

EVALUATION DE LA FERTILITE DES SOLS SOUS CACAOYERS DANS LE SUD-OUEST DE LA CÔTE D'IVOIRE

K. L. KOKO¹, R. G. YORO¹, K. NGORAN¹ et A. ASSA²

¹CNRA / Programme Cacao, Station de Recherche de Divo, BP 808 Divo (Côte d'Ivoire). E-mail : jkoloulouis@yahoo.fr

²Université de Cocody-Abidjan, UFR-STRM / Laboratoire Agro-pédologie, 22 BP 582 Abidjan 22.

RESUME

L'étude a été réalisée dans le but de caractériser la fertilité des sols sous cacaoyers dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. Des échantillons, représentatifs des sols de Méagui et de San-Pedro, ont été prélevés sous les cacaoyères dégradées et non dégradées et sous forêt naturelle. Les échantillons ont été analysés au laboratoire des sols selon des méthodes standard. Des analyses statistiques multidimensionnelles (ACP et ARH) ont été effectuées en vue d'évaluer les paramètres de fertilité des sols. Les résultats montrent que les sols des cacaoyères non dégradées et ceux de forêt (groupe 1) ayant présenté des teneurs en matières organiques supérieures à 3 % ont été plus favorables au développement du cacaoyer. Ce qui n'as pas été le cas pour les sols sous cacaoyères dégradées. Ceux-ci (groupes 1, 2 et 3, ont été caractérisés par des teneurs en matières organiques plus faibles (<3%). Dans tous les sols (cacaoyères dégradées, cacaoyères non dégradées et forêt), les principales caractéristiques du complexe absorbant montrent des contraintes pour le cacaoyer. Tous les sols ont été déficients en K ($<0,2 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$); la proportion de K, par rapport à la somme des bases échangeables (K + Ca + Mg) ou SBE a été $< 4 \%$. Le ratio $\text{SBE } 6,15/\text{N} < 8,9$ indiquant un déséquilibre entre les bases échangeables et N; la correction de ce déséquilibre nécessite une augmentation des niveaux des bases échangeables. Les sols ont été déficients en P assimilable ($< 40 \text{ mg.kg}^{-1}$) et $\text{N}/\text{P}_2\text{O}_5$ total est supérieur à 2, ce qui est différent de l'optimum ($\text{N}/\text{P}_2\text{O}_5$ total = 1,5). Cette étude a permis de montrer que pour les sols sous cacaoyers du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire, une stratégie de fertilisation minérale, en relation avec les systèmes de production doit être adoptée.

Mots clés : Fertilité sol, caractéristiques chimiques, cacaoyer, sud-ouest de la Côte d'Ivoire

ABSTRACT

EVALUATION OF SOILS FERTILITY UNDER CACAO-TREES IN SOUTH-WEST CÔTE D'IVOIRE

A study was conducted in order to characterize soils fertility under cocoa plantations in South-west Côte d'Ivoire. The study was based on representative soils samples from the Méagui and San-Pedro areas. Soils were sampled under degraded and nondegraded cocoa-trees and also, under uncultivated forest. Each soil sample was analysed in the soils laboratory using standard methods. Multidimensional analyses (ACP and ARH) were used to estimate soil fertility parameters. Results show that soils of the nondegraded cocoa-farms and forest soils (group 1) had organic matter content of more than 3 %, and were more favourable to cocoa-trees. These results differ from those obtained with degraded cocoa-trees soils. These soils, represented by groups 1, 2 and 3, were characterized by organic matter contents less favourable to cocoa-trees ($< 3 \%$). In all soils (degraded cocoa farm, nondegraded cocoa farm and forest), the main characteristics of absorbent colloids revealed constraints for cocoa tree development. All soils were K-deficient ($K < 0.2 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$); K content, calculated based on the sum of exchangeable bases (K+ Ca + Mg), was $< 4 \%$. The value of $\text{SBE} + 6.15 / \text{N}$ was lower than 8.9 and showed an imbalance between exchangeable bases and N; the correction of this imbalance requires an increase in the level of exchangeable bases. Soils were deficient in P ($< 40 \text{ mg kg}^{-1}$) and $\text{N}/\text{P}_2\text{O}_5$ total was > 2 , wich was different from an optimum ($\text{N}/\text{P}_2\text{O}_5$ total = 1.5). This study also shows that for soils under cocoa-trees in South-west of Côte d'Ivoire, it will be necessary to adopt a strategy of mineral fertilization based on production systems.

Key words : Soil fertility, chemical characteristics, cocoa-tree, South-west of Côte d'Ivoire.

INTRODUCTION

La mise en valeur d'un sol en cacaoculture dépend surtout des caractères morpho-pédologiques. Cela répond au souci d'une gestion durable de l'exploitation cacaoyère (Yoro, 2004). Ainsi, dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire, sur les sommets et les hauts de versants, les éléments grossiers, l'induration et le mauvais drainage interne ont été identifiés comme caractères morpho-pédologiques étroitement liés à la dégradation précoce des cacaoyers (Koko *et al.*, 2006). Cependant, sur les parties basses des versants qui sont morphologiquement favorables à la cacaoculture, la seule connaissance des caractères morpho-pédologiques ne suffit pas pour garantir une gestion rationnelle et durable des exploitations. Dans ce cas, l'évaluation de la fertilité des sols s'avère indispensable (Yoro, 2001 ; Koko *et al.*, 2006).

Des travaux sur la fertilité des sols sous cacaoyers ont été menés dans plusieurs pays producteurs de cacao. Ainsi au Togo, il a été montré que la valeur optimale du phosphore assimilable est de 100 ppm et que la correction de la teneur du sol en bases (K, Ca et Mg) est impossible lorsque le taux de saturation est égal à 100 % (Jadin et Vaast, 1990 ; Jagoret *et al.*, 1992). Plusieurs essais en station conduits au Cameroun ont confirmé que 8 % de K, 68 % de Ca et 24 % de Mg par rapport à la somme $K + Ca + Mg$ (cmol (+) kg^{-1}) et avec 1,5 comme rapport N/P_2O_5 permettent d'obtenir de bons rendements (Paviot, 1977). Des travaux de fertilisation conduits au Ghana ont montré que le phosphore contribue à une augmentation moyenne de 32 % des rendements en cacao marchand alors que l'effet du potassium est négligeable et celui de l'azote, généralement dépressif (Ahenkorah *et al.*, 1981 ; Ofori-Frimpong *et al.*, 2003). L'utilisation de la cendre des coques de cacao, comme engrais potassique, a été expérimentée avec succès au Ghana sous le cacaoyer et sous les cultures

vivrières (Ahenkorah *et al.*, 1987). Actuellement, la gestion de la fertilité du sol et les recommandations de fertilisation intègrent tous les acquis de la recherche, la mise au point de techniques de cacaocultures durables et compétitives en Afrique (Appiah *et al.*, 2006 ; Tossah *et al.*, 2006).

