

Impact de l'agroforesterie sur la productivité durable des sols cacaocultivés au centre de la Côte d'Ivoire

[Impact of agroforestry on the sustainable productivity of cocoa-growing soils in central Côte d'Ivoire]

Kouame Amany Guillaume¹, N'Ganzoua Kouamé René¹, Kouadio Koffi Hypolith¹, Salla Moreto², and Bakayoko Sidiky¹

¹Université Jean Lorougnon Guédé Daloa, Département de Agro-pédologie, UFR Agroforesterie, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

²Université Jean Lorougnon Guédé Daloa, Département de Biologie, Physiologie et de Génétique UFR Agroforesterie, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The aim of the study was to assess the impact of cocoa-based agroforestry practices on natural soil productivity. The methodology consisted in identifying three cocoa-based agroforestry systems (simple, mixed or complex) guided by the opening of the canopy of various floristic species associated with cocoa trees, in which three 100 m² plots were randomly set up to inventory the arboricultural species encountered, determine species density and plantation yields. The results identified 17 tree families divided into 27 plant species, of which 55.55% were found in the simple agroforestry system (SAGS), with a density of 55 trees/hectare, 70.37% in the mixed agroforestry system (SAGM), with a density of 155.33 trees/hectare, and 81.40% in the complex agroforestry system (SAGC), with a density of 224.33 trees/hectare. In terms of particle size, the SAGS and SAGC had a silty texture, whereas the SAGM had a silty-clay texture. Major element, trace element and clay-humus complex contents were satisfactory in all agroforestry systems, but in decreasing order in SAGM, SAGC and SAGS. Cocoa productivity was higher in SAGS (403.42kg/ha), than in SAGM (293.61kg/ha) and SAGC (204.68kg/ha). In conclusion, it should be noted that each forest agrosystem has very distinct characteristics and contributes to soil fertility at depths of 0-20cm. Moreover, SAGS is the agroforestry system with the best production and can be recommended during the establishment of cocoa plantations in Côte d'Ivoire.

KEYWORDS: Agrosystems, Cocoa, Productivity, Fertility, Soils, Ivory Coast.

RESUME: L'objectif de l'étude était d'évaluer l'impact des pratiques agroforestières à base cacaoyers sur la productivité naturelle des sols. La méthodologie a consisté à identifier trois systèmes agroforestiers à base cacaoyers (simple, mixte ou complexe) guidés par l'ouverture de la canopée des diverses espèces floristiques associées aux cacaoyers dans lesquels, ont été posées au hasard trois placettes de 100 m² pour inventorier des espèces arboricoles rencontrées, déterminer la densité des espèces et les rendements des plantations. Les résultats ont permis de recenser au niveau floristique, 17 familles arboricoles réparties en 27 espèces végétales dont 55,55 % en système agroforestier simple (SAGS) avec une densité de 55 arbres/hectare, 70,37 % en système agroforestier mixte (SAGM) avec une densité de 155,33 arbres/hectare et 81,40% en système agroforestier complexe (SAGC) avec une densité de 224,33 arbres/hectares. Au niveau granulométrique, les SAGS et SAGC ont présenté une texture limoneuse alors qu'elle a été limono-argileuse en SAGM. Les teneurs en éléments majeurs, oligo-éléments et complexe argilo-humique engendrées, ont été satisfaisantes quel que soit le système agroforestier, mais dans un ordre décroissant en SAGM, SAGC et SAGS. La productivité des cacaoyers a été meilleure en SAGS (403,42 kg/ha), qu'en SAGM (293,61kg/ha) et en SAGC (204,68kg/ha). En conclusion, notons que chaque agrosystème forestier a des caractéristiques bien distinctes et contribue à la fertilité du sol à la profondeur 0-20cm. Par ailleurs, SAGS est le système

agroforestier qui a la meilleure production et peut être recommandé pendant la mise en place des plantations à base de cacaoyers en Côte d'Ivoire.

MOTS-CLEFS: Agrosystèmes, Cacaoyers, Productivité, Fertilité, Sols, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

La Côte d'Ivoire est l'un des pays de l'Afrique de l'Ouest qui a fait de l'agriculture le pilier de son développement dès son accession à l'indépendance. Son économie est donc fortement dominée par l'agriculture, qui participe à plus de 28 % du produit intérieur brut (PIB) national avec 15 % résultant principalement de la cacaoculture [1]. Le cacaoyer (*Theobroma cacao* L.), plante originaire des forêts humides d'Amérique tropicale, classé dans la famille des Malvaceae [2] est aujourd'hui la plante la plus cultivée en Côte d'Ivoire pour ses fèves dont la Côte d'Ivoire est le premier pays producteur au monde depuis plus de trois décennies [3]. Bien que la production nationale représente 40% des exportations et 35% de l'offre mondiale, le secteur du cacao en Côte d'Ivoire est de plus en plus confronté à plusieurs défis dont celui de la production lié à la déforestation, à la faible application des bonnes pratiques agricoles, au vieillissement des vergers, à la baisse de la fertilité des sols et au changement climatique [4, 5]. Pour faire face à ces différentes contraintes de la filière, la Côte d'Ivoire à travers la recherche scientifique a élaboré un programme national de développement durable de la filière basé sur l'agroforesterie [6, 8]. L'agroforesterie est définie comme un système agricole complexe intégrant des arbres dans les exploitations agricoles de sorte à réconcilier durablement la production agricole et la protection de l'environnement [9, 10]. Elle a pour avantage selon ces auteurs de maintenir ou voire augmenter le niveau de production en cacao marchand tout en stabilisant les zones de production existantes pour limiter au maximum la disparition des espaces forestiers, la désertification et le changement climatique. Pour certains pays producteurs, les pratiques agroforestières à cacao ne permettent pas économiquement d'espérer à un rendement élevé du cacao à cause de l'accroissement des dommages des animaux sauvages et des maladies cryptogamiques [11], et même le physique des cacaoyers qui, à la recherche de la lumière s'allonge rendant difficile la récolte des cabosses par moment [12]. C'est dans un contexte d'élucider un certain nombre de points d'ombre, quant aux bénéfices économiques que peuvent tirer les producteurs du cacao dans les pratiques agroforestières que s'inscrit cette étude. Elle vise principalement à évaluer l'impact des systèmes agroforestiers à base cacaoyers sur la productivité des sols afin de les pérenniser et soutenir la culture du cacao en Côte d'Ivoire.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

Le travail a été réalisé dans le département de Toumodi à Niamké-konankro au centre en Côte d'Ivoire entre les latitudes 6°19'37 et 6°34'51N et les longitudes 5°19'58 et 5°20'02W en zone de transition forêt-savane (Figure1). Le climat est de type équatorial de transition avec une pluviométrie bimodale variant de 800 à 1090 mm/an, une température moyenne de 27°C et une humidité relative moyenne de l'air de 70%. La végétation est une mosaïque de savanes guinéennes dominées par des Poaceae (*Olyra latifolia*; *Leptaspis zeylanica*) et de forêts denses humides semi-décidues qui abritent des espèces d'arbres telles que des Sterculiaceae (*Triplochiton scleroxylon*; *Mansoniaaltissima*) des Moraceae (*Antiaris toxicaria* var. *africana*; *Milicia regia*), des Ulmaceae (*Celtis* spp.) et des Apocynaceae (*Funtumia elastica*). Les sols sont globalement des cambisols [13].

