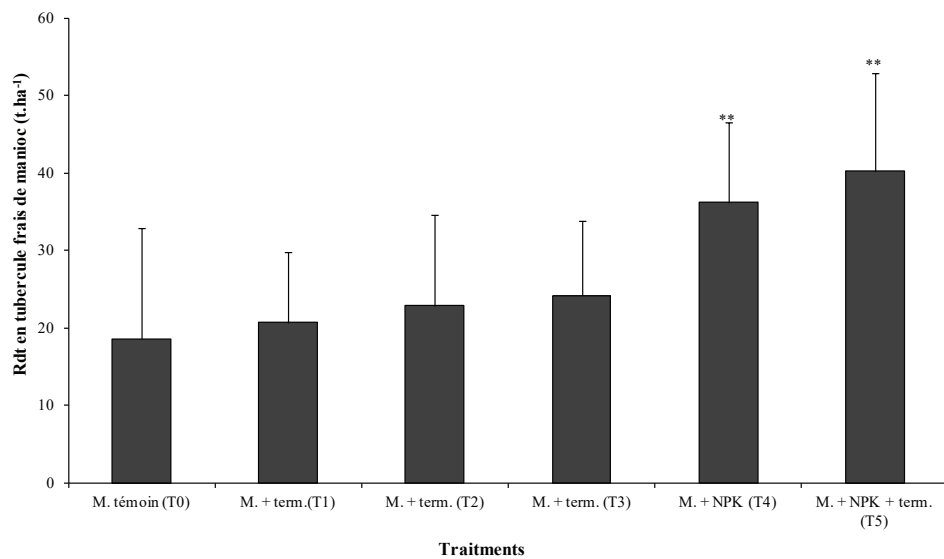


Figure 2: Effet des terres de termitières et des fumures minérales sur le rendement en poids de tubercules frais de manioc.

Dunnett Multiple Comparisons Test. The P value is < 0.0001, considered very significant. Control column: T₀. If the value of q is greater than 2.538 then the P value is less than 0.05.

T₄: Manioc + NPK, q = 6,87; T₅: Manioc + termitière + NPK, q = 8,46. M.: Manioc, term.: Termitière

Tableau 3: Dépenses de la mise en place d'un champ du manioc (1 ha) par le groupe d'entraide villageois

Activités	Désignation	Dépenses (F CFA)
Défrichage et labour (0,25 ha= 7 500 Frs) x 4 = 1 ha	Nourriture, boisson	30 000
Achat de boutures	Ancien champ + achat d'autres boutures	10 000
Bouturage (semis de boutures) de manioc	Nourriture, boisson	7 500
Achats des engrais (Urée et TSP: (35 000 x 2) Frs CFA, K ₂ SO ₄ : 45 000 Frs CFA) et collette des termitières (15 000 Frs CFA x 3)	-	480 000
Application des engrais (NPK) et des termitières (20 000 Frs CFA/application) x 3 applications	Nourriture, boisson	60 000
Sarclage trimestriel (4 fois)	Nourriture, boisson	30 000
Récolte de tubercules de manioc	Nourriture, boisson	7 500
Transports des tubercules du champ au marécage	Nourriture, boisson	7 500
Transformation de tubercules en cossette de manioc	Nourriture, boisson	7 500
TOTAL		640 000

Pour la fertilisation d'un champ de manioc d'une superficie d'un hectare nécessite: 4 sacs d'urée (46 %) (CO(NH₂)₂), 2 sacs de triple super phosphate (TSP) (46 %) et de 5 sacs de sulfate potassium (50 %) (K₂SO₄). 1 sac d'urée: 35 000 Frs CFA, 1 sac de TSP: 35 000 Frs CFA et 1 sac de K₂SO₄: 45 000 Frs CFA.

Par contre il n'y a pas de différence significative ($P > 0.05$) entre les restes de traitements (Figure 2).

La fertilisation organo-minérale avec les engrais et les termitières a eu des effets positifs sur le rendement en nombre de tubercules du manioc. Le traitement Manioc + termitière + NPK (T_5) a obtenu le nombre le plus élevé avec 6,4 tubercules/plant en moyenne et un taux d'accroissement de 64,10 (%), suivi en seconde position du traitement Manioc + NPK (T_4) avec un nombre moyen de 5,3 tubercules/plant et un taux d'accroissement de 33,33 (%). Enfin, le faible rendement en nombre a été observé sur le traitement témoin, manioc en culture pure avec 3,9 tubercules/plant et un taux d'accroissement nul (Figure 3

et Tableau 6). Le test de Dunnett a montré une différence significative avec un P value < 0.01 au seuil $\alpha = 0,05$ sur le rendement en nombre des tubercules comparativement au traitement témoin (T_0) et aux traitements T_3 (Manioc + termitière), T_4 (Manioc + NPK) et T_5 (Manioc + termitière + NPK) (Figure 3).

Effet d'association des légumineuses et des fumures sur la croissance des plants du manioc

La croissance moyenne des plants du cultivar local "Gabon" dans la zone d'étude est acceptable avec une hauteur moyenne de $2,62 \pm 0,27$ m. Le diamètre moyen des plants

Tableau 5: Analyse chimique des sols étudiés (horizon: 0-20 cm)

Échantillons	Sols	Termitière	Norme
pH eau	5,7	6	5,5-7
pH KCl	4,5	5,2	4,5-6
M. organique (%)	1,95	6,02	3,6-5,5
C. organique (%)	1,13	3,5	1,26-2,5
N total (%)	0,08	0,14	0,12-0,22
C/N	14,13	25,17	11-25
P total ($g.kg^{-1}$)	0,22	182,85	-
P ass. ($mg.g^{-1}$)	2,92	7,3	3-8
Ca ($cmol^+.kg^{-1}$)	2,00	9,39	5-8
Mg ($cmol^+.kg^{-1}$)	0,74	3,12	1,5-3
K ($cmol^+.kg^{-1}$)	0,11	2,98	0,15-0,25
Na ($cmol^+.kg^{-1}$)	0,04	1,84	0,3-0,7
S ($cmol^+.kg^{-1}$)	2,90	17,34	7,5-30
CEC ($cmol^+.kg^{-1}$)	3,4	16,13	$10 \leq CEC \leq 25$
V (%)	3,4	95,72	$60 \leq CEC \leq 100$

$n = 5$ échantillons de sols du dispositif expérimental, $n = 10$ échantillons des termitières.

