

Characterization of traditional agroforestry systems of cacao and their impact on some physical fertility parameters of soil in southwestern of Côte d'Ivoire

¹ Kouadio koffi hypolith, ^{*2} Gala Bi Trazié Jérémie, ³ Assiri Assiri Alexis, ⁴ Yao-Kouamé Albert

^{1, 2, 4} Département Sciences du sol, Unité de Formation et de Recherche de Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université Félix Houphouët-Boigny, Cocody - Abidjan, Côte d'Ivoire

³ Programme Cacao, Station de recherche de Divo, Centre National de Recherche Agronomique, Côte d'Ivoire

Abstract

In the aim to study the impact of agroforestry practices in cocoa production on some parameters of soil physical fertility, 95 cocoa farms were surveyed in the Southwest of Côte d'Ivoire, main area of cocoa production. This study area was divided into three areas. In each area, two cocoa farms in agroforestry condition (under shade trees associates) and one, in condition of cocoa monoculture were selected. Besides inventory and density of associate trees, the organic content, the particle size, the bulk density, the available water reserve of soil, were determined by the usual methods. The results revealed an average density of 49 associate trees per hectare with a higher effective for agricultural plant species, sandy clay soils with less than 20% clay, bulk density values ranging from 1.17 and 1.44 g.cm⁻³ with smaller differences between consecutive horizons of soils in agroforestry situation. The available water reserve of soil has been, significantly, higher with the cocoa farms in agroforestry condition. Agroforestry in cocoa production system would be suitable for better use of soil water in a context of climate change.

Keywords: agroforestry, cocoa, Southwest Côte d'Ivoire, available water capacity

1. Introduction

La Côte d'Ivoire est le premier producteur mondial de cacao, avec 1,745 millions de tonnes en 2014, soit 35 % de la production mondiale (Ministère du commerce, 2014) [20]. La durabilité de la production ivoirienne est cependant menacée par de nombreuses contraintes (Assiri, 2007; Dehevels *et al.*, 2003) [3, 11]. En effet, l'épuisement des réserves forestières du pays ne permet plus d'assurer la continuité du système extensif, qui est une des caractéristiques de l'agriculture ivoirienne et particulièrement, de la cacaoculture en Côte d'Ivoire. Cette situation de blocage foncier nécessite non seulement, la reprise des jachères pour l'établissement de nouvelles cacaoyères, mais également pose le problème de vieillissement des plantations, doublé du constat de la baisse de la fertilité des sols (Koko, 2008) [18].

Aussi, le changement climatique (baisse de la pluviométrie, temps de sécheresse long) (Brou *et al.*, 2005) [9], est-il devenu une autre contrainte à la production cacaoyère, qui provient majoritairement des exploitations conduites en plein soleil, c'est-à-dire, sans ombrage.

Face à tous ces contraintes, la Côte d'Ivoire doit explorer d'autres modèles de production. Dans ce cadre, les systèmes agroforestiers, réputés pour leur durabilité, leur bonne production, leurs caractères écologique, environnemental et économique (Nair, 1993; Somarriba et Harvey, 2003; Sulzberger, 2008) [22, 24, 25] font de plus en plus l'objet d'étude. La recherche agroforestière en cacaoculture donc été entreprise par le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA). Elle a démarré par des études de base, notamment la caractérisation des systèmes existants et l'évaluation de leurs incidences sur les exploitations cacaoyères dans plusieurs départements des régions productrices de l'Est, du Centre-Ouest et du Sud du pays (Akichi, 2014; Koné, 2013) [1, 17].

Cependant, la région du Sud-Ouest, notamment les départements de Soubré et de Méagui, zone de forte production de cacao, n'avait pas encore été couverte.

Le présent article expose les résultats de la caractérisation des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers et de leur incidence sur quelques paramètres de la fertilité physique des sols dans ces deux départements.

2. Matériel et Méthodes

Zone d'étude

L'étude s'est déroulée dans les départements de Soubré et Méagui, au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire (figure 1). Ces départements sont situés entre 5°35'32" et 5°58'44" de latitude Nord et entre 6°34'24" et 6°36'00" de longitude Ouest.