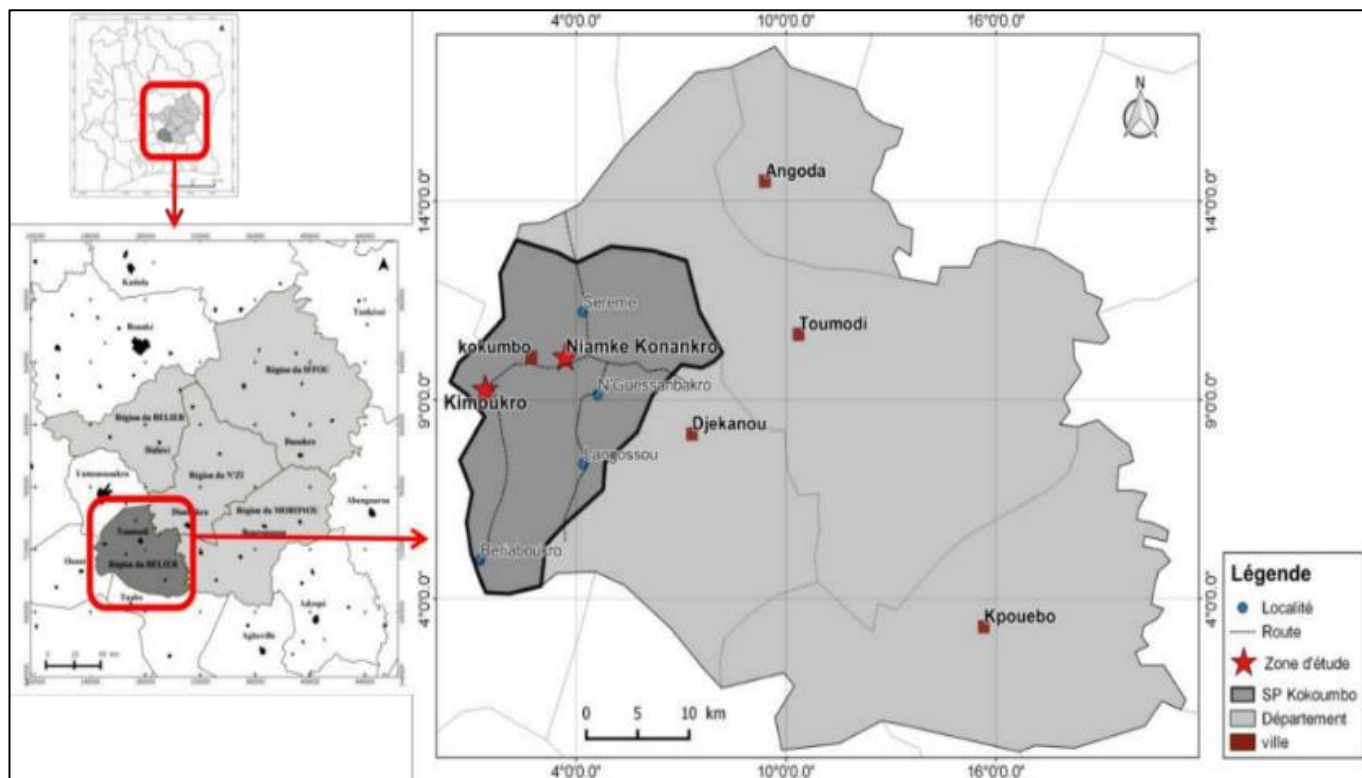


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude dans le département de Toumodi

2.2 MATERIEL VEGETATIF (LES SYSTEMES AGROFORESTIERS)

Dans la zone de Toumodi, Trois types d'agroforêts ou systèmes agroforestiers communément pratiqués par les cacaoculteurs ont été identifiés sur la base de leur canopée et de leur âge (Figure 2). Il s'agit des agrosystèmes à base de cacaoyers simple (SAGS), mixte (SAGM) et complexe (SAGC). Les systèmes agroforestiers simples sont caractérisés par une faible densité d'arbres associés à canopée ouverte et une forte proportion d'espèces végétales exotiques (Fig. 2A). Les systèmes agroforestiers complexes comportent une canopée fermée et une forte densité d'espèces végétales locales (Fig. 2B) et enfin les systèmes agroforestiers mixtes sont intermédiaires entre les deux précédentes et sont caractérisés par une canopée moyennement ouverte et une densité d'espèces locales moyenne (Fig. 2C).

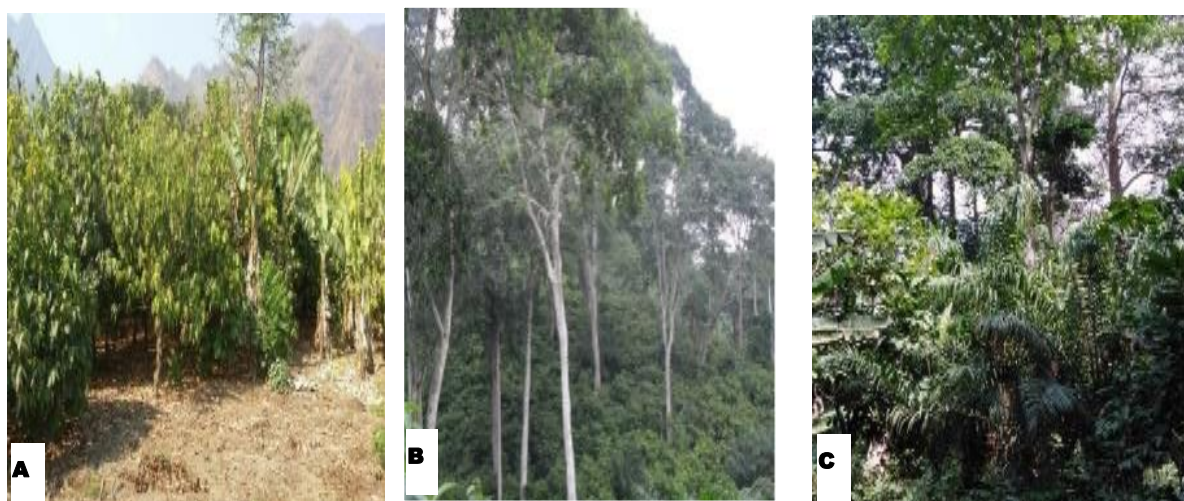


Fig. 2. Systèmes agroforestiers à base de cacaoyers pratiqués dans la zone de Toumodi
A: Agrosystème simple (SAGS); B: Agrosystème complexe (SAGC); C: Agrosystème mixte (SAGM)

2.3 METHODES

2.3.1 INVENTAIRE FLORISTIQUE DES AGROSYSTEMES

Sur le terrain, dans les trois agrosystèmes à base cacaoyers (simple, mixte et complexe) choisis, trois placettes délimitées de 100 m² ont été posées au hasard pour dénombrer les espèces et leurs groupes de familles rencontrées selon la méthode de Lebrun & Stork [14] et aussi déterminer leur densité.

