

# EFFETS DES FUMURES SUR LA FERTILITE, LES COMPOSANTES DE RENDEMENT ET DIAGNOSTIC DES CARENCES DU SOL SOUS CULTURE DE MANIOC SUR LES FERRALSOLS EN COTE D'IVOIRE

## Composantes de rendement et diagnostic des carences du sol Cassava yield components and diagnosis of soil deficiencies

AKANZA K. P.

### RÉSUMÉ

Un essai a été conduit à la station CNRA de Man, en vue d'étudier les effets d'apports combinés d'engrais et de fumier sur la fertilité du sol et les composantes de rendement du manioc. Trois doses d'engrais et cinq niveaux de fumier ont été testés. La combinaison des niveaux des facteurs a permis d'éprouver quinze traitements. Les résultats montrent que le fumier est l'un des principaux moteurs de l'amélioration de la fertilité du sol et des composantes de rendement du manioc, en présence ou non d'engrais minéraux. Aussi, le phosphore assimilable, le calcium et la somme des cations ont-ils été caractérisés, en T09, par des taux d'amélioration respectifs de 510,61 ; 180,14 et 135,51 % par rapport au témoin absolu T00. De même, le nombre de racines tubérisées par plante, les rendements en racines tubérisées et en matière sèche ont présenté des taux d'accroissement similaires respectifs de 520,45 ; 94,45 et 106,42 % en comparaison avec le témoin T00. L'étude montre que chaque composante de rendement est liée à la dose de chacun des éléments nutritifs limitants du sol par une fonction de production. Ainsi, pour trois facteurs du sol repérés comme limitants (phosphore, calcium et somme des cations), cette fonction est quadratique. L'ignorance des facteurs limitant la production, l'utilisation de formules de fumure inadaptées au sol et à la culture maintiennent la persistance de faibles rendements des systèmes de production. L'entretien organique du sol, aux multiples avantages agronomiques, constitue une solution appropriée aux problèmes du paysan.

**Mots-clés :** Fumier, Engrais minéraux, Carences, Sol, Rendement, manioc

### ABSTRACT

## EFFECTS OF MANURE ON FERTILITY, YIELD COMPONENTS AND DIAGNOSIS OF THE DEFICIENCIES OF THE SOIL UNDER CULTIVATION OF CASSAVA ON FERRALSOLS IN CÔTE D'IVOIRE

A trial was conducted at CNRA station of Man, to study the effects of inputs combined fertilizers and manure on soil fertility and yield of cassava components. Three doses of fertilizers and five levels of manure have been tested. The combination of the levels of factors allowed experiencing 15 treatments. The results show that manure is one of the key drivers of improvement of soil fertility and the components of yield of cassava in the presence or not of fertilizers. Also, available phosphorus, calcium, and the total cations were characterized, in T09, by respective improvement rates of 510,61; 180,14 and 135,51% compared with the absolute control T00. Similarly, the number of root tubers per plant, root tubers and dry matter yields were presented of respective similar growth rates of 520,45; 94.45 and 106,42% compared with the control T00. The study shows that each yield component is related to the dose of each of the elements limiting nutrients of the soil by a production function. Thus, for three soil factors identified as limiting (phosphorus, calcium and total cations), this function is quadratic. Ignorance of factors limiting production, the use of inadequate fertilizers formulas to the soil and culture maintain persistence of low yields of production systems. Organic maintenance of soil, through multiple agronomic benefits, constitutes an appropriate solution to the farmers' problems.

**Keywords:** Manure, Mineral fertilizers, Deficiencies, Soil, Yield, Cassava

AKANZA K. P. <sup>1\*</sup>, Agro-pédologue, 01 BP 1 740  
Abidjan 01 (Côte d'Ivoire); Téléphone : (225) 02 02 10  
94 ; E-mail : [paul.akanza@yahoo.com](mailto:paul.akanza@yahoo.com)

N'DA H. A. <sup>1</sup>, CNRA, 01 BP 1 740 Abidjan 01 (Côte  
d'Ivoire).

### INTRODUCTION

Le manioc (*Manihot esculenta* Crantz), plante de la famille des Euphorbiacées est originaire d'Amazonie. Aujourd'hui, sa culture s'est amplement étendue aux régions tropicales et subtropicales (Nouar et al., 2013). Le manioc fait partie des principales plantes à racines et tubercules cultivées dans le monde (FAOSTAT, 2010 ; Anonyme, 2014a). Avec une exportation en 2011 de 16 265 tonnes pour

une valeur de 17 400 millions de dollars US, l'Afrique demeure aujourd'hui le principal fournisseur mondial de racines tubérisées de manioc (Nouar et al., 2013). En Côte d'Ivoire, le manioc est la deuxième culture vivrière après l'igname, avec une production nationale annuelle de 2 306 000 tonnes (CountryStat, 2014) et une quantité exportée, en 2011, de 4 455 tonnes correspondant à une valeur de 1 346 millions de dollars US (Nouar et al., 2013). Le manioc est disponible tout au long de l'année ; de ce fait il

fournit une sécurité alimentaire aux ménages, offrant ainsi une source de calories économique aux petits paysans. Le manioc est réputé comme plante épuisante du sol par le volume important des mobilisations minérales qu'entraîne sa culture. Les exportations pour une production de 25 t.ha<sup>-1</sup> de racines tubérisées sont élevées et estimées à 145 kg.ha<sup>-1</sup> de N, 37 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 245 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, 122 kg.ha<sup>-1</sup> de CaO et 54 kg.ha<sup>-1</sup> de MgO (Raffaillac et Nèdelec, 1986 ; Pouzet, 1988). L'intérêt croissant, dont bénéficie le manioc pour ses qualités (transformation en attiéké, en gari et en farine panifiable), amène à rechercher des moyens efficaces en vue d'accroître les rendements (Bakayoko et al., 2013 ; Nouar et al., 2013). Son utilisation dans l'alimentation humaine porte sur les racines tubérisées riches en amidon. Elle porte également sur les feuilles consommées comme des légumes riches en protéines et vitamines. Les variétés amères de manioc sont surtout utilisées pour la préparation de produits transformés par la fermentation (Nouar et al., 2013 ; N'zué et al., 2004). La politique agricole ivoirienne recommande la promotion des productions vivrières durables en vue de contribuer à la sécurité alimentaire (Anonyme, 2014b). Une des voies propices pour répondre à l'impératif du maintien du niveau de fertilité des sols et de la durabilité des systèmes de cultures à base de manioc consiste à combiner différents types de matière organique avec des engrais minéraux en vue d'accroître la disponibilité des éléments nutritifs au sol pour les plantes (Palm et al., 1997). Mais l'intégration des légumineuses alimentaires fixatrices d'azote, en améliorant la productivité globale du système à faible coût, semble plus bénéfique selon les travaux de (Woomer, 2010 ; Bossuet et Vadez, 2013). Quelle que soit la performance de la méthode adoptée, le diagnostic et la levée effectifs, des carences primaires identifiées du sol, s'imposent comme des nécessités inéluctables (Haddad, 2014). Le principe de diagnostic des déficiences primaires ou absolues du sol et de l'étude des fonctions de production, appliqué aux composantes de rendement du manioc, a justifié l'établissement d'ajustements linéaires et quadratiques significatifs (Vilain, 1993 ; Giroux et Lemieux, 2006). L'analyse des composantes du rendement est exécutée pour expliquer l'effet d'un ou de plusieurs éléments déficients du sol sur les réponses de la culture. Le principe de diagnostic des carences absolues du sol répond tout à fait à ses impératifs. Le présent article vise à évaluer les effets du fumier sur la fertilité des sols et les composantes de rendement du manioc. Il se propose aussi d'en déduire des relations fondamentales sol-plante souscrivant à la définition exacte des facteurs décisifs du ferralsole dont la correction et la maîtrise pourraient contribuer à la durabilité des systèmes culturaux.

