



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

État de fertilité des sols dans le Centre-Est de la Côte d'Ivoire : cas de la cacaoculture dans les localités de Dimbokro, M'Bahiakro et Daoukro

Rodrigue Kouadio YAO^{1*}, Yannick Brou Brindou BOA¹, Joséphine Tamia AMA-ABINA¹,
Alphonse N'Guessan KOUASSI² et Clément Odon N'CHO³

¹Laboratoire de Géosciences et Environnement, Unité de Formation et de Recherche des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua (UNA) Abidjan, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire.

²Station de Recherche de La Mè, Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), 13 BP 989 Abidjan 13, Côte d'Ivoire.

³Unité de Formation et de Recherche des Sciences Géologiques et Minières, Université de Man (U-Man) Man, BP 20 Man, Côte d'Ivoire.

*Auteur correspondant ; E-mail : yakari_kyr@yahoo.fr; Tel : (00225) 07 08 68 12 21

Received: 11-07-2024

Accepted: 05-10-2024

Published: 31-10-2024

RÉSUMÉ

La zone Centre-Est de la Côte d'Ivoire fait face à la variabilité climatique et à la dégradation des sols depuis des décennies. Aussi, assiste-on à une migration des agriculteurs des sommets et hauts de versants vers les mi-versants et bas de versants. Malgré ce mouvement topographique, les rendements escomptés en cacaoculture ne sont pas atteints. L'objectif de cette étude a été d'évaluer l'état de fertilité des sols sous forêts (Sf), jachères (Sj) et plantations (Sp), à AHUA, à KOYA et à ASKO. Des échantillons de sol ont été prélevés sur ces trois sites et analysés au laboratoire. Les résultats ont montré pour les Sf, une densité apparente et une teneur en éléments grossiers élevées. Les sols étaient de texture limono-argilo-sableuse. L'humidité au pF_{4,2} a été différente significativement selon le type d'occupation. La réserve utile était élevée dans les Sj et Sp. Au niveau chimique, le pH a été faible ($5,25 < 6,05$) ; la teneur en matière organique en moyenne ($1,81\% < 2,88\%$) a été faible dans les Sf, Sj et Sp. Pour toutes les situations, l'état de fertilité était bas à moyen avec une faible teneur en azote ($0,13\% > 0,03\%$), phosphore assimilable ($2,12 \text{ mg/kg} < 11,5 \text{ mg/kg}$), magnésium ($1,02 \text{ cmol/kg} < 2,45 \text{ cmol/kg}$) et CEC ($8,07 \text{ cmol/kg} < 21 \text{ cmol/kg}$). Les rapports $\text{Mg}^{2+}/\text{K}^+$ et $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / \text{K}^+$ respectivement supérieurs à 3,5 et 25 indiquaient une déficience en K^+ . Il ressort que les Sj et les Sp pourraient être favorables au cacaoyer. Cependant, les carences en éléments nutritifs nécessitent des corrections.

© 2024 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Etat de fertilité, sols, Centre-Est, Côte d'Ivoire, cacaoculture.

The state of soil fertility in Central-Eastern Côte d'Ivoire : the case of cocoa production in Dimbokro, M'Bahiakro and Daoukro

ABSTRACT

The Central-Eastern part of Côte d'Ivoire has been facing climate variability and soil degradation for decades. As a result, farmers are migrating from the peaks and upper slopes to the mid and lower slopes. Despite this topographical shift, the expected cocoa yields are not being achieved. To better assess the level of fertility

and suitability of soils from forests (Sf), fallow land (Sj) and plantations (Sp), soil samples were taken from the AHUA, KOYA and ASKO sites and analysed in the laboratory. The results showed a high density and coarse element content in the Sf. The soils have a silty-clayey-sandy texture. Moisture at pF4.2 was highly significant. Useful water reserve is high in Sj and Sp. Chemically, pH was low ($5.25 < 6.05$); Organic Matter content on average ($1.81\% < 2.88\%$) was low in Sf, Sj and Sp. For all situation, fertility levels were low to medium with low nitrogen ($0.13\% > 0.03\%$), available phosphorus ($2.12 \text{ mg/kg} < 11.5 \text{ mg/kg}$), magnesium ($1.02 \text{ cmol/kg} < 2.45 \text{ cmol/kg}$) and T ($8.07 \text{ cmol/kg} < 21 \text{ cmol/kg}$). $\text{Mg}^{2+}/\text{K}^+$ and $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / \text{K}^+$ ratios greater than 3.5 and 25 respectively indicate a K⁺ deficiency. Sj and Sp were found to be favourable for cocoa. However, nutrient deficiencies need to be corrected.

© 2024 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords : state of fertility, soil, Central-East, Côte d'Ivoire, cocoa farming.

INTRODUCTION

La zone Centre-Est de la Côte d'Ivoire a longtemps été une zone importante de production du cacao et du café. Elle s'étendait sur les départements de Dimbokro, Daoukro et Bongouanou. Ces cultures y ont connu un développement sans précédent après les années 1950, faisant de cette région la source principale de richesse du pays. De 1950 à 1968, les surfaces totales de cacaoyers cultivées oscillaient entre 22 et 28%, avec une production de cacao de plus de 28% de la production nationale (Affou et Tano, 1991). L'ancienne boucle du cacao, en 1960, avait une emprise spatiale de 45 000 ha de cacao et 15 000 ha de café (Ané, 2017); ce qui a entraîné des modifications dans le paysage forestier. La population du Centre-Est, essentiellement agricole, était dépendante des terres fertiles et des pluies abondantes. Cependant, cette zone, tirant l'essentiel de ses revenus de ses plantations de café et de cacao (Konan, 2011), s'est fortement dégradée du fait d'une agriculture extensive et intensive. Cette dégradation des conditions écologiques couplée à la démission de l'État du secteur agricole a entraîné la réduction des superficies et la chute des productions de café et de cacao (Aloko-N'guessan, 2014). Plusieurs auteurs (Yoro, 2001; Assiri, 2010; Kouamé, 2019) ont révélé que les parties basses des versants étaient morphologiquement favorables à la cacaoculture, si du point de vue chimique, elles renfermaient 8% de K, 68% de Ca et 24% de Mg. Aussi, ont-ils ajouté que la forêt constitue et demeure le précédent culturel idéal pour garantir une bonne productivité du cacaoyer.

Cependant, les informations existantes sur l'état de fertilité des précédents culturaux (forêts, jachères et plantations) restent peu renseignées et les études effectuées concernent souvent des zones de production restreintes (Assiri et al., 2009). Il y a donc une nécessité d'actualiser et d'approfondir les connaissances sur l'état fertilité des précédents culturaux, au niveau des différentes positions topographiques, pour la relance d'une cacaoculture durable dans le Centre-Est de la Côte d'Ivoire.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Site d'étude

Le bassin versant du N'Zi à Dimbokro, appartenant au grand bassin versant du fleuve Bandama, est situé entre les longitudes $3^{\circ}75'$ et $5^{\circ}45'$ Ouest et les latitudes $6^{\circ}37'$ et $9^{\circ}50'$ Nord. Il a une superficie de 24889,7 km², soit 7,72 % du territoire national. Les acrisols, les cambisols et luvisols sont les types de sol qui caractérisent la zone d'étude. La végétation est de type soudanais (sub-soudanais) et guinéen (secteur mésophile), avec un climat tropical humide. Le cours d'eau principal est le fleuve N'Zi qui traverse les départements de Niakara, de Katiola, de Bouaké, de M'Bahiakro, de Bocanda, et de Dimbokro. Il coule globalement dans la direction Nord-Sud avec une densité de drainage égale à 0,02 km/km². Le relief du bassin versant du N'Zi à Dimbokro est modéré et comprend des plateaux et des plaines entre les 6^{ème} et 8^{ème} parallèles.