2.3.2 ECHANTILLONNAGE ET ANALYSE DES SOLS DES SYSTEMES AGROFORESTIERS

Dans chaque placette, des prélèvements élémentaires du sol ont été effectués à la tarière dans l'horizon 0-20 cm en zigzag suivant la plus longue diagonale des agroforêts pour constituer l'échantillon composite à analyser au laboratoire. Les analyses de l'échantillon composite ont été faites au laboratoire des végétaux et des sols de l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny de Yamoussoukro-Côte d'Ivoire et ont porté sur la détermination de la granulométrie par la méthode par tamis [15], la mesure du pH par la méthode du pH-mètre électronique en verre dans un rapport sol/solution de 1/2,5 [16], la détermination des teneurs de carbone total par la méthode de Walkley et Black [17], et de matière organique en multipliant le pourcentage de carbone du sol par un facteur de conversion constante et égale à 1,724 à travers (%C x 1,724=MO) selon Bemmelen [18], d'azote total par la méthode de Kjeldahl [19], du phosphore assimilable par la méthode Olsen-Dabin [20], des bases échangeables et la capacité d'échange cationique par la méthode d'extraction par rinçage d'une solution d'acétate d'ammonium, du calcium et du magnésium par absorption atomique et du potassium par spectrophotométrie à flamme.

2.3.3 PRODUCTIVITE DES SYSTEMES AGROFORESTIERS A BASE DE CACAOYERS

La productivité des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers a été déterminée par la méthode du carré de densité et de rendement (CDR). Cette méthode consiste à poser trois placettes de 100 m² dans chacun des agrosystèmes à base de cacaoyers afin d'estimer la densité des pieds productifs et déterminer les paramètres du rendement moyen de la parcelle. Le principe consiste à compter le nombre de pieds (N1) à l'intérieur du CDR et à retenir la moitié du nombre de pieds (N2) se trouvant sur la limite du CDR. Ainsi, la densité D_i du CDR_i est déterminée par l'équation:

$$D_i = N_{i1} + N_{i2}/2 \quad (1)$$

La densité ou le nombre de pieds à l'hectare a été calculée de la façon suivante:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \times 100 \quad (2)$$

Avec n: nombre de carrés par parcelle, D_i : densité élémentaire

Le rendement moyen a été déterminé en considérant les cabosses et en récoltant et leurs fèves fraîches sur les pieds N1 l'intérieur du CDR et les N2/2 pieds se trouvant sur la limite du CDR. Le poids des fèves fraîches récoltées a été déterminé par simple pesé et le rendement potentiel en cacao marchand a été estimé selon l'équation suivante:

$$RDT = \frac{\sum_{i=1}^n N_{cab}}{n} \times (PF_m \times 0,34) \times 100 \quad (3)$$

Avec :

n: nombre de carrés par parcelle

N_{cab} : nombre moyen de cabosses par CDR

PF_m : poids moyen des fèves fraîches par cabosse

0,34: Coefficient de transformation de poids de fèves fraîches en fèves sèches

2.4 TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES

L'analyse des données a été faite à l'aide de méthodes de statistique descriptive et d'analyses de variance (ANOVA) réalisée avec le logiciel SAS version 9.4. Les moyennes ont été séparées au moyen du test de Newman et Keuls au seuil $\alpha=0,05$. Des analyses des composantes principales (ACP) ont été faites avec le logiciel CANOCO pour établir des relations entre les paramètres physico-chimiques, les paramètres du rendement et les agrosystèmes.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 RESULTATS

3.1.1 CARACTERISTIQUES FLORISTIQUES DES AGROSYSTEMES À BASE CACAoyERS

L'inventaire des espèces arboricoles associées dans les systèmes agroforestiers à base cacaoyers est présenté dans le Tableau 1. Au total 27 espèces d'arbres locales, regroupées en 17 principales familles ont été recensées au cours de l'étude. On dénombre les espèces de la famille des Anacardiaceae, Apocynaceae, Arecaceae, Bombacaceae, Caricaceae, Combretaceae, Euphorbiaceae, Invingiaceae, Lauraceae, Meliaceae, Mimosaceae, Moraceae, Musaceae, Myristicaceae, Rutaceae, Sterculiaceae, Verbenaceae. Aussi, sur les 27 espèces végétales recensées, 15 ont été identifiées en système agroforestier simple (SAGS) soit 55,55 %, des espèces, 19 ont été présentes en système agroforestier moyen (SAGM) soit 70,37 % des espèces et 22 espèces en système agroforestier complexe (SAGC) soit 81,40 % des espèces végétales. Dans la repartition globale, on note que certaines espèces végétales recensées sont présentes dans les trois systèmes agroforestiers alors que d'autres espèces végétales ne sont présentes que dans deux ou un seul des agroforêts. Plus explicitement, on a noté que les espèces appartenant à la famille des Anacardiaceae, Arecaceae, Bombacaceae Euphorbiaceae et des Sterculiaceae ont été présentes dans les trois systèmes agroforestiers (SAGS, SAGM et SAGC) avec 32,14 % des espèces végétales recensées. Les Combretaceae, Meliaceae, Mimosaceae, Moraceae, et les Verbenaceae ont été plus représentatives dans les système agroforestiers SAGM et SAGC avec plus de 28, 57 % des espèces végétales alors que les Caricaceae Lauraceae, Musaceae, Rutaceae, et les Sterculiaceae ont été identifiées pour 25 % des espèces dans les systèmes agroforestiers SAGS et SAGC. Les Anacardiaceae et Apocynaceae avec 7,14 % des espèces ont été dans les systèmes agroforestiers SAGM) et SAGS. De même les Invingiaceae et Moraceae ainsi que les Myristicaceae et les Sterculiaceae ont été seulement représentatives dans chacun des systèmes agroforestiers avec 7, 14 % des espèces végétales.