En Côte d'Ivoire, les meilleures performances dans la cacaoculture ont été obtenues dans les régions de production de l'Est et du Centre-Ouest (Freud *et al.*, 2000 ; Assiri, 2006). Le potentiel chimique des sols de ces régions a été largement étudié en relation avec la production des cacaoyers ; ces travaux, appuyés par des essais de fertilisation minérale, ont permis de préconiser des formules d'engrais pour les premières régions cacaoyères, dans le but d'une gestion durable (Jadin, 1972 ; Jadin et Snoeck, 1985 ; IDEFOR, 1996). Depuis plus de deux décennies, la création de plantations de cacaoyers a pris un essor considérable au Sud-Ouest (Freud *et al.*, 2000). Or le potentiel chimique des sols sous cacaoyers dans cette nouvelle région productrice n'a pas été clairement établi. Cette étude a donc été réalisée dans le but de caractériser la fertilité des sols sous cacaoyers dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire en vue de recommander les pratiques de fertilisation minérale.

MATERIEL ET METHODES

MILIEU D'ETUDE

L'étude a été conduite en milieu paysan, dans les localités de San-Pedro et de Méagui, au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire (Figure 1). Le climat de cette région, est de type tropical humide avec 2 saisons pluvieuses, de mars à juin et de septembre à octobre, qui alternent avec 2 saisons sèches, de novembre à février et de juillet à août. La température moyenne annuelle est de 29 °C (IDEFOR, 1996).

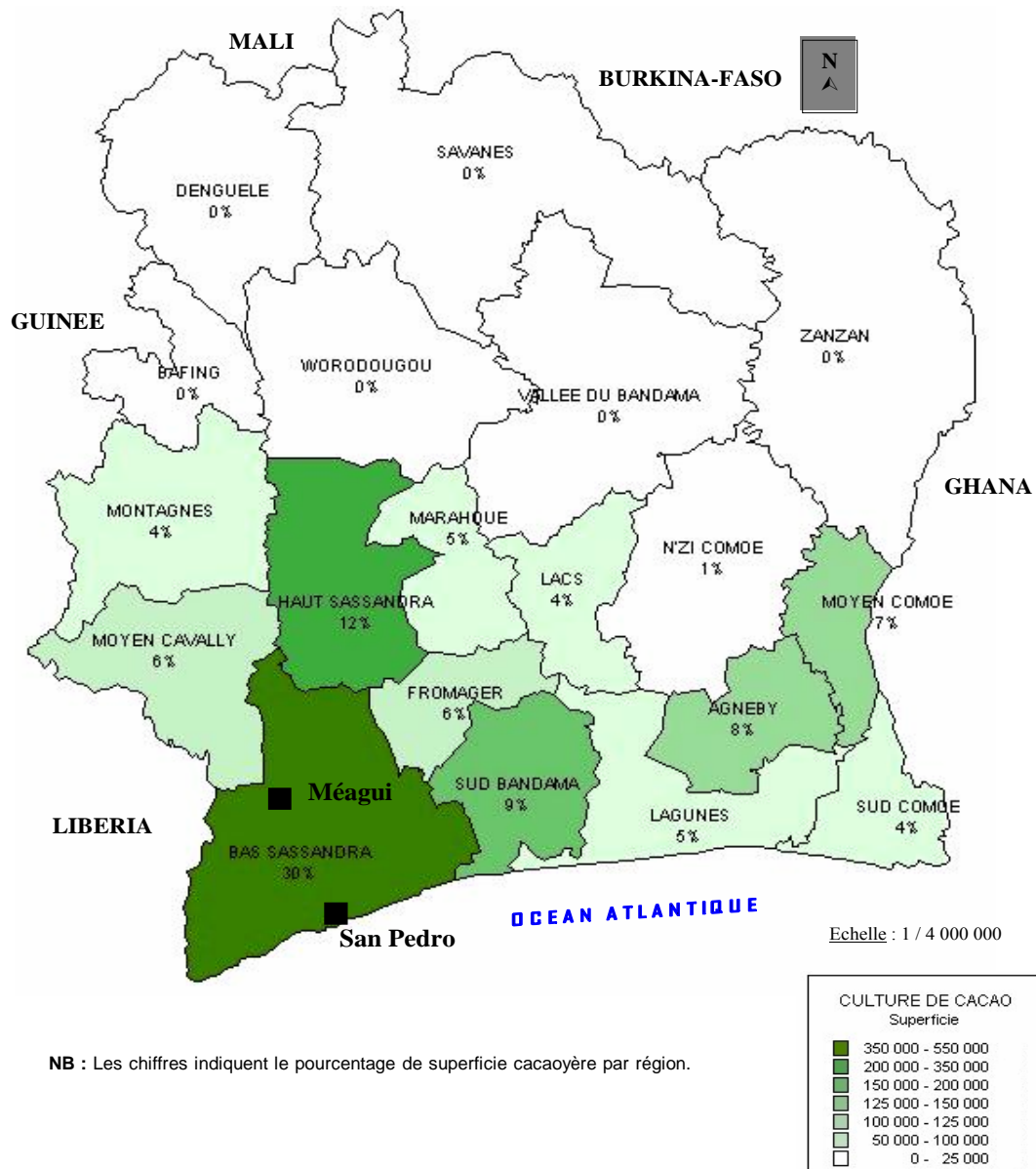


Figure 1 : Localités d'étude de San-Pedro et de Méagui dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire (RNA, 2004).
Localization of San Pedro and Méagui in South-West Côte d'Ivoire (RNA, 2004).

Les sols du Sud-Ouest, développés sur une topographie ondulée à vallonnée, sont ferrallitiques fortement désaturés et issus de granites, de gneiss ou de micaschistes (Perraud, 1971).

PARCELLES D'ETUDE

Trois types de parcelles correspondant à des végétations spécifiques ont été choisis : les cacaoyères dégradées, les cacaoyères non dégradées et la forêt primaire.

Dans les cacaoyères dégradées, les arbres, non productifs et âgés de 20 ans, ont un aspect de sénescence plus ou moins prononcée. Au stade terminal de la dégradation, l'état général de la cacaoyère présente de nombreux éclaircis (Figure 2). Les cacaoyères non dégradées sont constituées par les cacaoyers en production, âgés de 10 ans et en bon état végétatif. La canopée des arbres est en général bien développée (Figure 3). La forêt primaire, qui a été délimitée dans le périmètre de la Station

CNRA (Centre National de Recherche Agronomique) de San-Pedro, n'a jamais été cultivée.

ENQUETE

A l'échelle de la région du Sud-Ouest, l'étude a été considérée selon 4 niveaux d'investigation : la ville, le village, l'exploitation paysanne à base de cacaoyers et la parcelle de cacaoyers. Dans les villes de San-Pedro et de Méagui, une enquête a été conduite dans 37 villages, avec

la collaboration de l'ANADER (Agence Nationale d'Appui au Développement Rural). Au cours de l'enquête, l'état général du verger et les pratiques agricoles des paysans ont été décrits dans 370 cacaoyères. Afin de prélever des échantillons de sols, 46 cacaoyères ont été sélectionnées au hasard dans 19 villages. Une délimitation de 0,5 ha par cacaoyère, correspondant à une parcelle située sur la position topographique mi-versant (Koko *et al.*, 2006), a été effectuée pour les études agro-pédologiques.