## MATERIEL ET METHODES

### Site d'étude

Cette expérimentation, menée durant deux campagnes consécutives, avait pour site d'étude une jachère de cinq ans. L'essai a été conduit à la station CNRA de Man (7° 33' W, 7° 24' N, 350 m), où la saison pluvieuse dure huit mois (mars-octobre), et la saison sèche, quatre mois (novembre-février). La pluviosité annuelle est de 1600 mm, faisant apparaître un pic en août. Le sol du site, résultant de l'altération du granite, est peu profond, riche en éléments

grossiers. De texture argilo-sableuse, il comporte un horizon humifère peu épais.

### Matériel végétal

La variété IM 84 utilisée a été créée au CNRA. Elle a un bon potentiel de production, même sur sol pauvre. Son rendement moyen est estimé à 30 t.ha<sup>-1</sup> avec un taux de matière sèche de 35 % (N'zué et al., 2008).

### Matériel fertilisant

Le matériel fertilisant comprend l'engrais N<sub>10</sub>P<sub>18</sub>K<sub>18</sub>, la dolomie CaMg (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> à 36 % de CaO et à 16 % de MgO et, enfin, de l'urée à 46 % de N.

### Matériel organique

Le fumier utilisé est un mélange de déjections de volailles et de litière de balles de riz. Sa composition chimique a été déterminée (Tableau I).

**Tableau I. Composition chimique du fumier de volaille utilisé comme engrais organique**

pH	C	N	C/N	Pass.	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	S	Fe	Zn	Cu
	(g.kg <sup>-1</sup> )			(mg.kg <sup>-1</sup> )	(%)					(mg.kg <sup>-1</sup> )		
7,9	30,00	3,42	8,77	1645	2,42	0,43	0,16	0,17	3,18	1240	260	8
Pass. = Phosphore assimilable ; S = Sommes des bases												

### Dispositif expérimental et traitements

L'essai a été conduit suivant un dispositif en «split-plot» à quatre répétitions, avec deux facteurs étudiés. Les engrais chimiques forment le facteur principal, à trois niveaux : (1) F0, le témoin; (2) F1, la demi-dose et (3) F2, la dose complète conseillée par la recherche (N'zué et al., 2008). Le fumier constitue le facteur secondaire. Cinq quantités, correspondant aux cinq parcelles élémentaires de chaque sous-bloc, ont été définies : (1) Q0 = 00 t.ha<sup>-1</sup> témoin; (2) Q1 = 05 t.ha<sup>-1</sup>; (3) Q2 = 10 t.ha<sup>-1</sup>; (4) Q3 = 15 t.ha<sup>-1</sup> et (5) Q4 = 20 t.ha<sup>-1</sup>. Quinze traitements issus de la combinaison des niveaux des deux facteurs ont été expérimentés (Tableau II).

**Tableau II. Doses d'engrais minéraux et de fumier de volaille expérimentées**

Groupe objets	Traitements	Engrais minéraux			Fumure organique (t.ha <sup>-1</sup> )
		NPK	Dolomie	Urée	
		(kg.ha <sup>-1</sup> )			
1	T00	0	0	0	0
	T01	0	0	0	5
	T02	0	0	0	10
	T03	0	0	0	15
	T04	0	0	0	20
2	T05	100	150	50	0
	T06	100	150	50	5
	T07	100	150	50	10
	T08	100	150	50	15
	T09	100	150	50	20
3	T10	200	300	100	0
	T11	200	300	100	5
	T12	200	300	100	10
	T13	200	300	100	15
	T14	200	300	100	20

### Collecte des échantillons de sol

Trois prélèvements de terre, de l'horizon superficiel (0-30 cm), ont été effectués : le premier, avant les apports des engrais, le deuxième huit mois après l'application du fumier et le dernier, après la récolte du manioc. Les deux derniers prélèvements étaient constitués chacun de 60 échantillons composites, analysés au laboratoire de l'AfricaRice. Les objectifs visés par les échantillonnages

et analyses étaient : (i) évaluer le niveau de fertilité du sol au départ de l'expérience, (ii) tester l'influence des micro-organismes du sol par rapport à la décomposition de la matière organique apportée et à la libération effective des éléments nutritifs et (iii) juger des améliorations concrètes apportées par le fumier au sol et à la culture souscrivant à l'établissement des relations essentielles sol-plante.

#### Collecte des données expérimentales et analyse statistique

La collecte de données relatives au sol a couvert deux campagnes consécutives 2012 et 2013 tandis que celle portant sur la culture de manioc la seule saison culturale de 2013. Le comptage du nombre de racines tubérisées par plante, au stade de maturité, a été accompli après l'arrachage des tiges du sol. Le rendement en racines tubérisées fraîches a été obtenu à la récolte de chacune des parcelles utiles. Le poids de racines tubérisées par parcelle utile a permis de ramener la production à l'hectare. Les tiges de manioc par parcelle utile, dépourvues de racines tubérisées, ont été pesées au champ. Un échantillon d'environ un kilogramme a été prélevé par parcelle utile aussi bien pour les tiges et feuilles que pour les racines tubérisées fraîches. Ces échantillons ont été placés à l'étuve à 75 °C pendant 72 heures. Grâce à ces données, la matière sèche produite par parcelle utile a été calculée. Toutes les données collectées ont été soumises à l'analyse de variance selon le logiciel GenStat (Payne, 2007). La comparaison multiple des moyennes, en cas de différences significatives, est le résultat du test de Student-Newman-Keuls, appliqué au seuil de 5 %

#### Diagnostic des déficiences minérales du sol

Le rendement d'une culture est lié à la dose de chacun des éléments nutritifs décisifs du sol par une fonction de production quadratique (Vilain, 1993 ; Giroux et Lemieux, 2006) du type :

$$R = R_0 + \alpha X - \beta X^2 + e. \quad (1)$$

où R représente le rendement de la culture ;  $R_0$  le rendement du témoin T00 ;  $\alpha$ , un coefficient traduisant l'efficacité de l'engrais ;  $\beta$ , un coefficient exprimant l'action des facteurs déficients du sol ; X, la dose de l'élément considéré et e, les résidus par rapport au modèle quadratique ajusté.