Matériel

Matériel technique et usage

Le matériel technique était composé d'un GPS de marque 62 stc GARMIN à 3 axes (pour relever les coordonnées géographiques), des machettes (pour ouvrir les layons), d'un mètre ruban (pour mesurer les dimensions des profils), des pioches et des pelles – bêches (pour ouvrir les fosses pédologiques). Un cylindre métallique de prélèvement, (à paroi mince, de volume 270 cm³, avec poussoir ou marteau en acier monté sur un tube guide pour prélever des carottes), un couteau (pour délimiter les différents horizons des profils), un code Munsell (pour déterminer les couleurs des différents horizons) et trois seaux numérotées (0-20 cm pour recueillir le sol et former les échantillons composites) ont servi aussi de matériel technique.

Une pissette d'eau (pour humecter le sol en vue de déterminer au tact sa texture), des sachets plastiques (pour conditionner les échantillons prélevés), un marqueur (pour étiqueter les échantillons prélevés), d'autres outils (un carnet, un crayon de papier, un stylo et des fiches de description des horizons pour prendre des notes sur le terrain) ont été utilisés comme matériel technique.

Matériel utilisé au laboratoire

Le matériel de laboratoire était constitué d'une grande salle (pour le séchage et le conditionnement des échantillons), d'une étuve (pour le séchage à température contrôlée), des balances électroniques de précision 0,1, 0,001 et 0,0001g (pour la pesée des échantillons, y compris les plus petites quantités). Un rouleau à pâtisserie en bois a été utilisé pour l'écrasement ou le broyage des échantillons. Une colonne de tamis à mailles carrées de différents diamètres a permis de séparer les éléments fins des éléments grossiers. Une centrifugeuse a servi à la séparation granulométrique par densité ; un pH-mètre de précision 0,1 et un spectromètre d'absorption atomique ont été utilisés respectivement pour mesurer l'acidité ou la basicité de

l'échantillon et pour le dosage des éléments totaux.

Méthodes

Échantillonnage et analyses physico-chimiques du sol

Sites d'échantillonnage

Les échantillonnages ont été effectués dans les localités de Dimbokro (AHUA), de M'Bahiakro (Koffi Yaokro (KOYA)) et de Daoukro (Assalé Kouassikro (ASKO)). Pour chaque localité, les échantillonnages ont été faits dans les sols de forêts (Sf), de jachères (Sj) et de plantations (Sp).

Prélèvement (échantillonnage)

Les échantillonnages de sol ont été réalisés dans les fosses ouvertes sur les différents sites, sur l'une des faces, et dans la couche 0-20 cm de chaque occupation de sol (Forêt, Jachère et Plantation). Des échantillons composites ont été constitués, par site, à partir du mélange et de l'homogénéisation des échantillons prélevés. Ces échantillons ont été séchés à l'air libre jusqu'à une masse constante. Ensuite, ils ont été tamisés à 2 mm et conditionnés dans des sachets plastiques pour des analyses chimiques au laboratoire du Bureau National des Sols du Burkina Faso (BUNASOLS).

Analyses physico-chimiques

L'état de fertilité des sols a été évalué à partir des paramètres physiques (densité apparente ; éléments grossiers ; texture), hydriques (Capacité au champ ; Point de flétrissement ; Réserve Utile) et chimiques (pH ; Matière Organique ; Complexe adsorbant ; azote ; phosphore ; potassium ; magnésium, Capacité d'Échange Cationique). La densité apparente a été déterminée à partir de la méthode du cylindre. Elle consiste à prélever un volume de sol connu sur lequel le poids spécifique apparent est déterminé et séché à 105°C à l'étuve pendant 24h. La composition granulométrique du sol a été déterminée par densimétrie au laboratoire sur la fraction fine (diamètre < 2 mm). La charge

en éléments grossiers a été déterminée à l'aide de la formule suivante :

$$T_x(EG) = \left(\frac{M_{rt}}{M_{tss}} \right) \times 100$$

$T_x(EG)$: Taux d'éléments grossiers (EG) en %

M_{rt} : masse de refus du tamis en g

M_{tss} : masse totale de sol séché en g

Quant aux paramètres hydriques, les échantillons, préalablement saturés d'eau, ont été soumis à une pression déterminée. L'eau en excès a été éliminée jusqu'à l'établissement d'un équilibre entre la pression et la force de rétention de l'eau par le sol. La teneur en eau de l'échantillon a été alors déterminée ; aux pF 4,2 et 2,5 correspondent respectivement à des pressions de 15 et 0,3 bars. Les extractions ont été faites dans des presses équipées de plaques de porcelaine poreuses de 0 à 4 kg/cm² (pF 2,5) et une presse membrane de 0 à 204 kg/cm² (pF 4,2). La RU a été calculée avec la formule suivante :

$$RU = (pF_{2,5} - pF_{4,2}) \times da \times z$$

RU : réserve en eau utile en mm ; pF_{2,5} : capacité au champ en % ; pF_{4,2} : point de flétrissement en % ; da : densité apparente en g/cm³ ; z : épaisseur de l'horizon en dm.

Concernant les paramètres chimiques, le pH_{eau} a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre électronique dans une suspension de sol dans de l'eau distillée selon le rapport 1/2,5 (AFNOR, 1981). La détermination du carbone total (C), selon la méthode Walkley et Black (1934), a permis de calculer le taux de matière organique (MO) exprimé en pourcentage (Dabin, 1967) par la formule suivante :

$$MO(\%) = C(\%) \times 1,724$$

L'extraction du phosphore assimilable s'est effectuée selon la méthode Bray I (Olsen et Sommers, 1982). La capacité d'échange cationique (CEC) et la teneur en cations (Ca²⁺, Mg²⁺ et K⁺) ont été déterminées par la méthode Metson de la norme NF X31-130.

Traitement des données

Les données obtenues ont été organisées dans un tableur Excel de Microsoft Office. Le logiciel Statistica version 7.1 a été utilisé pour

les analyses de variance et la comparaison des moyennes des variables des paramètres physico-chimiques. Pour les facteurs retenus, l'analyse de variance à deux critères de classification (ANOVA) a servi à tester la différence entre les moyennes. Le seuil de probabilité de 5% a été choisi pour la comparaison des moyennes, lorsqu'une différence est observée.

RÉSULTATS

Fertilité physique

Densité apparente (da)

La Figure 1 montre la variation de la densité apparente de sol suivant le type d'occupation par localité. Les densités apparentes les plus élevées ont été obtenues dans les sols de forêt (Sf). Ces valeurs ont été 1,36 g/cm³ à KOYA, 1,46 g/cm³ à ASKO et 1,41 g/cm³ à AHUA. Les plus faibles valeurs de densité apparente ont été relevées dans les sols de plantation (Sp) avec respectivement 1,23 g/cm³, 1,11 g/cm³ et 1,14 g/cm³ à KOYA, à ASKO et à AHUA.

Éléments grossiers

Les résultats, présentés à la Figure 2, indiquent la variation de la teneur en éléments grossiers suivant le type de sol par localité. La proportion en éléments grossiers, la plus élevée, a été enregistrée dans les sols de forêt (Sf) quelle que soit la localité. Elle a été de 50,11% à KOYA, de 52,38% à ASKO et de 63,20% à AHUA. Les teneurs moyennes en éléments grossiers ont été obtenues dans les sols de jachère (Sj). Celles-ci ont été de 46,29% à KOYA, de 39,51% à ASKO et de 53,75% à AHUA. Les plus faibles valeurs en éléments grossiers ont été relevées dans les sols sous plantation (Sp) avec 37,64%, 19,77% et 46,93% respectivement à KOYA, à ASKO et à AHUA.