Tableau 1. Espèces végétales associées dans la cacaoculture dans la zone d'étude

	Familles des espèces associées	Espèces végétales associées	Identifiées dans les agrosystèmes		
			SAGS	SAGM	SAGC
	Apocynaceae	<i>Alstonia boonei</i>	+	+	-
	Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i>	+	+	-
		<i>Spondias mombin</i>	+	+	+
	Arecaceae	<i>Elaeis guineensis</i>	+	+	+
	Bombacaceae	<i>Bombax buonopozense</i>	+	+	+
	Caricaceae	<i>Carica papaya</i>	+	-	+
	Combretaceae	<i>Terminalia superba</i>	-	+	+
	Euphorbiaceae	<i>Ricinodendron Heudelotii</i>	+	+	+
	Invingiaceae	<i>Irvingia gabonensis</i>	-	-	+
	Lauraceae	<i>Persea americana</i>	+	-	+
	Meliaceae	<i>Khaya grandifoliola</i>	-	+	+
		<i>Entandrophragma angolense</i>	-	+	+
	Mimosaceae	<i>Albizia zygia</i>	-	+	+
	Moraceae	<i>Milicia sp</i>	-	+	+
		<i>Antiaris Africana</i>	-	+	-
		<i>Ficus mucuso</i>	-	+	+
	Musaceae	<i>Musa spp</i>	+	-	+
	Myristicaceae	<i>Pycnathus angolensis</i>	-	+	-
	Rutaceae	<i>Citrus limon</i>	+	-	+
		<i>Citrus grandis</i>	+	-	+
		<i>Citrus sinensis</i>	+	-	+
	Sterculiaceae	<i>Triplochiton scleroxylon</i>	-	+	-
		<i>Cola nitida</i>	+	+	+
		<i>Cola gigantea</i>	+	-	+
	Verbenaceae	<i>Vitex sp</i>	-	+	+
Répartition des espèces	17	27	55,55%	70,37%	81,48%

(+) = présence de l'espèce, (-) = absence de l'espèce;

SAGS= Système agroforestier simple; SAGM= Système agroforestier mixte; SAGC= Système agroforestier complexe

3.1.2 DENSITÉ DES ESPÈCES VÉGÉTALES ASSOCIÉES AUX AGROSYSTÈMES À BASE CACAoyERS

La densité à l'hectare de l'ensemble des arbres associés au cacaoyers dans chaque système agroforestier a été déterminée (Tableau 2). Les valeurs moyennes obtenues indiquent qu'il existe aussi bien un effet significatif ($p = 0,05$) des systèmes agroforestiers sur la densité des cacaoyers que sur celle des espèces associées. En effet, la densité des cacaoyers en SAGS (1456, 67 arbres/hectares) a été plus élevée que celle des SAGM et SAGC qui affichent des valeurs statistiquement identique de l'ordre de 1120 à 1206 arbres/hectares. De même, les agrosystèmes ont significativement influencé la densité des espèces végétales. Cela s'est traduit par une faible densité des espèces arboricoles dans le SAGS (55 arbres/hectare) contre 155 arbres/hectares pour SAGM et 224 arbres/hectares pour SAGC. Plus explicitement, plus la densité des cacaoyers est élevée dans la plantation comme l'indique le système agroforestier simple (SAGS), moins on y rencontre des arbres associés et vis-versa.

Tableau 2. Densité de cacaoyers et des espèces végétales associées en fonction des agrosystèmes.

Agrosystèmes	Densité des espèces végétales dans les agrosystèmes à l'hectare	
	Densité des cacaoyers	Densité des espèces végétales associées aux cacaoyers
SAGS	1456,67a	55,00c
SAGM	1206,67b	155,33b
SAGC	1120,00b	224,33a
Moy. Gle	1261, 11	144, 88
Coéf.Va (%)	7, 925	19, 986
Pr > F	< 0, 0149	< 0, 0011

Les valeurs dans la même colonne suivie par la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$

3.1.3 CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Le Tableau 3 présente les proportions des particules granulométriques (argile, limon et sable) observées à la profondeur 0-20 cm des différents systèmes agroforestiers. Elles indiquent qu'il n'y a aucune différence statistiquement significative entre les valeurs moyennes des particules granulométriques du sol quel qu'en soit l'agrosystème simple, mixte ou complexe. En revanche, la comparaison entre les proportions des particules dans les couches 0-20 cm des agrosystèmes indique une différence significative entre les valeurs moyennes des particules du sol. De façon plus spécifique, le taux d'argile a été plus élevé en SAGM (29,02 %), en SAGC (21,77 %) et en SAGS (14,25 %) par ordre décroissant. Pour ce qui concerne le limon, une différence significative affiche une proportion faible (38,25%) dans la couche 0-20cm en SAGM alors qu'elle a été élevée et statistiquement identique (42 à 46 %) en SAGS et SAGC. Au niveau du sable, aucune différence significative n'a été observée. Des proportions des particules granulométriques du sol des agrosystèmes, se dégage deux types de textures fondamentales: la texture limoneuse en SAGS et SAGC et la texture limono-argileuse en SAGM si l'on se réfère au triangle textural.

Tableau 3. Granulométrie des sols des systèmes agroforestier

Paramètres	Granulométrie des sols dans la couche 0-20 cm en pourcentage		
	SAGS	SAGM	SAGC
Argile	14,25aC	29,02aA	21,77aB
Limon	46,95aA	38,25aB	42,77aA
Argile + Limon	69,54aA	67,26aA	64,54aA
Sable	30,55aA	32,74aA	36,45aA
Texture	Limoneuse	Limono-argileuse	Limoneuse

Les valeurs suivies par la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$ sur une ligne pour les majuscules et dans la colonne pour les minuscules respectivement

3.1.4 CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES

Les résultats des différentes analyses chimiques des sols sous cacaoyers des différents agrosystèmes sont consignés dans le Tableau 4.

3.1.4.1 PH DU SOL

La comparaison des valeurs moyennes des pH indique qu'il n'y a pas de différence significative entre les pH des sols à la profondeur 0-20cm pour tous les agrosystèmes (SAGS, SAGM et SAGC). Par ailleurs, ces pH varient entre 6,70 et 7,00 et indique un sol peu acide à neutre quel que soit le système agroforestier

3.1.4.2 MATIÈRE ORGANIQUE ET ÉLÉMENTS MAJEURS DU SOL ÉTUDIÉ

On observe qu'aucune différence significative n'a été enregistrée dans la couche 0-20 cm pour le taux de matière organique-MO et du carbone-C, la teneur en azote total-Nt et la teneur en phosphore assimilable-Pass en SAGS et SAGC alors que en SAGM ces paramètres ont affiché des valeurs moyennes significatives. De façon plus explicite, les différentes teneurs des éléments minéraux (MO, C, N, Pass) ont été plus élevées en SAGM qu'en SAGS et SAGC témoignant ainsi une bonne minéralisation et humification de la matière organique dans les horizons de ce système agroforestier.