## RESULTATS ET DISCUSSION

### Caractéristiques chimiques du sol avant l'implantation de l'essai

Les propriétés chimiques du sol, avant la mise en place de l'essai, ont été définies (Tableau III). C'est un sol pauvre en matière organique ( $N = 1,08 \text{ g.kg}^{-1}$  et  $C = 10,62 \text{ g.kg}^{-1}$ ), bien décomposée ( $C/N = 9,83$ ). Ce sol appartient à la sous-classe des ferralsols (Anonyme, 1967 ; Perraud, 1971). Ses propriétés chimiques témoignent d'un faible potentiel de fixation et d'échange d'éléments nutritifs, si l'on en juge de la somme des bases ( $S = 2,14 \text{ cmol.kg}^{-1}$ ) et du taux de saturation ( $V = 24,75 \%$ ). Le phosphore assimilable, pour une valeur de  $P = 16,50 \text{ mg.kg}^{-1}$  traduisant un sol très pauvre (Zoro Bi et al., 2012), manifeste l'une des principales carences minérales de ce ferralsole (Gigou, 1987).

Tableau III. Caractéristiques chimiques du sol du site avant l'implantation de l'essai

N	C	C/N	Pass.	Ca	Mg	K	Na	CEC	S	V.
( $\text{g.kg}^{-1}$ )			( $\text{mg.kg}^{-1}$ )			( $\text{cmol}(+)\text{.kg}^{-1}$ )				(%)
1,08	10,62	9,83	16,50	1,46	0,84	0,21	0,09	8,30	2,14	24,75

Pass. = Phosphore assimilable ; S = Sommes des bases, V. = Taux de saturation en bases

### Caractéristiques chimiques du fumier utilisé

Le fumier est riche en matière organique ( $N = 3,42 \text{ g.kg}^{-1}$  ;  $C = 30,00 \text{ g.kg}^{-1}$ ) bien décomposée ( $C/N = 8,77$ ). La valeur du rapport C/N du fumier apporté (Tableau I) indique que c'est un engrais organique (Morisseau, 2005). Le rapport C/N diminue avec la taille des différentes fractions organiques. Cette diminution serait indicatrice d'un accroissement du degré d'humidification des produits organiques (Christensen, 2001). Le potentiel fertilisant du fumier s'apprécie à travers les valeurs de la somme des bases (3,18 %) et des oligo-éléments ( $\text{Fe} = 1240 \text{ mg.kg}^{-1}$  et  $\text{Zn} = 260 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Son potentiel hydrogène permet de découvrir que le fumier est une substance alcaline ( $\text{pH} = 7,9$ ) selon Zoro Bi et al. (2012). Ce potentiel fertilisant est aussi caractérisé par une teneur en phosphore ( $1645 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) moyennement élevée (Zoro Bi et al., 2012).

### Effets directs du fumier sur quelques caractéristiques chimiques du sol

Les effets directs du fumier n'ont été significatifs que pour quelques variables notamment le phosphore total, le phosphore assimilable et le taux de saturation en bases (Tableau IV).

#### Phosphore total

Les teneurs en phosphore total du sol ont été comprises entre  $161,25$  et  $213,17 \text{ mg.kg}^{-1}$  en fonction des doses de fumier apporté (Tableau IV). Les effets directs du fumier se sont avérés significatifs ( $P = 0,0201$ ). Les apports de  $15$  et  $20 \text{ t.ha}^{-1}$  de matière organique ont rehaussé les teneurs en phosphore total du sol de  $47,75$  et  $51,97 \text{ mg.kg}^{-1}$  par rapport au témoin Q0 ce qui correspond à des taux d'améliorations respectifs de  $29,61$  et  $32,20 \%$ .

#### Phosphore assimilable

Les valeurs du phosphore assimilable ont varié de  $5,83$  à  $20,12 \text{ mg.kg}^{-1}$  en fonction des doses de fumier (Tableau IV). L'influence directe du fumier sur cette variable a été hautement significative ( $P = 0,0031$ ). Les apports de  $15$  et  $20 \text{ t.ha}^{-1}$  ont relevé les valeurs du phosphore assimilable du sol par rapport au témoin de  $8,59$  et  $14,29 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Il en résulte des taux d'accroissement importants, respectifs de  $147,34$  et de  $245,11 \%$ , en comparaison avec le témoin Q0 sans fumier.

#### Taux de saturation en bases

Tableau IV : Effets directs du fumier sur quelques caractéristiques chimiques du sol et taux d'accroissement

Doses de fumier (t/ha)	Phosphore total ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )	Taux P total (%)	Phosphore assimilable ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )	Taux P assimilable (%)	Taux de saturation (%)	Taux S (%)
0	161,25 b	0	5,83 b	0	27,08 b	0
5	195,25 a	21,08	10,56 b	81,19	32,50 ab	16,91
10	200,58 a	24,39	12,93 ab	121,78	35,08 ab	21,19
15	209,00 a	29,61	14,42 ab	147,34	35,42 ab	27,41
20	213,17 a	32,20	20,12 a	245,11	40,83 a	46,87
Moyenne	195,85		12,78		34,18	
PPDS 5 %	31,75		6,60		9,61	
CV %	19,24		61,27		33,37	

PPDS = Plus petite différence significative ; CV = Coefficient de variation ;

Taux = Taux d'accroissement. Les taux d'accroissement ont été calculés par rapport au témoin Q0.

Les valeurs du taux de saturation en bases du complexe adsorbant ont fluctué entre 27,08 et 40,83 % en fonction des doses de fumier (Tableau IV). Les effets directs du fumier ont été significatifs ( $P=0,041$ ). Les apports de fortes doses de 15 et 20 t.ha<sup>-1</sup> de fumier ont rehaussé le taux de saturation de 8,34 et de 13,75 %. Les taux d'accroissement consécutifs à ces hausses sont estimés à 27,41 et 46,87 % en comparaison avec le témoin Q0 sans fumier.

### Effets résiduels du fumier sur la fertilité du sol

L'analyse des effets résiduels du fumier sur la fertilité du sol a été focalisée sur trois facteurs décisifs notamment la somme des cations échangeables, le calcium échangeable et le phosphore assimilable qui expliquent, de façon très nette, chacune des composantes de rendement du manioc dans les ferralsols de la station CNRA de Man (Côte d'Ivoire).

#### Somme des cations échangeables

Les valeurs de la somme des cations ont oscillé entre 2,14 et 5,04 cmol.kg<sup>-1</sup> selon les traitements (Tableau V). Sans engrais minéraux, le fumier a fait varier la somme des cations de 2,51 à 3,73 cmol(+).kg<sup>-1</sup> (Tableau V). Les taux de progression ont été compris entre 17,29 et 74,30 %, respectivement, pour 5 et 20 t.ha<sup>-1</sup> de matière organique. L'application de 20 t.ha<sup>-1</sup> de fumier a doublé la valeur de la variable par rapport au témoin T00. Pour les traitements combinant la demi-dose d'engrais et le fumier, la somme des cations a fluctué entre 2,41 et 5,04 cmol(+).kg<sup>-1</sup> (Tableau V) avec des taux d'accroissement allant de 12,62 à 135,51 %, respectivement, pour 5 et 20 t.ha<sup>-1</sup>. Les traitements T08 et T09, ont, respectivement, doublé puis triplé la valeur de la somme des cations par rapport à T00. En présence de la dose complète d'engrais chimiques, le fumier a consigné des valeurs variant de 2,67 à 4,08 cmol(+).kg<sup>-1</sup> (Tableau V) soit des taux d'accroissement de 24,77 à 90,65 % par rapport au témoin T00, respectivement, pour 5 et 15 t.ha<sup>-1</sup> de matière organique. Le traitement T13 a doublé la valeur de la somme des cations. Mais, le plus fort taux de majoration de cette somme des cations (135,51 %), par rapport au témoin T00, a été obtenu avec le traitement T09. Les apports conjoints des deux types d'engrais ont permis un net accroissement de la somme des cations des horizons supérieurs du sol, conformément aux résultats de Boissezon (1970). Toute la matière organique apportée sous forme de fumier a concouru à accroître la valeur de la somme des cations. Les effets bénéfiques de cette matière organique ont été mentionnés dans la littérature (Baldock et Nelson, 1999 ; Pallo *et al.*, 2008).

