

**CARACTÉRISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES SOLS EN VUE DE
L'AMÉLIORATION DE LA PRODUCTIVITÉ DU MANIOC (*Manihot esculenta* Crantz)
DANS LA RÉGION DE DAMARA AU CENTRE-SUD DE CENTRAFRIQUE**

**CHARACTERIZATION PHYSICO-CHEMICAL SOILS TO IMPROVE PRODUCTIVITY
OF CASSAVA (*Manihot esculenta* Crantz) IN THE REGION OF DAMARA IN
SOUTH-CENTRAL OF CENTRAL AFRICAN REPUBLIC**

**C. S. A. BALLOT^{1,2}, G. MAWUSSI², W. ATAKPAMA², M. MOITA-NASSY^{1,2}, T. M. YANGAKOLA¹,
I. ZINGA¹, SILLA S.¹, KPÉRKOUMA W.², G. DERCON³, KOMLAN B.² et KOFFI A.²**

¹ Laboratoire des Sciences Biologiques et Agronomiques pour le Développement, Faculté des Sciences, Université de Bangui, République Centrafricaine, BP : 1450

² Laboratoire Botanique Écologie Végétale, Faculté Des Sciences, Université de Lomé, Togo, BP : 1515

³ Laboratoire de Sol et Gestion de l'eau et Sous-programme de Nutrition de Culture, division de FAO/AIEA, Commune Techniques Nucléaires en Nourriture et Agriculture, Vienne - Autriche

Auteur correspondant : Christian Simplice Armand BALLOT
Tel: (+236)75 10 85 19/ 72 65 27 29 / Email : ballotchristian@gmail.com

RÉSUMÉ

La présente étude vise à améliorer la productivité du manioc (*Manihot esculenta*), aliment de base des centrafricains. Plus spécifiquement, il s'agit de (i) caractériser les propriétés physico-chimiques du sol et (ii) déterminer les indicateurs de fertilité des sols étudiés. La collecte des données a consisté à prélever le sol de la couche 0-20 cm, sur les champs de manioc du site expérimental de LaSBAD. Les sols ont été prélevés suivant un dispositif de randomisation, en vue de constituer un échantillon composite de 1 kg par champs. Ils sont séchés, tamisés et analysés au laboratoire de sol du CIRAD-Montpellier-France. Les résultats analytiques de sol ont été comparés à des valeurs de références. Les sols étudiés présentent une texture loameuse et un pH optimal de 5,5, favorable à la culture du manioc, et sont très pourvus en matière organique. Le bilan des éléments nutritifs révèle des carences en calcium et en échangeable. L'analyse en composantes principales a montré une corrélation entre les indicateurs de la fertilité des sols. L'utilisation des légumineuses et la fertilisation organo-minérale à une dose adéquate sont des solutions envisageables pour améliorer la productivité du manioc en Centrafrique.

Mots clés : indicateur de fertilité, productivité, manioc, propriété physico-chimique, Centrafrique.

ABSTRACT

*The present study is a contribution to the improvement of cassava (*Manihot esculenta*) tubers' productivity in the Republic of Central Africa. Especially it aims to characterize the physicochemical properties of soil and (ii) assess fertility indicators of soil. Data collection was consisted to sample the soil from horizon 0-20 cm in cassava fields of producers and the agricultural site of the LaSBAD. Soils were sampled randomly to form a composite sample of 1 kg per field. Soil samples were dried, sieved, and analysed within the laboratory of soil of CIRAD in Montpellier-France. The analytical results of soils were compared to reference values. The studied soils are in their surface organic loamy texture and optimal of 5.5 pH suitable for the cultivation of cassava. They are well supplied with organic matter. The nutrient balance showed that the most significant deficiencies include calcium and magnesium exchangeable. The principal component analysis showed a best correlation relationship between indicators of soil fertility. The use of legumes, and fertilization organic-mineral at one dose adequate were possible conceivable solutions to improve cassava in Central African Republic.*

Key words: Diagnosis of deficiency, soils' fertility, cassava, savannah, Central African Republic.

INTRODUCTION

La croissance démographique en Afrique subsaharienne a engendré une augmentation de la demande alimentaire. La pratique de la jachère de longue durée a tendance à disparaître, faisant place à une jachère de courte durée et à une agriculture sédentarisée (Saidou *et al.*, 2009; Kaho *et al.*, 2011) dans la plupart des pays d'Afrique subsaharienne, les sols ont une faible fertilité, et les éléments nutritifs exportés ne sont pas adéquatement remplacés. L'agriculture intensive et la recherche de nouvelles terres fertiles se traduisent par une pression sur l'écosystème, qui, à son tour, entraîne la diminution de la fertilité des sols (Milleville et Serpantié, 1994; Diwediga *et al.*, 2012). En conséquence, les rendements sont relativement bas et la productivité des terres diminue conséquemment (Shepherd *et al.*, 2003; Saidou *et al.*, 2009).

En République Centrafricaine, le manioc est la principale culture et l'aliment de base des populations centrafricaines. Il occupe à lui seul plus de 40% des superficies exploitées avec 70% de la production en volume (MDRA, 2011). Après la chute des cours mondiaux du café et du coton qui sont les cultures de rente, le manioc est devenu une source principale de revenu et il a été identifié comme une culture vivrière visant à la réduction pour la lutte contre la pauvreté et la faim (objectif 1) des objectifs du millénaire pour le Développement (Adésina, 2004; DSRP2, 2011). La production nationale du manioc est estimée à 2,6 millions tonnes de tubercules frais, dont 10,8 t ha⁻¹, à 646 000 tonnes de cossettes/an dont 3 millions de cossette/ha ; mais toujours insuffisante pour satisfaire à la demande de la population centrafricain qui ne cesse de croître (Zoundi, 2012; Zinga *et al.*, 2013).

Plusieurs handicaps limiteraient un développement durable de la culture du manioc en Centrafrique, (i) les conflits armés ont détruits les infrastructures socio-économiques de bases ; (ii) les techniques d'exploitation agricole dominés par une agriculture extensive et itinérante sur brûlis ; (iii) le changement climatique avec ces effets perceptibles, à travers une forte perturbation de cycle des saisons et entraînant la faible productivité agricole, (iv) les maladies du manioc (mosaïque africaine et striure brune) ; (v) la baisse de la fertilité des sols 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 (Ouikon, 2003; Lunes, 2011; Muengula-Manyi *et al.*, 2012;

Zinga *et al.*, 2012; Zongo, 2016).

Au cours de l'échantillonnage des sols dans les paysans producteurs, nous avons observé que ces derniers possédaient des connaissances ancestrales et locales sur les indicateurs de la fertilité des sols avant la mise en place d'un nouveau champ. Par exemple, certaines espèces végétales telles que (*Andropogon tectorum*, *Chromoleana odorata* etc.), la présence de certains animaux (verres de terres, escargots, etc.) et l'aspect physique de terrain et la couleur noire ou foncée des terres, avant de faire un choix d'une nouvelle parcelle de culture. Une étude similaire a été menée au nord du Cameroun sur le savoir des paysans et la fertilité des sols (M'Biandoun et Bassala, 2007).