3.1.4.3 CATIONS ECHANGEABLES ET CAPACITE D'ECHANGE CATIONIQUE DES SOLS ETUDIÉS

On note qu'aucune différence significative des valeurs moyennes des teneurs des cations échangeables n'a été observée entre les différents agrosystèmes à la profondeur 0-20 cm quel que soit l'agrosystème, excepté le magnésium-Mg et la CEC qui ont affiché des valeurs moyennes significatives en SAGS, de même que le magnésium-Mg et la somme des bases-SBE en SAGM. Par ailleurs, on a noté dans l'ensemble que, les valeurs moyennes des cations échangeables et capacité d'échange cationique ont été aussi plus élevées en SAGM que les autres systèmes agroforestiers bien que statistiquement aucune différence notable n'a été observée.

Tableau 4. Valeurs des analyses chimiques des sols des agrosystèmes

Paramètres	Valeurs des éléments chimiques des agrosystèmes à base de cacaoyers à 0-20cm de profondeur		
	SAGS	SAGM	SAGC
pH eau	6,70a	6,85a	7,00a
M.org. (p.c.)	15,86a	19,90a	19,23a
Carb (p.c.)	9,22a	11,52a	11,18a
Ntotal (p.c.)	0,71a	0,87a	0,83a
C/N	12,91a	13,23b	13,46a
Pass (ppm)	103,45a	107,25a	101,43a
Ca (cmol.kg-1)	4,93a	6,31a	6,41a
Mg (cmol.kg-1)	2,96a	3,87a	3,37a
K (cmol.kg-1)	0,09a	0,11a	0,11a
Na (cmol.kg-1)	0,18a	0,13a	0,13a
SBE (cmol.kg-1)	8,17a	10,43a	10,02a
CEC (cmol.kg-1)	28,00a	30,60a	23,53a
V (%)	29,37a	34,17a	38,30a

Les valeurs suivies par la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$ sur une ligne pour les majuscules entre agrosystème et pour les minuscules entre couches d'un agrosystème respectivement)

3.1.5 RENDEMENT DES PLANTATIONS CACAOYERES SOUS AGROSYSTEMES

Les paramètres du rendement rendant compte de la production des plantations cacaoyères sous les différents agrosystèmes sont présentés dans le Tableau 5. Il ressort de l'analyse de ce tableau que les paramètres du rendement sont significativement ($P < 0,05$) affectés les systèmes agroforestiers. Explicitement, la comparaison des moyennes des paramètres du rendement en agrosystème simple (SAGS) montre des moyennes du rendement plus élevées que celles des agrosystèmes moyen (SAGM) et complexe (SAGC) respectivement dans un ordre décroissant. Cela dénote qu'une plantation cacaoyère en agrosystème simple (SAGS) est la plus productrice, suivie d'une plantation cacaoyère en agrosystème moyen (SAGM) et complexe (SAGC).

3.1.6 LIEN ENTRE PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DU SOL, RENDEMENT ET AGROSYSTEMES

La Figure 3 établit la relation entre les caractéristiques physico-chimiques du sol et le rendement des cacaoyers selon les agrosystèmes. On note que les différents paramètres sont variablement liés aux paramètres de rendement et à la productivité selon le type d'agrosystèmes. Globalement, bien qu'il existe une relation positive ou négative entre les paramètres physico-chimiques du sol caractérisant ses paramètres de fertilité avec ceux du rendement déterminant la productivité des agrosystèmes à base de cacaoyers, il convient d'indiquer que, au niveau chimique, tous les paramètres déterminés sont positivement liés aux paramètres de rendement et à la productivité dans l'agrosystème mixte, excepté pour le sodium-Na qui a indiqué un lien négatif aussi bien sur l'axe 1 que l'axe 2 respectivement avec l'agrosystème de simple. De même pour le phosphore assimilable, une relation positive sur l'axe 2 et négative sur l'axe 1 a été notée en agrosystème complexe.

Tableau 5. Rendement des cacaoyers sous les agrosystèmes étudiés

Agrosystèmes	Rendement des plantations cacaoyères à l'hectare							
	Nb cab.	Pmoy/cab	Nb Fèv. / cab	PF Fèv.	PS Fèv.	Prod. PC	Prod. GC	Prod/An
SAGS	9366,7a	126,68a	56,66a	1186,52a	403,42a	100,85a	302,56a	403,42a
SAGM	8000,0b	107,94b	53,33b	863,55b	293,61b	66,06b	227,55b	293,61b
SAGC	5833,3c	103,22c	50,00c	602,00c	204,68c	nd	204,68c	204,68c
Moy. Gle	7733,33	11,61	53,33	884,02	300,57	55,64	244,93	300,57
Coéf.Var (%)	3,05	0,75	2,58	2,91	2,91	2,98	,,08	2,91
P > F	<, 0001	<, 0001	0,0031	<, 0001	<, 0001	<, 0001	<, 0001	<, 0001

Les valeurs dans la même colonne suivies par la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$
 Nb cab = nombre de cabosse; Pmoy/cab = poids moyen par cabosse; Nb Fèv/cab = nombre de fèves par cabosse; PF Fèv = poids frais des fèves; PS Fèv = poids sec des fèves; Prod. PC = production en petite campagne; Prod. GC = production en grande campagne; Prod/An = production annuelle; nd = non déterminé

Toutes ces relations chimiquement établies avec les paramètres de rendement ont été des relations de moyenne intensité excepté pour le potassium-K et le sodium-Na qui ont eu une relation relativement faible avec les différents agrosystèmes. Pour ce qui concerne, les paramètres de granulométrie, le sable grossier-Sg et l'argile-Ar sont plus liés et positivement sur les deux axes 1et 2 aux paramètres de rendement dans l'agrosystème mixte-SAGM alors que le limon fin-Lf, le limon total-LT et le sable fin-Sf, affichent une relation négative avec les paramètres du rendement et de la productivité sur les deux axes en agrosystème simple. Seul, le limon grossier-Lg a indiqué une relation positive et négative respectivement sur les axes 2 et 1 en agrosystème complexe. Le sable total-ST et la somme argile et le limon total-Ar+LT, n'ont pas véritablement influencé les paramètres de rendement et donc la productivité quel que soit l'agrosystème. Ces relations de granulométrie quoi que positives ou négatives avec le rendement, ont été de fortes relations avec respectivement le limon fin, le limon total, le sable fin et le sable grossier, moyenne avec l'argile et de faible relation avec le limon grossier dans les différents agrosystèmes.