#### Calcium échangeable

Les teneurs en calcium du sol ont varié de 1,30 à 4,09 cmol.kg<sup>-1</sup> suivant les traitements (Tableau V). Sans engrais minéraux, le fumier a accru ces teneurs de 1,89 à 2,92 cmol.kg<sup>-1</sup> (Tableau V). Les taux d'accroissement, en comparaison avec le témoin T00, vont de 29,45 à 100 p.c., respectivement, pour 5 et 20 t.ha<sup>-1</sup> de fumier. L'apport de 20 t.ha<sup>-1</sup> de fumier a doublé la richesse en calcium du sol par rapport au témoin T00. Associé à la demi-dose d'engrais chimiques, le fumier a

fait varier les teneurs en calcium de 1,85 à 4,09 cmol.kg<sup>-1</sup>

Tableau V. Effets conjoints des deux types d'engrais sur trois caractéristiques chimiques du sol et taux d'accroissement

Groupe objets	Traitements expérimentaux	Phosphore assimilable (mg.kg <sup>-1</sup> )	Taux P. (%)	Calcium échangeable (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )	Taux Ca (%)	Somme cations (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )	Taux S. (%)
1	T00	16,50 c	0	1,46 bc	0	2,14 bc	0
	T01	30,75 de	86,36	1,89 bc	29,45	2,51 bc	17,29
	T02	28,00 de	69,70	2,34 bc	60,27	2,94 bc	37,38
	T03	75,25 abc	356,06	2,55 abc	74,66	3,33 abc	55,61
	T04	75,50 abc	357,58	2,92 abc	100,03	3,73 abc	74,30
2	T05	17,00 c	3,03	1,30 c	-10,96	1,81 c	-15,42
	T06	33,50 de	103,03	1,85 bc	26,71	2,41 bc	12,62
	T07	34,50 de	109,09	1,90 bc	30,14	2,50 bc	16,82
	T08	69,0 abc	318,18	3,21 ab	119,86	4,16 ab	94,39
	T09	100,75 a	510,61	4,09 a	180,14	5,04 a	135,51
3	T10	27,25 de	65,15	2,01 bc	37,67	2,76 bc	28,97
	T11	42,0 cde	154,55	2,00 bc	36,99	2,67 bc	24,77
	T12	58,67 abc	255,58	2,72 abc	86,30	3,68 abc	71,96
	T13	84,50 ab	412,12	2,86 abc	95,89	4,08 ab	90,65
	T14	78,40 abc	375,15	2,56 abc	75,34	3,20 bc	49,53
Moyenne générale		51,50		2,37		3,12	
PPDS 5 %		24,80		1,00		1,18	
CV %		33,40		29,35		26,25	

PPDS = Plus petite différence significative ; CV = Coefficient de variation ;

Taux = Taux d'accroissement. Les taux d'accroissement ont été calculés par rapport à T00.

(Tableau V). Les taux de bonification, par rapport à T00, sont compris entre 26,71 et 180 %, respectivement, pour 5 et 20 t.ha<sup>-1</sup> de fumier. L'apport de 20 t.ha<sup>-1</sup> de fumier a quasiment triplé la richesse en calcium du sol. Combiné à la dose complète d'engrais chimiques, le fumier a fait osciller les teneurs en cet élément entre 2 et 2,86 cmol.kg<sup>-1</sup> (Tableau V), soit des taux d'accroissement de 37 à 96 %, respectivement, pour 5 et 15 t.ha<sup>-1</sup> de fumier. L'apport de 20 t.ha<sup>-1</sup> de matière organique (T04) et sa combinaison avec la demi-dose d'engrais chimiques (T09) sont les plus propices à la genèse de bonnes conditions de fixation du calcium par le sol. Aussi, ces traitements T04 et T09 ont-ils, respectivement, permis de doubler et de tripler la richesse du sol en cet élément par rapport au témoin T00. Dans les ferralsols en général, le calcium est le cation dominant. Aussi, la corrélation entre les teneurs en calcium et celles de la somme des cations basiques échangeables reste-t-elle très forte conformément aux résultats de Rabeharisoa (2004).

#### Phosphore assimilable

Les effets des traitements sur le phosphore se sont traduits par des valeurs comprises entre 16,50 et 100,75 mg.kg<sup>-1</sup> (Tableau V). Sans engrais minéraux, le fumier a accru les teneurs en phosphore du sol. Mais, pour 5 t.ha<sup>-1</sup>, une teneur de 30,75 mg.kg<sup>-1</sup> a été acquise, contre 28 mg.kg<sup>-1</sup> avec 10 t.ha<sup>-1</sup>. Ce résultat discordant, n'ayant aucun fondement scientifique, pourrait être inscrit au compte d'une éventuelle erreur d'échantillonnage commise par les techniciens sur le terrain ou au laboratoire. Les apports de 15 et 20 t.ha<sup>-1</sup> de fumier parviennent à une teneur identique de 75 mg.kg<sup>-1</sup> (Tableau V). Les taux de majoration, par rapport au témoin T00, ont varié de 69,7 à 357,58 %, pour des quantités de 5 à 20 t.ha<sup>-1</sup> de fumier. Les traitements combinant la demi-dose d'engrais chimiques avec du fumier ont été les plus performants vis-à-vis de la fixation du phosphore par le sol. Ainsi, les valeurs ont évolué de 33,5 à 100,75 mg.kg<sup>-1</sup> (Tableau V). Les taux de majoration ont été compris entre 103 et 510,61 p.c., en comparaison avec T00. En présence de la dose vulgarisée d'engrais minéraux, les teneurs en phosphore du sol ont progressé de 42 à 84,5 mg.kg<sup>-1</sup> (Tableau V) pour des taux d'augmentation, par rapport au témoin T00, variant de 154,55 à 412,12 %, respectivement, selon 5 et 15 t.ha<sup>-1</sup> de fumier. Le plus

