

Essai de régulation de la perte des éléments chimiques dans les dystric Ferralsols de la zone d'Oumé, à l'aide d'un amendement à base des coques de cabosses de cacao

Akré Hebert Damien ABOBI^{1*}, Yéboua Firmin KOUASSI², Firmin Kouamé KONAN¹,
Ferdinand Gohi Bi ZRO¹ et Kouassi Téhua Pascal ANGUI²

¹ Université Jean Lorougnon Guédé, UFR Agroforesterie, Laboratoire d'Amélioration de la Production Agricole, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

² Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences et Gestion de l'Environnement, Laboratoire de Géosciences, 02 BP 801 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

* Correspondance, courriel : hebertabobi@gmail.com

Résumé

Les Ferralsols, naturellement pauvres en éléments nutritifs, connaissent une chute de leur fertilité, avec de faibles rendements, due à l'élimination rapide, par lixiviation et par érosion, de ces éléments. L'objectif de cette étude est d'évaluer le potentiel des broyats de coques des cabosses de cacao, à réguler les pertes en éléments nutritifs des dystric Ferralsols de la zone d'Oumé. Suivant un dispositif de Fischer à 3 répétitions, 1,39 g et 2,78 g de broyats : équivalant respectivement à D5 (5 g C.kg⁻¹) et D10 (10 g C.kg⁻¹), ont été apportées à 100 g de sol sec et comparées à un témoin D0 (sol sans amendement). Après 6 percolations effectuées à la fin de 120 j d'incubation, des paramètres chimiques ont été déterminés. Les résultats montrent qu'en dépit des percolations et par rapport aux valeurs initiales, les teneurs en Mg²⁺ et K⁺ ont accru respectivement de 77,28 et 405,62 p.c., avec D5, tandis qu'elles ont diminué de 45,27 et 42,97 p.c., avec D10. Quant à Ca²⁺, les teneurs ont connu des faibles baisses qui ont été faibles avec D5, de l'ordre de 1,91 p.c., mais importantes avec D10, soit 64,82 p.c. Les pH et les CEC des sols amendés ont été plus élevés que ceux du témoin. L'accroissement des CEC a été fonction des doses, par contre, le pH le plus élevé a été obtenu avec D5. L'utilisation des coques de cabosses de cacao, notamment la dose D5, pourrait être recommandée dans la fertilisation des sols.

Mots-clés : *amendement organique, fertilité du sol, coques de cabosses de cacao, percolation, Ferralsol, Côte d'Ivoire.*

Abstract

Test to regulate nutrient loss in dystric Ferralsols of the Oumé region, using a cocoa hulls-based amendment

Ferralsols, naturally poor in nutrients, experience a drastic drop in their fertility, with low yields, due to the rapid elimination, by leaching and erosion, of these elements. This study aimed at assessing the potential of cocoa hulls to regulate the loss of nutrients from dystric Ferralsols in the Oume region. According to a Fischer block design with 3 repetitions, 1.39 g and 2.78 g of cocoa hulls, respectively equivalent to D5 (5 g C.kg⁻¹) and

D10 (10 g C.kg⁻¹), were brought to 100 g of soil and compared to a control D0 (soil without amendment). After 6 percolations carried out at the end of 120 days of incubation, chemical parameters were determined. The results show that, compared to the initial values, Mg²⁺ and K⁺ contents increased respectively by 77.28 and 405.62 p.c., with D5, while they decreased by 45.27 and 42.97 p.c., with D10. As for Ca²⁺, the contents have experienced decreases which were low with D5, 1.91 pc, but significant with D10, 64.82 p.c. The pH and CEC of the amended soils were higher than control. The increase in CEC was dose dependent, in contrast, the highest pH was obtained with D5. The use of cocoa hulls, at dose D5, could be recommended in soil fertilization.