P ass.: Phosphore assimilable, **M. organique :** Matière organique, **C. organique :** Carbone organique, **N total:** Azote total, **C/N:** Rapport entre le carbone et l'azote, **S (Ca, Mg, K, Na):** Somme des bases échangeables, **CEC:** Capacité d'Echange Cationique.

*pH eau de référence pour la culture du manioc (Howeler, 1996; Buol et al., 2011).

*Valeurs normatives de référence (Lal, 1984; Howeler, 1996; 2001; Giroux et Audesse, 2004; Doucet, 2006).

Tableau 4: Dépenses de mise en place d'un champ du manioc (1ha) sans le groupe d'entraide villageois et fertilisé avec des engrais minéraux (NPK)

Activités	Dépenses (Frs CFA)
Défrichage et labour	100 000
Achat de boutures (100 paquets de 20 boutures)	50 000
Bouturage (semis de boutures) de manioc	25 000
Achats des engrais (Urée et TSP: 35 000 Frs CFA, K_2SO_4 : 45 000 Frs CFA) et la collecte des termitières (30 000 Frs CFA x 3)	525 000
Application des engrais (NPK) et des termitières (30 000 Frs CFA/application) x 3 applications	90 000
Sarclage trimestriel (25 000/sarclage) x 4	100 000
Récolte de tubercules de manioc	25 000
Transports des tubercules de manioc du champ au marécage	25 000
Transformation de tubercules en cossette de manioc	25 000
TOTAL	965 000

Pour la fertilisation d'un champ de manioc d'une superficie d'un hectare nécessite: 4 sacs d'urée (46 %) ($CO(NH_2)_2$), 2 sacs de triple super phosphate (TSP) (46 %) et de 5 sacs de sulfate potassium (50 %) (K_2SO_4). 1 sac d'urée: 35 000 Frs CFA, 1 sac de TSP: 35 000 Frs CFA et 1 sac de K_2SO_4 : 45 000 Frs CFA.

est de $3,78 \pm 0,58$ cm. La meilleure croissance en hauteur des plants a été observée sur le traitement manioc + NPK (T_4) avec $2,87 \pm 0,32$ m. Ensuite vient le traitement manioc + termitières + NPK (T_5) avec une croissance moyenne en hauteur des plants de $2,82 \pm 0,34$ m. La faible croissance en hauteur est a été observé sur le traitement manioc en culture pure (T_0) avec $2,25 \pm 0,33$ m. Le test analytique de Dunnett n'a pas montré une différence significative entre les traitements (Figure 4).

Évaluation du rendement de tubercule frais en cossette du manioc

L'étude sur la détermination du poids des tubercules en cossette de manioc a été effectuée sur 24 cuvettes des

tubercules de manioc et répartie selon les deux méthodes de rouissage (traditionnelle et améliorée) auprès de 12 femmes productrices du manioc dans la zone d'étude.

La méthode améliorée a permis d'avoir un poids en cossette légèrement supérieur que celle de la méthode traditionnelle avec un poids moyen de 13 kg/cuvette de cossette, soit 24,5 % du poids total de tubercules frais et une perte en matières sèches de 40 kg, soit 75,5 %. Par contre la méthode traditionnelle a permis d'obtenir un poids moyen de 12 kg/cuvette de cossette, soit 22,6 % du poids total de tubercules frais et une perte des matières sèches de 41 kg, soit 77,4 % (Tableau 7).

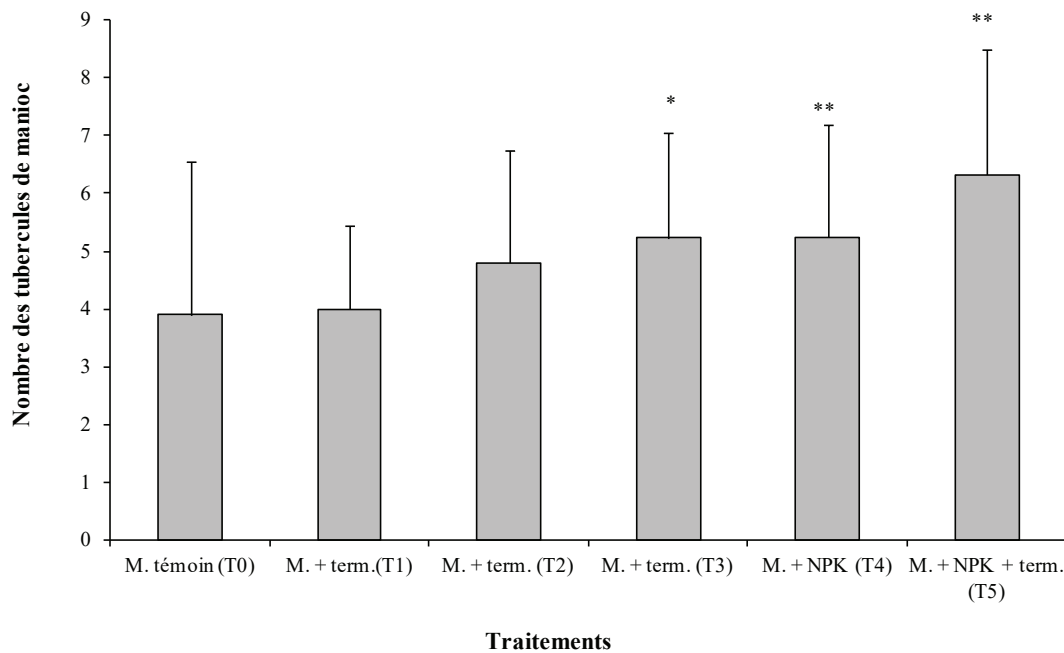


Figure 3: Effet des terres de termitières et des fumures minérales sur le rendement en nombre de tubercules frais de manioc

Dunnett Multiple Comparisons Test. The P value is < 0.0001 , considered extremely significant. Control column: T_0 . If the value of q is greater than 2.538 then the P value is less than 0.05.