fort taux d'accroissement (510,61 %) a été obtenu grâce au traitement T09. La richesse en phosphore du sol a été nettement améliorée, voire sextuplée, par rapport au témoin T00. Le seuil minimum de phosphore Olsen-Dabin, tel que proposé par Le Buanec et Saint-Amand (1975), Moussa et *al.* (2012), est de 60-70 mg.kg<sup>-1</sup>. La synergie des deux types d'engrais indique qu'à Man, le sol a un fort pouvoir fixateur vis-à-vis du phosphore. Environ 80 % des sols tropicaux ne disposent guère de quantités suffisantes de phosphore pour une nutrition satisfaisante des plantes cultivées, si bien que, parmi les facteurs limitants, d'ordre chimique, la carence en phosphore est l'une des plus graves et des plus fréquentes entraves à l'intensification des productions agricoles (Barroin, 2004 ; Moussa et *al.*, 2012). Le phosphore constitue l'un des trois éléments majeurs indispensables à l'alimentation des cultures et un facteur limitant sérieusement la production agricole surtout dans les ferralsols (Rabeharisoa, 2004). Les techniques de gestion de la fertilité, fréquemment adoptées par les agriculteurs en Afrique, conduisent fatalement à un épuisement rapide des sols (Yemefack et *al.*, 2004). Cette pratique impose la nécessité d'une utilisation plus accrue des apports conjoints d'engrais organiques et minéraux pour compenser les pertes et générer de meilleures conditions de production agricole (Diouf et *al.*, 2008). La totalité de la matière organique d'origine animale se minéralise et le phosphore organique issu du fumier passe sous forme minérale (Rabeharisoa, 2004). Cette minéralisation pourrait expliquer l'accroissement spectaculaire (510,61 %) du phosphore assimilable observé sous l'effet d'apport de fumier en T09.

### Effets du fumier sur les composantes de rendement du manioc

#### Nombre de racines tubérisées par plante

Le nombre de racines tubérisées par plante a varié de 3,00 à 14,00 selon les traitements (Tableau V). La différenciation des traitements, vis-à-vis du rendement chez le manioc, imputable au fumier, pourrait s'expliquer par des ségrégations amorcées à l'échelon de la plante suivant les résultats liés à cette variable. Le fumier a accru significativement le nombre de racines tubérisées par plante indépendamment de la présence ou de l'absence d'engrais chimiques. Il n'y a donc pas lieu d'analyser différemment le nombre de racines tubérisées par plante et le rendement en racines tubérisées fraîches.

#### Rendement en racines tubérisées fraîches

Le rendement du manioc, selon les traitements, a varié de 38,38 à 86,64 t.ha<sup>-1</sup> (Tableau VI). Sans engrais minéraux, les rendements ont accru de façon régulière avec les doses de fumier de 38,38 t.ha<sup>-1</sup> pour plafonner à 75,95 t.ha<sup>-1</sup> (Tableau VI). Les taux d'accroissements, assignables aux traitements, ont fluctué entre 35,44 et 68 %, en comparaison avec T00 pour des doses de fumier de 5 à 15 t.ha<sup>-1</sup>. En combinant la demi-dose d'engrais au fumier, le rendement du manioc, imputable aux traitements, maintient la tendance évolutive, en passant de 63,20 à 74,63 t.ha<sup>-1</sup>, pour des quantités de fumier de 5 à 20 t.ha<sup>-1</sup> (Tableau VI). En comparaison avec T00, les taux d'accroissement ont oscillé

entre 64,67 et 94,45 %. L'application conjointe de la dose vulgarisée d'engrais associée au fumier concourt à une nette amélioration du rendement évoluant de 64,90 à 86,64 t.ha<sup>-1</sup> (Tableau VI). Les taux d'augmentation, attribuables aux traitements, connaissent une nette progression de 69 à 125,74 %, pour des apports respectifs de 5 à 20 t.ha<sup>-1</sup>. Cette analyse montre que des apports de fumier, avec ou sans engrais minéraux, permettent d'améliorer la production du manioc. Cependant, les apports conjoints de fortes quantités de fumier (15 à 20 t.ha<sup>-1</sup>) et de la dose vulgarisée d'engrais minéraux entraînent de plus hauts rendements, au regard des forts taux d'augmentation obtenus en T13 (101,41 %) et T14 (125,74 %). Les rendements ont plus que doublé grâce à ces deux traitements (Tableau VI). Il n'y a aucune différence significative de rendement entre les quantités de 15 et 20 t.ha<sup>-1</sup> de fumier. Aussi, la quantité optimum de fumier serait-elle de 15 t.ha<sup>-1</sup>.

### Matière sèche totale du système végétal aérien

La matière sèche a varié de 19,60 à 43,55 t.ha<sup>-1</sup> selon les traitements (Tableau VI). Sans engrais minéraux, la matière sèche du manioc a oscillé entre 27,10 et 37,90 t.ha<sup>-1</sup> sous l'influence du fumier (Tableau VI). Les taux d'accroissement, qui en découlent, sont estimés à 34,83 et 88,56 % par rapport à T00. La quantité de 15 t.ha<sup>-1</sup> de

Tableau VI: Effets conjugués des deux types d'engrais sur les composantes de rendement du manioc et taux d'accroissement.

Série objets	Traitements expérimentaux	Nombre de racines tubérisées par plante	Taux accrois. (%)	Rendement en racines tubérisées (t.ha <sup>-1</sup> )	Taux accrois. (%)	Matière sèche totale (t.ha <sup>-1</sup> )	Taux accrois. (%)
1	T00	02,2 h	0,0	38,38 f	0,0	20,10 g	0,0
	T01	03,4 h	54,54	51,98 def	35,44	27,10 fg	34,83
	T02	07,0 gh	218,18	53,15 cdef	38,48	27,50 efg	36,82
	T03	11,4 b	418,18	75,95 b	72,28	36,60 cd	82,09
2	T04	11,1 bcd	404,54	64,50 bcd	68,06	37,90 bcd	88,56
	T05	05,0 h	127,27	45,80 ef	19,13	19,60 g	-2,49
	T06	6,85 def	211,36	63,20 bcd	64,67	35,25 bcde	75,57
	T07	9,44 cde	329,09	68,48 bc	78,43	33,90 bcde	68,66
3	T08	12,5 ab	468,18	72,20 b	88,12	40,45 bc	101,24
	T09	13,65 ab	520,45	74,63 b	94,45	41,49 bc	106,42
	T10	09,0 fg	309,09	61,90 bcd	61,28	33,60 cdef	67,16
	T11	9,1 cde	313,64	64,90 bcd	69,10	31,21 def	55,27
3	T12	11,4 bcd	418,18	69,50 b	81,08	43,55 ab	116,67
	T13	12,0 bc	445,45	77,30 ab	101,41	37,19 bcd	85,02
	T14	12,9 ab	486,36	86,64 a	125,74	43,35 ab	115,67
Moyenne			9,07	64,55		34,03	
PPDS %			1,97	15,61		9,02	
CV %			15	17,19		18,50	

PPDS = Plus petite différence significative ; CV = Coefficient de variation.  
Les taux d'accroissement ont été calculés par rapport à T00.

fumier semble être la plus performante. Dans la deuxième série d'objets combinant la demi-dose d'engrais au fumier, la matière sèche a varié de 32,25 à 41,49 t.ha<sup>-1</sup> (Tableau VI). Les taux d'accroissement liés à ces valeurs sont estimés à 68,66 et 106,42 %. La quantité de 15 t.ha<sup>-1</sup> de fumier apparaît une fois de plus comme la plus performante. Dans la dernière série de traitements associant la dose vulgarisée d'engrais minéraux au fumier, la matière sèche a fluctué entre 31,21 et 43,55 t.ha<sup>-1</sup> (Tableau VI). Les taux d'augmentation se situent entre 55,27 et 116,67 % en comparaison avec T00. Selon les résultats acquis, l'apport de 15 t.ha<sup>-1</sup> de fumier accroît la production et pourrait constituer l'optimum de ce facteur. Globalement, l'analyse des composantes de rendement du manioc annonce que le fumier demeure le principal facteur responsable de l'amélioration de la productivité du sol, indépendamment de la présence ou de l'absence d'engrais minéraux.