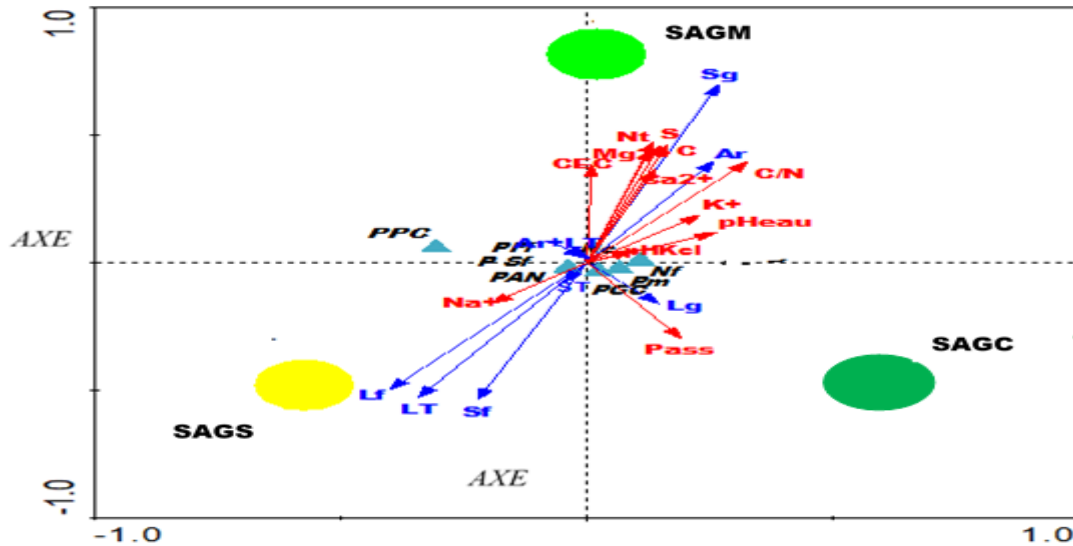


Fig. 3. Relation entre le rendement et les paramètres physico-chimiques des sols selon les agrosystèmes.

Les cercles sont les agrosystèmes: en jaune = SAGS: Agrosystème simple; en vert clair = SAGM: Agrosystème mixte; en vert foncé = SAGC: Agrosystème complexe. Les flèches bleues sont les paramètres physiques de granulométries: Ar: Argile; Lf: Limon fin; Lg: Limon grossier; LT: Limon total; Sf: sable fin; Ar+LT: Argile + Limon; Sg: sable grossier; ST: Sable Total. Les flèches rouges sont les paramètres chimiques: pH (eau); C: Carbone organique; Nt: Azote total; C/N: carbone sur l'azote; Pass: phosphore assimilable; Ca: Calcium; Mg: Magnésium; Na: Sodium; S: Somme des bases échangeables; CEC: Capacité d'échange cationique. Les triangles bleu-ciels sont les paramètres de rendement: Nc: Nombre de cabosses; Pm: Poids moyen des fèves /cabosse; Nf: Nombre de fèves /cabosse; PPF: Poids Frais des fèves; PPSf: Poids sec des fèves; PPC: Production petite Campagne; PGC: Production Grande Campagne; Pan: Production Annuelle.

3.2 DISCUSSION

3.2.1 ESPECES VEGETALES ASSOCIEES A LA CACAOCULTURE

De cette étude il ressort que les espèces arboricoles identifiées ne sont pas spécifiques à chaque agrosystème, bien qu'il y ait une différence de densité selon le type d'agrosystèmes. Ceci permet d'ailleurs de définir les différents types d'agrosystèmes dits simple avec 12,65 p.c. d'espèces associées, mixte avec 35,73 p.c. des espèces associées et complexe avec 51,61 p.c. d'espèces associées. La composition et/ou la densité des espèces floristiques associées à la cacaoculture est basée sur l'expérience du planteur en matière de pratique culturale, de la variété cultivée ou la valeur économique des espèces associées [21]. L'on note que dans les plantations, la préférence des planteurs est portée sur les espèces exotiques telles que *Persea americana Mill.* (Lauraceae), *Citrus spp* (Rutaceae). Généralement, les planteurs de kokumbo, possédant les parcelles vieilles de plus de quarante années, ont opté pour une densité des arbres associés élevée donc un système agrofestier complexe ou mixte parce que, les conditions climatiques sont jugées défavorables à la culture cacaoyère [22]. Cette pratique a été aussi observée dans les zones forestières de la Côte d'Ivoire [23] et du Cameroun [24] dont le but est de diversifier les revenus des producteurs. Par ailleurs, les pratiques culturales basées sur le système agroforestier simple seraient de réduire la compétition nutritionnelle avec les cacaoyers [25]. Par ailleurs, l'introduction et/ou le maintien des espèces locales appartenant aux familles des Sterculiaceae, Anacardiaceae, Euphorbiaceae, Apocynaceae, Moraceae, Combretaceae Lauraceae, Musaceae, Rutaceae, Caricaceae dans la conduite des plantations sont les observées. En effet, les planteurs considèrent ces arbres comme des espèces non seulement compatibles à la cacaoculture mais aussi des espèces qui ont pour rôle de combattre l'enherbement excessif et bien plus de servir à l'autoconsommation et à la diversification des revenus. En somme, la préférence des espèces résulte d'un compromis entre leurs utilisations domestiques et leur incidence sur la fertilité du sol sous cacaoyer [24]. A cela s'ajoute le fait que, le choix des espèces végétales locales par les planteurs est secondairement guidé par leur contribution au plan médical et ornemental [26].

3.2.2 FERTILITE CHIMIQUE DU SOL DES AGROSYSTEMES A BASE DE CACAoyERS

Cette étude a également montré que la fertilité globale des sols à Niamké-konankro dans le département de Toumodi est satisfaisante si l'on tient compte du résultat de l'analyse du sol sous les différents agrosystèmes considérés. Aussi, il a été constaté que les teneurs en éléments majeurs et oligo-éléments, ainsi que le complexe argilo-humique, qui caractérisent la fertilité minérale des sols sous cacaoyers et qui rendent possible la nutrition minérale de la plante ont été plus importantes dans les horizons superficiels à la profondeur 0-20 cm quel que soit le type d'agrosystème, mais beaucoup plus en agrosystème mixte et complexe. En fait, l'introduction et/ou le maintien des espèces locales dans les plantations à la densité souhaitée établit par effet d'ombrage et par évitement une éventuelle dégradation des sols, un enrichissement et un équilibre minéral entre les différents agrosystèmes. En effet la décomposition de la litière ou matière organique, par des processus de minéralisation et d'humification contribuent à enrichir le sol en éléments minéraux majeurs, en oligo-minéraux et humus limitant ainsi l'utilisation des fertilisants chimiques sur ces parcelles [27, 29]. C'est ce qui justifie la fertilité satisfaisante des sols des agrosystèmes à base cacaoyers [30]. Ces agrosystèmes agroforestiers à base cacaoyers dans lesquels les plantes associées sont choisis en fonction de leur capacité à établir un équilibre nutritionnel dans le sol pourraient être recommandés.