Figure 2 : Plantation de cacaoyers dégradés
Plot of degraded cocoa-trees



Figure 3 : Plantation de cacaoyers non dégradés
Plot of nondegraded cocoa-trees

METHODES D'ECHANTILLONNAGE

Les sols de mi-versants, qui ne possédaient pas de contraintes morphologiques (faible profondeur, horizons fortement gravillonnaires, texture sableuse, drainage médiocre) ont été sélectionnés pour cette étude. Sur chaque mi-versant, trente carottes de terre, entre 0 et 20 cm, ont été prélevées. Ces prélèvements ont

été effectués à des points choisis au hasard sur une surface de 2 500 m² (carré de 50 m x 50 m), en vue de constituer un seul échantillon composite par parcelle. Au total, 50 échantillons composites ont été constitués pour l'ensemble des localités de Méagui et de San-Pedro, correspondant à 46 sols de cacaoyères dégradées et non dégradées et 4 sols de forêt vierge (Tableau 1).

Tableau 1 : Identification des échantillons de sols

Samples from Meagui and San Pedro sits

Ville	Village	Echantillons	Etat de la cacaoyère	Nombre
Méagui	Effaci 2	M1; M3;	Dégradée	2
	Assawlékro	M2; M5; M7	Dégradée	3
	Krohon	M6	Non dégradée	1
	Anokro	M4; M9;	Dégradée	2
	Négréagui	M8; M10; M14	Dégradée	3
	Petit Yamoussoukro	M12; M13; M15	Dégradée	6
	Petit Gohitafla	M16; M17; M18; M19	Dégradée	1
	Koffiagui	M20	Dégradée	1
	Négréagui	M21; M22; M23	Non dégradée	3
San Pedro	Tourédougou	SP1; SP2	Non dégradée	2
	Tourédougou	SP3; SP4; SP5	Dégradée	3
	Krémoué	SP6; SP7;	Dégradée	2
	Nomo-Pierre	SP8; SP9	Dégradée	2
	Pont Brimé	SP10; SP17	Dégradée	2
	Adjèkouakoukro	SP11; SP12	Non dégradée	2
	Adjèkouakoukro	SP14; SP16; SP18	Dégradée	3
	Gabiadji - Koffikro	SP13; SP15;	Dégradée	2
	Boignykyro	SP20; SP21; SP22	Non dégradée	3
	Boignykyro	SP23; SP24; SP25	Dégradée	3
San Pedro	Station CNRA	F1; F2; F3; F4	Forêt primaire	4
Total				50

ANALYSE AU LABORATOIRE

Les échantillons de sol ont été analysés selon les méthodes standard (McKeague, 1978) au laboratoire des végétaux et des sols (LAVESO) de l'Ecole Supérieure d'Agronomie (ESA) de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). Il s'agit du carbone organique (C) du sol déterminé par titrimétrie (méthode Walkley-Black) après

oxydation à l'aide d'un mélange d'acide sulfurique (H₂SO₄) et de bichromate de potassium (K₂Cr₂O₇). L'azote total a été déterminé par la méthode Kjeldahl basée sur l'oxydation par voie humide. Le phosphore total a été déterminé par colorimétrie après réaction à l'acide phosphorique en présence du molybdate d'ammonium et d'acide ascorbique. Le phosphore assimilable (méthode Olsen-Dabin) a été extrait à l'aide du

bicarbonate de sodium (NaHCO_3) au pH 8,5. Les bases échangeables (K, Ca et Mg) ont été extraites à l'aide de l'acétate d'ammonium.

Le potassium a été déterminé à l'aide de photomètre à flamme, alors que le Ca et le Mg ont été dosés par le spectrophotomètre à flamme d'absorption atomique. Le pH (eau) a été déterminé à l'aide du pH-mètre après addition de 50 ml d'eau ionisée à 20 g de sol suivi d'agitation et de décantation.

ANALYSES STATISTIQUES

La comparaison des sols, en fonction du type de végétation, a été réalisée avec le test de Bonferroni. Des méthodes statistiques d'analyses multidimensionnelles ont été utilisées afin d'évaluer les paramètres de fertilité des sols (Diagne et Cescas, 1997). Ainsi, les données ont été soumises à une analyse en composantes principales (ACP) dans le but d'évaluer la place

de chaque variable chimique dans les principaux facteurs. L'ACP a également permis de déterminer les corrélations entre les principales variables chimiques (test de Spearman). Par la suite, une analyse de regroupement hiérarchique à liens complets (ARH) a permis de répartir les échantillons de sols en sous-ensembles homogènes ou d'égale fertilité. Ces analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel XLSTAT.

RESULTATS

PRATIQUES AGRICOLES DES PAYSANS

Les enquêtes ont permis d'identifier 5 principaux types de précédents cultureux (Figure 4). Le pourcentage moyen du verger installé après le précédent « forêt » est nettement plus élevé (83 %). L'épandage d'engrais, une fois par an, est le plus pratiqué (Figure 5).

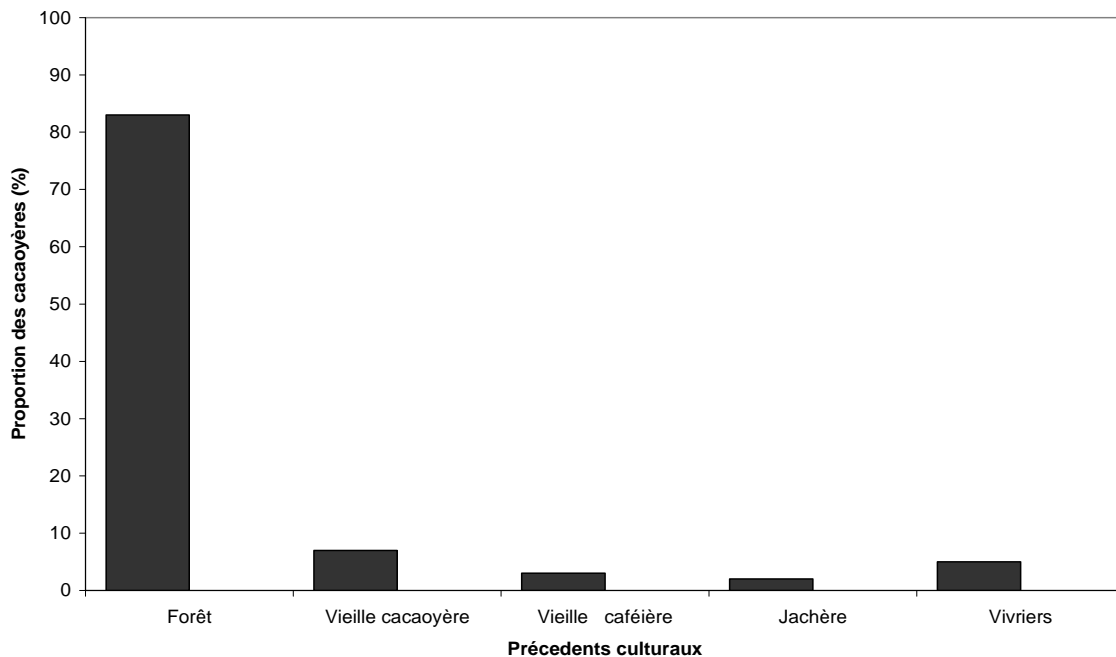


Figure 4 : Répartition des cacaoyères en fonction des précédents cultureux.

Distribution of cocoa farms plantation according to cultural precedents.