C'est dans ce contexte que le LaSBAD a entrepris depuis une décennie des méthodes de lutte contre la mosaïque du manioc, l'une des causes de hausse des prix du manioc cossette enregistrés ces dernières années en Centrafrique. Les méthodes sont entre autres : le criblage variétale, la thermo-hydrothérapie, la résistance variétale, la culture *in vitro* ou *vitro plant* pour la production du matériel sain. Mais toutes ces techniques demeurent encore très insignifiantes pour satisfaire les besoins alimentaires des centrafricains. C'est dans cette optique que notre étude a été mise en place pour la recherche des solutions de gestions intégrée de la fertilité des sols et d'améliorer la productivité du manioc en Centrafrique.

L'objectif principal de l'étude est une contribution à une gestion durable meilleure de la fertilité des sols pour l'amélioration de la productivité et des revenus des producteurs du manioc dans la zone de savane en Centrafrique. Plus spécifiquement, il s'agit de: (i) caractériser les propriétés physico-chimiques du sol, à travers des champs-écoles paysans, et (ii) déterminer les indicateurs de fertilité des sols en vue de proposer une stratégie de gestion intégrée de la fertilité des sols pour une amélioration de la production du manioc.

Matériel et méthodes

Zone d'étude

L'étude s'est déroulée sur un site expérimental du Laboratoire des Sciences Biologiques et Agronomiques pour le Développement (LaSBAD) dans la Sous-préfecture de Damara, au village Ndara 1, située à 80 km au nord de Bangui (RCA). Le site d'étude se situe à une position géographique de latitude de 04°59'622" Nord et de

longitude 18°40'442" Est (figure 1). C'est un site de champs-écoles de LaSBAD et réservé aux essais agronomiques pour le renforcement des capacités des paysans producteurs de manioc. La zone d'étude se situe en région de savanes, et 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, intercalée par une période d'intersaison, de février à mars. La pluviométrie annuelle y varie de 1200 mm à 1600 mm. La température oscille entre 23 et 27°C, toute l'année (Tambashe *et al.*, 2008).

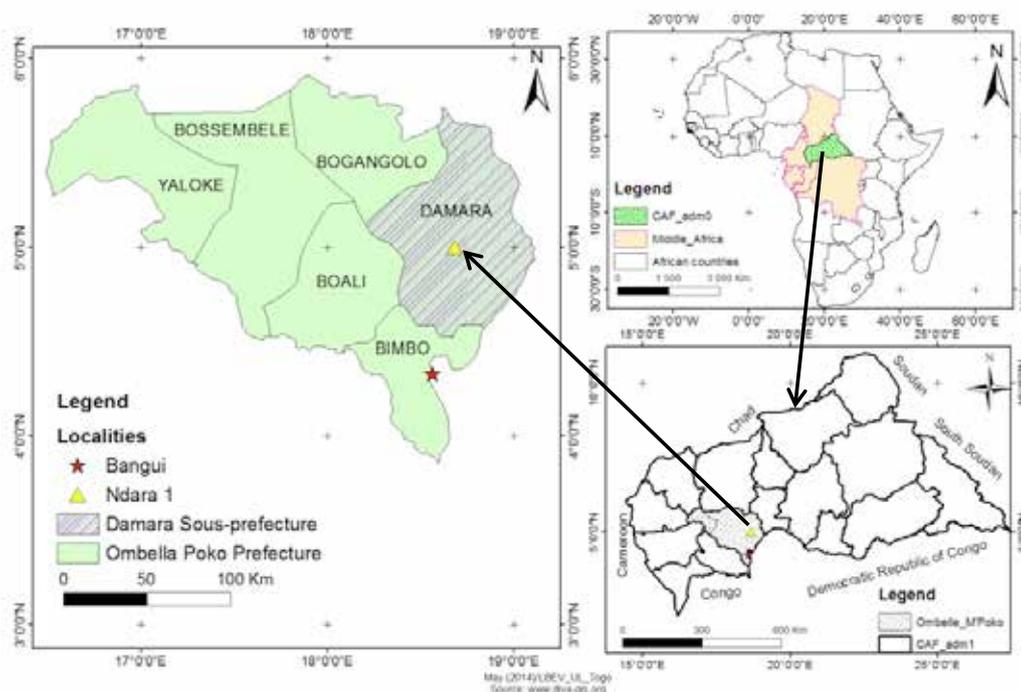


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

Location of the study area

La principale activité des habitants de la zone est l'agriculture, avec, comme cultures dominantes, les cultures de manioc (*Manihot esculenta* Crantz), de riz (*Oriza sativa* L.) et de bananiers (*Musa sapintum* et *Musa nana* L.). À côté de cette activité agricole, se pratiquent la pêche et la chasse. La végétation y est essentiellement composée de : *Chromoleana odorata* (L.), *Panicum maximum* (Franch.), *Purera javanica* (Benth.), *Mimosa piduca* (L.), *Daniella oliveri* (L.), *Andropogon gayanus* (Kunth.) et *Piliostigma thonningii* (Sch.) (Koko, 2008).

Les sols sont de type dystric ferralsol, peu profonds, avec une bonne porosité et une intense activité biologique, mais leur structure est mal développée, et latexture, argilo-limono-sableuse (Tambashe *et al.*, 2008).

Méthodologie

L'étude a porté sur l'échantillonnage des sols dans les champs de producteurs du manioc et sur le site agronomique de LaSBAD. L'analyse physico-chimique a été effectuée au laboratoire de Sol Persyst du CIRAD de Montpellier (France). Elle a porté aussi sur la recherche des indicateurs de fertilité des sols à travers les résultats d'analyses physico-chimiques des sols étudiés.

Prélèvement d'échantillon de sol

Des échantillons de sol ont été prélevés à la tarière manuelle dans les vingt premiers centimètres supérieurs du sol, sur les parcelles de manioc, à 8-10 mois de culture. Les prélèvements ont été effectués en milieu paysan, dans dix champs de manioc et dans le champ-école du LaSBAD. Les sols ont été prélevés selon un dispositif de

randomisation, en cinq différents points; au centre et aux quatre coins du champ, constituant des sous-échantillons composites, sur 0,5 ha, qui seront ensuite mélangés pour obtenir un échantillon composite de 1 kg par champ.

Les échantillons ont été séchés à la température ambiante, au laboratoire (25 à 30°C), avant la séparation des éléments grossiers de la terre fine, à l'aide d'un tamis à maille ronde de 2 mm. Les échantillons de terre fine ont été conditionnés dans des sachets plastiques et envoyés au laboratoire de sol du CIRAD de Montpellier (France), pour des analyses physico-chimiques dont les résultats vont permettre d'interpréter certains équilibres et réactions physico-chimiques. Les résultats d'analyses de sol ont été comparés à des valeurs seuils, à des normes de références ou à des résultats de travaux antérieurs.

Analyse des sols au laboratoire

L'analyse physique en cinq fractions a été réalisée par la méthode à la pipette Robinson, suivant la méthode normalisée AFNOR NF X31-107 (Buol *et al.*, 2011b). La classification de la texture des sols a été faite suivant le triangle de texture de l'USDA (Buol *et al.*, 2011a; Buol *et al.*, 2011b); (Miller et White, 1998). L'analyse du carbone et de l'azote total a été effectuée par les méthodes décrites dans la norme internationale NF ISO 10694, pour le carbone, et NF ISO 13878, pour l'azote. Les pH eau et KCl ont été déterminés suivant la norme internationale NF ISO 10390 (Staff, 1993). La capacité d'échange cationique a été mesurée par la méthode Metson de norme AFNOR NF X31-130 (Saragoni *et al.*,

1992). La teneur en éléments Al^{3+} , Ca^{2+} , Cu^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Na^+ , Zn^{2+} a été déterminée par la méthode fluoro-nitro-perchlorique. Le phosphore total et le phosphore assimilable ont été dosés suivant la norme internationale NF ISO 11263 (Buol *et al.*, 2011b).