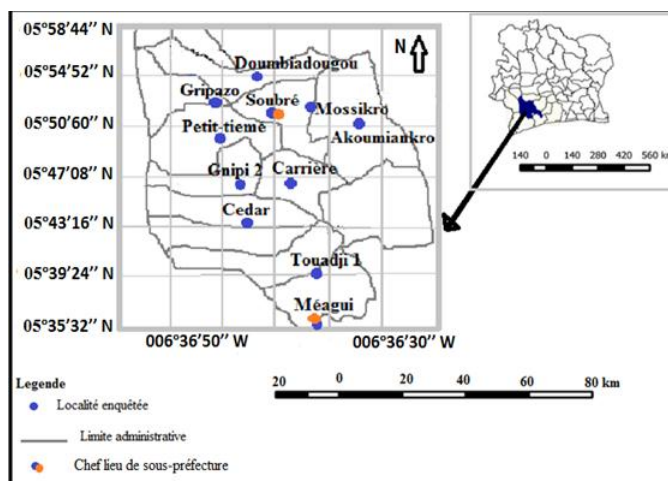


Fig 1: Carte de localisation de la zone d'étude

Le climat est de type subéquatorial, caractérisé par deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches. La pluviométrie moyenne annuelle est relativement abondante, variant entre 1 203,6 et 1 392 mm d'eau. La température moyenne mensuelle est comprise entre 25,8 et 26,3 °C (Evi *et al.*, 2007) [13]. La végétation était constituée par la forêt dense, mais a fait place aujourd'hui à des lambeaux de forêts. Les sols sont des sols ferrallitiques (Ferralsols) remaniés ou typiques, des sols hydromorphes (Gleysols) à Gley et pseudo-gley issus d'alluvions et des sols bruns (cambisols) eutrophes (eutric) tropicaux (Birmingham, 2003; ICRAF, 2011; Perraud, 1971) [4, 16, 23].

Méthodes

Choix des villages et des plantations de cacaoyers

La zone d'étude a été subdivisée en trois secteurs:

- Soubré 1, avec deux villages (Gripazo et Doumbiadougou);
- Soubré 2, avec trois villages (Mossikro, Akoumiankro et Kedekouassikro);
- Méagui, avec trois villages (Touagui 1, Cedar et Petit tiémé).

Au total, 95 exploitations cacaoyères, réparties dans les trois secteurs ont été visitées.

Pour apprécier l'incidence des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers sur les paramètres physiques du sol, quatre critères ont guidé le choix des parcelles. Il s'agit de:

- la position topographique; pour ce critère, le mi-versant, segment topographique le plus cultivé selon Koko *et al.* (2008) [19] a été retenu;
- l'âge de la cacaoyère; la tranche 25 à 35 ans, âge de la majorité des cacaoyères visitées a été retenue;
- l'usage de fertilisant; les parcelles non fertilisées ont été retenues; cependant, en cas d'utilisation d'engrais, la dernière application devrait remonter à plus de 3 ans, afin qu'aucun effet résiduel ne biaise les résultats attendus;
- la densité des arbres associés; pour deux cacaoyères respectant les critères ci-dessus, celle ayant la densité d'arbres associés la plus élevée est retenue.

Sur la base de ces quatre critères, neuf exploitations ont été sélectionnées, soit trois dans chaque localité dont deux sous ombrage et une sans ombrage considérée comme le témoin (tableau 1).

Tableau 1: Cacaoyères sélectionnées en fonction des critères établis

Numéro	Localités	Âge de la cacaoyère (an)	Système de conduite de la cacaoyère	Positions topographiques de la cacaoyère	Année du dernier apport d'engrais	Densité d'arbres associés
1	Soubré1	25	Sous ombrage	HV; MV	--	65
2	Soubré1	28	Sous ombrage	MV; BV	2008	37
3	Soubré1	25	Sans ombrage	MV	2010	0
4	Soubré2	35	Sous ombrage	HV; MV; BV	--	43
5	Soubré2	27	Sous ombrage	HV; MV; BV	2010	65
6	Soubré2	25	Sans ombrage	MV	2010	0
7	Méagui	29	Sous ombrage	MV	--	36
8	Méagui	35	Sous ombrage	HV; MV; BV	2008	44
9	Méagui	29	Sans ombrage	MV	--	0

S: sommet; HV: haut-versant; MV: mi-versant; BV: bas-versant

Caractérisation floristique des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers

Les informations sur les arbres associés aux cacaoyers (nom, nombre) ont été obtenues par la technique d'inventaire à plein temps. Il est encore appelé « inventaire itinérant » (Aké-Assi, 2001) [2]. Ce type d'inventaire des arbres s'effectue sur toute l'étendue de la parcelle choisie. Mais dans la présente étude, environ le tiers de chaque exploitation a été prospecté. Deux paramètres ont été déterminés après comptage des espèces. Il s'agit de:

- la fréquence d'observation d'une espèce (F_{esp}) par rapport au nombre total d'exploitations
- $$F_{esp} (\%) = \frac{\text{Nbre d'exploitations avec l'espèce}}{\text{Nbre total d'exploitation}} \times 100 \quad (1)$$
- la fréquence de l'espèce par rapport au nombre total d'arbres associés recensés.
 - La fréquence relative de l'espèce par rapport à l'effectif du groupe d'espèces considérées

Les espèces observées dans moins de 20 % des exploitations et/ou totalisant moins de 10 % du nombre total d'arbres associés ont été considérés comme mineures.