Keywords : *organic amendment, soil fertility, cocoa hulls, percolation, Ferralsols, Côte d'Ivoire.*

1. Introduction

Les pays de l'Afrique subsaharienne sont confrontés à une dégradation de leur environnement et, particulièrement, à celle des sols, avec comme corollaire la perte de leur fertilité [1]. La dégradation des sols est, en effet, l'un des problèmes cruciaux pour ces pays [2]. Or, la majorité des sols de l'Afrique de l'Ouest sont des Ferralsols [3]. Les Ferralsols, selon la base de référence mondiale [4] ou sols ferrallitiques, selon la classification française [5], qui représentent plus de 15 p.c. de la surface de la terre [6], constituent essentiellement la couverture pédologique de la zone intertropicale [7] et recouvrent, en Côte d'Ivoire, la majeure partie du territoire (95 p.c.) [8]. Les Ferralsols se caractérisent par un profil bien développé [8], la présence d'un horizon fortement microagrégé et une profondeur importante [9]. Cependant, ils présentent un faible niveau de fertilité intrinsèque [8], lié à des contraintes naturelles spécifiques à chaque zone agroécologique [10]. Ils sont généralement acides, avec des pH compris entre 4,5 et 6, naturellement pauvres en éléments nutritifs et en matière organique, avec une faible capacité d'échange (CEC < 20 cmol.kg⁻¹), et carencés en phosphore [6], ce qui limite leur potentialité à supporter une production végétale élevée de façon durable [3]. Sur les Ferralsols, les contraintes à la production sont essentiellement dues à l'acidité et à la faible capacité d'échange, souvent à l'origine des carences en éléments nutritifs majeurs [11]. Seuls les systèmes forestiers et les savanes protégées des feux et du surpâturage sont des systèmes de production capables de maintenir ou d'améliorer la fertilité des sols tropicaux [12].

En effet, leur mise en culture entraîne forcément leur dégradation à plus ou moins court terme [13]. En Côte d'Ivoire, on assiste à une rapide dégradation du couvert forestier, comme dans la région d'Oumé, zone de la présente étude, ce qui a des conséquences agronomiques, écologiques, climatiques et socio-économiques inéluctables [14 - 16]. La faible couverture végétale entraîne une augmentation des risques d'érosion et de lixiviation des éléments nutritifs, ce qui accentue la dégradation des sols, laquelle constitue une sérieuse entrave au développement agricole [17] et une menace pour la sécurité alimentaire [18]. Sous couvert végétal, les Ferralsols ont des caractéristiques agronomiques assez bonnes, grâce à un bon régime hydrique et des réserves de matières organiques [19]. Mais, le défrichement occasionne la disparition des litières et, par conséquent, la décroissance rapide des matières organiques [20]. Les sols cultivés deviennent moins productifs et moins résistants à l'énergie des pluies [21]. L'épuisement du sol, selon certains auteurs, est dû à l'élimination rapide par lessivage et par érosion des éléments nutritifs, surtout ceux apportés par le brûlis [22, 23]. Il en résulte une chute drastique de leur fertilité, avec de faibles rendements des cultures [24]. L'érosion cause de sérieux problèmes à la production agricole [25]. Aussi, le taux important de pluviométrie dans le pays entraîne-t-il un important lessivage des sédiments fins [26]. L'érosion est certes importante à cause de la fragilité du milieu physique et de l'agressivité climatique, mais le mode de gestion des terres devient de plus en plus déterminante et a un impact sur divers processus d'érosion et la productivité des sols [25]. Les problématiques de dégradation des sols ont fait l'objet de nombreux travaux de recherche, mais il