Analyses statistiques 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®. Elles ont été soumises à des analyses statistiques sur le logiciel R version 3.1.2 (2014-10-31) pour l'analyse en composantes principales (ACP), en se basant sur la relation qui existe entre les indicateurs de la fertilité des sols. Le logiciel Community Analysis Package (CAP 2.15) a permis de réaliser le test bilatéral et d'établir des relations de cause à effet entre les indicateurs de la fertilité des sols. Le logiciel ArcGIS10 a aussi été utilisé pour réaliser la carte de la localisation du site d'étude (figure 1).

Résultats

Caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés

Les résultats d'analyse granulométrique des sols étudiés sont présentés dans le (tableau 1). Le test granulométrique montre que 53,30 % des échantillons de sol présentent une texture loameuse, 20 % ont une texture argilo-limoneuse, 20 % ont une texture sablo-limoneuse et 6,70 % sont de texture argileuse.

Tableau 1 : Résultats d'analyse granulométrique des sols de culture du manioc au centre-sud de la Centrafrique

Paramètres	Sol des champs de producteurs de manioc									Sol du champ-école de LaSBAD					
	Sp.1	Sp.2	Sp.3	Sp.4	Sp.5	Sp.6	Sp.7	Sp.8	Sp.9	Sp. 10	Sche. 1	Sche. 2	Sche. 3	Sche. 4	Sche. 5
Argiles (%)	22,4	32,4	35	17,5	31,5	26,6	28	29,4	39,3	50,5	18,9	19,6	20,9	19	24,3
Limons (%)	37,7	45,4	13,4	32,4	14,3	45,5	44,7	36,3	19	17,1	32,9	22,4	35,5	29,8	32,3
Sables (%)	39,9	22,2	51,6	50,1	54,2	27,8	27,4	34,3	41,8	32,4	48,1	58	53,6	51,1	43,5

Sp : Échantillons de sol prélevés en milieu paysan. Sche : Échantillon de sol prélevé dans le champ-école de LaSBAD
 Sp : Soil samples collected at farm; Sche: Soil sample collected in the school field of LaSBAD

La moyenne des pH eau des échantillons de sol est de 5,5. La plus faible valeur est 4,8 et la plus grande, 6,35. Les sols étudiés présentent 73,33% des échantillons de sols étudiés présentent une teneur en matière organique comprise dans

l'intervalle 3,6-6,5 % correspondant aux valeurs normatives (tableau 2). La teneur en azote total, pour 87 % des échantillons des sols, se situe dans l'intervalle des valeurs normatives 1,2 à 2,2 g.kg⁻¹.

Tableau 2 : pH des sols de culture du manioc au centre-sud de la Centrafrique

Para- mètres	Sol des champs de producteurs de manioc										Sol du champ-école de LaSBAD					Normes*
	Sp.1	Sp.2	Sp.3	Sp.4	Sp.5	Sp.6	Sp.7	Sp.8	Sp.9	Sp.10	Sche.1	Sche.2	Sche.3	Sche.4	Sche.5	
pH eau	6,02	5,03	6,03	5,05	5,33	5,54	4,8	6,35	5,95	5,28	5,62	5,24	5,37	5,31	5,19	5-6
pH KCl	5,5	4,35	5,46	4,24	4,64	4,97	4,15	5,86	5,37	4,57	4,64	4,36	4,69	4,53	4,47	4-5

Sp : Échantillons de sol prélevés en milieu paysan. Sche : Échantillon de sol prélevé dans le champ-école de LaSBAD
*pH optimal de référence pour la culture du manioc(Buol *et al.*, 2011b); (Howeler, 1996)

Le rapport C/N des sols étudiés varie de 11,53 à 15,6 avec une moyenne de 13,70 (tableau 3). Les teneurs en phosphore assimilable sont comprises dans l'intervalle de seuil critique 3-8

mg.kg⁻¹. Tous les échantillons ont des valeurs de potassium supérieures au seuil critique qui est de 3,7 g.kg⁻¹ (tableau 3).

Tableau 3 : Taux de matière organique et éléments totaux des sols étudiés

Para- mètres	Sol des champs de producteurs de manioc										Sol du champ-école de LaSBAD					Normes*
	Sp.1	Sp.2	Sp.3	Sp.4	Sp.5	Sp.6	Sp.7	Sp.8	Sp.9	Sp.10	Sche.1	Sche.2	Sche.3	Sche.4	Sche.5	
M.org. (%)	3,47	3,6	4,44	1,73	3,26	3,64	4,89	3,64	4,37	3,64	2,07	1,52	2,08	1,86	2,22	3,6.0-6.5
Carb (g.kg ⁻¹)	20,1	20,7	25,8	12,6	18,9	21,1	28,4	21,1	25,3	21,1	12	8,8	12,1	10,8	12,9	12,6-25
N total (g.kg ⁻¹)	1,5	1,4	1,9	0,9	1,4	1,6	1,8	1,5	1,9	1,5	0,8	0,6	0,8	0,7	0,8	1,2-2,2
C/N	13,1	14,3	13,3	11,53	13	12,8	15,6	13,63	13,27	13,71	14,4	13,22	13,86	14,11	15,06	11-15
Pass (mg.kg ⁻¹)	4,2	3,4	4	3,6	3,4	4	5,2	5,8	4,4	3,4	3	3	3,2	2,6	2,8	3-8
P total (g.kg ⁻¹)	0,44	0,43	0,69	0,18	0,21	0,5	0,58	0,5	0,63	0,5	0,26	0,15	0,23	0,2	0,26	0.20-0.23
K total (g.kg ⁻¹)	8,26	13,49	9,56	4,93	7,19	10,6	10,6	10,06	6,44	8,95	5,66	4,36	5,46	4,78	6,73	3,7

Sp : Échantillons de sol prélevés en milieu paysan. Sche : Échantillon de sol prélevé dans le champ-école de LaSBAD
M. orga: Matière organique, Carb. : Carbone organique, Pass : P assimilable, K total : Potassium total, S : somme des cations, CEC : Capacité d'échange des cations, V : Taux de saturation.

M. Orga : Organic Matter, Carb: organic Carbon, N total: total nitrogen, C/N: Carbon nitrogen ratio, Pass: available phosphorus, P total: Total phosphorus, K total : Total potassium

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

L'analyse des bases échangeables révèle que 63,33% des teneurs moyennes en calcium et 60% des teneurs moyennes en magnésium des échantillons de sol sont inférieurs aux seuils critiques respectifs de 5-8 cmol⁺. L'analyse des bases échangeables révèle que 63,33% des teneurs moyennes en calcium et 60% des teneurs moyennes en magnésium des échantillons de sol sont inférieurs aux seuils critiques respectifs de 5-8

cmol⁺.kg⁻¹ et 1,5-3 cmol⁺.kg⁻¹ (tableau 4). La somme des cations échangeables et la capacité d'échange cationique, pour 73,33% des échantillons de sol analysés présentent des valeurs inférieures aux seuils critiques respectifs de 7,5-15 cmol⁺.kg⁻¹ et 10-20 cmol⁺.kg⁻¹. Le taux de saturation en bases échangeables des sols étudiés varie de 63,53 à 91,32%, et se situe dans l'intervalle des valeurs de référence 60-90% (tableau 4).