T_3 : Manioc + termitière, $q = 2,92$; T_4 : Manioc + NPK, $q = 3,74$. T_5 : Manioc + termitière + NPK, $q = 5,33$. M. : Manioc, term. : Termitière.

Tableau 6: Effet des termitières et des engrais minéraux sur le rendement du manioc et le taux d'accroissement par rapport au témoin (T_0)

Série des traitements	Rdt poids frais des tuber. du manioc ($T.ha^{-1}$)	Diff. Rdt des traitements contre T_0 ($T.ha^{-1}$)	Taux accroi. rdt en tuber. frais manioc (%)	Nombre de tuber. frais du manioc	Taux d'accroiss. de nombre de tubercules du manioc (%)
M. témoin (T_0)	18,7	0	0	3,9	0
M. + term. (T_1)	20,7	2,1	11,1	4	2,6
M. + term. (T_2)	22,9	4,2	22,5	4,8	23,1
M. + term. (T_3)	24,2	5,5	29,5	5,2	33,3
M. + NPK (T_4)	36,2	17,6	94,0	5,2	33,3
M. + NPK + term. (T_5)	40,3	21,6	115,7	6,4	64,1
Moyenne générale	27,2			5,3	

M.: Manioc; term. : Termitière; Rdt: Rendement; tuber. : Tubercule; Diff.: Différence; Accroi: accroissement. Rdt : Rendement.

Effets des traitements du manioc sur le revenu économique des producteurs du manioc en fonction des traitements appliqués

Le traitement manioc + NPK + term.(T₅) a recueilli un nombre plus élevé avec 1150 cuvettes de tubercules frais, 127 sacs de cossettes de manioc et un prix de revient estimé à 1 150 000 F CFA et de 1 127 000 F CFA respectivement après la vente de tubercules et de sacs de cossettes de manioc. Le traitement manioc + NPK (T₄) vient en second place avec un nombre de 1 035 cuvettes de tubercules frais, 114 sacs de cossettes et un prix de revient estimé à 1 035 000 F CFA et de 1 140 000 F CFA respectivement après leur vente. Par contre le traitement témoin (T₀) manioc en culture pure, se classe en dernière place avec un nombre de 533 cuvettes de tubercules frais, de 59 sacs de cossettes manioc et un prix de revient estimé à 533 000 F Cfa et de 590 000 F CFA après la vente de ces différents produits (Tableau 8).

Le traitement manioc + NPK + termitières (T₃) se classe en premier rang avec un gros bénéfice net tiré de 510 000 F CFA après la vente des tubercules frais/cuvette dans un champ mis en place par le groupe d'entraide. Il est de même pour celle de cossette avec un bénéfice net estimé à 630 000 F CFA. Ensuite, le traitement manioc + termitières (T₃) vient

en deuxième position avec un bénéfice estimé à 515 000 F CFA et de 585 000 F CFA respectivement après la vente de tubercules frais/cuvette et de sacs de cossettes du manioc.

Le traitement manioc + NPK (T₄) se classe en troisième rang avec un bénéfice net estimé à 470 000 F CFA et de 575 000 F CFA, respectivement après la vente de tubercules frais/cuvette et de sacs de cossettes du manioc. Enfin, le traitement manioc + termitières (T₁) occupe la dernière place avec un bénéfice net estimé à 418 000 et 475 000 F CFA, après la vente de tubercules frais/cuvette et de sacs de cossettes du manioc ; toujours si l'on procède par la mise en culture par le groupe d'entraide villageois (Tableau 9).

Les résultats présentés dans ce tableau montrent que, le traitement manioc + NPK (T₄) occupe la première place avec un bénéfice net estimé à 205 000 F CFA, après la vente des tubercules frais/cuvette mis en place d'un champ de manioc, sans le groupe d'entraide villageoise et fertilisé avec des engrais minéraux. Par contre, il vient en second rang, en ce qui concerne le bénéfice tiré de 310 000 F CFA après la vente des sacs de cossettes de manioc.

Ensuite, le traitement manioc + termitières (T₃) vient en second rang, avec un bénéfice estimé de 190 000 F CFA après la vente des tubercules frais/cuvette, mais occupe