Texture

L'analyse de variance effectuée sur les limon fin, limon grossier et sable fin a montré une différence significative entre les types d'occupation alors qu'elle a été non significative sur les Argile et sable grossier.

Dans les 20 premiers centimètres (0 - 20 cm), quels que soient le type de sol et la localité, les fractions granulométriques (Tableau 1) ont variés de $7,33 \pm 7,17$ à $42,33 \pm 37,43\%$ pour l'argile ; de $5,00 \pm 0,00$ à $31,67 \pm 3,59\%$ pour le limon fin ; de $7,10 \pm 3,08$ à $19,97 \pm 3,27\%$ pour le limon grossier ; de $12,53 \pm 5,51$ à $32,00 \pm 19,35\%$ pour le sable fin ; de $8,11 \pm 14,62$ à $46,30 \pm 10,27\%$ pour le sable grossier. Au regard du tableau, les sols de KOYA avaient une texture argileuse (sols de plantation) et limono argilo-sableuse (sols de forêt et de jachère). À ASKO, les sols avaient en général une texture limono sableuse (sols de plantation et de forêt) et limono argilo-sableuse (sols de jachère). Les sols d'AHUA avaient une texture limono argileuse (sols de plantation et de jachère) et limono argilo sableuse (sols de forêt).

Caractéristiques hydriques

Les résultats présentés dans le Tableau 2 montrent qu'il n'y avait pas de différence significative pour l'humidité à pF2,5 et la RU. Pourtant, au niveau du pF4,2, une différence significative a été observée. À KOYA, les taux d'humidité à pF2,5 ont été de $24,24 \pm 8,15\%$ dans les sols de plantation, de $15,86 \pm 2,38\%$ dans les sols de forêt et de $21,22 \pm 4,97\%$ dans les sols de jachère. Par contre, au pF4,2 les valeurs ont été en moyenne de $14,61 \pm 8,96\%$ dans les sols de plantation, de $9,23 \pm 5,57\%$ dans les sols de forêt et de $11,22 \pm 5,48\%$ dans les sols de jachère. Quant à la RU, elle a été de $23,75 \pm 7,57$ mm dans les sols de plantation, de $17,97 \pm 10,83$ mm dans les sols de forêt et de $26,67 \pm 1,92$ mm dans les sols de jachère. Les humidités caractéristiques à pF2,5 et à pF4,2 étaient élevées dans les sols de plantation, et la RU était élevée dans les sols de jachère.

En ce qui concerne les sols d'ASKO, les taux d'humidité à pF2,5 ont été en moyenne de $16,52 \pm 9,33\%$ dans les sols de plantation, de $11,42 \pm 7,23\%$ dans les sols de forêt et de $17,25 \pm 3,74\%$ dans les sols de jachère. En revanche, au pF4,2 les valeurs ont été de $4,27 \pm 2,19\%$ dans les sols de plantation, de $4,27 \pm 0,98\%$ dans les sols de forêt et de $9,18 \pm 5,33\%$ dans

les sols de jachère. La RU a été en moyenne de $27,66 \pm 23,88$ mm dans les sols de plantation, de $20,89 \pm 19,24$ mm dans les sols de forêt et de $21,15 \pm 8,74$ mm dans les sols de jachère. Les humidités caractéristiques à pF2,5 et à pF4,2 étaient élevées dans les sols de jachère, et la RU était élevée dans les sols de plantation.

Au niveau des sols d'AHUA, les taux d'humidité à pF2,5 ont été de $29,84 \pm 2,69\%$ dans les sols de plantation, de $17,61 \pm 9,50\%$ dans les sols de forêt et de $29,68 \pm 3,79\%$ dans les sols de jachère. Au pF4,2, au contraire, l'humidité a été en moyenne de $11,77 \pm 1,96\%$ dans les sols de plantation, de $7,61 \pm 5,04\%$ dans les sols de forêt et de $14,40 \pm 3,22\%$ dans les sols de jachère. La RU, notamment, a été de $41,12 \pm 14,32$ mm dans les sols de plantation, de $28,16 \pm 16,71$ mm dans les sols de forêt et de $37,07 \pm 19,17$ mm dans les sols de jachère. Les humidités caractéristiques à pF2,5 et la RU des sols de plantation étaient élevées, de même qu'à pF4,2 dans les sols de jachère. Le Tableau 3 présente la matrice de corrélations entre les paramètres hydriques, granulométriques et la capacité d'échange cationique (CEC). La pF2,5 était corrélée positivement à l'argile, au limon fin, au pF4,2 et à la RU avec les valeurs respectives de 0,69 ; 0,63 ; 0,81 ; 0,77. Le pF4,2 était corrélé positivement à la CEC ($r = 0,64$) et fortement corrélé à l'argile ($r = 0,96$). La RU était corrélée au limon fin ($r = 0,79$).

Fertilité chimique

Matière organique

Les résultats au Tableau 4 montrent qu'il n'y avait pas eu de différence significative au niveau des caractéristiques de la matière organique. Mais, comparativement à la valeur optimale (2,88%), la teneur moyenne ($1,81 \pm 1,96\%$) de matière organique était faible quels que soient le type de sol et la localité, excepté les sols de plantations de KOYA ($2,89 \pm 1,84\%$). En ce qui concerne, l'azote (N), la proportion était inférieure à la valeur seuil moyenne. Au niveau du rapport C/N, la valeur moyenne ($8,08 \pm 7,21$) a été inférieure à la valeur optimale (12,5). Néanmoins, dans les

sols de plantations des localités de KOYA et d'ASKO, les valeurs du rapport C/N ont été respectivement $9,19 \pm 8,59$ et $10,83 \pm 2,07$. Ces valeurs ont été proches de la valeur seuil moyenne. Les sols étudiés, pauvres en C et MO, étaient faiblement minéralisés. Ces résultats conduisent à des états de fertilité bas à moyens.

Complexe adsorbant

Les paramètres du complexe adsorbant et de la réaction des sols en fonction de la localité sont consignés dans le Tableau 5. L'analyse de la variance au niveau du pH, de la CEC et du Mg^{2+} a révélé une différence significative. Mais, la différence n'était pas significative pour les variables P_{ass} , Ca^{2+} , K^+ , S et V. Les valeurs de pH des sols des différentes localités de la zone d'étude étaient comprises entre 5 et 7 hormis les sols de forêt de KOYA ($4,93 \pm 0,70$), les sols de forêt d'AHUA ($4,44 \pm 0,91$), les sols de jachère d'ASKO ($4,80 \pm 0,04$) et les sols de plantation d'AHUA ($4,30 \pm 0,46$) où les pH étaient inférieurs à 5. La valeur moyenne ($5,25 \pm 0,89$) de pH des sols prospectés a été faible.

En ce qui concerne le complexe adsorbant, dans la localité de KOYA, les sols de plantation et de jachère avaient respectivement $6,05 \pm 4,77$ $cmol_{(+)}/kg$ et $5,20 \pm 3,68$ $cmol_{(+)}/kg$ de teneur en Ca^{2+} . La teneur moyenne de Ca^{2+} ($3,13 \pm 3,29$ $cmol_{(+)}/kg$) était inférieure à la valeur seuil moyenne (11 $cmol_{(+)}/kg$).