convient de constater que ces problèmes restent toujours d'actualité et sans problèmes [24]. De nombreux travaux ont montré que les amendements organiques jouent un rôle important sur diverses propriétés du sol [27]. Selon les travaux des auteurs [27, 28], la décomposition des résidus végétaux permet d'améliorer considérablement le niveau de nutriments et de matière organique dans les sols. Quelques travaux ont été publiés sur l'effet des coques de cacao dans la fertilisation des sols [27, 29, 30]. Les coques de cabosses de cacao constituent une source importante de potassium [31], de matières organiques et un réservoir d'éléments chimiques [27]. Ce sont des résidus organiques disponibles et non valorisés. La Côte d'Ivoire, 1er producteur mondial de cacao [32], produit environ 4000000 tonnes de coques de cabosses de cacao disponibles chaque année, dans les plantations, et non valorisées [33]. Partant de ces faits, il serait judicieux de les utiliser pour amender les sols afin d'aider à l'amélioration de la fertilité des sols et à la lutte contre leur dégradation. C'est ainsi que notre étude vise justement à évaluer l'impact d'un amendement organique à base des résidus de coques sèches de cacao sur la perte, par lixiviation, des éléments nutritifs des Ferralsols de la zone d'Oumé, au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire.

2. Matériel et méthodes

2-1. Sol

Les sols du site du projet « Conservation and Sustainable Management of Below Ground Biodiversity » (CSM-BGBD) ont été utilisés. Ce site est situé à Oumé (**Figure 1**), dans le village de Goulikao ($5^{\circ}31'W$, $6^{\circ}17'N$ et 200 m). La zone d'Oumé, au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, est caractérisée par un climat subéquatorial « attién » avec une végétation dense et semi-décidue, une pluviométrie moyenne de 1300 mm/an, une température moyenne de $26^{\circ}C$ et une humidité relative de 85 %. Les surfaces affectées aux cultures vivrières sont dégradées [8]. Les sols d'Oumé sont des Ferralsols [4], avec un pH bas (5,30), une texture sablo-argileuse (21 % d'argile), une faible teneur en carbone organique ($C/N = 10,47$) et une capacité d'échange cationique faible ($7,22 \text{ cmol kg}^{-1}$).

2-2. Matériel

Le matériel est constitué de coques de cabosses de cacao (*Theobroma cacao L*), à cause de leur disponibilité dans la zone d'étude, une zone cacaoyère, ancienne Boucle du Cacao. Elles constituent une importante source de déchets agricoles, abandonnés au champ, après une récolte [34]. Elles ont été ramassées, séchées à l'air libre pendant 7 jours, ensuite broyées et tamisées ($\emptyset < 2 \text{ mm}$). Leurs compositions, déterminées à partir de la matière sèche, indiquent 36 p.c. de C, 1,4 p.c. de N, avec des rapports C/N et C/P de 25,71 et 400, respectivement, 0,09 p.c. de P, 0,55 p.c. de Ca^{2+} , 0,42 p.c. de Mg^{2+} et 3,39 p.c. de K^{+} .