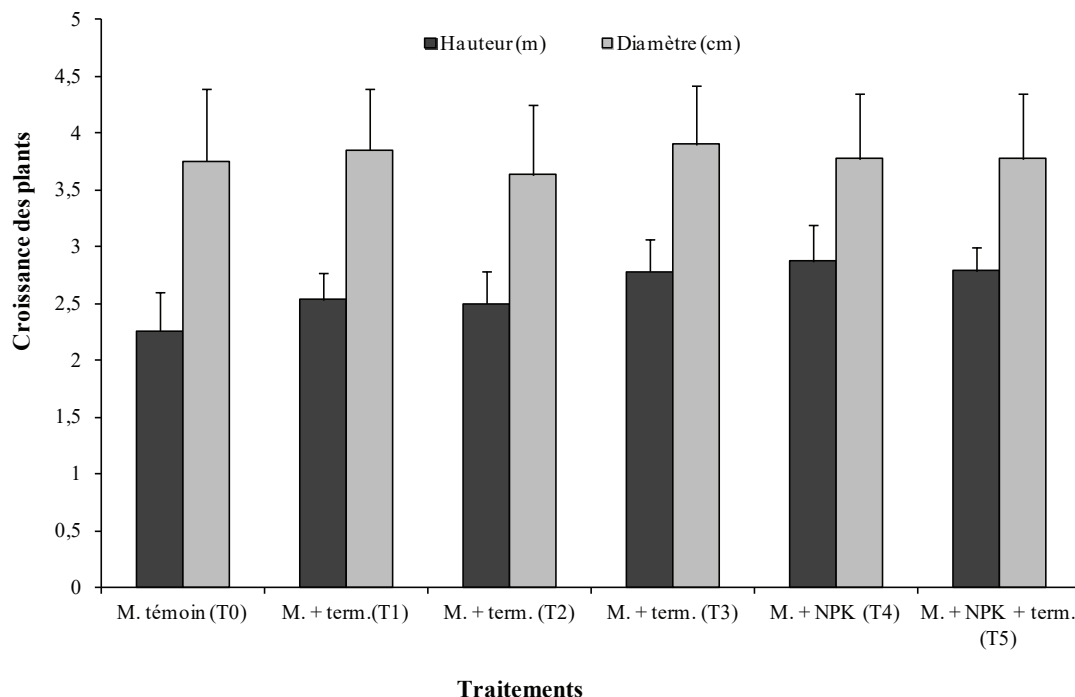


Figure 4: Effet des terres de termitières et des fumures minérales sur la croissance des plants après 12 mois de culture.

Dunnett Multiple Comparisons Test: Hauteur des plants. The P value is 0.7707, considered not significant. If the value of q is greater than 4.076 then the P value is less than 0.05. M. : Manioc, term. : Termitière.

Tableau 7: Évaluation de poids des tubercules en poids de cossette du manioc

Mode de traitement	Poids (kg)	Poids des matières perdues (kg)	Poids de matières finales (kg)
Cuvette	35	12,0	-
Cuvette (1,5)	53	12,5	-
Non épluché	53	53,0	12
Épluché	53	41,0	13

la troisième place en terme de bénéfice net qui est estimé à 260 000 F CFA après la vente des sacs de cossettes du manioc. Le traitement manioc + termitières + NPK (T_5) arrive en troisième place avec un bénéfice net estimé à 185 000 F CFA après la vente de tubercules frais/cuvette et occupe la première place de bénéfice net estimé à 305 000 F CFA après la vente des sacs de manioc.

Enfin, le petit bénéfice a été recueilli par le traitement manioc + termitières (T_1) au cours de cette étude, qui est estimée à 183 000 F CFA et de 240 000 F CFA respectivement après la vente de tubercules frais/cuvette et de sacs de manioc, par rapport aux autres traitements et si l'on procédé sans le groupe d'entraide villageoise et que la culture de manioc a été fertilisée avec les engrais minéraux (NPK) pour la mise en place du champ (Tableau 10).

DISCUSSION

Analyse physico-chimique des sols et termitières étudiés

Les résultats d'analyse de sols ont montré que le pH eau des terres de termitières (6) sont nettement meilleurs et sont moyennement acide que le pH eau du sol témoin (5,7). Ce pH du sol revêt une grande importance capitale en matière d'utilisation des sols, car le pH est à la fois un bon indicateur de l'acidité et de la fertilité du sol (Staff et al., 1993; Carter et Gregorich, 2006).

L'analyse physico-chimique a montré que les terres de termitières (*Cubitermes spp.*) présentent une très bonne teneur azote organique total, en carbone organique total, en matière organique, en phosphore assimilable et un rapport

Tableau 8: Le rendement et le prix de revient en fonction de traitements utilisés

Série des traitements	Rendement en poids frais tubercules de manioc (Kg.ha ⁻¹)	Nombre de cuvettes en tubercules frais	Nombre de cuvettes de cossette du manioc	Nombre de sacs de cossettes	Prix de revient en cuvette des tubercules frais (F CFA)	Prix de revient par sac de cossettes (F CFA)
M. témoin (T_0)	18 670	533	352	59	533 000	590 000
M. + term. (T_1)	20 750	593	391	65	593 000	650 000
M. + term. (T_2)	22 870	653	431	72	653 000	720 000
M. + term. (T_3)	24 170	690	456	76	690 000	760 000
M. + NPK (T_4)	36 230	1 035	683	114	1 035 000	1 140 000
M. + NPK + term. (T_5)	40 270	1 150	760	127	1 150 000	1 270 000

T_0 : manioc en culture pure, T_1 : manioc + term. (750g), T_2 : manioc + term. (1500g), T_3 : manioc + term. (3000g), T_4 : manioc + 80N-40P-120K, T_5 : manioc + term. (3000g) + 80N-40P-120K.

NB: 1 cuvette de tubercules frais du manioc = 35 kg. 1,5 cuvette et demie de tubercules frais de manioc = 53 kg. Nombre de cuvettes de tubercules frais = rendement du manioc (kg) / poids d'une cuvette (35 kg). Nombre de cuvettes de cossette = Rendement en tubercules frais (kg) / Contenance d'une cuvette et demi (53 kg). Nombre de sacs de cossettes = Nombre total de cuvettes de cossette / Nombre de contenances d'un sac de manioc (6). 1 sac de cossettes de manioc (6) = 6 cuvettes de cossette de manioc. Le coût d'un sac varie entre: 8000 à 12 000 F CFA respectivement en période d'abondance (saison sèche) et en période de pénuries du manioc (saison pluvieuse), mais avec un prix moyen de 10 000 F CFA (15,27 euros).

Tableau 9: Bénéfice net tiré d'un champ du manioc mis en place par le groupe d'entraide villageois

Série des traitements	Dépenses d'un champ par entraide villageois (F CFA)	Prix de revient en cuvette des tubercules (F CFA)	Prix de revient en sacs de cossettes du manioc (F CFA)	Bénéfice net par cuvette des tubercules frais (F CFA)	Bénéfice net par sac de cossettes (F CFA)
M. témoin (T_0)	100 000	533 000	590 000	433 000	490 000
M. + term. (T_1)	175 000	593 000	650 000	418 000	475 000
M. + term. (T_2)	175 000	653 000	720 000	478 000	545 000
M. + term. (T_3)	175 000	690 000	760 000	515 000	585 000
M. + NPK (T_4)	260 000	1 035 000	1 140 000	470 000	575 000
M. + NPK + term. (T_5)	335 000	1 150 000	1 270 000	510 000	630 000

T_0 : manioc en culture pure, T_1 : manioc + term. (750g), T_2 : manioc + term. (1500g), T_3 : manioc + term. (3000g), T_4 : manioc + 80N-40P-120K, T_5 : manioc + term. (3000g) + 80N-40P-120K.