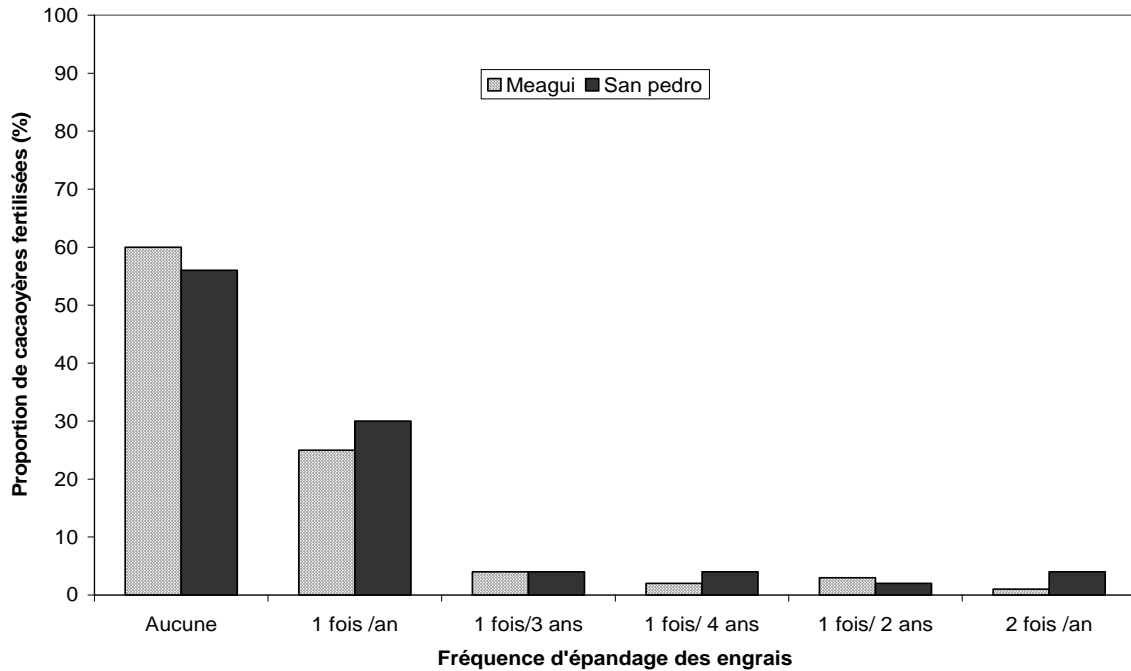


Figure 5 : Fréquence d'utilisation des engrais dans les cacaoyères du Sud-Ouest.

Frequency of fertilizers using in cocoa farms of South-West.

ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP)

La part d'informations restituées par les 4 composantes les plus importantes retenues est de 84,31 % de la variance originale (Tableau 2). La première composante (axe F1) permet d'expliquer 36,47 % de la variance. Elle a rassemblé des caractéristiques de la matière organique (C et MO) et du complexe absorbant (P₂O₅ total, SBE, T, Ca). Ces éléments sont fortement reliés les uns aux autres, avec des coefficients de corrélation significatifs variant de 0,65 à 0,9. La deuxième composante (axe F2), avec 26,27 % de la variance originale, a été représentée par d'autres caractéristiques du complexe absorbant (V et pH) et quelques paramètres des équilibres cationiques (Ca + Mg/K et Mg/K). La troisième composante (axe F3) qui explique 13 % de la variance, comporte le K échangeable et rassemble certains paramètres des équilibres chimiques, c'est-à-dire, les rapports azote total - phosphore total

(N/ P₂O₅ total), carbone - azote total (C/N) et magnésium - potassium (Mg/K). Enfin, la quatrième composante (F4), qui explique 9 % de la variance, est surtout représentée par le rapport calcium - magnésium (Ca/Mg) et le magnésium échangeable (Mg) (Tableau 2).

REGROUPEMENT DES SOLS EN FONCTION DU TYPE DE VEGETATION

Les résultats montrent que pour certaines variables chimiques (pH, Ca, Mg, SBE, P₂O₅ ass. N et C/N) il n'y a pas de différence significative entre les groupes ; en revanche, une partie des variables (C, Mo, K, Ca/Mg, Mg/K, Ca + Mg/K, N/P₂O₅ total, P₂O₅ total et V) permet de distinguer les sols en fonction du type de végétation (Tableau 3). Pour tenir compte de la multivariabilité des données et classer les échantillons de sols en sous-ensembles homogènes ou d'égale fertilité, une répartition a été réalisée selon une analyse de regroupement hiérarchique à liens complets (ARH).

Tableau 2 : Matrice de saturation des 4 premières composantes principales (F1-F4) retenues.*Saturation matrix of 4 principal components (F1-F4) selected.*

Variables	F1	F2	F3	F4
pH eau	0,253	0,290	-0,115	0,120
C	0,352	-0,179	0,015	0,022
N	0,237	-0,038	0,361	-0,267
C/N	0,175	-0,207	-0,333	0,279
Mo	0,352	-0,183	0,016	0,003
P ₂ O ₅ ass.	0,210	-0,184	-0,155	-0,122
N/ P ₂ O ₅ total	-0,229	0,201	0,354	-0,121
P ₂ O ₅ total	0,313	-0,195	-0,185	0,030
T	0,294	-0,204	-0,028	-0,043
V	0,150	0,398	0,124	0,048
Ca ²⁺	0,291	0,271	0,162	0,185
Mg ²⁺	0,251	0,197	-0,026	-0,469
SBE	0,306	0,265	0,150	-0,030
Ca/Mg	0,102	0,132	0,226	0,672
Mg/K	0,037	0,327	-0,407	-0,274
Ca + Mg /K	0,108	0,395	-0,255	0,065
K ⁺	0,183	-0,176	0,463	-0,128
Valeur propre	6,201	4,466	2,134	1,533
% variance	36,475	26,273	12,554	9,016
% cumulé	36,475	62,748	75,303	84,319

F : Composante principale ou axe factoriel principal obtenu par l'ACP. Une proportion de la variation totale des individus est expliquée par chaque composante principale. Mo : matière organique ; C : Carbone ; N : Azote total ; C/N : Equilibre carbone/ azote total ; T : capacité d'échange cationique ; V : taux de saturation des bases échangeables ; SBE : somme des bases échangeables ; P₂O₅ ass : Phosphore assimilable ; P₂O₅ total : Phosphore total ; Ca²⁺ : Calcium ; Mg²⁺ : Magnésium

Tableau 3 : Classification des sols en fonction du type de végétation.*Soils classification according to vegetation.*