Caractérisation de quelques paramètres physiques du sol

Les échantillons de sol ont été prélevés dans des fosses

pédologiques, au niveau des horizons 0-30 cm, où se localise la majorité des racines du cacaoyer (Mossu, 1990) [21]. Les paramètres déterminés sont:

- la granulométrie, par la méthode basé sur la loi de Stokes, utilisant la pipette de Robinson-Köln, décrite par Delaune *et al.* (1991) [12];
- la densité apparente (Da) (méthode du cylindre) et l'humidité pondérale (Hp) du sol (méthode gravimétrique); un cylindre de volume (V) connu est mécaniquement enfoncé dans les couches de sol à 0-10, 10-20 et 20-30 cm de profondeur. L'échantillon est soigneusement transvasé dans un sachet qui est aussitôt fermé, puis pesée, pour obtenir la masse fraîche (Mf) de l'échantillon de sol; une deuxième pesée est effectuée après séchage à l'étuve, à 105°C pendant 24 heures donne la masse sèche de l'échantillon de sol (Ms); la densité apparente et l'humidité pondérale sont déterminées par les formules ci-après (Boa, 1989) [5].

$$Da (g.cm^{-3}) = \frac{Ms (g)}{V (cm^3)} \quad (2)$$

$$Hp (\%) = \frac{Mf - Ms}{Ms} \quad (3)$$

- la réserve utile (R) du sol est ensuite déterminée par la formule:

$$R (mm) = 10^{-2} \times Hp (\%) \times Da \times Z (mm) \quad (3)$$

Z (mm) est l'épaisseur de l'horizon.

Traitement statistique des données collectées

Une analyse de variance à un facteur (ANOVA) a été réalisée à l'aide du logiciel SAS.7. Pour comparer les moyennes, le test de Newmann-Keuls a été appliqué, au seuil de probabilité de 5 %.

3. Résultats

Espèces majeures associées aux cacaoyers

Dix (10) espèces majeures ont été recensées (tableau 2). Elles

constituent 83,25 % de l'ensemble des arbres associés aux cacaoyers. Parmi ces espèces, l'avocatier, l'oranger, le manguier et le palmier à huile sont apparus chacun, dans 85,26 à 53,68 % des cacaoyères prospectées.

En termes d'effectif, le palmier à huile, le colatier et l'oranger sont les plus représentés, avec 14,00 à 18,41 % du nombre total des arbres associées aux cacaoyers. Ces trois espèces totalisent une proportion relative de près de 60% des espèces majeures associées aux cacaoyers.

Tableau 2: Représentativité des espèces majeures associées aux cacaoyers dans les localités de Soubré et Méagui

Nom commun	Espèce	Fréquence (%) espèce par rapport		
		Exploitations (n=95)	Arbres associés (n=5745)	Espèces majeures
Avocatier	<i>Persea americana</i>	85,26	5,46	6,56
Oranger	<i>Citrus sinensis</i>	83,16	14,00	16,82
Manguier	<i>Mangifera indica</i>	78,95	10,28	12,35
Palmier à huile	<i>Elaeis guineensis</i>	53,68	18,41	22,11
Colatier	<i>Cola nitida</i>	48,42	17,14	20,59
Fromager	<i>Ceiba pentadra</i>	45,26	2,78	3,34
Cocotier	<i>Cocos nucifera</i>	24,21	2,31	2,77
Papayer	<i>Carica papaya</i>	20,00	2,31	2,77
Akpi	<i>Riciodendron heudelotii</i>	20,00	0,29	0,35
Hévée	<i>Hevea brasiliensis</i>	3,16	10,27	12,34
TOTAL			83,25	100,00

Parmi les 10 espèces majeures, on distingue (tableau 3):

- sept plantes pérennes cultivées; il s'agit du colatier, l'oranger, le manguier, l'hévée, l'avocatier, le papayer et le cocotier qui représentent 74,20 % des espèces majeures recensées;
- une espèce spontanée à caractère agricole, représentée par le palmier à huile, avec 22,11 % des arbres recensés;
- deux espèces forestières résiduelles que sont le fromager et l'Akpi (*Riciodendron heudelotii*), avec 3,69 % des arbres observés.

Tableau 3: Répartition des espèces majeures associées aux cacaoyers en fonction de leur utilisation agricole

Type d'arbre	Nombre d'espèces	Proportion (%)
Plantes pérennes cultivées	7	74,20
Espèce spontanée à caractère agricole	1	22,11
Espèce forestière résiduelle	2	3,69
TOTAL	10	100,00

Espèces mineures associées aux cacaoyers

Les cacaoyères enquêtées abritent 52 espèces mineures. Dans ce groupe, il existe 44 espèces forestières mineures et 8 espèces cultivées.

Près de 25 % des espèces mineures recensées sur la superficie totale prospectée, sont des espèces à caractère agricole. Toutes les autres (environ 75 %) sont des espèces forestières (tableau 4).