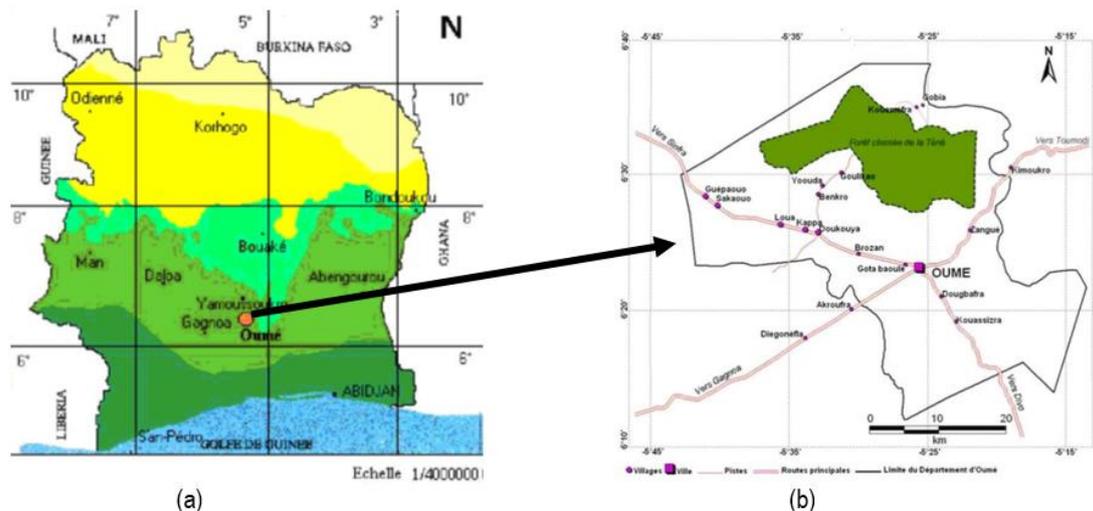


Figure 1 : Localisation du site du projet GBGD (a) ville d'Oumé et (b) village de Goulakou

2-3. Dispositif expérimental et conduite des essais

Les essais ont été conduits suivant un dispositif expérimental en blocs de Fischer avec trois traitements soumis à trois répétitions. Trois quantités de coques de cabosses de cacao à savoir à 0 g ; 1,39 g et 2,78 g, équivalant à 0, 5 et 10 g.C.kg⁻¹, ont été mélangées, chacune, à 100 g de sol pour constituer trois substrats qui représentent les trois traitements suivants : D0 = 100 g sol + 0 g de coques de cabosses de cacao (témoin), D5 = 100 g de sol + 1,39 g de coques de cabosses de cacao et D10 = 100 g de sol + 2,78 g de coques de cabosses de cacao. Les incubations ont été faites suivant la méthode utilisée par les auteurs des références [35, 36]. Elles ont été réalisées dans des bocaux de 1L, en conditions contrôlées, à une humidité proche de la capacité au champ (20 % d'humidité pondérale) et à une température constante (28°C ± 2°C). Les bocaux ont été fermés hermétiquement et gardés à l'obscurité. L'atmosphère dans les bocaux est renouvelée régulièrement lors des mesures afin de maintenir les sols dans des conditions d'aérobic. L'humidité a été contrôlée constamment, par pesée, et ajustée au besoin. Les percolations ont été réalisées après 120 jours d'incubation suivant le protocole proposé par l'auteur de la référence [17], qui a consisté en une simulation de la lixiviation. Les quantités d'eau apportées aux substrats reflètent les précipitations annuelles qui ont été observées dans la région d'Oumé et qui s'élèvent à environ 1470 mm/an d'eau [37]. La simulation de percolation a été effectuée en 6 semaines, en raison d'une percolation par semaine, et la quantité d'eau apportée au sol a été de 245 mm par semaine, soit 2450 m³ pour un ha. Sur la base de cette quantité, les volumes d'eau nécessaires pour 100 g de sol ont été calculés en tenant compte de la densité apparente des sols sous cultures vivrières (1,76 g.cm⁻³) et de la profondeur de l'horizon de labour (30 cm). Ces calculs ont permis d'évaluer la quantité d'eau à 50 mL par percolation. Après incubation, chaque substrat a été transféré dans un entonnoir posé sur une fiole à filtre, sous vide. Une quantité de 50 mL d'eau a été ajoutée par fraction de temps, à 0, 2, 5, 10 et 20 mn, soit 5 x 10 mL, pour éviter une saturation d'eau et un arrêt d'écoulement dans les entonnoirs. L'humectation a été effectuée par gravité, et le percolât a été recueilli, par écoulement libre, dans la fiole. A la fin de la percolation, qui a duré 90 mn par substrat, l'humidité de chaque substrat a été réajustée et maintenue constante, entre deux percolations, par pesée des échantillons.