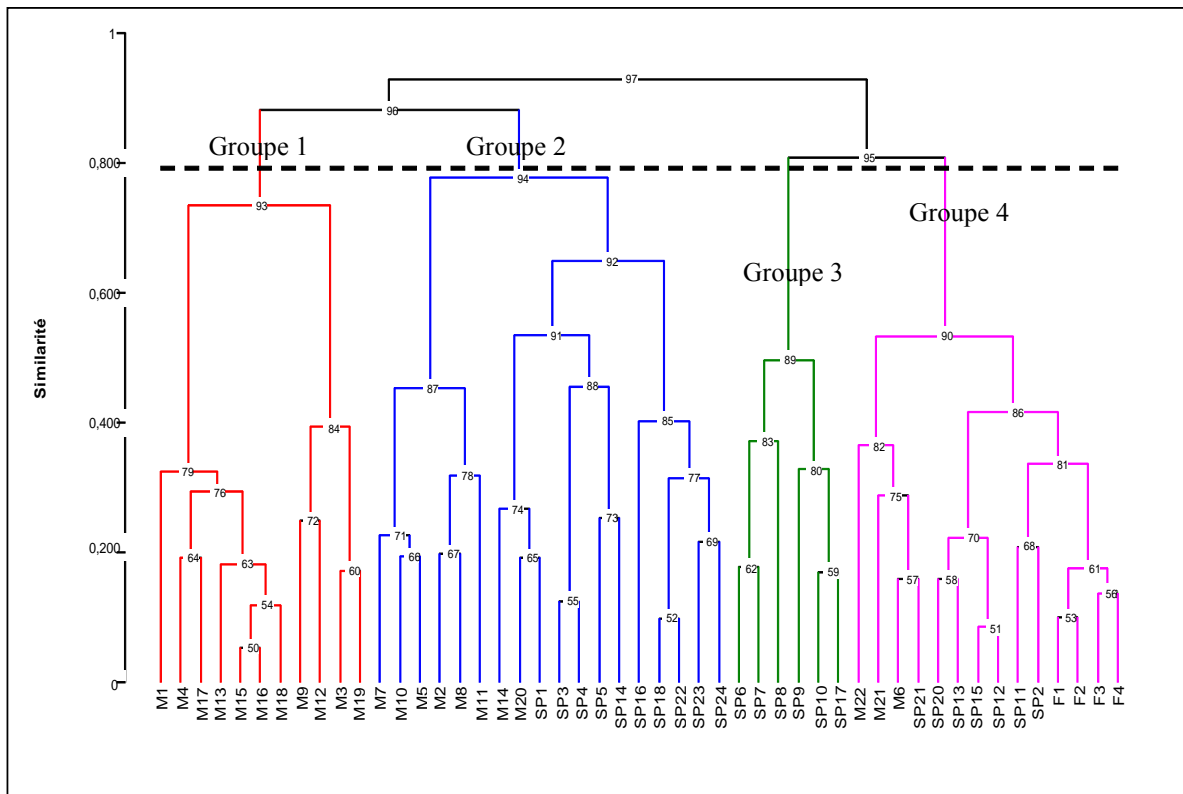
Variables chimiques	Sol de cacaoyère dégradée	Sol de cacaoyère non dégradée	Sol de forêt primaire
pH	6,12 (0,47) a	5,91 (0,45) a	5,6 (0,14) a
Ca	1,60 (1,03) a	1,35 (0,53) a	1,21 (0,42) a
Mg	0,73 (0,28) a	0,69 (0,21) a	0,77 (0,72) a
SBE	2,44 (1,22) a	2,21 (0,654) a	2,17 (1,12) a
P ₂ O ₅ ass.	26,29 (19,15) a	35 (10,8) a	31,25 (7,5) a
N	0,12 (0,029) a	0,12 (0,02) a	0,14 (0,04) a
C/N	12,11 (2,31) a	13,84 (1,1) a	14,61 (1,73) a
C	1,46 (0,38) a	1,75 (0,31) b	2,06 (0,32) c
Mo	2,47 (0,66) a	2,97 (0,53) b	3,82 (0,89) c
K	0,10 (0,041) a	0,16 (0,026) b	0,187 (0,09) c
Ca/Mg	2,17 (1,01) a	2,04 (1,08) b	2,47 (1,73) c
Mg/K	7,36 (3,02) a	4,38 (1,22) b	3,57 (1,63) c
Ca + Mg/K	22,90 (10,56) a	12,67 (3,23) b	3,57 (1,63) c
N/P ₂ O ₅ total	0,41 (0,18) a	0,24 (0,099) b	0,15 (0,03) c
P ₂ O ₅ total	357,82 (202,92) a	599,4 (317) b	951,25 (257,41) c
V	34,79 (14,54) a	25,83 (6,96) b	16,95 (4,43) c
T	7,06 (1,49) a	8,56 (1,06) a	12,74 (4,79) b

a, b, c : Les mêmes lettres correspondent à un même groupe statistique. Les comparaisons des moyennes ont été faites entre les différents objets pour la même variable. () : Écart type. Mo : Matière organique ; C : Carbone ; N : Azote total ; C/N : Equilibre carbone/ azote total ; T : capacité d'échange cationique ; V : taux de saturation des bases échangeables ; SBE : somme des bases échangeables ; P₂O₅ ass : Phosphore assimilable ; P₂O₅ total : Phosphore total ; Ca²⁺ : Calcium ; Mg²⁺ : Magnésium

REGROUPEMENT HIERARCHIQUE DES SOLS (ARH)

La troncature du dendrogramme (Figure 6) a permis de fixer le nombre de groupe à 4. La comparaison des résultats entre les différents groupes et la consultation des notes prises sur le terrain a révélé que la répartition en 4 groupes, après élimination d'un échantillon aberrant (M23), se rapprochait plus de la réalité. Ce regroupement de sols prend en compte, d'une

part, la classification par type de végétation et, d'autre part, la nature des roches mères et la répartition géographique des prélèvements de chaque groupe. En effet, les sols du groupe 1 proviennent de roches granito-gneiss alors que les sols des groupes 2 à 4 sont d'origine micaschisteuse (Tableau 4). La projection de cette répartition dans le plan cartésien des deux premières composantes explique 87,86 % de la classification (Figure 7).



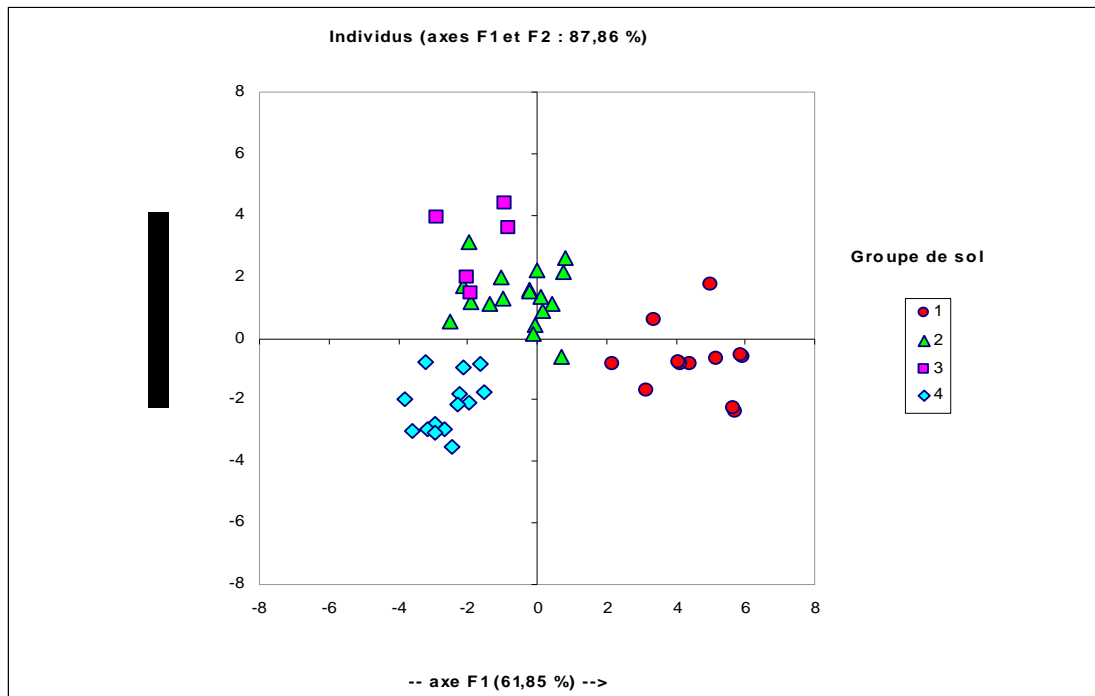
Groupe 1 : M1, M4, M17, M13, M15, M16, M18, M9, M12, M3, M19. Groupe 2 : M2, M5, M7, M8, M10, M14, M20, SP1, SP3, SP4, SP5, SP14, SP16, SP18, SP22, SP23, SP24, SP25. Groupe 3 : SP6, SP7, SP8, SP9, SP10, SP17. Groupe 4 : SP2, SP11, SP12, SP13, SP15, SP20, SP21, M6, M21, M22, F1, F2, F3, F4.