C/N de 25,17 très favorable pour une bonne minéralisation de la matière organique. Selon (Hubert et Schaub, 2011), la matière organique joue un rôle physique dans le sol pour la cohésion, la structure, la porosité, la rétention ou le stockage de l'eau, etc... Elle assure aussi un rôle biologique dans la stimulation de l'activité biologique (vers de terre, la biomasse microbienne). Enfin elle joue un rôle chimique dans la nutrition des plantes à travers des actions de dégradation, minéralisation.

Les valeurs de phosphore total de 18,28 mg.kg⁻¹ et de phosphore assimilable de 7,30 mg.kg⁻¹ sont bien pourvues pour assurer une bonne nutrition des cultures. Une très bonne teneur en base échangeable (Ca²⁺: 9,39 cmol⁺.kg⁻¹, Mg²⁺: 3,12 cmol⁺.kg⁻¹, K⁺: 2,98 cmol⁺.kg⁻¹ et Na⁺: 1,84 cmol⁺.kg⁻¹), en somme des basses échangeables (S) de 17,34 cmol⁺.kg⁻¹, une en capacité des échanges cationiques (CEC) de 16,13 cmol⁺.kg⁻¹ et en taux de saturation (V) de 95,72 %, plus élevée que le (CEC) de sol témoin de 3,40 %. Ces résultats montrent que la terre de termitière présente une garniture riche en cations échangeables (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ et Na⁺). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par (Wood et al., 1983; Saragoni et al., 1992; La France et al., 2012) qui ont conclu que, les principaux types des sols sont caractérisés par l'état de leur complexe et la nature des cations fixés.

Les résultats d'analyse de sol témoin ont montré qu'il pauvre en matières organiques, en azote total, somme des cations échangeables (Ca, Mg, K et Na) par rapport à norme de référence d'interprétation d'analyse du sol (Saragoni et al., 1992; Akanza et al., 2002). Par contre, le rapport C/N des échantillons de sol étudiés est moyen (14,2), ce qui ne permet pas une bonne minéralisation (lente) de la matière organique. Le taux de saturation en bases échangeables des échantillons de sols étudiés est de 85%, ce qui démontre que le sol est moyennement pourvu en cations échangeables (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ et Na⁺). Cette valeur se situe dans l'intervalle par rapport au seuil critique qui varie de 60 - 90 %. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par (Giroux et Audesse, 2004).

Effet des terres de termitières et des engrais minéraux sur le rendement du manioc

L'utilisation des terres de termitières et des engrais minéraux au cours de cette étude a permis d'avoir un poids moyen en tubercule frais de 27,16 t/ha. Le rendement en poids frais de tubercules à l'hectare, a varié de 18.67 t.ha⁻¹ pour le témoin manioc en culture pure (T₀), à 40,27 t.ha⁻¹ pour le meilleur traitement obtenu (T₅) (manioc + termitière + NPK) qui un taux d'accroissement de 115,70 (%). Ce meilleur rendement obtenu le traitement (T₅) serait favorisé par à l'action combiné des engrais minéraux (80N-40P-120K) et de terre des termitières (3000g/plant) apporté en trois phases au même moment que les engrais minéraux.

Les termitières seraient donc l'un des principaux facteurs responsables de l'amélioration de la productivité du sol et indirectement du manioc au cours de cette étude. Ce facteur d'amélioration peut être confirmé par une bonne teneur en éléments minéraux que regorgent les terres de termitière (bonne teneur en azote total, matière organique, phosphore assimilable, en basse échangeable: Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Somme de base, CEC et taux de saturation) que le sol témoin. Ces résultats corroborent à ceux menés par Anderson et Wood (Wood et al., 1983). Les travaux menés par Akanza et al., (2002) et d'autres auteurs prônent la thèse selon laquelle pour établir un système de production viable et durable, un apport de 20 t.ha⁻¹ de fumier est à conseiller (Compère et al., 1991).

Ensuite, le traitement manioc + NPK (T₄) a occupé la deuxième place en ce qui concerne le rendement en poids frais de tubercule de manioc et a récolté un rendement moyen de 36,23 t.ha⁻¹ avec un taux d'accroissement de 94,05 (%) grâce à l'application des engrais minéraux (80N-40P-120K). Ces résultats sont en conformité avec les études conduites en Centrafrique par (Ballot et al., 2016) dans la même zone d'étude en et celles par (Lele et al., 2015) en République Démocratique, puis celle menée par (Akanza et al., 2002) en Côte d'Ivoire sur la fertilisation du manioc

Tableau 10: Bénéfice net tiré d'un champ du manioc mis en place sans le groupe d'entraide villageois

Série des traitements	Dépenses d'un champ par entraide villageois (F CFA)	Prix de revient en cuvette des tubercules (F CFA)	Prix de revient en sacs de cossettes du manioc (F CFA)	Bénéfice net par cuvette des tubercules frais (F CFA)	Bénéfice net par sac de cossettes (F CFA)
M. témoin (T₀)	350 000	533 000	590 000	183 000	240 000
M. + term.(T₁)	485 000	593 000	650 000	93 000	150 000
M. + term. (T₂)	485 000	653 000	720 000	153 000	220 000
M. + term. (T₃)	485 000	690 000	760 000	190 000	260 000
M. + NPK(T₄)	540 000	1 035 000	1 140 000	205 000	310 000
M. + NPK + term. (T₅)	660 000	1 150 000	1 270 000	1850 000	305 000

T₀: manioc en culture pure, T₁: manioc + term. (750g), T₂: manioc + term. (1500g), T₃: manioc + term. (3000g), T₄: manioc + 80N-40P-120K, T₅: manioc + term. (3000g) + 80N-40P-120K.

avec les engrais minéraux ont permis de doubler ou de tripler les rendements du manioc de manière significative par rapport au témoin manioc en culture pure. Enfin, le plus faible rendement obtenu est de 18,67 t.ha⁻¹ et est concédé par le traitement témoin (T₀) avec un taux d'accroissement nul. Ces résultats se concordent à ceux de (Zinga et al., 2013), qui ont obtenu sans la fertilisation minérale du sol dans la même zone d'étude et avec cette même variété du manioc, un rendement moyen en poids frais de tubercule de 18,01 t.ha⁻¹. Ils sont aussi de même qu'à ceux obtenus par (Howeler, 2001) au nord du Vietnam, après l'application d'engrais minéraux sur la culture du manioc.