Tableau 4: Répartition des espèces mineures associées aux cacaoyers en fonction de leur utilisation agricole

Type d'arbre	Nombre d'espèces	Proportion (%)
Plantes pérennes cultivées	8	24,54
Espèce forestière résiduelle	44	75,46
TOTAL	52	100,00

Espèces pérennes mineures agricoles associées aux cacaoyers

Il s'agit par ordre décroissant d'abondance du Caféier, du goyavier, du citronnier, du mandarinier, du pamplemoussier et du corossolier (tableau 5). Les trois premiers cités totalisent 84,14 % de l'effectif des arbres agricoles mineurs associés aux cacaoyers.

Plantes forestières spontanées et résiduelles dans les cacaoyères

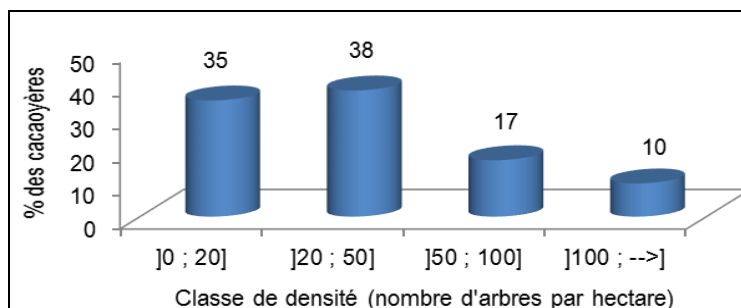
Elles représentent 12,64 % de l'ensemble des arbres associés aux cacaoyers. *Bombax costatum* et *Pycnanthus angolensis* ont des effectifs plus élevés qui leurs confèrent chacune une proportion relative de 9,97 % des espèces mineures forestières observées dans les plantations de cacaoyers. A l'opposé, *Nesogordinia papaverifera*, *Treulia africana*, *Terminalia ivorensis* et *Aningeria robusta* sont les plus rares, avec des proportions relatives de 0,08 % (tableau 6).

Densité des arbres associés aux cacaoyers

Dans la majorité des cacaoyères des départements de Soubré et Méagui (73 %), les densités moyennes des arbres associés sont inférieures à 50 pieds/ha. Les densités plus élevées (plus de 50 arbres/ha) représentent 27 % des cacaoyères enquêtées (figure 2).

Tableau 5: Plantes pérennes mineures agricoles recensés dans les cacaoyères

Nom commun	Espèce	Fréquence (%) espèce par rapport		
		Exploitations (n=95)	Arbres associés (n=5745)	Espèces mineures
Caféier	<i>Coffea canephora</i>	3,16	2,3	55,96
Goyavier	<i>Psidium goyava</i>	9,47	0,58	14,11
Citronnier	<i>Citrus limon</i>	7,37	0,58	14,11
Mandarinier	<i>Citrus reculata</i>	11,57	0,52	12,65
Pamplemousse	<i>Citrus grandis</i>	3,16	0,11	2,68
Anacardier	<i>Anacardium occidentale</i>	1,05	0,01	0,24
Corossolier	<i>Annona muricata</i>	1,05	0,01	0,24
TOTAL			4,11	100,00

**Fig 2:** Répartition des cacaoyères enquêtées (n = 95) en fonctions des densités moyennes des arbres associés

Fertilité des sols sous cacaoyers en fonction des systèmes de conduite

Granulométrie et texture des sols sous cacaoyers.

Les valeurs moyennes de la granulométrie du sol des trois

sites étudiés, n'indiquent aucune différence significative au seuil de probabilité de 5 %, entre les trois localités. Elles présentent toutes une texture sablo-argileuse, avec moins de 20 % d'argile pour l'horizon 0 – 20 cm (tableau 7).

Tableau 6: Plantes forestières spontanées et résiduelles recensées dans les cacaoyères

Nom commun	Espèce	Fréquence (%) espèce par rapport		
		Exploitations (n=95)	Arbres associés (n=5745)	Espèces résiduelles
Kapokier de forêt	<i>Bombax costatum</i>	3,21	1,26	9,97
Ilomba	<i>Pycnanthus angolensis</i>	1,05	1,26	9,97
Papier de verre	<i>Ficus exasperata</i>	15,79	0,88	6,96
Bilinga	<i>Nauclea diderrichii</i>	1,05	0,88	6,96
Fraké	<i>Terminalia superba</i>	14,74	0,68	5,38
Raphia	<i>Raphia hookeri</i>	4,21	0,63	4,98
Caroubier	<i>Ceratonia siliqua</i>	3,16	0,63	4,98
Iroko	<i>Chlorophora excelsa</i>	15,79	0,51	4,03
Adyansi	<i>Phyllanthus discoideus</i>	3,16	0,41	3,24
Kouaïa	<i>Morinda lucida</i>	10,53	0,39	3,09
Albizzia	<i>Albizzia spp</i>	2,10	0,38	3,01
-	<i>Funtumia africana</i>	5,26	0,37	2,93
Bété	<i>Mansonia altissima</i>	3,16	0,37	2,93
Kapokier	<i>Bombax malabaricum</i>	8,42	0,34	2,69
Balié	<i>Newbouldia laevis</i>	4,21	0,34	2,69
Avodiré	<i>Antiaris africana</i>	8,42	0,29	2,29
Flamboyant	<i>Dolens regia</i>	4,21	0,29	2,29
Samba	<i>Triplochiton scleroxylon</i>	5,26	0,24	1,90
Prunier mombin	<i>Spondias mombin</i>	6,31	0,19	1,50
Acajou	<i>Kaya anotheca</i>	4,21	0,19	1,50
Ficus	<i>Ficus capensis</i>	3,16	0,19	1,50
Asan	<i>Celtis zenkeri</i>	3,16	0,19	1,50
Emien	<i>Alstonia boonei</i>	1,05	0,19	1,50
Ficus forestier	<i>Ficus goliath</i>	7,37	0,17	1,34
Arbre à pain	<i>Artocarpus altilis</i>	1,05	0,16	1,27
Tiama	<i>Entandrophragma angolensis</i>	1,05	0,13	1,03
Manguier sauvage	<i>Irvingia gabonensis</i>	4,21	0,1	0,79
Rônier asiatique	<i>Borassus flabellifer</i>	1,05	0,1	0,79
Gaigai	<i>Napoleona leonensis</i>	3,16	0,08	0,63
Movingui	<i>Distemonanthus bentamianus</i>	3,16	0,08	0,63
Erythrine	<i>Erythrina senegalensis</i>	3,16	0,08	0,63