S'agissant de la teneur en Mg^{2+} , les sols de jachère d'AHUA et les sols de plantation de KOYA présentaient les valeurs les plus élevées respectivement $2,14 \pm 1,14$ $cmol_{(+)}/kg$ et $1,31 \pm 1,22$ $cmol_{(+)}/kg$. Quant à la teneur en K^+ dans les sols de plantation et de jachère de KOYA, elle a été respectivement de $0,15 \pm 0,28$ $cmol_{(+)}/kg$ et de $0,14 \pm 0,22$ $cmol_{(+)}/kg$, avec une moyenne ($0,10 \pm 0,09$ $cmol_{(+)}/kg$) inférieure à la valeur seuil ($0,7$ $cmol_{(+)}/kg$).

Au niveau de la Capacité d'Échange Cationique (CEC), les sols de plantation et de jachère de KOYA avaient les valeurs respectives de $11,75 \pm 2,30$ $cmol_{(+)}/kg$ et de $10,28 \pm 1,63$ $cmol_{(+)}/kg$ les plus élevées. Par contre, les plus faibles valeurs respectives de $5,56 \pm 3,65$ $cmol_{(+)}/kg$ et de $6,07 \pm 0,46$ $cmol_{(+)}/kg$ ont été enregistrées dans les sols de forêt des localités d'ASKO et d'AHUA. Ces valeurs ont été très faibles par rapport à la valeur optimale, qui était de 21 $cmol_{(+)}/kg$.

Enfin, au niveau du taux de saturation en bases (V), les valeurs sous plantations ($63,13 \pm 40,41\%$) et sous jachère ($62,93 \pm 28,22\%$) de KOYA, et les valeurs des sols de jachère ($61,77 \pm 8,56\%$) d'ASKO étaient supérieures à la valeur optimale (60%).

L'analyse factorielle au seuil de 5% a montré une différence hautement significative pour le rapport Mg^{2+} / K^+ . Par contre, elle n'a montré aucune différence significative au niveau des rapports Ca^{2+} / Mg^{2+} ; $Ca^{2+} + Mg^{2+} / K^+$; $(S+6.15) / N$ total (Tableau 6).

Au niveau de l'équilibre Mg^{2+} / K^+ , les valeurs moyennes obtenues sont supérieures à la valeur optimale (3,5 à 4), peu importe la topographie et la localité.

En ce qui concerne le rapport ($Ca^{2+} + Mg^{2+} / K^+$), la quasi-totalité des valeurs moyennes étaient supérieures à la valeur optimale (25), sauf les sols de plantation ($20,67 \pm 24,55$) et de forêt ($13,55 \pm 9,82$) d'AHUA. Les pourcentages de K^+ étaient inférieurs à la valeur optimale (8%), quels que soient le type de sol et la localité. Les pourcentages de Ca^{2+} ont été supérieures à la valeur optimale (68%) peu importe le type de sol à KOYA et à ASKO. Mais, ces pourcentages de Ca^{2+} à AHUA ont été inférieures à la valeur optimale. Les pourcentages de Mg^{2+} à AHUA et au niveau des sols de forêt (28,84%) à ASKO étaient supérieurs à la valeur optimale (24 %). Pourtant, à KOYA, ces pourcentages ont été inférieurs à la valeur optimale.

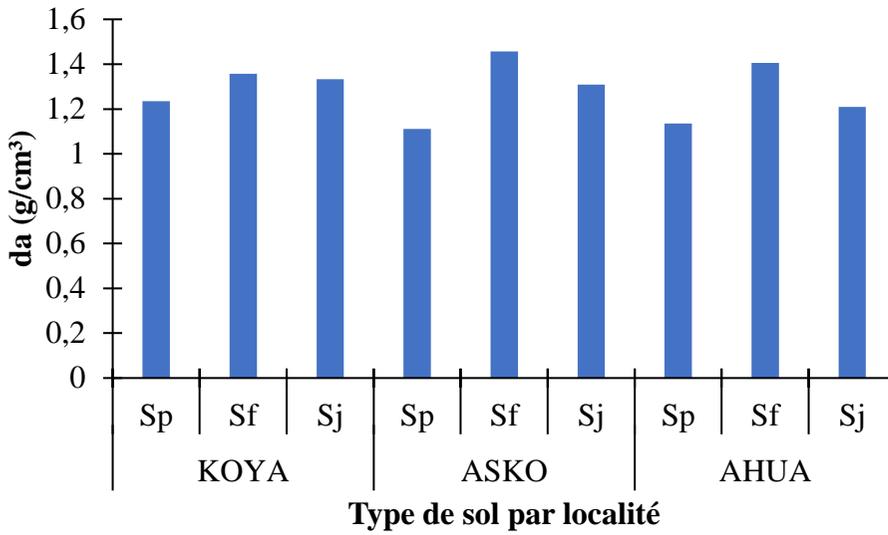


Figure 1 : Variation de la densité apparente en fonction du type de sol par localité.

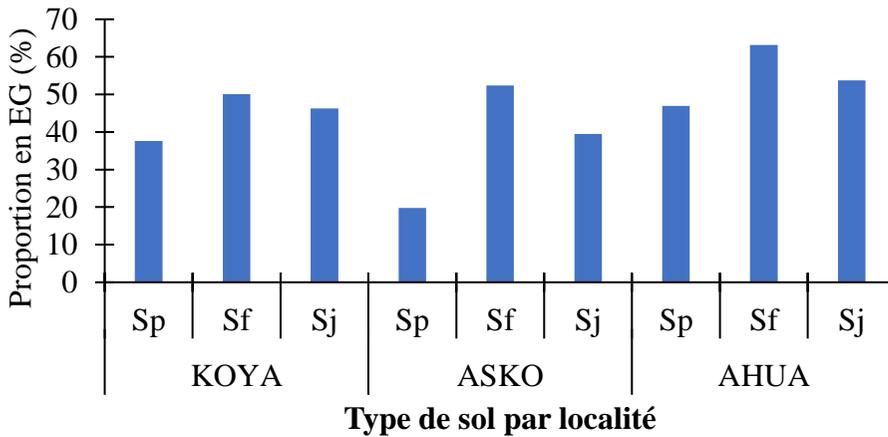


Figure 2 : Variation de la teneur en éléments grossiers suivant le type de sol par localité.

Tableau 1 : Variation de la teneur en argile, limon et sable de la couche 0-20 cm.

	Argile (%)	Lim,fin (%)	Lim,gros (%)	Sab,fin (%)	Sab,gros (%)
KOYA*Sp	42,33±37,43 ^a	12,50±6,21 ^{b*}	11,08±9,86 ^{ab}	22,00±18,84 ^{abc}	8,11±14,62 ^a
KOYA*Sf	29,00±24,84 ^a	5,00±0,00 ^a	14,00±17,45 ^{ab}	28,18±8,28 ^{bc}	23,82±8,57 ^a
KOYA*Sj	33,17±28,00 ^a	10,00±0,00 ^b	11,48±8,14 ^{ab}	32,00±19,35 ^c	13,35±7,16 ^a
ASKO*Sp	10,67±3,59 ^a	15,00±6,21 ^{bc}	19,97±3,27 ^b	28,97±9,37 ^{bc}	25,40±10,29 ^a
ASKO*Sf	7,33±7,17 ^a	12,50±6,21 ^b	10,58±10,26 ^{ab}	23,28±1,27 ^{abc}	46,30±10,27 ^a
ASKO*Sj	29,00±24,84 ^a	12,50±6,21 ^b	11,15±9,45 ^{ab}	16,20±12,36 ^a	31,15±5,41 ^a
AHUA*Sp	30,67±3,59 ^a	31,67±3,59 ^c	10,90±4,77 ^{ab}	14,63±3,13 ^a	12,13±5,34 ^a

AHUA*Sf	23,17±18,97 ^a	18,33±3,59 ^c	7,10±3,08 ^a	18,88±5,35 ^{ab}	32,52±8,76 ^a
AHUA*Sj	39,00±16,43 ^a	23,33±9,49 ^d	12,30±5,03 ^{ab}	12,53±5,51 ^a	12,83±2,68 ^a
Moyenne	27,15±18,32	15,65±4,61	12,06±7,92	21,85±9,27	22,84±8,12
Probabilité	0,1365	0,0066	0,0369	0,0058	0,2465
Significativité	NS	THS	HS	THS	NS
CV (%)	27,16	11,86	26,44	17,08	14,31

*Les chiffres dans une même colonne affectée de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% selon le Test de Newman-Keuls.