Des résultats similaires ont été obtenus en Côte d'Ivoire sur le manioc et dans d'autres pays, que les rendements les plus élevés correspondaient aux traitements ayant des apports simultanés de N, P et K (Howeler, 1985; Pouzet, 1988; Noble, 2000; Bakayoko et al., 2009; Pypers et al., 2011; Zoundi, 2012).

Au vu des résultats de travaux de cette étude sur l'effet d'utilisation des termitières pour améliorer le rendement du manioc, on pourrait dire que la quantité des terres de termitières à appliquer et d'avoir un bon rendement entre serrait la combinaison de 1500g/plant associé avec la combinaison d'engrais minéraux de 40 kg/ha d'azote (N) + 40 kg/ha phosphore (P) + 80 kg/ha de potassium (K). La méthode d'application retenue est celle de «split-application» et consiste à appliquer au premier de bouturage: 1/3 de N, 1/3 de K et 1/3 de dose des termitières (500g/plant) et toute la quantité de P; au 2^{ème} mois de traitement: 1/3 de N, 1/3 de K et 1/3 de dose des termitières (500 g/plant), ainsi qu'au 5^{ème} mois (Kokram et al., 1996). Cette dose serait convenable et adéquate parce que, l'utilisation de terre de termitière comme amendement sur une grande surface serait très pénible, mais aussi une fertilisation à une forte dose pourrait courir le risque de dépeuplement de termites et mettrait en péril leur habitat ou leur écologie dans la région.

Effets d'utilisation des termitières et engrais minéraux sur les revenus économiques des producteurs du manioc

L'analyse de revenus économique sur le rendement obtenu en fonction des traitements, montre que c'est le système de mis en culture d'un champ de manioc par le groupe d'entraide villageois qui a généré plus de bénéfice que, le système de mise en culture sans le groupe d'entraide. Puisqu'elles n'ont pas produit beaucoup des dépenses par rapport au revenu, grâce au système du groupe d'entraide villageois. Le traitement manioc + termitière + NPK (T₃) qui a obtenu un bénéfice (510 000 F CFA et 630 000 F CFA), nettement supérieur au bénéfice du traitement manioc + NPK (T₄) (470 000 F CFA et de 575 000 F CFA), mais légèrement inférieur au bénéfice du traitement manioc + termitières (T₃) (515 000 F et de 585 000 F CFA). Le plus petit bénéfice revient au traitement manioc + termitières (T₁) qui un bénéfice net (418 000 F CFA et de 475 000 F CFA) respectivement après la vente des tubercules/frais et des sacs de cossettes du manioc,

dans le cas si le champ a été mise en place par le groupe d'entraide villageois au cours de cette étude.

La méthode manioc + termitières + NPK est bénéfique pour les producteurs du manioc en milieu paysan, car il permet d'avoir un revenu un peu économique un peu meilleur par rapport à la culture de manioc en pure. Les résultats obtenus à l'issu de cette étude sont nettement meilleurs à ceux obtenu par (Kafara, 2003) qui a trouvé le prix de revient du manioc en Centrafrique à l'hectare était de 300 000 F CFA. Par contre ce bénéfice est nettement inférieur à ceux obtenus par (Lele et al., 2015) qui ont réalisé un bénéfice brut de 2699,5 USD/ha de la culture de manioc en pure (sans fertilisation avec les engrais minéraux).

Ensuite, ce même auteur a réalisé un bénéfice de 3208,8 USD/ha, après la fertilisation de la culture de manioc avec les engrais minéraux. Ces bénéfices obtenus sont très supérieurs à ceux de nos travaux. Mais cette technique est à vulgarisée auprès de producteurs du manioc, car elle permet non seulement il'on procède par la mise en culture par le groupe d'entraide villageois respectivement après la vente de tubercules frais/cuvette et de sacs de manioc.

Dans le cas de mise en place d'un champ sans le groupe d'entraide villageois, il a été observé que, c'est le système manioc + termitières + NPK engage beaucoup de dépense par rapport au revenu. Le meilleur bénéfice net a été obtenu par traitement manioc + NPK (T₄) (205 000 F CFA et de 310 000 F CFA) légèrement supérieur au bénéfice obtenu par le traitement manioc + termitières + NPK (T₄) (185 000 F CFA et de 305 000 F CFA). Il en est de même que le traitement manioc + termitières (T₂) (190 000 F CFA et de 260 000 F CFA). Le plus petit bénéfice a été obtenu par le traitement manioc + termitières (T₁) (93 000 Frs CFA et de 150 000 F CFA) au cours de cette étude, si l'on procède par la mise en place du champ sans le groupe d'entraide villageois. Cette méthode (mis en place d'un champ sans le groupe d'entraide) n'est pas assez bénéfique pour les producteurs du manioc puis qu'il génère plus de dépense et ne permet pas d'avoir un revenu économique conséquent pour la lutte contre la pauvreté et contre la faim.

Les bénéfices des traitements manioc + termitières + NPK (T₃) et celui du traitement manioc + NPK (T₄) après la vente des sacs de cossettes du manioc se rapproche de ceux obtenus par (Kafara, 2003) qui a obtenu 300 000 F CFA à l'hectare. Par les bénéfices du traitement T₀, T₁, T₂ et T₃ sont inférieurs à ceux obtenus par (Kafara, 2003; Lele et al., 2015) qui ont réalisé un bénéfice brut de 2699,5 USD/ha de la culture de manioc en pure (sans fertilisation avec les engrais minéraux).