Tableau 4 : Cations échangeables et capacité d'échange cationique des sols étudiés

Para- mètres	Sol des champs de producteurs de manioc									Sol du champ-école de LaSBAD					Normes*	
	Sp.1	Sp.2	Sp.3	Sp.4	Sp.5	Sp.6	Sp.7	Sp.8	Sp.9	Sp. 10	Sche. 1	Sche. 2	Sche. 3	Sche. 4		Sche. 5
Ca (cmol ⁺ . kg ⁻¹)	5,92	3,84	7,01	2,96	2,96	5,23	3,91	9,01	7,7	4,28	2,98	1,69	1,72	2,28	1,35	5-8
Mg (cmol ⁺ . kg ⁻¹)	2,52	1,09	2,47	1,26	0,97	1,93	1,03	2,55	1,87	1,61	0,96	0,54	0,59	0,9	0,7	1,5-3,0
K (cmol ⁺ . kg ⁻¹)	0,23	0,15	0,42	0,18	0,1	0,15	0,14	0,36	0,25	0,23	0,15	0,1	0,11	0,1	0,1	0,15-0,25
Na (cmol ⁺ . kg ⁻¹)	0,03	0,04	0,02	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,3-0,7
Al (cmol ⁺ . kg ⁻¹)	0	0,38	0,01	0,05	0,03	0,03	0,78	0	0,01	0,15	0,02	0,05	0,05	0,07	0,21	-
Mn (cmol ⁺ . kg ⁻¹)	0,15	0,3	0,12	0,26	0,13	0,32	0,28	0,12	0,17	0,17	0,27	0,27	0,44	0,27	0,1	0,01-0,10
H (cmol ⁺ . kg ⁻¹)	0	0,05	0,01	0,03	0,03	0,02	0,09	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,03	0,04	0,06	-
S (Ca,Mg, K, Na) (cmol ⁺ . kg ⁻¹)	8,7	5,11	9,92	4,44	4,06	7,33	5,12	11,95	9,85	6,16	4,13	2,36	2,46	3,32	2,18	7,5-15
CEC (cmol ⁺ . kg ⁻¹)	9,63	6,53	11,5	5,25	4,2	9,62	8,06	13,37	11,95	8,36	4,68	2,79	3,33	3,79	2,38	10≤CEC≤20
V (%)	90,3	78,25	86,2	84,47	96,8	76,2	63,5	89,37	82,43	73,65	88,27	84,39	73,83	87,55	91,32	60 ≤ TS < 90

Sp : Échantillons de sol prélevés en milieu paysan. Sche : Échantillon de sol prélevé dans le champ-école de LaSBAD

S : somme des cations, CEC : Capacité d'échange des cations, V : Taux de saturation.

S: *sum of cations*, CEC: *Cation exchange capacity*, V: *Saturation rate*.

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

Le calcium échangeable (**Ca²⁺**) a en moyenne un taux de saturation de 60% qui se trouve dans la norme de référence 60-70% (tableau 5). Le rapport d'équilibre Ca²⁺/Mg²⁺ varie de 1,93 à 3,8 pour

93,33% des échantillons. Le rapport d'équilibre K⁺/Mg²⁺ oscille entre 0,08 et 0,18 pour 80% des échantillons. Le ratio d'équilibre (Ca²⁺+Mg²⁺)/K⁺ varie de 21 à 39,30 (tableau 6).

Tableau 5 : Taux de saturation (V) par base échangeable sur le complexe adsorbant des sols étudiés

Nutriments (%)	Sol des champs de producteurs de manioc										Sol du champ-école de LaSBAD					Normes*
	Sp.1	Sp.2	Sp.3	Sp.4	Sp.5	Sp.6	Sp.7	Sp.8	Sp.9	Sp. 10	Sche. 1	Sche. 2	Sche. 3	Sche. 4	Sche. 5	
Ca ²⁺	61,5	58,8	60,9	56,38	70,5	55,01	48,5	67,38	64,43	51,2	63,67	60,57	51,65	60,15	56,72	60-70
Mg ²⁺	26,2	16,7	21,5	24	23,1	20,06	12,8	19,07	15,65	19,26	20,51	19,35	17,72	23,75	29,41	10-12
K ⁺	2,39	2,3	3,65	3,43	2,38	1,56	1,74	2,7	2,09	2,75	3,2	3,58	3,3	2,63	4,2	2,5-3,5
Na ⁺	0,31	0,61	0,17	0,57	0,95	0,31	0,5	0,22	0,25	0,48	0,85	1,07	1,2	1,05	1,26	< 1

Sp : Échantillons de sol prélevés en milieu paysan. Sche : Échantillon de sol prélevé dans le champ-école de LaSBAD
*Valeurs seuil de référence (Howeler, 1996, 2001; Giroux et Audesse, 2004; Doucet, 2006).

Tableau 6 : Ratio d'équilibre entre les cations Ca²⁺, Mg²⁺ et K⁺ (cmol⁺.kg⁻¹ sol) des sols étudiés

Nutriments (cmol ⁺ .kg ⁻¹)	Sol des champs de producteurs de manioc										Sol du champ-école de LaSBAD					Norme*
	Sp.1	Sp.2	Sp.3	Sp.4	Sp.5	Sp.6	Sp.7	Sp.8	Sp.9	Sp. 10	Sche. 1	Sche. 2	Sche. 3	Sche. 4	Sche. 5	
Ca ²⁺ /Mg ²⁺	2,35	3,52	3,53	3,8	3,53	2,7	2,35	3,05	2,84	2,66	3,1	3,12	2,91	2,53	1,93	2-9
K ⁺ /Mg ²⁺	0,09	0,14	0,13	0,14	0,08	0,14	0,1	0,13	0,07	0,14	0,15	0,18	0,18	0,11	0,14	0,05-0,1
(Ca ²⁺ + Mg ²⁺)/K ⁺	36,7	32,9	35,28	32,11	47,73	23,44	39,3	38,28	22,57	25,6	26	22,3	21	31	20,5	12-15

Sp : Échantillons de sol prélevés en milieu paysan. Sche : Échantillon de sol prélevé dans le champ-école de LaSBAD
*Valeurs seuil de référence (Howeler, 1996, 2001; Giroux et Audesse, 2004; Doucet, 2006).

Corrélation entre les indicateurs de la fertilité de sol

L'analyse en composantes principales (ACP) a permis d'établir une corrélation entre certains

paramètres de fertilité des sols étudiés, avec un coefficient de corrélation R = 0,80, au seuil de 5%. Par contre, aucune corrélation n'a été observée entre ces paramètres et les teneurs en potassium total, limons et argiles (tableau 7).