### Diagnostic des carences minérales absolues du sol

### Diagnostic des carences selon le nombre de racines tubérisées par plante

Le nombre de racines tubérisées par plante dont l'étude a été couplée à celle des données du sol, établit que trois éléments nutritifs du ferralsol, notamment la somme des cations échangeables, le calcium échangeable et le phosphore assimilable, expliquent parfaitement bien cette composante de rendement. Les coefficients de détermination ( $R^2$ ) sont élevés et compris entre 0,71 et 0,79. Ils interprètent que, dans 71, 73 et 79 % des cas, le nombre de racines tubérisées par plante est déterminé, respectivement, par la somme des cations échangeables (figure 1c), le calcium échangeable (figure 1b) et le phosphore assimilable (figure 1a). D'autres facteurs de l'environnement (climat, fertilité intrinsèque du sol) sont crédités de 21 à 29 % des variations du nombre de racines tubérisées par plante.

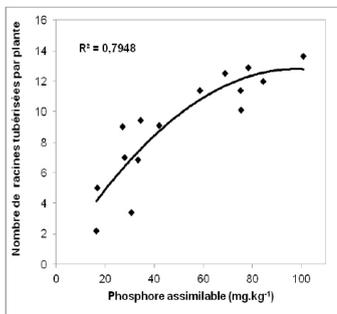


Figure 1a: Modèle d'évolution du nombre de racines tubérisées par plante en fonction du phosphore assimilable

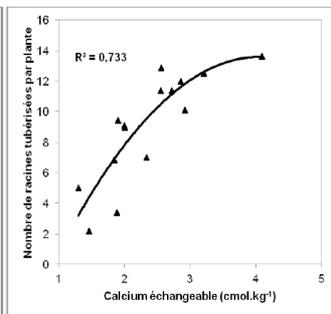


Figure 1b: Modèle d'évolution du nombre de racines tubérisées par plante en fonction du calcium échangeable

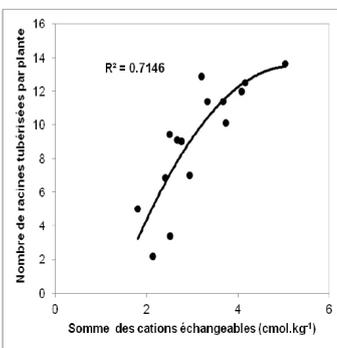


Figure 1c: Modèle d'évolution du nombre de racines tubérisées par plante en fonction de la somme des cations échangeables

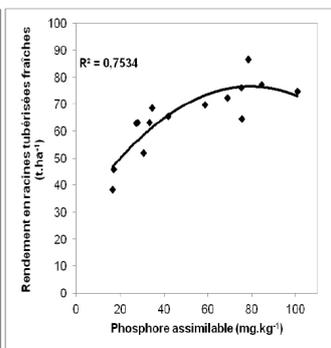


Figure 2a: Modèle d'évolution du rendement en racines tubérisées fraîches en fonction du phosphore assimilable

### Diagnostic des carences selon le rendement

Encore couplée à celle des données du sol, l'étude du rendement dévoile que les mêmes éléments nutritifs du ferralsol expliquent précisément bien la production du manioc. Les coefficients  $R^2$  affichés sont également élevés et oscillent entre 0,63 et 0,75. Ils expriment que, dans 63, 68 et 75 % des cas, le rendement du manioc est déterminé, dans les ferralsols de la station CNRA de Man, respectivement, par la somme des cations échangeables (figure 2c), le calcium échangeable (figure 2b) et le phosphore assimilable (figure 2a). De même, d'autres facteurs de l'environnement (climat, fertilité intrinsèque du sol) sont crédités de 25 à 37 % des variations du rendement. Certaines figures présentent des niveaux optima suivis d'effets dépressifs. Ces conditions imposent de définir

ces optima des facteurs décisifs et des rendements : (i) l'optimum du phosphore s'est établi à 79,83  $\text{mg.kg}^{-1}$  pour un rendement maximum de 76,78  $\text{t.ha}^{-1}$  (figure 2a); (ii) l'optimum du calcium s'est fixé à 3,31  $\text{cmol}_{(+)}\text{.kg}^{-1}$  avec un rendement maximum de 76,85  $\text{t.ha}^{-1}$  (figure 2b); (iii) l'optimum de la somme des cations s'est confirmé à 4,16  $\text{cmol}_{(+)}\text{.kg}^{-1}$  moyennant un rendement maximum de 76,09  $\text{t.ha}^{-1}$  (figure 2c).

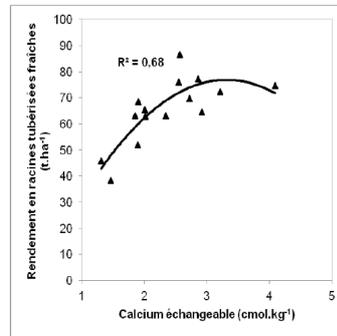


Figure 2b: Modèle d'évolution du rendement en racines tubérisées fraîches en fonction du calcium échangeable

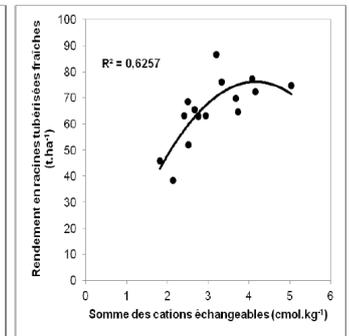


Figure 2c: Modèle d'évolution du rendement en racines tubérisées fraîches en fonction de la somme des cations échangeables

### Diagnostic des carences selon la matière sèche totale du manioc

A l'instar des deux premières composantes, la matière sèche du système végétal aérien, dont l'étude a, enfin, été couplée à celle des données du sol, traduit de façon analogue que les mêmes éléments nutritifs du ferralsol expliquent, de manière harmonieuse, cette dernière composante. Enfin, les coefficients  $R^2$  observés sont encore élevés et varient de 0,72 à 0,79. Ils informent que, dans 72, 74 et 79 % des cas, la matière sèche totale du système végétal aérien du manioc est déterminée, dans les ferralsols de la station CNRA de Man, respectivement, par la somme des cations échangeables (figure 3c), le calcium échangeable (figure 3b) et le phosphore assimilable (figure 3a). Pour cette dernière composante, d'autres facteurs de l'environnement (climat, fertilité intrinsèque du sol) sont crédités de 21 à 28 % des variations considérées.