Figure 6 : Troncature du dendrogramme en 4 groupes de sol.

Dendrogramm parting in 4 soils groups.

Tableau 4 : Identification des groupes de sols.*Identification of soil groups.*

Groupe / Localité	Roche mère	Echantillons	Etat des cacaoyères	Nombre d'échantillons prélevés
Groupe 1 Méagui	Granito-gneiss	M1; M3; M4; M9; M12	Dégradée	11
		M13; M15; M16; M17		
		M18; M19		
Groupe 2 Méagui et San Pedro	Mica-schiste	M2; M5; M7; M8; M10	Dégradée	18
		M14; M20		
		SP1; SP3; SP4; SP5		
		SP14; SP16; SP18		
		SP22; SP23; SP24; SP25		
Groupe 3 San Pedro	Mica-schiste	SP6; SP7; SP8; SP9 SP10; SP 17	Dégradée	6
Groupe 4 Méagui et San Pedro Station CNRA San Pedro	Mica-schiste	SP2; SP11; SP12; SP13; SP15; SP20; SP21; M6; M21; M22;	Non dégradée	10
		F1; F2; F3; F4	Forêt primaire	4
Total				



Groupe 1 : Sols de 11 cacaoyères dégradées à Méagui (M) ; Groupe 2 : sols de 18 cacaoyères dégradées à Méagui (M) et à San Pedro (SP) ; Groupe 3 : sols de 6 cacaoyères dégradées à San Pedro (SP) ; Groupe 4 : sols de 4 forêts vierge et de 10 cacaoyères non dégradées à Méagui (M) et à San Pedro (SP)

Figure 7 : Répartition des sols dans le plan cartésien F1 x F2.*Distribution of the soils in F1 x F2 cartesian plan.*

CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES SOLS

Matière organique du sol

Parmi les caractéristiques organiques, le taux de matière organique (% de M.O.) a permis de distinguer les différents groupes de sol. Ainsi, pour les sols des groupes 1 à 3, le taux de matière organique a varié entre 2,43 et 2,51 %. Ces teneurs sont inférieures au taux de matière organique des sols du groupe 4 (3,21 %).

Teneur en bases échangeables, CEC et pH du sol

Le calcium (Ca) et le magnésium (Mg) ont constitué entre 60 et 95 % des bases fixées sur le complexe absorbant. Le taux de saturation moyen (V) le plus élevé a été de 48,48 % au niveau du groupe 1 tandis que le taux le plus faible a été de 23,29 % au niveau du groupe 4.

Dans les sols sous forêt ou sous cacaoyères non dégradés (groupe 4), la capacité d'échange cationique (T) a été de 9,76 cmol (+) kg⁻¹. Cette teneur de T a été relativement plus élevée que les valeurs obtenues dans les sols de cacaoyères dégradés (groupes 1 à 3) avec des valeurs inférieures à 7,5 cmol (+) kg⁻¹ (Tableau 5).

Le pH de tous les groupes de sols du Sud-Ouest (groupe 1 à 4) a été légèrement acide avec des

valeurs moyennes variant de 5,82 à 6,29 (Tableau 5).

Caractéristiques des équilibres chimiques

Les sols des cacaoyères dégradés sont carencés en K alors qu'ils sont relativement riches en Mg ; le pourcentage de K par rapport à la somme (K + Ca + Mg) est inférieur à 8 % et celui du Mg est supérieur à 24 % (Tableau 5).

Dans tous les sols, l'équilibre bases échangeables-azote (SBE + 6,15/N) est inférieur à 8,9 (Tableau 5). La somme des bases est égale à 2,2 cmol (+) kg⁻¹ pour les sols sous cacaoyers non dégradés et sous forêt et est comprise entre 1,83 et 3,2 cmol (+) kg⁻¹ pour les sols sous cacaoyers dégradés (tableau 5).

En moyenne dans les sols sous cacaoyers dégradés, sous cacaoyers non dégradés et sous forêt, le rapport N/P₂O₅ total est supérieur à 2 (N/P₂O₅ total compris entre 2,2 et 4,7). Dans le groupe 4, les sols ont été caractérisés par une teneur élevée en P₂O₅ total de 700 mg.kg⁻¹. En revanche, les groupes 1, 2 et 3 ont présenté des teneurs moyennes de P₂O₅ total compris entre 203 à 402 mg.kg⁻¹. Au niveau de P₂O₅ assimilable, tous les sols ont des teneurs inférieures à 40 mg.kg⁻¹ (Tableau 5).

Tableau 5 : Caractéristiques chimiques des sols selon la classification ARH.*Chemical characteristics of soils groups according to ARH classification.*

Classe de sol	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4
<i>Caractéristiques organiques</i>				
M.O (%)	2,43	2,45	2,51	3,21
C (‰)	14,45	14,51	14,85	18,44
N (‰)	1,38	1,17	1,07	1,32
C/N	10,47	12,4	13,87	13,96
<i>Caractéristiques du complexe absorbant</i>				
Ca ²⁺ (cmol (+) kg ⁻¹)	2,33	1,21	1,28	1,31
Mg ²⁺ (cmol (+) kg ⁻¹)	0,74	0,82	0,45	0,72
K ⁺ (cmol (+) kg ⁻¹)	0,12	0,1	0,09	0,16
SBE (cmol (+) kg ⁻¹)	3,2	2,1	1,8	2,2
T (cmol (+) kg ⁻¹)	6,35	7,25	7,5	9,76
V (%)	48,48	29,22	24,06	23,29
pH (eau)	6,29	6,02	5,96	5,82
P ₂ O ₅ ass. (mg.kg ⁻¹)	20	32	20	34
P ₂ O ₅ total (mg.kg ⁻¹)	310	403	284	700
<i>Caractéristiques des équilibres chimiques</i>				
8 % K ⁺ - 68 % Ca ²⁺ - 24 % Mg ²⁺	4 - 73 - 23	5 - 57 - 38	5 - 70 - 25	8 - 59 - 33
SBE + 6,15/N	6,77	7,05	7,42	6,32
N/P ₂ O ₅ total	4,7	3,6	4,5	2,2
Ca ²⁺ / Mg ²⁺	1,47	3,14	2,84	1,81

Mo : matière organique ; C : Carbone ; N : Azote total ; C/N : Equilibre carbone/ azote total ; T : capacité d'échange cationique ; V : taux de saturation des bases échangeables ; SBE : somme des bases échangeables ; P₂O₅ ass : Phosphore assimilable ; P₂O₅ total : Phosphore total ; Ca²⁺ : Calcium ; Mg²⁺ : Magnésium

DISCUSSION

Le mode de conduite des cacaoyers en plein soleil et la pratique de la fertilisation minérale sont une caractéristique essentielle dans les systèmes de cacaoculture au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. Ces pratiques agricoles se distinguent de celles utilisées par les paysans dans les premières régions de production cacaoyère à l'Est et au Centre-Ouest où les cacaoyères sont plus ou moins ombragées et très peu fertilisées (Freud *et al.*, 2000 ; Assiri, 2006).