Tableau 7 : Matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques des sols étudiés

Paramètre	Argiles	Limons	Sables	pH eau	pH KCl	M orga	C orga	N total	C/N	P Olsen	P total	K total	Ca éch	Mg éch	K éch	S	CEC
Argiles	1																
Limons	0,43	1															
Sables	0,43	0,60	1														
pH eau	0,16	0,23	0,08	1													
pH KCl	0,24	0,16	0,05	0,98	1												
M orga	0,69	0,01	0,61	0,28	0,42	1											
C orga	0,67	0,01	0,61	0,26	0,40	0,99	1										
N total	0,69	0,07	0,55	0,37	0,51	0,98	0,98	1									
C/N	0,06	0,30	0,33	0,28	0,26	0,19	0,13	-0,02	1								
P Olsen	0,27	0,24	0,49	0,45	0,56	0,72	0,73	0,72	0,00	1							

P total	0,67	0,01	0,58	0,44	0,55	0,93	0,92	0,92	0,13	0,68	1						
K total	0,49	0,41	0,85	0,06	0,20	0,74	0,74	0,69	0,25	0,52	0,68	1					
Ca éch	0,48	0,07	0,38	0,80	0,85	0,72	0,72	0,80	0,22	0,80	0,80	0,48	1				
Mg éch	0,39	0,06	0,33	0,80	0,86	0,61	0,63	0,71	0,35	0,67	0,73	0,45	0,92	1			
K éch	0,46	0,28	0,14	0,75	0,80	0,56	0,58	0,63	0,24	0,61	0,73	0,36	0,86	0,86	1		
S	0,46	0,07	0,37	0,80	0,87	0,70	0,71	0,80	0,25	0,78	0,80	0,48	0,99	0,95	0,88	1	
CEC	0,53	0,01	0,49	0,69	0,80	0,80	0,80	0,85	0,18	0,82	0,88	0,56	0,98	0,92	0,85	0,98	1

M.orga : Matière organique, C.orga : carbone organique, N total : Azote total, C/N : rapport organique,

P Olsen : phosphore Olsen assimilable, P total : phosphore totaux, K total : potassium totaux, S : sommes des cations, CEC : Capacité d'échange des cations, Ca éch : Calcium échangeable Mg éch : Magnésium échangeable, K éch. Potassium échangeable

M. org. : organic Matter, C. orga: Organic Carbon, N total: total nitrogen, C/N: Carbon nitrogen ratio.

P Olsen: available Phosphorus, P total: Total phosphorus, K total: Total potassium S: sum of cations, CEC: Cation exchange capacity, V: Saturation rate.

NB : En gras, valeurs significatives au seuil alpha=0,050 (test bilatéral), coefficient de corrélation R=0,80

Note: In bold, significant at alpha =0.050 (two-tailed test) values correlation coefficient R= 0.80.

Tableau 8 : Le rôle des différents éléments minéraux

	N	P	K	Mg	Ca	B	Zn	Fe	Mo	Cu	Mn
Métabolisme général											
Croissance	***		+++			***	***				
Production											
Grossissement		+++	***	+++							
Tubérisation			***								
Précocité-maturité	+++	+++			+++						
Qualité											
Qualité gustative			***			***					
Conservation				+++	***	+++					

Eléments importants : +++

Eléments indispensables : ***

Source : (Hubert et Schaub, 2011).

La figure 2, subdivisée en deux axes, permet de vérifier s'il existe une corrélation entre les indicateurs de la fertilité et les paramètres physico-chimiques des échantillons de sols étudiés. Les axes (1) Dim 1 et Dim 2 présentent, respectivement, 49,67 % et, 24,73 % d'affinité entre éléments caractéristiques chimiques du sol. Les variables telles que les cations échangeables, Ca²⁺, la somme des cations, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ et P Olsen, P total, N total, argile,

le carbone organique et la matière organique sont bien représentés dans le cercle de corrélation et se rapprochent de l'axe 1 (Dim 1), de coordonnée positive. Les variables telles que Al³⁺, le rapport C/N et limons, H⁺, Na⁺ et Mn⁺ échangeable sont très proches de l'axe 2 (Dim 2). Enfin, les variables sable et taux de saturation, bien qu'elles soient dans le cercle, sont négativement corrélées aux composantes de la fertilité des sols (figure 2).

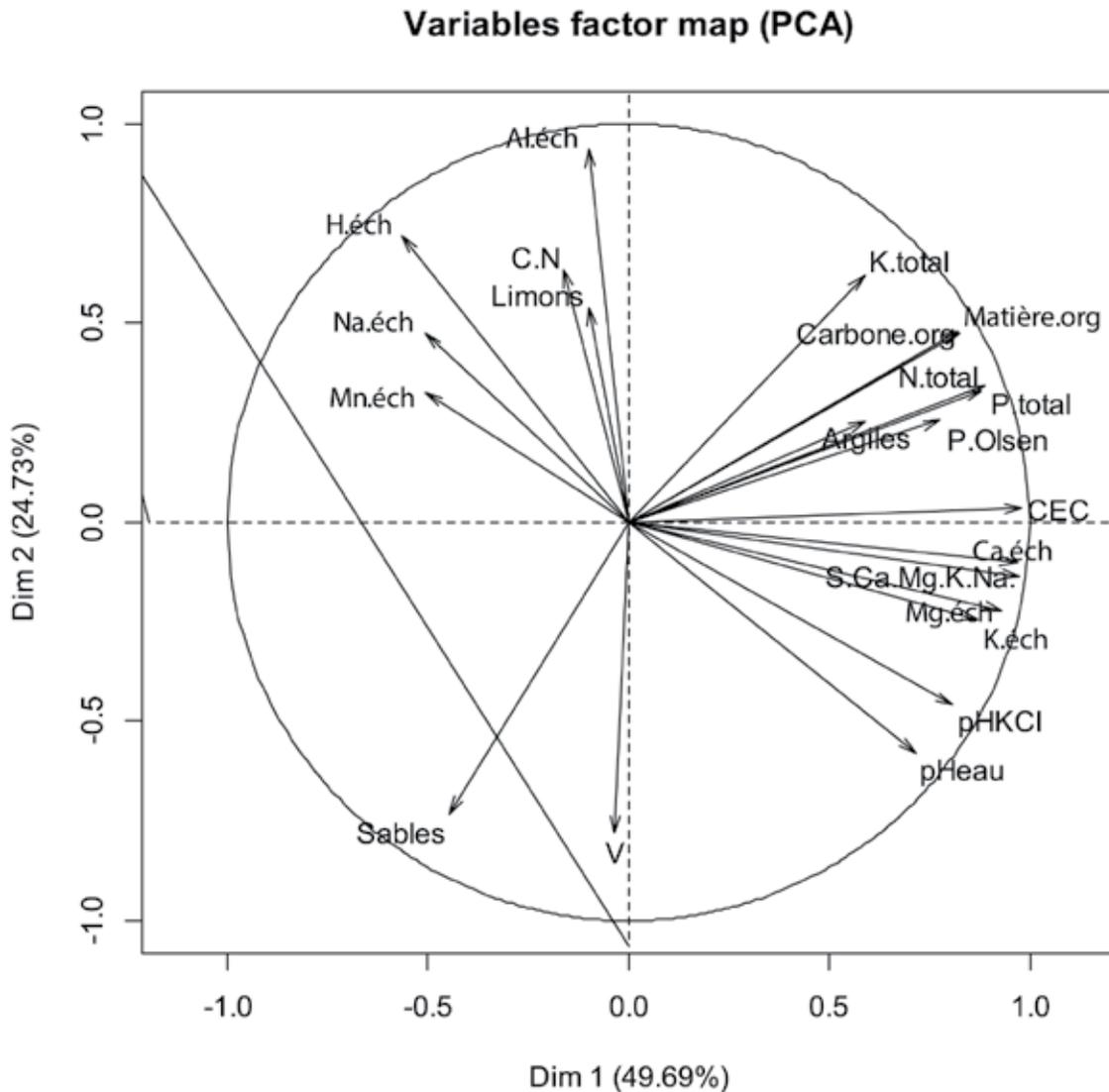


Figure 2 : Analyse des composantes principales des variables physico-chimiques et les indicateurs de la fertilité des sols
Principal Components Analysis of physic-chemical variables and the indicators soils fertility