Tableau 2 : Humidités à la capacité au champ (pF2,5), au point de flétrissement (pF4,2) et la réserve utile (RU) dans la couche 0-20 cm.

	pF2.5 (%)	pF4.2 (%)	RU (mm)
KOYA*Sp	24,24±8,15 ^{a*}	14,61±8,96 ^c	23,75±7,57 ^a
KOYA*Sf	15,86±2,38 ^a	9,23±5,57 ^b	17,97±10,83 ^a
KOYA*Sj	21,22±4,97 ^a	11,22±5,48 ^{bc}	26,67±1,92 ^a
ASKO*Sp	16,52±9,33 ^a	4,27±2,19 ^a	27,66±23,88 ^a
ASKO*Sf	11,42±7,23 ^a	4,27±0,98 ^a	20,89±19,24 ^a
ASKO*Sj	17,25±3,74 ^a	9,18±5,33 ^b	21,15±8,74 ^a
AHUA*Sp	29,84±2,69 ^a	11,77±1,96 ^{bc}	41,12±14,32 ^a
AHUA*Sf	17,61±9,50 ^a	7,61±5,04 ^{ab}	28,16±16,71 ^a
AHUA*Sj	29,68±3,79 ^a	14,40±3,22 ^c	37,07±19,17 ^a
Moyenne	20,40±5,75	9,62±4,31	27,16±13,60
Probabilité	0,0936	0,0149	0,1697
Significativité	NS	HS	NS
CV (%)	11,35	18,02	20,15

*Les chiffres dans une même colonne affectée de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% selon le Test de Newman-Keuls.

Tableau 3 : Corrélation entre les paramètres hydriques, granulométriques et CEC.

	CEC (cmol/kg)	Argile (%)	lim,fin (%)	lim,gros (%)	sab,fin (%)	sab,gros (%)	pF2.5	pF4.2	RU (mm)
CEC (cmol/kg)	1,00								
Argile (%)	0,59	1,00							
lim,fin (%)	-0,23	0,04	1,00						
lim,gros (%)	0,06	-0,43	-0,1	1,00					
sab,fin (%)	0,17	-0,46	-0,57	0,46	1,00				
sab,gros (%)	-0,69	-0,67*	-0,28	-0,14	0,04	1,00			
pF2,5	0,44	0,69	0,63	-0,1	-0,51	-0,81	1,00		
pF4,2	0,64	0,96	0,19	-0,37	-0,48	-0,75	0,81	1,00	
RU (mm)	0,04	0,15	0,79	0,2	-0,32	-0,54	0,77	0,29	1,00

*Les chiffres dans une même colonne en couleur noir gras sont fortement corrélés.

Tableau 4 : Caractéristiques de la matière organique dans les types de sols en fonction des localités.

	N (%)	C (%)	C/N	MO (%)	Fertilité
KOYA*Sp	0,19±0,08	1,68±1,07	9,19±8,59	2,89±1,84	Moyen
KOYA*Sf	0,12±0,02	0,95±1,92	8,34±16,71	1,63±3,31	Bas
KOYA*Sj	0,15±0,09	1,06±0,88	7,09±4,72	1,82±1,52	Moyen
ASKO*Sp	0,06±0,09	0,61±1,10	10,83±2,07	1,05±1,89	Bas
ASKO*Sf	0,13±0,29	0,59±1,70	5,05±13,99	1,18±2,49	Bas
ASKO*Sj	0,14±0,05	1,12±0,84	7,71±3,31	1,93±1,46	Bas
AHUA*Sp	0,13±0,07	0,96±0,78	7,54±3,26	1,66±1,35	Bas
AHUA*Sf	0,12±0,03	0,98±0,73	8,06±4,59	1,70±1,26	Bas
AHUA*Sj	0,16±0,05	1,39±1,46	8,87±7,68	2,40±2,51	Moyen
Moyenne	0,13±0,09	1,04±1,17	8,08±7,21	1,81±1,96	
Valeurs seuils moyennes	0,03	2,6	12,5	≥ 2,88	
Probabilité	0,1136	0,3223	0,5231	0,2868	
Significativité	NS	NS	NS	NS	
CV (%)	26,51	45,22	35,95	43,64	

Tableau 5 : Variation des paramètres chimiques du complexe adsorbant et réaction des sols dans la profondeur 0-20 cm en fonction de la localité.

	pH	P ass (mg/kg)	T (cmol/kg)	Ca²⁺ (cmol/kg)	Mg²⁺ (cmol/kg)	K⁺ (cmol/kg)	S (cmol/kg)	V (%)
KOYA*Sp	6,45±2,78 ^c	2,11±5,45 ^{a*}	11,75±2,30 ^c	6,05±4,77 ^a	1,31±1,22 ^a	0,15±0,28 ^a	7,51±6,26 ^a	63,13±40,41 ^a
KOYA*Sf	4,93±0,70 ^{ab}	2,61±2,55 ^a	8,39±2,86 ^{ab}	2,67±2,72 ^a	0,79±0,40 ^a	0,08±0,06 ^a	3,54±3,16 ^a	42,79±39,66 ^a
KOYA*Sj	5,75±0,31 ^{bc}	1,27±0,89 ^a	10,28±1,63 ^{bc}	5,20±3,68 ^a	1,18±0,13 ^a	0,14±0,22 ^a	6,52±3,86 ^a	62,93±28,22 ^a
ASKO*Sp	6,39±1,31 ^c	1,90±1,40 ^a	6,36±3,83 ^a	3,23±5,87 ^a	0,65±0,57 ^a	0,07±0,00 ^a	3,95±6,44 ^a	58,58±59,14 ^a
ASKO*Sf	5,20±0,69 ^{ab}	2,38±2,39 ^a	5,56±3,65 ^a	1,85±4,34 ^a	0,78±0,88 ^a	0,06±0,10 ^a	2,69±5,31 ^a	44,40±58,50 ^a
ASKO*Sj	4,80±0,04 ^{ab}	1,61±2,31 ^a	7,97±3,39 ^{ab}	3,79±0,79 ^a	1,00±0,77 ^a	0,11±0,00 ^a	4,90±1,44 ^a	61,77±8,56 ^a
AHUA*Sp	4,30±0,46 ^a	2,72±3,94 ^a	6,60±0,62 ^a	0,70±1,15 ^a	0,74±0,56 ^a	0,07±0,00 ^a	1,52±1,72 ^a	23,02±26,60 ^a
AHUA*Sf	4,44±0,91 ^a	2,50±2,46 ^a	6,07±0,46 ^a	1,07±1,32 ^a	0,63±0,23 ^a	0,12±0,03 ^a	1,82±1,55 ^a	29,87±23,73 ^a
AHUA*Sj	5,03±0,83 ^{ab}	1,97±2,37 ^a	9,64±4,34 ^{bc}	3,59±4,96 ^a	2,14±1,14 ^b	0,09±0,09 ^a	5,82±6,18 ^a	58,89±36,50 ^a
Moyenne	5,25±0,89	2,12±2,64	8,07±2,57	3,13±3,29	1,02±0,66	0,10±0,09	4,25±3,99	49,48±35,70
Valeurs seuils moyennes	6,05	11,5	21	11	2,45	0,7	-	≥ 60
Probabilité	0,0035	0,2747	0,0401	0,2193	0,0017	0,3022	0,1444	0,3070
Significativité	THS	NS	HS	NS	THS	NS	NS	NS
CV (%)	6,83	50,15	12,80	42,31	25,78	34,33	37,78	29,04

Valeurs seuils moyennes selon Snoeck *et al.*, (2016)

*Les chiffres dans une même colonne affectée de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% selon le Test de Newman-Keuls.