Sipo	<i>Entandrophragma utile</i>	3,16	0,08	0,63
-	<i>Herrania balaensis</i>	2,10	0,08	0,63
Fourghère	<i>Jatropha curcas</i>	2,10	0,08	0,63
Cassia du Siam	<i>Cassia siamea</i>	1,05	0,08	0,63
Koto	<i>Pterygota macrocarpa</i>	1,05	0,08	0,63
Calébasier	<i>Crescentia cujete</i>	2,10	0,05	0,40
Dabéma	<i>Piptadeniastrum africanum</i>	2,10	0,05	0,40
-	<i>Gliricidia sepium</i>	2,10	0,05	0,40
Parasolier	<i>Musanga cecropioides</i>	1,05	0,05	0,40
Aningré	<i>Aningeria robusta</i>	1,05	0,01	0,08
Kotibé	<i>Nesogordinia papaverifera</i>	1,05	0,01	0,08
Arbre à pain	<i>Treculia africana</i>	1,05	0,01	0,08
Framiré	<i>Terminalia ivorensis</i>	1,05	0,01	0,08
TOTAL			12,64	100,00

Tableau 7: Valeurs moyennes de la granulométrie et de la texture du sol de l'horizon 0-20 cm des localités étudiées.

Fraction Granulométrique	Localité			Coefficient de Variation (%)
	Soubré 1	Soubré 2	Méagui	
Argile (%)	14,58 a	14,32 a	19,85 a	24,70
Limon (%)	4,80 a	4,93 a	3,35 a	49,67
Sable fin (%)	27,92 a	30,66 a	26,55 a	34,39
Sable grossier (%)	52,70 a	50,10 a	50,25 a	21,64
Texture	SA	SA	SA	

SA: Sablo-argileuse; Les moyennes suivies des mêmes lettres dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %

Teneur en matière organique

Les résultats d'analyse consignés dans le tableau 8, montrent que les trois sites sont statistiquement identiques, au regard de la teneur en matière organique et du degré de minéralisation, renseigné par la valeur du rapport C/N.

De même, la comparaison des teneurs en matière organique et

le rapport C/N, des deux systèmes d'exploitation, n'indique pas d'incidence significative du système agroforestier en cacaoculture sur le sol.

Pour ces systèmes, les teneurs moyennes en matière organique et la valeur du rapport C/N ont varié respectivement de 15,7 à 20,5 et de 9,92 à 10,97.

Tableau 8: Matière organique et sa minéralisation en fonction des expositions et des localités

Exposition	MO (g.kg ⁻¹)			C/N		
	Soubré 1	Soubré 2	Méagui	Soubré 1	Soubré 2	Méagui
Sans ombrage	15,7 a	16,2 a	20,5 a	10,97 a	10,45 a	9,92 a
Sous ombrage	15,8 a	17,4 a	17,8 a	10,27 a	10,90 a	10,84 a
Moyenne	15,7	17,0	18,7	10,5	10,75	10,53
C.V. (%)	24,78	22,27	20,13	16,85	7,19	10,38

Les moyennes suivies des mêmes lettres dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %

Densité apparente et réserve utile selon les localités

Les densités apparentes des trois localités ont été comprises entre 1,26 à 1,38 gcm⁻³ avec une moyenne de 1,33 gcm⁻³. Statistiquement, elles n'ont pas présenté de différences

significatives. Quant aux réserves résiduelles en eau utile, elles ont montré des différences hautement significatives entre les localités de Méagui, de Soubré 2 (21,33 et 20,56 mm) et celle de Soubré 1 (15,2 mm) (tableau 9).