La gestion de la fertilité des sols sous cacaoyers pourrait avoir des interactions avec les pratiques agricoles paysannes. En effet, l'aspect le plus important est certainement la liaison existant entre les besoins minéraux d'une cacaoyère et son mode de conduite en plein soleil ou sous ombrage forestier. L'influence de la richesse minérale du sol sur la production en cacao dépend du degré d'ombrage permanent (Freud *et al.*, 2000). En effet, en conduite de plein soleil,

la photosynthèse et l'induction florale sont accrues chez le cacaoyer ; il s'en suit une augmentation de la production des cabosses qui est source d'exportations minérales. On considère qu'une tonne de cacao marchand exporte en moyenne 45 kg de N, 13 kg de P₂O₅, 65 kg de K₂O, 10 kg de CaO et 13 kg de MgO (Jadin et Snoeck, 1985). A ce rythme, les rendements sont satisfaisants à court terme (5-10 ans), mais les cacaoyers se dégradent plus vite et la production baisse à moyen terme (15 ans) ; ainsi, si l'ombrage permanent est réduit ou absent, la richesse minérale du sol ou la possibilité financière et technique d'apporter une fertilisation minérale sont des facteurs déterminants, pour atteindre le niveau de rendement potentiel et pour le maintenir sur le moyen et le long terme (Freud *et al.*, 2000).

La teneur en matière organique dans les sols sous cacaoyers dégradés (taux variant entre 2,43 et 2,51 %) a été jugée faible comparativement à celui des sols des cacaoyères non dégradées et des sols de forêt qui est relativement élevé (3,21 %) ; le cacaoyer requiert des sols riches

en matière organique soit un taux minimum de 3 % (Smith, 1980). La différence du taux de matière organique entre les sols des groupes 1 à 3 et les sols du groupe 4 pourrait s'expliquer par l'influence du couvert végétal. En effet, dans une cacaoyère en phase de production, le sol est recouvert d'une abondante litière de feuilles, régulièrement renouvelée, qui permet le maintien d'un horizon superficiel riche en humus. Différentes études ont montré que le taux de matière organique et les teneurs en éléments minéraux dans les plantations cacaoyères (horizons superficiels) étaient proches des valeurs (3 % au minimum) observées sous forêt primaire ou secondaire et nettement supérieurs aux valeurs observées sous jachères herbacées (Boyer, 1973 ; Aweto et Obé, 1993). En conséquence, le faible taux de matière organique des sols de cacaoyères dégradées pourrait être lié à l'état dégradé des plants qui restituent peu de litières au sol. Ainsi, dans les sols des groupes 1 à 3, la matière organique constitue un facteur limitant alors que dans les sols du groupe 4, c'est le contraire (Tableau 4).

Les sols sous cacaoyers du Sud-Ouest ivoirien sont moyennement ou fortement désaturés en surface. Cette situation constitue une contrainte car un taux de saturation inférieur à 60 % est un facteur de déséquilibre nutritionnel pour les cacaoyers (Smith, 1980).

Les teneurs de T dans les sols du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire ont été faibles ; pour le développement optimal du cacaoyer (Smith, 1980), la teneur de T dans les sols doit être au minimum de 12 cmol (+) kg⁻¹.

Le pH légèrement acide des sols ne constitue pas une contrainte pour le cacaoyer car, même si l'optimum est pH 7 pour les meilleurs sols sous cacaoyers, cette plante peut se développer sur des sols à pH acide (pH 4,5- 6) ou légèrement basique (pH 6,7-7,5) (Jadin, 1976 ; Smith, 1980 ; Appiah *et al.*, 2006 ; Tossah *et al.*, 2006).

Dans les sols sous cacaoyers dégradés, il existe un déséquilibre entre K et Mg dont l'optimum s'exprime par le rapport Mg/K égal à 3 (Jadin et Snoeck, 1985). La correction de ce déséquilibre exige un apport d'engrais potassique. Selon les recommandations culturales en vigueur (IDFOR, 1996), la formule complète d'engrais NPK + Mg, soit 0-23-19 + 5 MgO peut être utilisée pour restaurer la fertilité des sols avec

la garantie d'obtenir des rendements équivalents à ceux obtenus par la méthode de diagnostic-sol (Jadin et Snoeck, 1985).

La somme des bases échangeables a été faible dans tous les sols étudiés ; l'équilibre SBE + 6,15/N permet de définir les besoins en azotes ou en bases échangeables dans les sols sous cacaoyers ; dans tous les sols du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire, SBE + 6,15/N est inférieur à 8,9. Selon Jadin et Snoeck (1985), ce constat indique que l'azote n'est sans doute pas indispensable, soit parce que le sol est pauvre en bases échangeables (dans ce cas, les cacaoyers répondront à une augmentation des niveaux des bases échangeables), soit que l'azote est en quantité suffisante (dans ce cas, un apport supplémentaire d'azote peut même s'avérer toxique pour les cacaoyers). Boyer (1982) estime que les sols moyennement ou fortement désaturés sont beaucoup représentés en zones tropicales, soit avec des taux de saturations se situant entre 20 et 60 %. Cet auteur conclue que, dans ces sols, la somme des bases échangeables doit se situer entre 2 et 6 (cmol (+) kg⁻¹).

Tous les sols sous cacaoyers du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire présentent des déficits en phosphore assimilable (optimum fixé à 100 mg.kg⁻¹ pour le cacaoyer) car les niveaux moyens sont inférieurs à 40 mg.kg⁻¹. Selon Jadin et Snoeck (1985), le rapport N/P₂O₅ total est plus important que la valeur absolue du phosphore. En effet, les meilleures productions en cacao sont obtenues pour un rapport N/P₂O₅ total égale à 1,5 (Jadin, 1976 ; Smith, 1980 ; Boyer, 1982). Relativement aux sols du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire qui ont un rapport N/P₂O₅ total supérieur à 2, il y a nécessairement un besoin d'engrais phosphaté (Jadin, 1975 ; Jadin et Snoeck, 1985) permettant de rapprocher la teneur de ces sols en phosphore assimilable vers le niveau optimum qui est 100 mg.kg⁻¹.

CONCLUSION

Les caractéristiques chimiques des sols sous cacaoyers du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire ont été résumées en 3 : les caractéristiques organiques, les éléments du complexe absorbant et les équilibres chimiques. Les caractéristiques organiques du sol dépendent de l'état de dégradation des cacaoyers cultivés.

Sous les cacaoyères dégradées, le sol présente une faible teneur en matière organique (moins de 3 %). Dans le cas des sols de cacaoyères non dégradées et de forêt, le taux de matière organique a été supérieur à 3 %.