A l'instar du rendement en racines tubérisées, le rendement

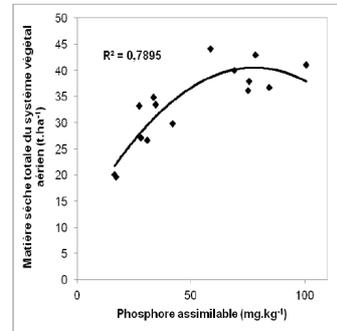


Figure 3a: Modèle d'évolution de la matière sèche totale du système végétal aérien en fonction du phosphore assimilable

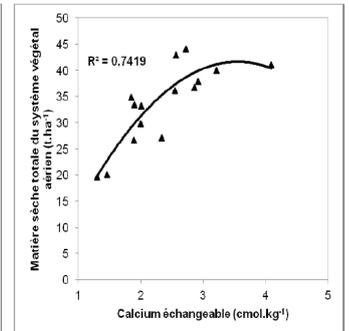


Figure 3b: Modèle d'évolution de la matière sèche totale du système végétal aérien en fonction du calcium échangeable

en matière sèche totale du manioc présente des niveaux optima suivis d'effets dépressifs. Ces optima des facteurs décisifs et du rendement en matière sèche ont également été définis : (i) l'optimum du phosphore s'est établi à 77,64  $\text{mg.kg}^{-1}$  pour un rendement en matière sèche maximum de

40,47 t.ha<sup>-1</sup> (figure 3a); (ii) l'extrémum du calcium s'est fixé à 3,55 cmol<sub>(+)</sub>.kg<sup>-1</sup> avec un rendement en matière sèche maximum de 41,66 t.ha<sup>-1</sup> (figure 3b); (iii) le summum de la somme des cations s'est confirmé à 4,41 cmol<sub>(+)</sub>.kg<sup>-1</sup> moyennant un rendement en matière sèche maximum de 41,12 t.ha<sup>-1</sup> (figure 3c). Les résultats fournis par les trois composantes de rendement du manioc sont cohérents pour confirmer les mêmes facteurs déficitaires du sol. Ces trois éléments nutritifs du ferralsol, qui expliquent absolument bien les composantes de rendement du manioc, constituent des facteurs limitants primaires de la production. Les valeurs de R<sup>2</sup>, établissant l'intensité et la hiérarchisation des carences, installent le phosphore assimilable au premier rang pour R<sup>2</sup> = 0,79 (figure 1a), R<sup>2</sup> = 0,75 (figure 2a) et R<sup>2</sup> = 0,79 (figure 3a). Il est suivi par le calcium échangeable avec R<sup>2</sup> = 0,73 (figure 1b), R<sup>2</sup> = 0,68 (figure 2b) et R<sup>2</sup> = 0,74 (figure 3b). La somme des cations échangeables apparaît en troisième et dernière position avec R<sup>2</sup> = 0,71 (figure 1c), R<sup>2</sup> = 0,63 (figure 2c) et R<sup>2</sup> = 0,72 (figure 3c).

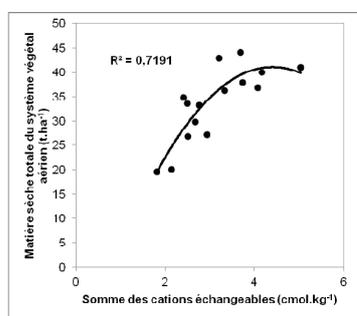


Figure 3c: Modèle d'évolution de la matière sèche totale du système végétal aérien en fonction de la somme des cations échangeables

Ces résultats corroborent avec ceux de Barroin (2004) qui affirme que le phosphore est le nutriment le plus limitant, comparé à l'azote et au carbone. Cependant, le phosphore et le calcium sont déjà connus, en zone forestière de Côte d'Ivoire, comme des facteurs limitants de la production (Gigou, 1987), contrairement à la somme des cations dont la présente découverte participe à la réactualisation de la liste des carences primaires du sol en zone forestière du pays. Dans le sol d'une zone agro pédoclimatique donnée, plusieurs déficiences sont toujours bien établies. La production est limitée par le facteur le plus éloigné de son optimum. Et, tant que la correction du facteur le plus limitant n'est pas réalisée, les actions sur les autres sont peu efficaces. Le fumier, riche en phosphore (1645 mg.kg<sup>-1</sup>), a corrigé la carence du sol (16,5 mg.kg<sup>-1</sup>) en cet élément. Suite à la correction du premier facteur déficient, c'est un autre qui prend sa place (Dugué et Gigou, 2002).

## CONCLUSION

Les résultats de cette étude montrent l'intérêt de combiner des engrais minéraux au fumier pour améliorer la fertilité des sols et les composantes de rendement du manioc. L'utilisation croisée des données soutenant les composantes de rendement et celles du sol, explique que le plan factoriel utilisé a pleinement joué son rôle en souscrivant à la mise en évidence des principaux facteurs influents du milieu ou d'optimiser la réponse attendue. L'analyse des fonctions de production confirme, de façon cohérente, que le phosphore, le calcium et la somme des cations expliquent nettement les variables étudiées. La persistance de faibles

rendements des cultures, dans les différentes zones agro écologiques, trouve en ce concept une explication cohérente des facteurs déficitaires, mis en évidence par les fonctions de production du manioc. Elles certifient qu'après des apports de fertilisants, les carences persistent et demeurent très actives. En conséquence, il semble opportun de convaincre des optima des facteurs déficitaires à prendre en compte dans la formulation d'engrais. Leur connaissance et leur mise en application permettraient de parvenir à une correction effective des carences décelées en vue d'une gestion durable de la fertilité et de la production dans la zone agro-écologique de l'étude. Le but à atteindre est la mise en place de systèmes culturaux innovants et durables. Les conditions pour y parvenir sont les suivantes : (i) un optimum du phosphore assimilable de 79,83 mg.kg<sup>-1</sup> est souhaité pour aboutir à des rendements maxima de 76,78 et 40,47 t.ha<sup>-1</sup>, respectivement, de racines tubérisées fraîches et de matière sèche totale ; (ii) un summum du calcium échangeable de 3,55 cmol<sub>(+)</sub>.kg<sup>-1</sup> est à respecter pour acquérir des rendements maxima de 76,85 et 41,66 t.ha<sup>-1</sup>, respectivement, de racines tubérisées fraîches et de matière sèche totale ; (iii) un extrémum de la somme des cations de 4,41 cmol<sub>(+)</sub>.kg<sup>-1</sup> s'avère nécessaire pour procurer des rendements maxima de 76,09 et 41,12 t.ha<sup>-1</sup>, respectivement, de racines tubérisées fraîches et de matière sèche totale. En définitive, la formule de fumure propice à ce ferralsol doit honorer des seuils de teneurs de 79,83 mg.kg<sup>-1</sup> de phosphore, de 3,55 cmol<sub>(+)</sub>.kg<sup>-1</sup> de calcium et de 4,41 cmol<sub>(+)</sub>.kg<sup>-1</sup> de somme de cations. Ce faisant, une levée effective des carences primaires serait acquise souscrivant ainsi à des rendements maxima de 76 et 41 t.ha<sup>-1</sup>, respectivement, de racines tubérisées fraîches et de matière sèche totale du système végétal aérien du manioc. Les bases complètes d'une formulation efficace d'engrais, adaptée à cette zone agro-écologique d'étude, pouvant témoigner d'une gestion durable de la fertilité des sols, de l'accroissement des rendements et de la sédentarisation des systèmes de cultures à base de manioc, sont ainsi établies.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anonyme, 1967. Classification des sols. Rapport d'exécution DCGTx. Abidjan. 63 p.
- Anonyme, 2014a. Sécurité alimentaire en Afrique de l'Ouest: quel apport de l'industrialisation des filières agricoles. Vers une industrialisation des filières agricoles en Afrique de l'Ouest, compatible avec les opportunités de croissance, de demande locale et régionale, et la sécurité alimentaire. 17<sup>ème</sup> réunion de Yamoussoukro, 3-4/03/2014, 51 p.
- Anonyme, 2014b. Programme indicatif national pour la période 2014-2020. R. C. I. - U. E. 11<sup>ème</sup> Fonds Européen de Développement. Nairobi, 19/06/2014, 34 p.
- Bakayoko, S., Soro, D., N'dri, Be., Kouadio, K.K.H., Tschannen, A., Nindjin, C., Dao, D., Girardin, O., 2013. Etude de l'architecture végétale de 14 variétés améliorées de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) dans le centre de la Côte d'Ivoire. Journal of Applied Biosciences 61: 4471-4477.
- Baldock, J. A., et Nelson P. N., 1999. Soil organic matter. In : Summer M. E. Editor. Handbook of Soil Science. New York, 25-84