Tableau 9: Densité apparente et réserve utile du sol en fonction des localités

Localités	Densité apparente (g.cm ⁻³)	Réserve utile (mm)
Soubré 1	1,26 a	15,2 b
Soubré 2	1,38 a	20,56 a
Méagui	1,35 a	21,33 a
Moyenne	1,33	19,05
C.V. (%)	16,27	23,07
Pr > F	0,11	0,0001

Les moyennes suivies des mêmes lettres dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %

Densité apparente et réserve utile en fonction des horizons et des expositions

L'examen des données disponibles, a relevé d'une manière générale que les densités apparentes n'étaient pas significative

différentes entre les deux systèmes pour chaque horizon. Quant à la réserve utile, les résultats indiquent qu'elle baisse avec la profondeur.

Au niveau de chaque horizon, on a relevé une différence

significative entre les deux systèmes. Les plus fortes valeurs de la réserve utile sont perçues dans l'horizon 0-10 cm et, cela dans le système sous ombrage (22,29 mm). Les plus faibles

valeurs sont obtenues dans l'horizon 20-30 cm et dans le système sans ombrage (tableau 10).

Tableau 10: Densité apparente et réserve utile en fonction des horizons et des expositions

Exposition	Densité apparente (g.cm ⁻³)			Réserve utile (mm)		
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Sans ombrage	1,16 a	1,42 a	1,57 a	21,05 b	15,81 b	14,79 b
Sous ombrage	1,18 a	1,35 a	1,38 a	22,29 a	19,57 a	18,02 a
Moyenne	1,17	1,39	1,48	21,67	17,69	16,41
C.V. (%)	12,04	15,84	13,80	25,55	22,19	17,23
Pr > F	0,0008	0,0035	0,0055	0,0001	0,0025	0,0075

Les moyennes suivies des mêmes lettres dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

Contrastes entre horizons consécutifs à travers les écarts des valeurs de densité apparente

Les sols sous les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers (sous ombrage) présentent un plus faible contraste entre les horizons consécutifs par rapport au système traditionnel de monoculture de cacaoyers (sans ombrage). De l'horizon 0-10 cm à l'horizon 10-20 cm, cet écart a été de 0,26 dans le système sans ombrage contre 0,17 dans le système agroforestier à base de cacaoyer. De même, l'écart entre les horizons 10-20 cm et 20-30 cm a été respectivement pour les deux systèmes de 0,15 et 0,03.

Par ailleurs, ces écarts deviennent de plus en plus faibles en passant des horizons superficiels aux horizons sous-jacents, comme indiqué dans le tableau 11 ci-dessous.

Tableau 11: Contraste entre horizons consécutifs du sol

Horizons consécutifs	Ecart de densité apparente (g.cm ⁻³)	
	Sans ombrage	Sous ombrage
0-10 cm / 10-20 cm	0,26 a	0,17 a
10-20 cm / 20-30 cm	0,15 a	0,03 a
Moyenne	0,21	0,10
C.V. (%)	12,04	15,84
Pr > F	0,0008	0,0035

Les moyennes suivies des mêmes lettres dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

4. Discussion

Caractéristiques des arbres associés aux cacaoyères

Les arbres rencontrés sont de deux natures à savoir les arbres fruitiers et les arbres forestiers. Les arbres fruitiers sont introduits pour un but alimentaire. Alors que les arbres forestiers ont servi d'ombrage aux jeunes plants de cacao. Ces arbres, après quelques années se sont développés, devenant difficiles à éliminer, à cause des dégâts que l'abattage pourrait causer sur la plantation. Selon Herzog et Bachmann (1992)^[15], ces arbres sont présents car, certaines espèces ne peuvent pas être abattues en raison de leurs utilisations domestiques, de l'absence de matériels d'abattage adaptés ou pour des raisons socio-culturelles. Très peu de cacaoyères contiennent plus de 50 arbres par hectare. Ce qui conduit à dire que la trajectoire de cette agriculture est dirigée vers le modèle technique préconisé par la recherche-développement: les systèmes sans ombrage. Dans le cas présent, seulement 10 % des cacaoyères avaient plus de cent arbres à l'hectare. Alors que Geilfus (1994)^[14] préconisait 100 à 150 arbres associés à l'hectare pour espérer bénéficier de l'effet bénéfique de l'agroforesterie à base de cacaoyers. Les espèces majeures associées aux

cacaoyers dans la présente étude, outre l'avocatier, ont des systèmes racinaires qui se localisent majoritairement au-delà des 20 voire 30 premiers centimètres du sol (Tchoundjeu et Atangana, 2007)^[27]. Cela ferait de ces espèces, de bons candidats à l'agroforesterie, selon Van Dam *et al.* (2012)^[28], car elles causeraient peu de concurrences aux cacaoyers.

Par ailleurs, l'exploration des horizons de sol sous-jacents à la zone de forte concentration des racines du cacaoyer, serait un facteur favorable à la remontée capillaire qui pourrait maintenir de plus fortes teneurs en eau des horizons superficiels, constaté dans les systèmes agroforestiers comparativement au système de cacaoculture sans ombrage.