Au regard des résultats obtenus sur le plan nutritionnel, le système agroforestier mixte (SAGM) paraît plus intéressant dans l'amélioration de la structure du sol et de son enrichissement en éléments minéraux disponibles pour une bonne croissance et un développement du cacaoyer.

3.2.3 PRODUCTIVITE DES PLANTATIONS CACAoyERES DANS LES SYSTEMES AGROFORESTIERS

Les sols sous cacaoyers en agrosystème simple (SAGS) ont été plus productifs, suivis de ceux en système agroforestier mixte (SAGM) et moins productifs en système agroforestier complexe (SAGC). La variabilité de la production des plantations cacaoyères sous les différents agrosystèmes pourrait s'expliquer sous plusieurs angles. D'abord, le faible rendement obtenu en SAGC et SAGM, serait dû à la triple action contraignante liée à la variété de cacao, à la densité arboricole associée aux cacaoyers et à l'âge des plantations. En effet, il convient de préciser que la majorité des variétés de cacao utilisées pendant la mise en place des parcelles ne sont pas des variétés améliorées et productifs mais trop souvent des variétés dites « tout-venant » et peu productifs. Sur le terrain, le constat est que l'agrosystème complexe (SAGC) sont majoritairement associés à la variété dite « Français » alors que l'agrosystème mixte (SAGM) est associé aux variétés « Français et Ghana » et l'agrosystème simple (SAGS) renferme les variétés « Français, Ghana et Mercedes » dans des proportions aléatoires [31]. A cela s'ajoute la densité relativement des plantes associées dans ces agrosystèmes qui pourrait fortement influencer la productivité des cacaoyers. En effet, les résultats ont montré que la densité des arbres associée à la cacaoculture est plus élevée en agrosystème complexe

(SAGC), en agrosystème mixte (SAGM) et en agrosystème simple (SAGS) par ordre décroissant. Cette densité des arbres pourrait créer des conditions environnementales (ombrage, humidité, cachettes des animaux rongeurs, maladie chryptogamique) peu propices pour l'épanouissement du cacaoyer. En fait, la trop grande densité des arbres associés crée un effet d'ombrage qui modifie la quantité de lumière, les températures et les mouvements d'air dans la cacaoyère et affecte directement l'activité photosynthétique d'où une réduction de la production des chérelles et des cabosses. Cela a été observé par [32, 34] qui ont signalé que, lorsque certains facteurs écologiques (air, humidité relative, température, ensoleillement) ne sont pas à leur optimum, la production du cacaoyer est affectée, ce qui expliquerait la différence de rendement telle qu'observée entre les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers simple (SAGS), mixte (SAGM) et complexe (SAGC) étudiés. [35] et [36] affirment en effet qu'un ombrage excessif crée un microclimat plus humide qui favorise la prolifération de maladies (la pourriture brune) et qui abrite les rongeurs dont les dommages réduisent la productivité des systèmes agroforestiers mixtes et complexes. Par ailleurs, l'une des raisons qui militent en faveur de l'ombrage est que la longévité des cacaoyers est moindre en agrosystème simple (SAGS) que sous ombrage mixte et complexe [37]. De toute évidence, la productivité du cacaoyer serait liée à son âge. Plus, les plantations cacaoyères sont âgées moins elles sont productives. Ce résultat est en accord avec les travaux de [38] qui a montré que le rendement des cacaoyers baisse au-delà de 30 ans du fait du déclin biologique.

4 CONCLUSION

Les résultats de l'étude montrent qu'il y a eu une variabilité d'espèces floristiques, appartenant à différentes familles se retrouvent dans les agrosystèmes à des densités variables selon que nous sommes en agrosystème simple (SAGS), mixte (SAGM) ou complexe (SAGC). Au niveau des potentialités, les agrosystèmes sont non seulement conservateurs d'un certain niveau de biodiversité mais aussi conservent et maintiennent les paramètres chimiques des sols sous cacaoyers susceptibles d'améliorer durablement la production du cacaoyer. Les sols sont peu acides, avec une texture limoneuse à limono-argileuse et surtout caractérisés par une disponibilité en éléments nutritifs très variable et plus riche en SAGM à la profondeur 0-20 cm. La productivité des cacaoyers s'est révélée plus importante en agrosystème simple (SAGS) qu'en agrosystème mixte (SAGM) et complexe (SAGC).

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Ce travail a été réalisé en collaboration entre tous les auteurs. Les auteurs KOUAME Amany Guillaume et N'GANZOUA Kouamé René ont conçu l'étude, rédigé le protocole expérimental. Le co-auteur SALLA Moreto a fait l'inventaire des espèces végétales et les co-auteurs KOUADIO Koffi Hypolith et BAKAYOKO Sidiky ont fait les traitements statistiques et interprété les résultats de l'étude. Tous les auteurs ont lu et approuvé le manuscrit final pour le soumettre à publication.

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêts.

REFERENCES

- [1] WCF. Déclaration d'intention conjointe relative au développement durable du cacao en Côte d'Ivoire, Ministère de l'Agriculture, World COCOA Foundation, 5p, 2014.
- [2] Alverson W. S., Whitlock B.A., Nyffeler R., Bayer C., Baum D. A. Phylogeny the core Malvales: Evidence from NDHF sequence data. *Am. J. Bot.*, 86 (10): 1474 – 1486, 1999.
- [3] ICCO, (2016). Bulletin of Cocoa Statistics, [Cocoamap.www.icco.org/statistics/otherstatistical-data.html](http://www.icco.org/statistics/otherstatistical-data.html), consulté le 08/08/2023.
- [4] Altieri M., Pengue W. GM. Soybean: Latin America's new coloniser. *Seedling (Jan.)*: 13-17, 2006.
- [5] FAO. Sécurité alimentaire, Note d'information n° 2, juin, publié par la Division de l'économie agricole et du développement (ESA) de la FAO, avec le concours du programme de partenariat FAO-Pays-Bas et du Programme de sécurité alimentaire CE-FAO, 2006.
- [6] Rice R.A., et Greenberg R. Cocoa Cultivation and the Conservation of Biological Diversity. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 29: 167-173, 2000.
- [7] Sonwa D.J., Bernard A., Nkongmeneck A., Weise F., Tchatat M., Akin A.A., Janssens M.J.J. Diversity of plants in cocoa agroforests in the humid forest zone of Southern Cameroon. *Biodivers. Conserv.*, 16: 2385-2400, 2007.