Tableau 6 : Variation des équilibres chimiques dans la couche de 0-20 cm des sols en fonction des localités.

	$\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+} / \text{K}^+$	$(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / \text{K}^+$	$(\text{S}+6,15) / \text{N}$	$\text{K}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$ (% de S)
KOYA*Sp	4,69±0,74 ^a	10,33±11,57 ^{a*}	58,88±65,83 ^a	7,40±5,43 ^a	2,04 – 80,55 – 17,43
KOYA*Sf	3,28±1,71 ^a	9,65±2,40 ^a	40,94±8,04 ^a	8,38±2,64 ^a	2,35 – 75,26 – 22,39
KOYA*Sj	4,43±3,21 ^a	10,86±15,56 ^a	53,61±47,77 ^a	8,70±4,09 ^a	2,15 – 79,80 – 18,06
ASKO*Sp	4,55±4,20 ^a	9,33±8,20 ^a	55,48±91,99 ^a	21,45±17,94 ^a	1,77 – 81,70 – 16,53
ASKO*Sf	2,07±2,62 ^a	13,16±6,25 ^a	39,02±20,22 ^a	20,47±61,18 ^a	2,35 – 68,81 – 28,84
ASKO*Sj	4,00±2,48 ^a	9,06±7,04 ^a	43,52±13,06 ^a	7,84±3,41 ^a	2,25 – 77,40 – 20,35
AHUA*Sp	0,88±0,78 ^a	10,62±8,05 ^a	20,67±24,55 ^a	6,18±2,79 ^a	4,62 – 46,37 – 49,01
AHUA*Sf	1,65±1,64 ^a	5,06±0,72 ^a	13,55±9,82 ^a	6,59±1,12 ^a	6,78 – 58,79 – 34,43
AHUA*Sj	1,60±1,31 ^a	24,75±9,17 ^b	63,07±10,02 ^a	7,67±2,92 ^a	1,55 – 61,63 – 36,83
Moyenne	3,02±2,08	11,42±7,66	43,19±32,37	10,52±11,28	
Valeurs optimales	1 à 4	3,5 à 4	25	8,9	8 – 68 - 24
Probabilité	0,0919	0,0002	0,0788	0,4803	
Significativité	NS	THS	NS	NS	
CV (%)	27,71	26,99	30,17	43,16	

Valeurs optimales selon Assiri (2010)

*Les chiffres dans une même colonne affectée de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% selon le Test de Newman-Keuls.

DISCUSSION

L'étude de la densité apparente et des éléments grossiers renseigne sur la compacité du sol. Les sols de forêt ou sols de sommet des versants ont été plus compacts avec les densités apparentes les plus élevées. En effet, avant 1970, seules les sommets et les hauts de versants étaient recommandés pour la cacaoculture, du fait du caractère hydromorphe des mi-versants et bas de versants (Kassin et al., 2012). Les pratiques culturales et le travail du sol pourraient également expliquer la densité apparente élevée (Yoboué-Kouakou, 2022). En outre, les valeurs élevées de la densité apparente dans un horizon relèvent de l'existence d'une faible porosité préjudiciable au développement des racines. Le piétinement du bétail et la dégradation de la strate végétale herbacée, qui s'en suit, impactent négativement la structure du sol. Cela entraîne la diminution de la porosité et le tassement conduisant ainsi à la compaction du sol, la rendant plus apte au ruissellement et à l'érosion hydrique (Silway et Aneh, 2020).

Les sols de forêt comportent, au sommet des versants, de forte teneur en éléments grossiers. Tanveera et al. (2016) révèlent que plus un sol est riche en éléments grossiers, plus sa densité apparente est élevée. Ce qui traduirait que ces sols, à cette position topographique, ne soient pas favorables à la culture. Un sol dont la teneur en éléments grossiers est supérieure à 50% constitue une contrainte morpho-pédologique à la culture des cacaoyers (Kassin et al., 2009). Ainsi, les sols de jachère (haut de versant) et les sols de plantation (mi-versant) de la zone d'intérêt seraient favorables à la cacaoculture.

Les sols de la zone d'intérêt sont généralement de texture fine (argilo-limoneuses ou limono-argileuses) en surface, sauf les sols de forêt (sommet) à KOYA et à ASKO dont les textures sont respectivement sablo-argileuses et limono-sableuses. Ces sols proviendraient de l'altération de formations géologiques de type schisteuses selon Kouassi et al. (2017). Kouassi (2012) a fait le même constat de l'abondance d'argile dans les sols de Tiassalé. La texture des sols de forêt (sommet) à ASKO passe de limono-sableuse en surface à

argilo-sableuse ou sablo-argileuse en profondeur. La texture des sols à AHUA, à KOYA et à ASKO est également sablo-argileuse en profondeur, quelle que soit la topographie. Ce résultat est similaire à ceux de Yoboué et al. (2021) effectués sur les sols de Bingerville. Selon ces auteurs, les sols étudiés se sont formés sur une succession de sable argileux contenant des niveaux de « stone line », du grès ferrugineux et du sable à coloration diverse.

La capacité au champ (pF_{2,5}) est liée positivement aux taux d'argile ($r = 0,69$) et de limons fins ($r = 0,63$). Le point de flétrissement (pF_{4,2}) est corrélé au taux d'argile ($r = 0,96$) et à la CEC ($r = 0,64$). La RU est liée positivement au taux de limons fins ($r = 0,79$). Les humidités caractéristiques (pF_{2,5} et pF_{4,2}) et la RU sont élevées dans les sols de plantation et de jachère, peu importe la localité. Ces sols sont susceptibles de résister à l'assèchement, du fait de leur texture à dominance d'argile et de limon. En d'autres termes, l'eau retenue dans les micropores est la conséquence de l'assemblage des particules fines (argile et limon fin) du sol, de la MO et de la CEC (Costa et al., 2013). Ces résultats corroborent ceux de Kaboré et al. (2020). Ces auteurs ont montré que la teneur en eau aux différents potentiels (pF_{2,5} et pF_{4,2}) dépend de l'argile et de la CEC.

Les zones de haut de versant et mi-versant seraient favorables au cacaoyer en contexte de changement ou variabilité climatique. Sur les sommets, le déficit hydrique s'expliquerait par la présence importante d'éléments grossiers. Selon Yoboué-Kouakou et al. (2020), une quantité élevée d'éléments grossiers entraîne une diminution de la teneur en eau.