DISCUSSION

Les résultats d'analyse granulométrique des sols étudiés ont montré que, plus de 93,30 % des échantillons de sols ont une texture loameuse (sols moyens ou terre franche), qui sont souvent très favorable pour la culture de manioc. Ces résultats témoignent que les sols de la zone d'étude sont adaptés à la culture du manioc. On pourrait obtenir donc obtenir un bon rendement si les éléments minéraux fournissent les quantités indispensables et importantes pour le bon développement de la culture. Les études menées par (Giguère, 2002; Buol *et al.*, 2011a; Pypers *et al.*, 2011) ont rapporté qu'une texture loameuse des sols ou terre franche est excellente et convenable à la plupart des

cultures y compris celle de manioc.

Le pH est un élément clé de la composition chimique du sol et détermine la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes et les microorganismes du sol (Doucet, 2006; Borah *et al.*, 2010). Le pH eau des sols étudiés, moyennement acides est un élément favorable pour la culture de manioc (Giguère, 2002).

La teneur en de plus de 60 % des échantillons sont bien pourvus en azote total. Les sols étudiés présentent 73,33 % des échantillons de sols ont une teneur en matières organiques et se ces valeurs se situent dans l'intervalle 1, et 3,6 g.kg⁻¹ des valeurs normatives. Cette bonne teneur en

azote total et en matières organiques pourrait s'expliquer par le fait que la parcelle est mise en jachère sur une longue durée (10 ans en moyenne selon les informations fournies par les producteurs) à favoriser les apports organiques importants. C'est l'équilibre entre les apports organiques et la minéralisation qui détermine la teneur de la matière organique. La matière organique permet à la fois l'alimentation des plantes en libérant les éléments minéraux adsorbés et le stockage de ces éléments. Par conséquent, elle empêche le lessivage des éléments minéraux en raison de très faible capacité d'adsorption des colloïdes minéraux. Elle constitue l'un des principaux moteurs de l'amélioration de la fertilité du sol et du rendement du manioc (Akanza *et al.*, 2002). 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, etc.... Le rapport entre le carbone et l'azote (C/N = 13,70) faible rend une décomposition lente voir difficile et ne permet pas une bonne minéralisation de la matière organique. Les valeurs de P assimilable sur 87 % des échantillons de sols étudiés sont se situent dans la valeur de référence (3-8 $\text{cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$). Ces résultats pourraient s'expliquer par le faite que, les sols étudiés présentent une teneur assez bonne en matière organique. Cette dernière permet à l'immobilisation du phosphore dans les sols. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par (Bertrand et Gigou, 2000; Luciens *et al.*, 2012).

Les bases échangeables ont montré qu'il y a une carence marquée en calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) dans plus de 60 % des échantillons de sol par rapport aux valeurs seuil respectives de 5-8 cmol^+ , kg^{-1} et 1,5-3 $\text{cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$. Par contre, les teneurs en potassium échangeable (K^+) du sol présentent des valeurs acceptables pour plus de 60 % des échantillons de sol, comparées aux valeurs de référence respectives 0,15-0,25 $\text{cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$ et 0,3-0,7 $\text{cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$. Ces résultats sont similaires à ceux d'autres travaux qui ont montré que l'augmentation de la concentration en potassium dans une solution nutritive diminue l'absorption de calcium et de magnésium, et estiment que le seuil de carence en magnésium se situe entre 0,10-0,17 $\text{cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$ (Kambiré, 1994; Kawano, 2000).

Les valeurs de la somme des cations échangeables

et de la capacité d'échange cationique, sont faibles dans plus de 73,33 % des échantillons de sol analysés, comparés aux valeurs de référence respectives 7,5-15 cmol^+ , kg^{-1} et 10-20 cmol^+ , kg^{-1} (La France *et al.*, 2012). Les résultats de cette étude montrent que plus de 73 % des échantillons présentent une capacité d'échange cationique faible par rapport au seuil critique ($9 \leq \text{CEC} \leq 12 \text{ cmol}^+$, kg^{-1}). Le taux de saturation en bases échangeables des échantillons de sol est appréciable sur plus de 63 %, des échantillons de sols étudiés et ils sont situés tous dans l'intervalle de seuil critique 60-90 %. Le taux moyen de taux de saturation (V) signifie que le sol est moyennement pourvu en cations, hors Al et H. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par (La France *et al.*, 2012); (Giroux et Audesse, 2004) au cours de leurs études.

Plus de 80 % des échantillons de sols étudiés ont un rapport d'équilibre $\text{K}^+/\text{Mg}^{2+}$ situé dans la plage de la valeur normative. Un rapport $\text{K}^+/\text{Mg}^{2+}$ trop élevé dans un sol léger provoque une carence en magnésium et, par conséquent, diminue les rendements, alors qu'en sols argileux, un ratio $\text{K}^+/\text{Mg}^{2+}$ trop faible ralentit le taux d'absorption du potassium, limitant ainsi les rendements (Giroux et Audesse, 2004; Pypers *et al.*, 2011).

L'Analyse des Composantes Principales (ACP) a permis de mettre en évidence l'importance des indicateurs de la fertilité des sols : le pH, la matière organique, le carbone organique, l'azote et le potassium total, l'argile, les complexes absorbants la somme des cations et la capacité d'échange des cations. Des résultats similaires des indicateurs de la fertilité des sols ont été obtenus par (Pypers *et al.*, 2011). Les restitutions organiques par le biais des jachères de longue durée permettent de restituer la fertilité des sols épuisés par plusieurs années de cultures successives (Bivoko *et al.*, 2014).

Pour compléter les informations sur les indicateurs de la fertilité des sols étudiés de la zone d'étude; d'autres informations recueillies lors de l'échantillonnage des sols dans les champs des paysans. Il a été observé que les paysans producteurs font usage de certaines connaissances ancestrales et locales pour faire un choix d'une nouvelle parcelle de culture. Cette information est confirmée par les travaux réalisés par (M'Biandoun et Bassala) au Cameroun sur le savoir paysan et la fertilité des terres. Plusieurs études ont précisé la perception que le paysan se fait de la qualité de ses terres, fondée sur une connaissance longuement acquise de la valeur indicatrice de la végétation ou

de certains signes du sol ou de sa surface (Donfack et Seignobos, 1996). Cette valeur indicatrice repose sur des principes reconnus également en écologie (Dajoz, 1996). C'est ainsi que les paysans nigériens des régions de Say et de Ouallam reconnaissent qu'une jachère est redevenue fertile grâce à des indicateurs biologiques familiers de leur environnement (Pontanier, 2013).