En général, les sols sous cacaoyers du Sud-Ouest présentent des caractéristiques du complexe absorbant et des équilibres chimiques peu favorables pour la cacaoculture. Par rapport aux besoins des cacaoyers, ces sols sont caractérisés par un faible taux de saturation en bases, un déficit en potassium échangeable et de faibles teneurs en phosphore assimilable. Au niveau des équilibres chimiques, les sols du Sud-Ouest sont caractérisés par un déséquilibre cationique (K, Ca et Mg) et un déséquilibre de bases échangeables - azote total.

Pour une meilleure gestion de la fertilité des sols, on recommandera l'épandage de phosphore pendant 3 à 4 ans, à raison de 300 g de phosphate supertriple par cacaoyer. Ensuite, lorsque la production sera de 1 à 1,5 t/ha, l'application d'une formule complète P-K-Mg sera conseillée. La formule complète 0-23-19 + 5 MgO peut être utilisée dans des cacaoyères adultes (10 ans) ou dans des plantations sénescentes à réhabiliter, avec la garantie d'obtenir des rendements équivalents à ceux obtenus avec la méthode « diagnostic-sol ». Ainsi, dans une cacaoyère adulte installée sur des sols fortement désaturés, les modalités d'application en vigueur sont : pour la première année d'épandage, 1 fois 150 g de phosphate supertriple/cacaoyer et 1 fois 150 g de 0-23-19 + 5 MgO/cacaoyer ; pour les années suivantes, il faut 400 g (2 x 200 g) de 0-23-19 + 5 MgO.

REMERCIEMENTS

Les auteurs voudraient exprimer leur reconnaissance au PIC-CACAO (Projet d'Intérêt Commun sur la mise au point de techniques de réhabilitation et de replantation des vieux vergers de cacaoyers en Côte d'Ivoire) du CNRA (Centre National de Recherche Agronomique) pour son appui financier.

REFERENCES

- Ahenkorah Y., B. J. Halm, M. R. Appiah and G. S. Akrofi. 1981. Fertilizer use on cocoa rehabilitation projects in Ghana. Proc. 8th International Cocoa Conference, Cartagena : pp 165 - 170.
- Ahenkorah Y., M. R. Appiah and B. J. Halm. 1987. Production and utilisation of cocoa pod husk as source of potash fertilizer. In : Proc. 10th International Cocoa Conference, Santo Domingo : pp 843 - 848.
- Appiah M. R., K. Ofori-Frimpong, A. A. Afrifa, M. K. Abekoe and D. Snoeck. 2006. Improvement of soil fertility management in cocoa plantations in Ghana. FSP Regional Cacao scientific and technical final report. CRIG (Cocoa Research Institute of Ghana), Ghana, 22 p.
- Assiri A. A. 2006. Identification des pratiques paysannes dans la conduite des vergers de cacaoyers en Côte d'Ivoire. Mémoire de DEA, option agro-pédologie, Université de Cocody-Abidjan (Côte d'Ivoire), 56 p.
- Aweto A. O. and O. A. Obé. 1993. Comparative effects of a tree crop (cocoa) and shifting cultivation on a forest soil in Nigeria. The Environmentalist, 13 (3) : 183 - 187.
- Boyer J. 1973. Cycles de la matière organique et des éléments minéraux dans une cacaoyère camerounaise. Café Cacao Thé 17 (1) : 3 - 24.
- Boyer J. 1982. Les sols ferrallitiques. Facteurs de fertilité et utilisation des sols. Doc. Tech., n° 52, Orstom, 384 p.
- Diagne M. et M. P. Cescas. 1997. Les méthodes d'analyses multidimensionnelles pour l'évaluation des sols de Basse-Casamance (Sénégal). Cahiers Agricultures 6 : 45 - 53.
- Freud E. H., P. Petithuguenin et J. Richard. 2000. Les champs de cacao. Un défi de compétitivité Afrique Asie. Editions KARTHALA-CIRAD, 207 p.
- IDEFOR. 1996. Rapport bisannuel des activités de recherche 1995-1996, Institut pour le Développement de la Forêt de Côte d'Ivoire, IDEFOR-Département Café-Cacao. Abidjan, 112 p.
- Jadin P. 1972. Etude de la fertilisation minérale du cacaoyer en Côte d'Ivoire à partir du «diagnostic sol». Café Cacao Thé 16 (3) : 204 - 218.
- Jadin P. 1975. L'utilisation du «diagnostic sol» pour l'estimation des besoins en engrais des cacaoyères ivoiriennes. Café Cacao Thé 19 (3) : 203 - 220.
- Jadin P. 1976. Relation entre le potentiel chimique des sols de Côte d'Ivoire et la production des cacaoyers. Café Cacao Thé 20 (4) : 287 - 296.

- Jadin P. et J. Snoeck 1985. La méthode du diagnostic sol pour calculer les besoins en engrais du cacaoyer. *Café Cacao Thé* 29 (4) : 255 - 266.
- Jadin P. et P. Vaast. 1990. Estimation des besoins en engrais des sols à vocation cacaoyère dans le Littoral (Togo). *Café CacaoThé* (34) 3 : 179 - 188.
- Jagoret P., B. Bertrand et P. Jadin. 1992. Recherche d'un itinéraire technique pour la replantation des cacaoyères au Togo : études comparatives de diverses techniques culturale en station. *Café Cacao Thé* (36) 3 : 207 - 212.
- Koko L. K., G. Yoro, K. NGoran, A. A. Assiri et A. Assa. 2006. Identification des caractères morpho-pédologiques liés à la dégradation précoce des cacaoyers dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. In : 15^e Conférence Internationale sur la Recherche Cacaoyère, San José, Costa-Rica. 10 p.
- McKeague J. A. 1978. Manuel de méthodes d'échantillonnage et d'analyses des sols. *Soc Can Sci Sol*, 2^e éd. Ottawa, De Kimpe. p 114 - 233.
- Ofori-Frimpong K., A. A. Afrifa and M. R. Appiah 2003. Effect of Nitrogen rates and frequency of application on cocoa yield, soil, mineral composition of cocoa leaves. In : 14^e Conférence Internationale sur la Recherche Cacaoyère, Yamoussoukro : pp 239 - 245
- Paviot J. 1977. La nutrition minérale du cacaoyer à la station de Nkoemvone : bilan et perspectives. *Café-Cacao-Thé* (21) 4 : 245 - 252.
- Perraud A. 1971. Les sols. In : *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*. Paris, Orstom, Mémoire n ° 50, pp 69 - 390 + cartes.
- RNA. 2004. Recensement National de l'Agriculture RNA 2001. Ministère d'Etat, Ministère de l'Agriculture, République de Côte d'Ivoire. CD-Rom.
- Smith A. J. 1980. Soils classification and the cocoa grower. *Cocoa Growers' Bull.* 30 (5) : 5 - 10.
- Tossah B. K., T. Koudjega et D. Snoeck. 2006. Amélioration de la gestion de la fertilité des sols dans les plantations de cacaoyers au Togo. Rapport final scientifique et technique du FSP Régional Cacao. ITRA/CRAF, Togo, 43 p.
- Yoro G. 2001. Caractéristiques analytiques des sols affectés aux caisses de Stabilisation et de péréquation du Gabon. Convention CNRA-CSPG. Document interne du CNRA, Abidjan. 16 p.
- Yoro G. 2004. Reconnaissance des sols favorables aux cacaoyers. Cours de formation des producteurs de cacao et des agents ANADER détachés auprès de STCP. Convention CNRA-STCP. Document interne du CNRA, Abidjan. 9 p.