Selon (James et al., 2000; Oti et al., 2010), le manioc doit à augmenter les revenus des producteurs et en contribuant à la sécurité alimentaire nationale. Puis que de nos jours, la culture du manioc est considérée comme une culture vivrière de subsistance, mais normalement il devrait être transformé et devenir une culture industrielle de rente pour l'Afrique en générale et la Centrafrique en particulier.

CONCLUSION

Les résultats obtenus à l'issue de cette étude montrent bien que la terre de termitières (*Cubitermes spp.*) constitue l'une des solutions à l'amélioration de la fertilité du sol et l'un des facteurs principaux du rendement de la culture du manioc. Les résultats d'analyse physico-chimique de terre de termitière montrent une très bonne teneur azote total, en carbone organique, en matière organique, en phosphore assimilable et un rapport C/N de 25,2 très favorable pour une bonne minéralisation de la matière organique par rapport au sol témoin. Elle possède un pH optimal de 5,70 et un taux de saturation de 95,72 %, très favorable pour la culture de manioc. La terre de termitière pourrait être utilisée comme un fertilisant organique naturel efficace en complément avec les engrais minéraux pour accroître le rendement du manioc.

L'apport des engrais minéraux combinés avec les terres de termitières a permis d'améliorer significativement le rendement du manioc de 18,7 T.ha⁻¹ pour le témoin non traité (T₀) à 40,3 T.ha⁻¹ pour le meilleur traitement obtenu (T₅). Le traitement (T₅) peut générer un bénéfice net estimé de 510 000 F CFA à 630 000 F CFA respectivement après la vente des tubercules frais/cuvette avec et pour celle de sacs cossette de manioc, dans le cas où le champ a été mis en place par le groupe d'entraide villageois au cours de cette étude.

La comparaison entre le témoin manioc en culture pure et les traitements expérimentaux a permis de constater une augmentation significative en rendement des tubercules frais du manioc traités (NPK et NPK + termitières) contrairement au témoin manioc en monoculture (P < 0,01). Cependant, une fertilisation organo-minérale du manioc à une dose adéquate (80N-40P-120K et de 3000 g/plant) permettrait non seulement d'optimiser les rendements de manioc et d'éradiquer l'extrême pauvreté et la faim (Objectifs 1) des Objectifs du Millénaire pour le Développement.

Cependant, d'autres pratiques de la gestion intégrée de la fertilité des sols restent à étudier par exemple, la fertilisation des engrais minéraux à faible dose (40N-40P-80K) combinés avec une dose optimale (1500 g/plant) des termitières serait envisageable. En plus, c'est une technique simple, qui est à la portée des exploitants agricoles et elle permet de réduire le pouvoir d'achat des paysans producteurs et d'augmenter le rendement du manioc en Centrafrique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Akanza P, N'zue B, Anguete K (2002). Influence de la fumure minérale et de la litière de volaille sur la production du manioc (*manihot esculenta crantz*) en cote d'ivoire. *Agronomie africaine* 14:79-89.
- Bakayoko S, Tschannen A, Nindjin C, Dao D, Girardin O, Assa A (2009). Impact of water stress on fresh tuber yield and dry matter content of cassava (*manihot esculenta crantz*) in cte divoire. *African Journal of Agricultural Research* 4:021-027.
- Ballot C.S.A, Semballa S, Atakpama W, Yangakola T.M, Bo-Mbi A.D, Blavet D, Zinga I, Wala K, Batawila K, Akpagana K (2016). Effet de fumures minérales sur le rendement et la qualité organoleptique du manioc (*manihot esculenta crantz*) dans la zone de savane au centre-sud de Centrafrique. *European Scientific Journal, ESJ* 12 (6).
- Boga J, Kouassi P, Yapi A, Tahiri A, Tano Y (2000). Influence de matériaux termitiques sur quelques paramètres agronomiques de deux cultures vivrières en milieu de savane de côte d'Ivoire: Effects of termites mound material on the growth of food crops in the savannaa areas of lamto and booro-borotou. *Agronomie Africaine* 12:1-10.
- Boulvert Y (1995). Répartition en centrafrrique et exigences écologiques des trois principales espèces de termites érigeant des édifices dits termitières géantes, cathédrales ou champignons: Historique des données bibliographiques, observations personnelles. *Cahiers Géologiques* 125:1501-1509.
- Boyer P (1969). Les effets de l'implantation des termitières des bellicositermes sur la configuration des sols des savanes de la république centrafricaine. *Bull Mus Nat Hist Nat* 41 (2è sér), 789-800.
- Boyer, P (1975). Étude particulière de trois termitières de bellicositermes et de leur action sur les sols tropicaux. *Annales des sciences naturelles. Zoologie et biologie animale*, 273-446.
- Buol S.W, Southard R.J, Graham R.C, Mcdaniel P.A (2011). *Soil genesis and classification John Wiley & Sons* 13: 560-560.
- Carter M.R, Gregorich E.G (2006). Soils sampling and methods of analysis. *Canadian Society of Soil Science* 13:198.
- Compère R, Buldgen A, Steyaert P, Hellemans P (1991). Maintien et restauration de la fertilité des sols en région sahélo-soudanienne sénégalaise par une association rationnelle des activités d'élevage et d'agriculture. *Bull. Rech. Agron. Gembloux* 26:153-167.
- Doucet R (2006). Le climat et les sols agricoles. *ed. Berger, Eastman, Québec*, xv, 443.
- Giroux M, Audesse P (2004). Comparaison de deux méthodes de détermination des teneurs en carbone organique, en azote total et du rapport c/n de divers amendements organiques et engrais de ferme. *Agrosol* 15:107-110.
- Grasse P, Noirot C (1957). La genese et levolution des termitieres geantes en afrique equatoriale française. *Comptes rendus hebdomadaires des seances de l'academie des sciences* 244:974-979.
- Howeler R (1985). Potassium nutrition of cassava. *Potassium in agriculture*, 819-841.
- Howeler R.H (1996). Diagnosis of nutritional disorders and soil fertility maintenance of cassava. *Tropical Tuber Crops: Problems, Prospects and Future Strategies. Oxford and IBH Publishing Co., New Delhi, India*, 181-193.
- Howeler R.H (2001). Nutrient inputs and losses in cassava-based cropping systems. Examples from vietnam and thailand. *Southeast Asia* 20:22.
- Hubert G, Schaub C (2011). La fertilisants des sols. L'importance de la matières organique. *Chambre d'agriculture, bas-rhin. Service Environnement-Innovation*, 46.