C'est ainsi que, à l'issue de cette étude une observation a été faite sur les critères de choix d'une nouvelle parcelle de culture, lors de l'échantillonnage des échantillons des sols pour le diagnostic de carences des paysans producteurs qui sont tout autour de site expérimental dans la zone d'étude. Les paysans producteurs ont deux critères principaux : les plantes et les animaux indicateurs de la fertilité des sols et l'état biophysique de la parcelle. D'abord, la végétation environnante (flore) qui s'y trouve est un premier indicateur de fertilité des sols, selon les paysans. Ces derniers savent nommer les différentes espèces, selon en langue vernaculaire, savent interpréter leurs présences dans une zone donnée. Les espèces indicatrices de la fertilité des sols sont : *Andropogon tectorum* (Schumacher et Thonn), *Chromolaena odorata* (Mosso et Nguimalet), *Crotalaria retusa* (Linnaeus), *Commelina benghalensis* (Linnaeus), *Ipomoea dichroa* (Roemer et Schult), *Ipomoea eriocarpa* (Roemer et Schult). Par contre, les indicateurs infertilité sont marquées par la présence des espèces suivantes : *Andropogon gayanus* (Kunth), *impérata cylindrica*, *Panicum maximum* (Franch.), etc... Nos résultats corroborent au ceux obtenus par (M'Biandoun et Bassala, 2007) au nord du Cameroun sur le savoir paysan et la fertilité des terres.

Ensuite, la présence des vers de terre et les escargots sont des indicateurs de fertilité d'une parcelle de culture, puisque selon ces derniers, les vers de terre et les escargots ne vivent que dans des sols riches en humus et très humides. Une étude réalisée à Garoua au Cameroun au Nord, a montré aussi que, la présence des vers de terre et escargots sont des indicateurs de fertilité des sols, mais aussi ils indiquent un pH neutre et une relativement bonne richesse en calcium (M'Biandoun et Bassala, 2007). En plus, la couleur sombre ou foncée et l'adhérence de la terre aux doigts, une texture limoneuse, sablo-limoneuse et argileuse. Ensuite, l'état physique et la topographie du terrain : érosion, fente de retrait, résidu de culture sont des indicateurs de bonne fertilité clé que les producteurs agricoles recherchent, avant la

mise en place d'une nouvelle parcelle agricole.

Au regard de tout ce qui précède, il devient urgent de mettre en place une nouvelle stratégie d'une bonne gestion intégrée de la fertilité des sols pour assurer l'utilisation rationnelle et durable des terres agricoles de Centrafrique. Selon la loi énoncée par Liebig, chimiste allemand que l'on peut corriger successivement tous les facteurs limitant modifiables, jusqu'à obtenir le rendement potentiel qui ne dépend plus que de facteurs non modifiables, par exemple l'eau (en culture pluviale), la lumière, la teneur en CO₂, etc. D'après ce même auteur, c'est l'élément le plus faible par rapport aux besoins des plantes qui détermine le rendement d'une culture (Von Liebig et Scheler, 1862).

Les études menées par (Hubert et Schaub, 2011) sur la fertilisation des sols et l'importance de la matière organique ont montré que les éléments minéraux sont présents dans le sol et leur bon entretien ils seront disponibles de ces éléments pour la plante. Pour ce fait, cette étude propose comme solution à la gestion intégrée de la fertilité des sols par, l'utilisation des engrais minéraux et organiques, l'association de culture de manioc avec les légumineuses et les engrais verts. Les solutions proposées vont permettre de (i) corriger les déficiences éventuelles du sol en un ou plusieurs éléments importants ou indispensables ; (ii) renforcer et restaurer la fertilité des sols à travers la nutrition azotée lorsque ses réserves mobilisables (iii) stimuler l'implantation au moment de la levée (Voisin, 1964; Roose *et al.*, 1992).

Le tableau 8 présente l'une des solutions proposées pour la carence des éléments minéraux à l'issue de cette étude. Il ressort de ce tableau que, pour une bonne croissance des plants du manioc, l'azote (N), Bore (B) et Zinc (Zn) sont indispensables, ensuite le potassium (K) est important. Si l'on veut avoir un bon grossissement des tubercules du manioc, le potassium (K) est indispensable, par contre le phosphore (P) et le magnésium (Mg) sont importants. Le potassium (K) est indispensable pour permettre une bonne tubérisation de manioc. Pour la précocité et la maturité du manioc, l'azote (N), le phosphore (P) et le calcium (Ca) sont importants. Pour avoir une bonne qualité gustative du manioc, le potassium (K) et le bore (B) sont indispensables. Enfin, pour la conservation de la qualité du manioc, le calcium (Ca) est indispensable, par contre le magnésium (Mg) et le bore (B) sont importants.

CONCLUSION

Les sols étudiés présentent, en surface (0-20 cm), une texture loameuse (sols moyens) et un pH favorable à la culture du manioc. Ils sont relativement bien pourvus en matière organique, qui entretient au mieux une vie microbienne active. Le rapport C/N montre une minéralisation très lente de la matière organique disponible.

Le bilan des éléments nutritifs révèle, des carences en éléments minéraux dont les plus marquées concernent le calcium et le magnésium échangeables, suite à l'augmentation de la concentration en potassium dans les sols étudiés. Ensuite, la teneur de la matière organique et en éléments majeurs (azote, phosphore et potassium) ne sont pas en suffisantes pour optimiser le rendement optimal de la culture de manioc, malgré l'utilisation de matériel végétal amélioré (haut rendement) du manioc en Centrafrique.

Il y existe une corrélation entre les indicateurs de la fertilité et les paramètres physico-chimiques des échantillons de sols étudiés. Il a été observé que la présence des espèces végétales comme *Andropogon tectorum*, *Chromoleana odorata*, des animaux comme escargots et des verres de terres; la couleur sombre (noire) ou foncée des terres et la présence des termitières sont des indicateurs de la fertilité des sols en milieu paysan, pour le choix d'une nouvelle parcelle de culture par les paysans producteurs à l'issue de cette étude.

Les carences en nutriments observées peuvent être corrigées par l'application d'une fertilisation d'entretien adéquate en azote (N), en phosphore (P) et en potassium (K) sont indispensables et importants pour la croissance et obtenir un rendement potentiel du manioc. En outre, l'application de terre de termitière comme amendement naturel, l'utilisation des légumineuses en association ou en rotation de culture et l'incorporation des résidus de culture constituent des solutions envisageables pour l'entretien de la fertilité des sols.

Néanmoins, des études complémentaires s'avèrent nécessaires pour bien cerner l'environnement de production nécessaire, à production durable et à haut rendement du manioc, et améliorer le revenu des paysans producteur du manioc en Centrafrique.