Cette thèse de remontée capillaire, plus accentuée dans les cacaoyères avec association d'arbre serait davantage justifiée par les plus faibles écarts entre les valeurs de densité apparente d'un horizon à l'horizon sous-jacent, comme constaté dans les systèmes agroforestiers. En effet, selon Brahic (2002)^[8], montrant qu'un horizon superficiel de sol sarclé, limite la remontée capillaire, un faible contraste entre les propriétés physiques de deux horizons consécutifs serait favorable au maintien du flux de remontée capillaire, tandis qu'un fort contraste, freinerait la remontée capillaire.

La thèse de Geilfus (1994)^[14] qui indique un seuil de densité de 100 à 150 arbres associés par hectare de cacaoyère pour l'observation de l'effet bénéfique de l'agroforesterie en cacaoculture serait donc à relativiser au regard du gain de réserve en eau constaté en faveur du système agroforestier. En effet, les parcelles, en situation d'agroforesterie, échantillonnées pour la présente étude, avaient une densité moyenne d'environ 49 arbres associés par hectare.

Cela démontre par ailleurs, qu'au-delà de la densité des arbres associés dans les systèmes agroforestiers, les caractéristiques de la plante associée, notamment le système racinaire et la canopée sont tout aussi déterminant pour l'observation des effets bénéfiques.

Caractéristiques morpho pédologique et physiques des sols

Les résultats montrent que quel que soit le système de culture la densité apparente se rapprochait de 1,5 preuve que les sols sont cultivés (Brady et Weil, 2002)^[7]. Selon ces auteurs les sols cultivés ont leurs densités apparentes qui se situent entre 1,2 et 1,5 g.cm⁻³. Ces valeurs restent également dans la fourchette des valeurs indiquée par Chamayou et Legros (1989)^[10], les textures des sols de la zone d'étude.

La variation de la densité apparente du sol d'une même parcelle proviendrait, selon Sylvain et Ferdinand (2009)^[26], de la variation de la matière organique du sol. La teneur en

matière organique des deux systèmes de production ne différant pas leurs densités apparentes sont sensiblement identiques.

Cependant, l'observation du profil de sol, horizon par horizon, montre que les horizons les plus superficielles, sont moins denses que les horizons sous-jacents. En effet, dans les travaux, il a été relevé que la porosité baissait avec la profondeur; l'horizon superficiel était beaucoup plus poreux que les horizons sous-jacents. Outre ce fait les sols ferrallitiques tropicaux étant fortement lessivé, l'argile contenue dans les couches superficielle migre dans les horizons sous-jacents (Boyer, 1982) ^[6]. Le dépôt de l'argile dans les horizons sous-jacents élimine les vides entre les grains de sable. Ainsi, augmenter la densité apparente des horizons les plus profonds.

Quant à la réserve utile, les résultats ont montré des différences significatives entre les deux systèmes de production. La réserve utile des sols des cacaoyères sous ombrage a été plus importante que pour le système sans ombrage. Les arbres associés créés un microclimat dans lequel l'humidité atmosphérique serait plus élevé, empêchant l'élévation de la température du sol. Ainsi, l'évaporation au niveau des horizons de surface du sol des cacaoyères sous ombrage est ralentie et plus limitée (Van Dam *et al.*, 2012) ^[28]. Cela met en évidence les propriétés conservatrices de l'eau du sol des systèmes agroforestiers.

5. Conclusion

L'agroforesterie, système de culture innovant, associant des arbres à d'autres cultures est traditionnellement appliquée dans la cacaoculture en Côte d'Ivoire, avec majoritairement des espèces végétales fruitières, à caractère agricole et quelques espèces forestières. A une densité moyenne d'environ 50 arbres/ha, le système agroforestier à base de cacaoyer, a eu une incidence positive sur la fertilité physique du sol, se traduisant par une meilleure capacité à conserver l'eau du sol. Sachant que le cacaoyer ne supporte pas une sécheresse excédent trois mois, cet effet bénéfique de l'agroforesterie nécessite d'être mieux exploiter, pour une adaptation de la cacaoculture aux effets du changement climatique, qui a déjà occasionné en Côte d'Ivoire, le déplacement spatiale de la boucle du cacao.