- James B, Yaninek J, Tumanteh A, Maroya N, Dixon A, Salawu R, Kwarteng J (2000). Comment démarrer un champ de manioc. *Modern Design Ltd, Lagos, Nigeria*, 22.
- Kafara J.M (2003). Pratiques paysannes d'association de cultures dans les systèmes cotonniers des savanes centrafricaines. *Savanes africaines: des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque, Garoua, Cameroun*, 22.
- Koko M (2008). *Végétation et sols. In: Atlas de la république centrafricaine. Editions enfance et paix, kinshasa (rdc)*. pp. 170.
- Kokram C, Donsay M, Yampan N, Sriyagcote Y (1996). Study on sowing date of cowpea intercropped with cassava. 25.
- La France D, Leblanc M, Gilbert P.A, Moreau G, Lefebvre M, Weill A, Duval J, Painchaud J, Houle Y (2012). Mise au point et validation d'un système de travail minimum du sol avec planches permanentes en culture maraichère biologique. *Editor ededs Book*, 17.
- Lal R (1984). Agricultural compendium for rural development in the tropics and subtropics. *Soil Science* 137:63-64.
- Lele B, Kachaka S, Lejoly J (2015). Effet de la fertilisation minérale, de l'étéage du manioc et des légumineuses à graines sur le rendement du manioc en culture associée et sur les propriétés d'un arénoferralsols à kinshasa/rdc. *Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo* 4:46-57.
- Mokossesse J, Lepage M, Josens G (2009). Croissance en pots de quatre espèces végétales sur des substrats enrichis avec la terre de termitières de cubitermes. *Tropicicultura* 27:168-175.
- Moufti A, Mountadar M (2004). Lessivage des fluorures et des métaux à partir d'une cendre à charbon. *Water Quality Research Journal of Canada* 39:113-118.
- Muengula-Manyi M, Nkongolo K, Bragard C, Tshilenge-Djim P, Winter S, Kalonji-Mbuyi A (2012). Effect of npk fertilization on cassava mosaic disease (cmd) expression in a sub-saharan african region. *American Journal of Experimental Agriculture* 2:336.
- Noble B.F (2000). Strategic environmental assessment: What is it? & what makes it strategic? *Journal of Environmental Assessment Policy and Management* 2:203-224.
- Oti E, Olapeju O, Dohou S, Moutairou E, Detouc N, Komlaga G.A, Loueke G.M (2010). Training manual (draft) processing of cassava into gari and high quality cassava flour in west africa. *USAID/CORAF/SON-GHAI*, 31.
- Pouzet D (1988). Improvements in the mechanized cultivation of cassava in the ivory coast. *Amelioration de la culture mecanisee du manioc en Cote-d'Ivoire*, 20.
- Pypers P, Sanginga J.M, Kasereka B, Walangululu M, Vanlauwe B (2011). Increased productivity through integrated soil fertility management in cassava-legume intercropping systems in the highlands of sud-kivu, dr congo. *Field Crops Research* 120:76-85.
- Saragoni H, Poss R, Marquette J, Latrille E (1992). Fertilisation et succession des cultures vivrières au sud du togo: Synthèse d'une expérimentation de longue durée sur terres de barre. *L'Agronomie tropicale* 46 :107-120.
- Staff, Usda, Ssds, 1993. Associated map scales with different kinds of soil cartographic units and the us soil survey manuel (usda, ssda). 48.
- Tambashe, B.O., Ankogui-Mpoko, G.-F., Goulat, R., Macoumba, T., Nguimalet, C.-R., 2008. Atlas de la république centrafricaine. In: Paix, E.E. ed., Kinshasa (R.D. Congo), pp. 170.
- Van Ranst, E., Verloo, M., Demeyer, A., Pauwels, J., 1999. Manual for the soil chemistry and fertility laboratory: Analytical methods for soils and plants equipment, and management of consumables. 243.
- Von Grebmer, K., Headey, D., Bene, C., Haddad, L., Olofinbiyi, T., Wiesmann, D., Fritschel, H., Yin, S., Yohannes, Y., Foley, C., 2013. Indice de la faim dans le monde 2013: Le defi de la faim: Construire la resilience pour une sécurité alimentaire et nutritionnelle durable. 66.
- Wood, T., Johnson, R., Anderson, J., 1983. Modification of soils in nigerian savanna by soil-feeding cubitermes (isoptera, termitidae). *Soil Biology and Biochemistry* 15:575-579.
- Zinga I, Chiroleu F, Legg J, Lefevre P, Komba E.K, Semballa S, Yandia S.P, Mandakombo N.B, Reynaud B, Lett J.M (2013). Epidemiological assessment of cassava mosaic disease in central african republic reveals the importance of mixed viral infection and poor health of plant cuttings. *Crop Protection* 44:6-12.
- Zinga I, Harimalala M, De Bruyn A, Hoareau M, Mandakombo N, Reynaud B, Lefevre P, Lett J (2012). East african cassava mosaic virus-uganda (eacmv-ug) and african cassava mosaic virus (acmv) reported for the first time in central african republic and chad. *New Dis. Rep., unpublished*.
- Zoundi S.J (2012). Agriculture vivrière: Les africains confrontés à des choix controversés de modèles agricoles. *Cahiers Agricultures* 21:366-373.