REMERCIEMENTS

La présente étude a été rendue possible grâce

à l'appui financier de l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA-FAO) et du Service de Coopération et d'Action Culturelle français (SCAC) de L'Ambassade de France en Centrafrique. Les autres remerciements vont à l'endroit du laboratoire LaSBAD de l'Université de Bangui-RCA et du Laboratoire de Botanique Écologie Végétale (LBEV) de l'Université de Lomé-Togo pour leurs appuis techniques et scientifiques dans la réalisation de cette étude.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adésina, J.O., 2004. NEPAD and the challenge of Africa's development: towards the political economy of a discourse. *Society in Transition* 35, 125-144.
- 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.
- Baize, D., 2000. Guide des analyses en pédologie: choix, expression, présentation, interprétation. Editions Quae.
- Bertrand, R., Gigou, J., 2000. fertilité des sols tropicaux. Maisonneuve et Larose, Paris (France) 397: 2706814292.
- Bivoko, D., Ahonzo-Niamke, S., Zeze, A., 2014. Impact des propriétés physicochimiques des sols de culture du manioc sur l'abondance et la diversité des communautés de champignons mycorhiziens à arbuscules dans la zone agroécologique d'azaguie, Sud-Est de la Côte D'Ivoire. *Agronomie Africaine* 25, 251-264.
- Borah, K.K., Bhuyan, B., Sarma, H.P., 2010. Lead, arsenic, fluoride, and iron contamination of drinking water in the tea garden belt of Darrang district, Assam, India. *Environmental monitoring and assessment* 169, 347-352.
- Buol, S., Southard, R., Graham, R., McDaniel, P., 2011a. Morphology and Composition of Soils. *Soil Genesis and Classification*, Sixth Edition, 35-87.
- Buol, S.W., Southard, R.J., Graham, R.C., McDaniel, P.A., 2011b. *Soil genesis and*

- classification. John Wiley & Sons. 13:978-0-8138-0769-0.
- Dajoz, R., 1996. Précis d'écologie. 6ème éd. Dunod, Paris, France.
- Diwediga, B., Hounkpe, K., Wala, K., Batawila, K., Taton, T., Akpagana, K., 2012. Agriculture de contre saison sur les berges de l'oti et ses affluents. *African Crop Sci. J.* 20, 613-624.
- Donfack, P., Seignobos, C., 1996. Des plantes indicatrices dans un agrosystème incluant la jachère: les exemples des Peuls et des Giziga du Nord-Cameroun. *Journal d'Agriculture traditionnelle et de Botanique Appliquée* 38, 231-250.
- Doucet, R., 2006. Le climat et les sols agricoles. ed. Berger, Eastman, Québec, xv, 443.
- DSRP2, 2011. Document de Stratégie de Réduction de la Pauvreté. Ministère d'Etat du Plan à l'Economie et à la Coopération Internationale. République centrafricaine. 130.
- Giguère, R., 2002. Botanique et horticulture dans les jardins du Québec : guide 2002. Éditions Multi. Mondes, Société des amis du Jardin Van den Hende, 245. 289-440-263
- 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.
- 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.
- Kaho, F., Yemefack, M., Feujo-Teguefouet, P., Tchanchaouang, J., 2011. Effet combiné des feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur les rendements du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au Centre Cameroun. *Tropicultura* 29, 39-45.
- Kambiré, S., 1994. Systèmes de culture paysan et productivité des sols ferrugineux lessivés du plateau central (Burkina Faso): effets des restitutions organiques. Thèse doctorat troisième cycle, université de Dakar, 188p.
- Kawano, K., 2000. The role of improved cassava cultivars in generating income for better farm management. Proc. 6th Regional Workshop, held in Ho Chi Minh City, Vietnam, pp. 5-15.
- Koko, M., 2008. Végétation et sols. In : Atlas de la République Centrafricaine. Editions Enfance et Paix, Kinshasa (RDC). 19-22.
- 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 maraîchère biologique. p. 17.
- Luciens, N.K., Yannick, U.S., Michel, M.M., David, B.M., Emery, K.L., Louis, B.L., 2012. Effets des apports des doses variées de fertilisants inorganiques (NPKS et Urée) sur le rendement et la rentabilité économique de nouvelles variétés de *Zea mays* L. à Lubumbashi, Sud-Est de la RD Congo. *Journal of Applied Biosciences* 59, 4286-4296.
- Lunes, D., 2011. La sécurité alimentaire dans la région du Centre Ouest du Burkina dans un contexte de Changement Climatiques : stratégies et technologies locales d'adaptations pour la production agricole, « Rapport de synthèse des études », Bukina Faso. 22.
- M'Biandoun, M., Bassala, J.-P.O., 2007. Savoir paysan et fertilité des terres au Nord-Cameroun. *Cahiers Agricultures* 16, 185-197.
- MDRA, 2011. Stratégie de Développement

- Rural, de l'Agriculture et de la Sécurité Alimentaire. Ministère du Développement Rural et de l'Agriculture. 117.
- Miller, D.A., White, R.A., 1998. A conterminous United States multilayer soil characteristics dataset for regional climate and hydrology modeling. *Earth interactions* 2, 1-26.
- Milleville, P., Serpantié, G., 1994. Dynamiques agraires et problématique de l'intensification de l'agriculture en Afrique soudano-sahélienne : Agrarian dynamics and the question of the intensification of farming in the Sahelian and savanna zones of Africa. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France* 80, 149-161.
- Mossoa, L.M., Nguimalet, C.R., 2008. Origines et organisation de l'espace centrafricain. In : Atlas de la République centrafricaine. Editions Enfance et Paix, Kinshasa (R.D. Congo). 11-14.
- 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.
- Ouikon, H., 2003. Problématique de développement agricole en République centrafricaine et perspectives de recherche. Savanes africaines: des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque, Garoua-Cameroun. Cirad-Prasac hal-00143370 6 p.
- Pontanier, R., 2013. Les bio-indicateurs du jonctionnement et du changement du milieu rural. Environnement et sociétés rurales en mutation: Approches alternatives, 101.
- 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.
- Roose, E., Ndayizigiye, F., Sekayange, L., Nsengimana, J., 1992. La gestion conservatoire de l'eau et la fertilité des sols (GCES): une nouvelle stratégie pour l'intensification de la production et la restauration de l'environnement en montagne. *Bulletin-Réseau Erosion*, 140-160.
- Saidou, A., Kossou, D., Azontonde, A., Hougni, D., 2009. Effet de la nature de la jachère sur la colonisation de la culture subséquente par les champignons endomycorhiziens: cas du système 'jachère'manioc sur sols ferrugineux tropicaux du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 3.
- 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.
- Shepherd, K.D., Palm, C.A., Gachengo, C.N., Vanlauwe, B., 2003. Rapid characterization of organic resource quality for soil and livestock management in tropical agroecosystems using near-infrared spectroscopy. *Agronomy Journal* 95, 1314-1322.
- Staff, S.S.D., 1993. Soil survey manual. United States Department of Agriculture.
- 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), p. 170.
- Voisin, A., 1964. Les nouvelles lois scientifiques d'application des engrais: cours donné à l'Université Laval en novembre 1963. Presses de l'Université Laval.
- Von Liebig, J.J., Scheler, A., 1862. Les lois naturelles de l'agriculture. E. Tarlier.
- Zinga, I., Chiroleu, F., Legg, J., Lefeuvre, 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., Lefeuvre, 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.
- Zongo, B., 2016. Stratégies innovantes d'adaptation à la variabilité et au changement climatiques au Sahel: cas de l'irrigation de complément et de l'information climatique dans les exploitations agricoles du Burkina Faso. Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech (ULg - GxABT) 301 p.
- Zoundi, S.J., 2012. Agriculture vivrière: les Africains confrontés à des choix controversés de modèles agricoles. Cahiers Agricultures 21, 366-373.