La MO ne varie pas significativement avec la capacité au champ et le point de flétrissement. La faible teneur en MO ne favorise donc ni l'aération ni l'agrégation des particules donc défavorable à une bonne humidification (Tiwari et al., 2022). Par ailleurs, Rawls et al. (2003) relève que la teneur élevée en argile ne laisse pas paraître l'action de la MO dans la rétention d'eau surtout lorsque cette dernière est faible.

Les textures des sols argileuses, limono-argilo sableuses, limono-argileuses et limono-sableuses de la zone d'intérêt ont été constatées par Yoboué et al. (2018) qui ont mis en évidence les caractéristiques morpho-pédologiques et géochimiques des sols bruns dans la région de Toumodi. Selon Ettien et al. (2022), en tenant compte de la texture et du type de sol, la rétention d'eau est plus importante dans les sols limoneux. Quand bien même la porosité diminue, ces sols ont un bon potentiel agricole ; ce qui traduirait que ces sols soient favorables à la plupart des cultures. Plus il y a de particules fines et plus la capacité du sol à stocker l'eau est importante (Tessier et al., 2023). Cependant, la quantité de limons, freinant l'infiltration en réduisant les pores du sol, contribuerait à déceler des situations de compacité des sols (Akédriin et al., 2020).

Au niveau du complexe adsorbant, les bases échangeables ont montré qu'il y a une insuffisance marquée en calcium ($3,13 \pm 3,29$ cmol₍₊₎/kg), en magnésium ($1,02 \pm 0,66$ cmol₍₊₎/kg) et en potassium ($0,10 \pm 0,09$ cmol₍₊₎/kg) dans tous les sols prospectés. Ces valeurs sont inférieures aux valeurs critiques respectives de 11 cmol₍₊₎/kg pour Ca²⁺ ; 2,45 cmol₍₊₎/kg pour Mg²⁺ ; 0,7 cmol₍₊₎/kg pour K⁺. Les ratios % K, % Ca, % Mg n'obéissent donc pas à l'équilibre optimal entre les cations (8% K ; 68% Ca ; 24% Mg) défini par Snoeck et al. (2016) pour les sols favorables au cacaoyer. Ces éléments nutritifs sont présents dans l'ordre Ca > Mg > K. Le taux de saturation en bases échangeables (V) en moyenne, dans les échantillons de sols étudiés, est inférieur à 60% sauf les sols de plantations ($63,13 \pm 40,41\%$) et de jachère ($62,93 \pm 28,22\%$) de KOYA, et les sols de jachères ($61,77 \pm 8,56\%$) de ASKO, Ces résultats sont similaires à ceux de Assiri (2010) qui a obtenu 41,66% sous jachères et 55,11% sous vieux cacaoyers. Les taux de saturation du complexe adsorbant inférieur à 60% seraient dû aux conditions acides (pH proche de 6) de ces sols (FAO, 2009). Selon Sharu et al. (2013), les sols à taux de saturation inférieur à 50% sont qualifiés de peu fertiles et désaturés. Un taux de saturation (V) inférieur à 60% est donc un facteur de déséquilibre nutritionnel pour les cacaoyers (Smith, 1980). Cependant, les

rendements sont satisfaisants lorsque le taux de saturation en bases est supérieur à 60% avec l'avantage d'un pH presque neutre pour une meilleure absorption des nutriments (Ognalaga et al., 2015).

Conclusion

Cette étude a été initiée pour évaluer l'état de fertilité des sols de forêt, de jachère et de plantation en vue d'identifier ceux favorables à la cacaoiculture dans le Centre-Est de la Côte d'Ivoire. Les résultats ont montré que les sols de forêt ont une densité apparente et un taux d'éléments grossiers élevés. Ce qui traduirait leur état de compacité et d'état de fertilité bas. Les sols de haut de versant et mi-versant seraient favorables au cacaoyer en contexte de changement ou de variabilité climatique. Le déficit hydrique des sols de sommet s'expliquerait par la présence importante d'éléments grossiers. En outre, ces sols présentent une carence en magnésium et en potassium, un taux de saturation en bases échangeables inférieur à la valeur optimale et un pH acide. Ces sols sont donc peu fertiles, désaturés et présentent un déséquilibre nutritionnel pour les cacaoyers. Les sols de haut de versant et de mi-versant seraient favorables avec des apports de biofertilisants pour le repositionnement de la cacaoiculture dans le Centre-Est de la Côte d'Ivoire.

CONFLIT D'INTÉRÊTS

Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêts.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

RKY était l'investigateur principal ; YBBB et CON ont contribué à l'amélioration du manuscrit ; ANK a participé à la collecte de données ; JTA-A a supervisé les travaux.

REMERCIEMENTS

Toute notre reconnaissance au Centre National de Recherche Agronomique, particulièrement la station de La Mé, pour avoir fourni le matériel nécessaire pour l'échantillonnage.

RÉFÉRENCES

- Affou YS, Tano K. 1991. La Boucle du Cacao en Côte-d'Ivoire : une Situation Migratoire Inversée. In *Migration, Changements Sociaux et Développement*, Quesnel A, Vimard P (eds). ORSTOM : Paris, France ; 307-315.
- AFNOR. 1981. Détermination du pH. (Association Française de Normalisation). In *Afnor Qualité des Sols*. AFNOR : Paris ; 339-348.
- Akédrin TN, Akotto OF, Kouadio ANM-S. 2020. Étude de la Valeur Indicatrice des Adventices et Diagnostic de la Fertilité des Sols des Friches Cacaoyères au Sud-Est de la Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, **16**(36): 296-313. DOI : <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n36p296>
- Aloko-N'Guessan J, Djako A, N'Guessan KG. 2014. Crise de l'Economie de Plantation et Modification du Paysage Agraire dans l'ancienne boucle du cacao : l'exemple de Daoukro. *European Scientific Journal*, **10**(5): 308-326. URL : <https://core.ac.uk/download/pdf/236414080.pdf>
- Ané S. 2017. Mutations Socio-démographiques, Economiques et Environnementales liées à la Culture du Café et du Cacao dans la Région du Moronou de 1980 à 2016. Mémoire de thèse unique à l'Université Nangui Abrogoua, en Sciences et Gestion de l'Environnement, option Environnement, p. 289.
- Assiri AA, Yoro GR, Deheuvelds O, Kebe BI, Keli ZJ, Adiko A, Assa A. 2009. Les caractéristiques agronomiques des vergers de cacaoier (*Theobroma cacao* L.) en Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, **2**(1): 55- 66. URL : <http://www.biosciences.elewa.org/JAPS>
- Assiri AA. 2010. Étude de la Régénération Cacaoyère en côte d'ivoire : Impact des Techniques de Réhabilitation et de Replantation sur le Développement et la Productivité des Vergers de Cacaoyers (*Theobroma cacao* L.) en relation avec l'état du sol. Thèse de Doctorat Unique de l'UFR STRM, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, p. 170.
- Costa AD, Albuquerque JA, Costa AD, Pétille P, Silva FRD. 2013. Water Retention and Availability in Soils of the State of Santa Catarina-Brazil : Effect of Textural Classes, Soil Classes and Lithology. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **37**: 1535-1548. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000600010>
- Dabin B. 1967. Méthode Olsen modifiée. Cahier ORSTOM. Pédologie, p. 335.
- Ettien DJ, Akotto OF, Bouadou OBF. 2022. Potentialités agronomiques des sols en zone de pression foncière dans la localité d'azaguie sud-est de la Côte d'Ivoire : Soils management in land pressure area. *Agronomie Africaine*, **34**(1): 81-89. URL : <https://www.ajol.info/index.php/aga/article/download/229518/216679>
- Kabore F, Hien E, Mare TB, Ouattara K, Zombre PN. 2020. Caractéristiques Morpho-pédologiques et Potentialités Agricoles de Sols Développés sur Roches Dolomitiques dans le Bassin de Taoudéni au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **14**(6): 2333-2351. DOI : 10.4314/ijbcs.v14i6.32
- Kassin KE, Koko LK, Yoro G, N'Goran K, Assiri AA, Yao-Kouamé A. 2009. Corrélations entre le Vieillissement Précoce des Cacaoyers et les Caractéristiques Morpho-pédologiques dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, **24**: 1508-1519. URL : <https://www.m.elewa.org/JABS/2009/24/5.pdf>
- Kassin KE, Koko L, N'Goran KE, Yao-Kouame A, Yoro GR. 2012. Sols Favorables à la Cacaoculture au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire dans un Contexte d'Assèchement Climatique. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**(3): 1148-1157. DOI : 10.4314/ijbcs.v6i3.20