2-4. Mesure des paramètres chimiques des substrats

Après 6 simulations de percolation, les paramètres chimiques des substrats ont été déterminés sur des échantillons de sols séchés à l'air sous abri. Les principales analyses ont concerné l'acidité, la capacité d'échange cationique (CEC) et les teneurs en cations échangeables des substrats. Le pH a été déterminé à

l'électrode en verre dans une suspension d'eau et une solution normale de chlorure de potassium (KCl), avec 10 g de sol, suivant le rapport sol/eau et sol/solution de 1 : 2,5 [38]. La CEC et les teneurs en cations échangeables ont été déterminées par extraction à l'acétate d'ammonium pH 7, avant la lecture au spectromètre à absorption atomique pour le calcium (Ca) et le magnésium (Mg) et à flamme pour le potassium (K) [38].

2-5. Analyses statistiques

Les données recueillies ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) pour comparer les valeurs moyennes, après avoir préalablement établi l'homogénéité des variances. Les moyennes ont été ensuite séparées, lorsqu'une différence significative a été observée, en effectuant le test de Student-Newman-Keuls, au seuil de 5 p.c. Ces tests ont été réalisés à l'aide du logiciel Statistica version 7.1.

3. Résultats

3-1. pH des substrats

La **Figure 2** montre les valeurs de pH obtenues en fonction des traitements, après les 6 percolations réalisées. Elles varient de 6,4 à 6,7 mais l'analyse statistique ne révèle pas de différences significatives entre elles. Toutefois, comparées à la valeur du pH du sol à l'état initial (5,3), on note des accroissements qui sont présentés sur la **Figure 3** et qui sont, d'ailleurs, significativement différents en fonction des traitements, sous l'effet des résidus de coques de cabosses de cacao apportés ($p = 0,009$). Ces accroissements n'ont pas varié en fonction des quantités de coques apportés, toutefois, ceux enregistrés au niveau des sols amendés ont été supérieurs à ceux des sols non amendés (**Figure 3**). Les résidus de coques apportés à la dose D5 ont donné les accroissements de pH les plus élevés, soit 25,82 p.c. contre 23,55 p.c. avec D10, ce qui correspond à des gains de +1,37 unités pH avec D5 et + 1,15 unités pH avec D10.

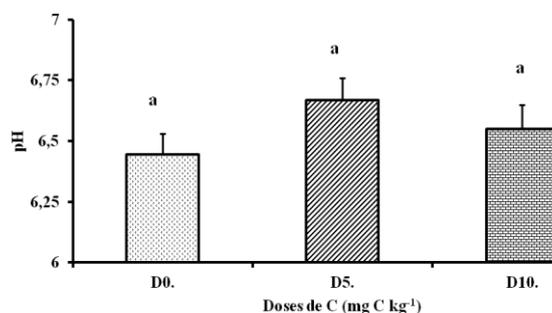


Figure 2 : pH des substrats obtenus en fin de percolation, en fonction des traitements

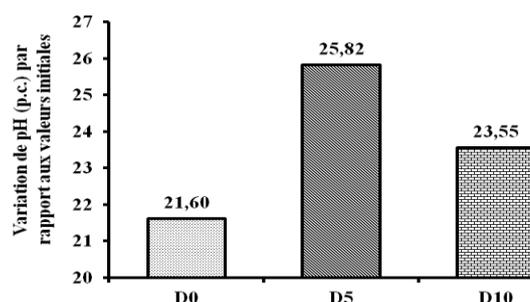


Figure 3 : Variation de pH des substrats, par rapport à celui du sol à l'état initial

3-2. Capacité d'échange des cations des substrats

Les CEC des substrats, mesurées à la fin des percolations, sont présentées sur la **Figure 4**. Elles sont significativement différentes sous l'effet des résidus de coques de cabosses de cacao ($p = 0,002$). Les valeurs ont été plus importantes dans les sols fertilisés que dans les sols non fertilisés, et, celles de D10 ont été supérieures à celles de D5 (**Figure 4**). La comparaison entre ces CEC montre que l'apport de coques de cabosses de cacao avec D5 a permis d'avoir une augmentation de 10,68 p.c. par rapport au témoin, et avec D10, l'augmentation a été de 21,38 p.c., soit le double de ce qui a été obtenu avec D5. Lorsque l'on compare les valeurs de CEC à celle du sol à l'état initial ($7,22 \text{ cmol}_{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$), des améliorations significativement différentes, en fonction des quantités de coques apportées, ont été relevées ($p = 0,004$). Au regard de la **Figure 5** qui montre ces variations, les améliorations des CEC du sol ont été plus importantes avec D10, avec une hausse de 48,61 p.c., quand celles enregistrées avec D5 et D0 ont été, respectivement, de 35,53 p.c. et 22,46 p.c.