- [8] Adou Y.Y.C., Kpangui K., Vroh B.T.A. & Djakaridja O. Pratiques culturales, valeurs d'usage et perception des paysans des espèces compagnes du cacao dans des agrosystèmes traditionnelles au centre de la Côte d'Ivoire, *Revue d'ethnoécologie*, 9: 20p, 2016.
- [9] Agroforestry Systems. Editorial-What is Agroforestry? *Agrof. Syst.*, 1: 7-12, 1982.
- [10] Vroh B.T.A., N'Guessan K.E., Adou Yao C.Y. Trees species diversity in perennial crops around Yapo protected forest, Côte d'Ivoire. *Journal of Horticulture and Forestry*, 9: 98-108, 2017.
- [11] Dalliere C., et Dounias E. Agroforêts caféières et cacaoyères des Tikar (Cameroun central) structures, dynamiques et alternatives de développement. Séminaire FORAFRI Session 3, Produits de la forêt. Libreville. 26p, 1998.
- [12] Ruf F. The myth of complex cocoa agroforests: the case of Ghana. *Hum. Ecol.*, 39: 373-388, 2011.
- [13] Yao-Kouamé A. Caractéristiques physiques des sols brunifiés dérivés des formations du complexe volcano-sédimentaire de Kanhankro (Toumodi) en moyenne Côte d'Ivoire. *Rev. CAMES- Série A, Vol. 05: 39-52*, 2007.
- [14] CEAEQ. Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec. Détermination de la granulométrie, MA. 100 – Gran. 2.0, rév. 1, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, 11 p, 2015.
- [15] Lebrun J.P et Stork Adélaïde L. Énumération des plantes à fleurs d'Afrique tropicale. 4 Gamopétales: Ericaceae à Lamiaceae. Genève: Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève, 714 p, 1997.
- [16] Diack, M. & Loum, M. Caractérisation par approche géostatistique de la variabilité des propriétés du sol de la ferme agropastorale de l'Université Gaston Berger (UGB) de Saint Louis. Dans le bas delta du fleuve Sénégal». *Revue de géographie du laboratoire Leïdi. N°12. 15 p*, 2014.
- [17] Nelson, D.W. & Sommers, L.E. *Total carbon, organic carbon, and organic matter*. In Sparks, D.L., et al., Eds., *Methods of Soil Analysis. Part 3, SSSA Book Series, Madison, 961-1010*, 1996.
- [18] Bemmelen, V.J.M. Ueber die Bestimmung des Wassers, des Humus, des Schwefels, der in den colloïdalen Silikaten gebundenen Kieselsäure, des Mangans u.s.w. im Ackerboden. *Landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen*, 37: 279-290, 1890.
- [19] Gianello C. et Bremner J.M. A simple chemical method of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Communications in soil sciences and plants analysis*, vol 17, issue 2: 195-214, 1986.
- [20] Olsen, S.R. et Sommers, L.E. *Phosphorus*. In *Methods of soil analysis*. Ed Page *et al.* Madison. Wisc.: ASA and SSSA: 403-430, 1982.
- [21] Adou Yao C.Y. & N'Guessan E.K. Diversité floristique spontanée des plantations de café et de cacao dans la forêt classée de Monogaga, Côte d'Ivoire. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 157 (2): 31-36, 2006.
- [22] Herzog F. Multipurpose shade trees in coffee and cocoa plantations in Côte d'Ivoire. *Agroforestry systems*, 27: 259–267, 1994.
- [23] Konan D. Évaluation de l'impact de la cacaoculture sur la flore et la végétation en zone de forêt dense humide semi-décidue: cas du département d'Oumé. Mémoire de Diplôme d'Études Approfondies de Botanique, UFR Biosciences, Laboratoire de Botanique, Abidjan, Côte d'Ivoire, 45 p, 2009.
- [24] Sonwa D. J., Weise S. F., & Janssens M. J. J. Conservation et gestion durable des écosystèmes des forêts tropicales humides de l'Afrique centrale, étude de cas d'aménagement forestier exemplaire en Afrique centrale: Les systèmes agroforestiers cacaoyers Cameroun.; 49 p, 2002.
- [25] Cissé A. Caractérisation phytoécologique et estimation de la biomasse des espèces arborescentes des agrosystèmes à base de cacao du département de Lakota (Centre- Ouest, Côte d'Ivoire). Mémoire de Diplôme d'études approfondies de botanique. Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, 64 p, 2013.
- [26] Vroh B.T.A.; Ouattara D. & Kpangui K.B. Disponibilité des espèces végétales spontanées à usage traditionnel dans la localité d'Agbaou, Centre-ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 76: 6386-6396, 2014.
- [27] Howeler R.H. Nutrient Inputs and Losses in Cassava-based Cropping Systems. Examples from Vietnam and Thailand. *Southeast Asia*; 20-22, 2001.
- [28] Doucet R. Le climat et les sols agricoles. ed. Berger, Eastman, Québec; xv, 443 p, 2006.
- [29] Giroux M. & Audesse P. 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, 2004.
- [30] Koko L.K. Influence des caractères morpho-pédologiques et chimiques des sols sur la dégradation précoce des cacaoyers dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire, Thèse de Doctorat Unique de l'Université de Cocody- Abidjan, Côte d'Ivoire, 148 p, 2008.
- [31] Kpangui K.B., Kouamé D., Gone B.Z.B., Vroh B.T.A., Koffi B.J.C. & Adou Yao C.Y. Typology of cocoa-based agroforestry systems in a forest-savannah transition zone: case study of Kokoumbo (Centre, Côte d'Ivoire). *International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR)*; 6 (3): 36-47, 2015.
- [32] Deheuvels O., Avelino J., Somarriba E., Malezieux E. Vegetation structure and productivity in cocoa based agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 149: 181-188, 2012.

- [33] Zuidema P.A, Leffelaar P.A, Gerritsma W, Mommer L, Niels P.R. Anten N.P.R. A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application Elsevier. *Agricultural Systems* 84 (2005) 195-225, 2005.
- [34] Almeida D.A.A.F et Valle R.R. Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19 (4): 425-448, 2007.
- [35] Boulay M. Étude de la phénologie de différents hybrides de cacaoyer associés à six espèces d'arbres d'ombrage, Mémoire de maître ès sciences. Université Laval, Canada, 74 p, 1998.
- [36] Mossu, G. (1990). Le cacaoyer. Paris, Maisonneuve et Larose, Coll. Le Technicien de l'agriculture tropicale.159 p.
- [37] Ahenkorah Y, Akrofi GS, Adri AK. (1974). The end of the first cacao shade and manurial experiment at the Cacao Research Institute of Ghana. *J Hort Sci* 49: 43–51.
- [38] Koko L. (2014).Teractiv Cacao as a New Fertilizer based Reactive Phosphate Rock for Cocoa Productivity in Côte d'Ivoire: A Participatory Approach to Update Fertilization. Elsevier, *Procedia Engineering* 83 (2014) 348 – 353.