- Koko LK, Yoro G, N'Goran K, Assiri AA, Assa A. 2006. Identification des Caractères Morpho-pédologiques liés à la Dégénération Précoce des Cacaoyers dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. In Actes de la 15^{ème} Conférence Internationale sur la Recherche Cacaoyère. 9-14 Octobre 2006 San José, Costa Rica, p. 12.
- Koko LK, Yoro RG, N'Goran K, Assa A. 2008. Évaluation de la Fertilité des Sols sous Cacaoyers dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, **20**(1): 81-95. DOI : 10.4314/aga.v20i1.1738
- Konan KP. 2011. Développement urbain en Côte d'Ivoire : cas de la ville de Dimbokro. Mémoire de thèse unique de l'Institut de Géographie Tropicale, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, p. 337.
- Kouakou ANY, N'Goran KE, Tamia JA, Kouassi YF, Yao GF. 2020. Effets du précédent cultural arachide (*Arachis hypogaea L.*) et de la charge en éléments grossiers du sol sur la production du coton (*Gossypium hirsutum L.*). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **14**(6): 2120-2133. DOI : 10.4314/ijbcs.v14i6.15
- Kouamé AG. 2019. Impact des Systèmes Agroforestiers à base de Cacaoyers sur les Propriétés Physico-chimiques du sol et la Productivité des Exploitations Cacaoyères de la sous-préfecture de Kokumbo (Centre de la Côte d'Ivoire). Mémoire de thèse de Doctorat à l'Université Jean LOROUGNON GUEDE, en Agriculture et Foresterie Tropicale, option Agro-pédologie, p. 168.
- Kouassi AM, Kouakou KE, Ahoussi KE, Kouame KF, Biemi J. 2017. Application d'un Modèle Statistique à la Simulation de la Conductivité Electrique des Eaux Souterraines : Cas de l'ex-région du n'zi-comoé (centre-est de la Côte d'Ivoire). *Larhyss Journal*, **32**: 47-69. URL : <https://www.asjp.cerist.dz/en/downloadArticle/125/14/4/57024>
- Kouassi YF. 2012. Incidence de l'Inadaptation des Techniques Culturelles sur les Sols, dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire : cas de l'Exploitation Industrielle SPADI de la SCB à Tiassalé. Mémoire de thèse unique à l'Université Nangui Abrogoua, en Sciences et Gestion de l'Environnement, option Géosciences et Environnement, p. 141.
- Ognalaga M, Odjogui P, Lekambou JM, Poligui RN. 2015. Effet des Ecumes à Cannes à Sucre, de la Poudre et du Compost de à base de *Chromolaena odorata* (L.) King R.M. & H.E. Rob sur la Croissance de l'Oseille de Guinée (*Hibiscus sabdariffa L.*). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **9**(5): 2507-2519. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i5.22>
- Olsen SR, Sommers LE. 1982. Phosphorus (2nd edn). In *Methods of Soil Analysis* Page AL, Miller RH, and Keeney DR (eds). Soil Science Society of America, Inc : Madison, WI ; 403-430
- Rawls WJ, Pachepsky YA, Ritchie JC, Sobecki TM, Bloodworth H. 2003. Effect of Soil Organic Carbon on Soil Water Retention. *Geoderma*, **116**: 61-76. DOI : [https://doi.org/10.1016/S0016-706\(03\)00094-6](https://doi.org/10.1016/S0016-706(03)00094-6)
- Sharu MB, Yakubu M, Noma SS, Tsafe AI. 2013. Characterization and Classification of Soils on an Agricultural Landscape in Dingyadi District, Sokoto State, Nigeria. *Nigerian Journal of Basic and Applied Sciences*, **21**(2): 137-147. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/njbas.v21i2.9>
- Silway S, Anoh KP. 2020. Résilience des exploitations agropastorales face à la dégradation des terres agricoles à Korhogo. In revue des Sciences Sociales « Kafoual », De Droit, de Science Politique et accepte des comptes rendus de lecture. N° Spécial Janvier 2020: 57-82.
- Smith AJ. 1980. Soils Classification and the Cocoa Grower. *Cocoa Growers' Bull.*, **30**(5): 5-10.
- Snoeck D, Koko L, Joffre J, Bastide P, Jagoret P. 2016. Cacao nutrition and fertilization. *Sustainable Agriculture Reviews*, **19**: 155-202. URL : https://www.academia.edu/download/88822587/978-3-319-26777-7_4.pdf

- Tanveer A, Yadav S, Yadav D. 2016. Comparative Assessment of Methods for Metagenomic DNA Isolation from Soils of Different Crop Growing Fields. *3 Biotech*, **6**: 1-5. DOI : <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0543-2>
- Tiwari N, Lone AR, Thakur SS, Sokefun OB, Yadav S. 2022. Earthworms : A Contrivance to Ameliorate Water Infiltration Rates and Water Holding Capacity in Agroecosystem. In *Earthworm Engineering and Applications* Adarsh PV, Jaswinder S and Surindra S (eds). Sagar MP : India ; 147-170. <https://www.researchgate.net/publication/359391234>
- Tessier D, Daudet F-A, Cruiziat P. 2023. Les Relations Potentielles Hydrique - Humidité dans un Sol. URL : <https://plantes-et-eau.fr/documentation/outils-et-concepts-de-base/17-le-sol-reservoir-d-eau-pour-les-plantes/119-les-relations-potentiell-hydrique-humidite-dans-un-sol>
- Walkley A, Black IA. 1934. An examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter, and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil science*, **37**(1): 29-38. URL : <https://journals.lww.com/soilsci/citation/1934/01000>.
- Yoboué-Kouakou AN. 2022. Performances Agronomiques des Légumineuses Alimentaires dans les Systèmes de Culture à Base de Cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) au Centre de la Côte d'Ivoire. Mémoire de thèse unique à l'Université Nangui Abrogoua, en Sciences et Gestion de l'Environnement, option Géosciences et Environnement, p. 224.
- Yoboué KE, Kouadio KP, BLE LO, Yao-Kouamé A. 2018. Caractéristiques Morphopédologiques et Géochimiques des Sols Brunifiés de Anikro et de Kahankro (Centre-Sud de la Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal, ESJ*, **14**(3): 281-300. DOI : <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n3p281>
- Yoboué KE, Kouakou KJ, Gala BTJ, Savadogo RJB. 2021. Appréciation des Effets de quelques Facteurs Pédopaysagiques sur le Cuirassement des Sols sur Substrat Sédimentaire à Bingerville, dans le sud-est de la Côte d'Ivoire. *Rev. Ivoir. Sci. Technol*, **37**: 32-43. URL : <http://www.revist.ci>
- 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, p. 16.