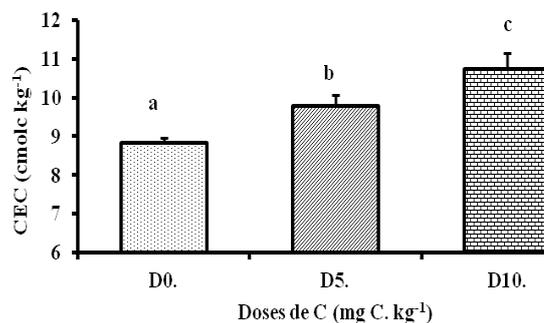


Figure 4 : Capacités d'échange des cations des substrats, obtenues en fin de percolation, en fonction des doses de carbone

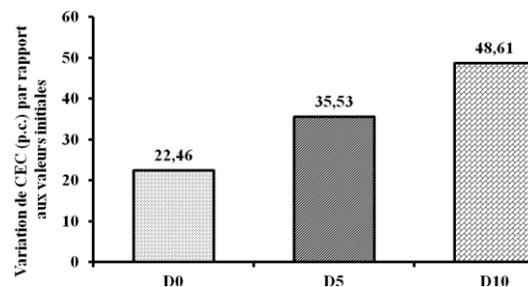


Figure 5 : Variation des CEC des sols par rapport à celle du sol à l'état initial

3-3. Teneurs en bases échangeables

3-3-1. Teneurs en calcium

L'analyse statistique fait apparaître des différences hautement significatives entre les teneurs en Ca^{2+} des substrats, en fin d'essai de percolation, sous l'influence positive des quantités de coques de cabosses de cacao apportées ($p = 0,003$). La **Figure 6** montre que les teneurs obtenues avec D5 ont été les plus fortes, tandis que celles obtenues avec D10, ont été les plus faibles par rapport à D0. Un accroissement de 64 p.c. a été enregistré avec D5, par contre, on note une baisse de 40,80 p.c., avec D10 (**Figure 6**). Les variations des teneurs en Ca^{2+} des substrats, par rapport à la valeur initiale ($2,09 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$), apparues sur la **Figure 7**, sont différentes, de façon significative ($p = 0,001$), et négatives, ce qui indique que les percolations ont entraîné les baisses de ces teneurs. Les baisses ont été plus importantes avec D10, soit 64,82 p.c., avec le témoin, elles ont été de 40,09 p.c., mais avec D5, elles ont été plus faibles, soit 1,91 p.c.

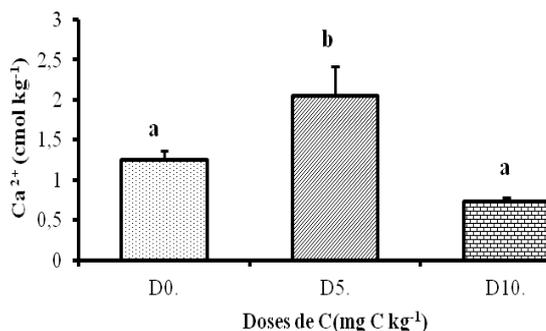


Figure 6 : Teneurs en Ca²⁺ des substrats, obtenues en fin de percolation, en fonction des traitements