6. Références

1. Akichi K. Caractérisation des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers en Côte d'Ivoire: cas des départements d'Abengourou, Adzopé et Agboville, 2014, 69.
2. Aké-Assi L. Flore de la Côte d'Ivoire 1, Catalogue systématique, biogéographie et écologie. Conservatoire et Jardin Botaniques, Genève, Suisse, 2001, 396.
3. Assiri AA. Identification des pratiques paysannes dans la conduite des vergers de cacaoyers en Côte d'Ivoire. DEA, Agropédologie, Université d'Abidjan-Cocody, Abidjan, 2007, 61.
4. Birmingham D. M. Local knowledge of soils: the case of contrast in Côte d'Ivoire. *Geoderma*. 2003; 111(3-4):481-502.
5. Boa D. Caractérisation des propriétés hydrodynamiques, contraintes et potentialités des sols gravillonnaires: cas de Boro-Borotou. Thèse de Doctorat-Ingénieur, Université Nationale de Côte d'Ivoire. 1989, 186.
6. Boyer J. Les sols ferrallitiques, Tome X. Facteurs de fertilité et utilisation des sols. Edition ORSTOM, n° 52, Paris, France. 1982, 384.
7. Brady NC, Weil R. The nature and properties of soils. 13th ed. Upper Saddle River, N.J, USA: Pearson Education Inc, 2002, 960.
8. Brahic N. Mécanismes de remontée capillaire en nappe superficielle – Analyse des hypothèses du modèle de flux limite. Thèse de Doctorat, INA P-G, France, 2002, 182.
9. Brou YT, Akindès F, et Bigot S. La variabilité climatique en Côte d'Ivoire: entre perceptions sociales et réponses agricoles. *Cahiers Agricultures*. 2005; 14(6):533-540.
10. Chamayou H, et Legros JP. Les bases physiques, chimiques et minéralogiques des sciences du sol. *Techniques vivantes*. PUF ed. 1989, 594.
11. Dehevels O, Assiri AA, Petithuguenin P, Kebe BI, et Flori A. Production cacaoyère en côte d'ivoire: état actuel du verger et pratiques paysannes-in: 14th International Cocoa Research Conference, Working paper, Accra (Ghana), 2003, 1157-1175.
12. Delaune M, Reiffsteck M, et Feller C. L'analyse granulométrique de sols et sédiments à l'aide du microgranulomètre «Sedigraph 5000 ET». Comparaison avec la méthode «pipette Robinson. *Cahiers ORSTOM pédologie*, 1991; 26, N°2(2):183-189.
13. Evi JB, Yavo W, Barro-Kiki %, Menan EHI, et Koné M. Helminthoses intestinales en milieu scolaire dans six villes du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire, *Bull Soc Pathol Exot*, 2007; 100(3):176-177.
14. Geilfus F. El arbol al serviciodelagricultor, Manuel de agro foresteria para el desmollo rural.: Principios y tecnicas, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1994; 1:144.
15. Herzog F, et Bachmann M. Les arbres d'ombrage et leurs utilisations dans les plantations de café, et de cacao dans le sud du V- Baoulé Côte d'Ivoire. *Schweizerische Zeitschrisft Forestwesen*. 1992; 143(2):149-165.
16. ICRAF. Présentation synoptique du département de Soubré World Agroforestry Center Vision for Change Project, Internal Document, 2011.
17. Koné D. Caractérisation des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers en côte d'Ivoire: cas des départements de Divo, Oumé et Tiassalé, 2013, 66.
18. Koko LK. 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, 2008, 148.
19. Koko LK, Yoro GR, N'Goran K, et Assa A. Evaluation de la fertilité des sols sous cacaoyers dans le sud-ouest de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*. 2008; 20(1):81-95.
20. Ministère du commerce. Revue de presse, <http://www.commerce.gouv.ci/fichier/RP-02-octobre-2014>; consulté le 10 décembre. 2014.
21. Mossu G, Le cacaoyer. Série: Le technicien d'Agriculture tropicale, Ed, G.P, Maisonneuve et Larose. 1990, 160.
22. Nair PKR. An Introduction to Agroforestry (Dordrecht: Kluwer Academic Publishers), 1993, 292.
23. Perraud A. Les sols. In: Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Orstom, Mémoire n ° 50 + cartes. Paris, 1971, 69-390.

24. Somarriba E, Harvey C. Cómo integrar simultáneamente producción sostenible y conservación de biodiversidad en cacaoales orgánicos indígenas? Agroforestería en las Américas. 2003; 10(37-38):12-1.
25. Sulzberger E. Agroforestry addresses climate change and poverty. 2008.
<http://www.worldagroforestrycentre.org/InformationResources/A-B,asp> Consulté le 03 octobre 2014.
26. Sylvain A, Ferdinand K. Evolution de la densité apparente et du rapport C/N du sol sous les ariétés exotiques et locale de manioc dans les conditions naturelles de kisangani (R.D. Congo). Annales de l'Institut Facultaires des sciences agronomiques de Yangambi, spécial. 2009; (1):197-214.
27. Tchoundjeu Z, et Atangana AR. Ricinodendron heudelotii (Baill.) Pierre ex Heckel. In: van der Vossen, H.A.M. & Mkamilo, G.S. (Editors). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Netherlands, 2007.
<http://www.prota4u.org/search.asp>. Consulté le 12 octobre 2016.
28. Van Dam D, Streith M, Nizet J, et Stassart PM. Agroécologie: entre pratiques et sciences sociales, Educagri, coll. « Références », Dijon, 2012, 309.