Barroin, J., 2004. Phosphore, azote, carbone...du facteur limitant au facteur de maîtrise. Le courrier de l'Environnement INRA n° 52 : 1-52.

Boissezon, P., 1970. Etude du complexe adsorbant des ferralsols forestiers de Côte d'Ivoire. Cahiers ORSTOM, série Pédologie. 3 : 391-418

Bossuet, J. et Vadez, V., 2013. S'appuyer sur les multiples bénéfiques des légumineuses à graines pour une agriculture plus productive et nutritive dans les tropiques semi-arides. Sécheresse 24 : 314-321.

Christensen, B. T., 2001. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. Eur. J. Soil Sci.52:345-353

CountryStat, 2014. Deuxième atelier du GTT countryStat de Grand-Bassam du 19-21/06/2014. Projet MTF/GLO345/BMG-FAO.

Diouf, A., Diop, T. A., Ndiaye, M. A. F., Ndiaye, A. S. et Gueye M., 2008. Impact de la biomasse de *Gliricidia sepium* utilisée comme engrais vert sur la culture du maïs (*Zea mays*) au Sénégal. Journal of Sciences 8 : 10-17.

Dugué, P. et Gigou, J., 2002. La gestion de la fertilité. In : Mémento de l'Agronome. Editions Jouve. Paris, 810 p.

FAOSTAT, 2010. FAO Statistical databases. Italie, Rome, «<http://www.fao.org>».

Gigou, J., 1987. L'importance de la carence en phosphore pour les cultures annuelles en Côte d'Ivoire. Agronomie Tropicale 42 : 20-28.

Giroux, M. et Lemieux, M., 2006. Comparaison de différentes méthodes d'évaluation de la fertilité azotée des sols et détermination de la dose N optimale du maïs ensilage. Agrosolutions 17: 39-50

Haddad M., 2014, La fertilisation de la pomme de terre, Journée fertilisation de la pomme de terre de Djanatu El-Arif (Zawya) du 08/09/2014. 28 p. [www.ccidahra.com/agrimosta2014](http://www.ccidahra.com/agrimosta2014). Consulté le 20/02/2015

Le Buanec, B. et Saint-Amand, R. D., 1975. Mise en évidence d'une carence en phosphore sur sols dérivés de granites en Côte d'Ivoire et contribution à la mise au point de tests permettant son diagnostic. Annales de l'Université d'Abidjan, Série C, tome XI : 103-122.

Morisseau, L., 2005. Etude du marché des fertilisants organiques, Publication ITAVI, ITP, OFIVAL. [www.inra.fr](http://www.inra.fr). Paris, 54 p. Consultation en avril 2014.

Moussa, S., Mahamadou, G., Amadou, B., Tabo, R., 2012. Phosphate : la recherche insiste depuis 40 ans sur ce facteur limitant des cultures pluviales, Investir dans la bonification des terres, RECA, CORAF. Note d'information/Intrants n° 20, Niger, 5 p.

Nouar, M., Decreux, Y. et Marty, O., 2013. Evaluation du

potentiel à l'exportation du manioc en Côte d'Ivoire. PACIR, UE, 53 p. [decreux@intracen.org](mailto:decreux@intracen.org) ou [marty@intracen.org](mailto:marty@intracen.org).

N'Zué, B., Zohouri, G.P., et Sangaré, A., 2004. Performances agronomiques de quelques variétés de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) dans trois zones agro climatiques de la Côte d'Ivoire. Agronomie Africaine 16 (2) : 1-7.

N'Zué, B., Zohouri G.P., Yapi-Gnahoré V., Djédji C., 2008. Bien cultiver le manioc en Côte d'Ivoire. Fiche technique. CNRA-CTA, Abidjan. 4 p.

Palm, C. A., Myers, R. J. K. and Nandwa, S. M., 1997, Combined use of organic and inorganic nutrient sources for soil fertility maintenance and replenishment pp123-217, in : R. J. Buresh, P. A. Sanchez & F. Calhoun (Editors), Replenishment soil fertility in Africa, Soil Society of America, Special publication n° 51, Madison, 320 p.

Pallo, J. P., Sawadogo, N., Sawadogo, L., Sedogo, M. P. et Ayemou, A., 2008. Statut de la matière organique des sols dans la zone sud-soudanaïenne au Burkina Faso. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 12(3): 291-301.

Payne, R., 2007. A guide to Anova and Design. GenStat Discovery Nairobi (Kenya), ICRAF. 113 p.

Perraud, A., 1971. Les sols p. 269-390. In : Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire, Mémoire ORSTOM n° 50, Editions ORSTOM, Paris.

Pouzet, D., 1988. Amélioration de la culture mécanisée du manioc en Côte d'Ivoire. Mémoire et travaux de l'IRAT n° 18

Rabeharisoa, R. L., 2004. Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphate des sols ferrallitiques des hautes terres de Madagascar. Thèse de Doctorat d'Etat. Université d'Antananarivo, 214 p.

Raffaillac, J. P., et Nédélec, G., 1986. Comportement de 10 clones de manioc dans les conditions édapho-climatiques du Sud de la Côte d'Ivoire. Document ORSTOM, Adiopodoumé, 19 p.

Vilain, M., 1993. La production végétale, La maîtrise technique de la production, Agriculture d'aujourd'hui. Sciences, Techniques, Applications, Editions Lavoisier. Paris, 449 p.

Woomer, P. L., 2010. Fixation biologique de l'azote et entreprise de légumineuses à graines : directives des maîtres fermiers pour N2Africa. Tropical Soil Biology and Fertility Institute of the International Center for Tropical Agriculture. Nairobi, 17 p

Yemefack, M., Nounamo, L., Njomgang, R., et Bilong, P., 2004. Influence des pratiques agricoles sur la teneur en argile et autres propriétés agronomiques d'un sol ferrallitique au sud du Cameroun. Tropicicultura, 22 : 3-10.

Zoro Bi, G. F., Yao-Kouamé, A., et Kouamé, K. F., 2012. Evaluation statistique et spatiale de la fertilité des sols hydromorphes (gleysols) de la région du Bélier (Côte d'Ivoire). Tropicicultura 30 : 236-242.