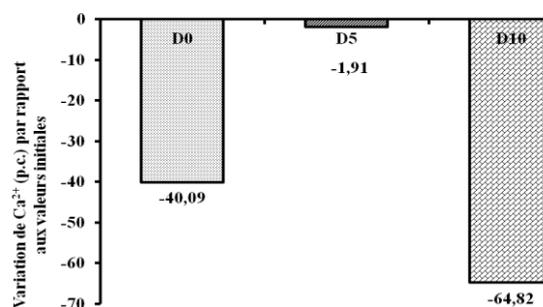


Figure 7 : Variation des teneurs en Ca²⁺ des sols par rapport à celle du sol à l'état initial

3-3-2. Teneurs en magnésium

La **Figure 8** montre les teneurs en Mg²⁺ des substrats, enregistrées après l'essai de percolation, significativement différentes sous l'effet des résidus de coques apportés ($p < 0,001$). Les teneurs en Mg²⁺ des sols fertilisés à la dose D5 ont été les plus élevées, mais, statistiquement similaires à celles des sols non fertilisés (D0), par contre, celles obtenues avec la dose D10 ont été les plus faibles (**Figure 8**). Comparées aux valeurs de D0, la dose D5 a permis un accroissement de 38,10 p.c., quand la dose D10 a occasionné une baisse de plus de la moitié (57,14 p.c.). Comparées à la valeur initiale (0,49 cmol.kg⁻¹) du sol, les variations ont été significativement différentes ($p < 0,001$). La **Figure 9** montre qu'en dépit des percolations, les teneurs en Mg²⁺ ont augmenté de 27,77 p.c. dans les sols non fertilisés (D0), et de 77,28 p.c., dans les sols fertilisés à la dose D5. En revanche, les percolations ont occasionné des baisses de 45,27 p.c. dans les sols fertilisés à la dose D10.

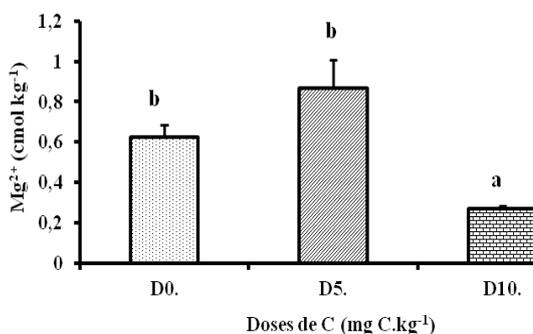


Figure 8 : Teneurs en Mg²⁺ des substrats, obtenues en fin des percolations, en fonction des traitements

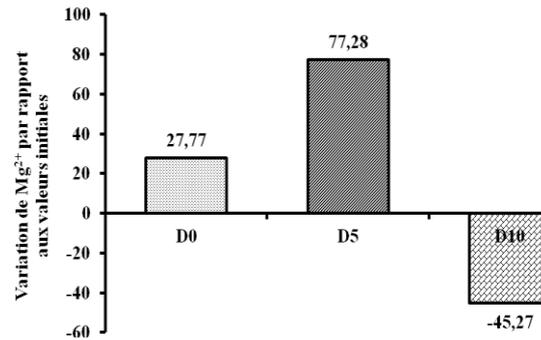


Figure 9 : Variation des teneurs en Mg²⁺ des sols, par rapport à celles du sol à l'état initial

3-3-3. Teneurs en potassium

La **Figure 10** présente les différentes teneurs en K⁺ des substrats, obtenues à la fin des 6 percolations. Les différences observées entre elles sont hautement significatives sous l'effet des coques de cabosses de cacao apportées ($p < 0,001$). Les teneurs enregistrées avec D5 ont été plus élevées que celles du témoin, tandis qu'avec D10, elles ont été plus faibles. La dose D5 a permis une augmentation de 57,41 p.c., par rapport à D0, soit plus de la moitié, tandis qu'avec D10, les valeurs ont été le 1/5 de D0, soit une baisse de 81,48 p.c. (**Figure 10**). Les teneurs en K⁺ des sols, en fin de percolation, ont varié par rapport à la valeur initiale (0,17 cmol.kg⁻¹) du sol. Ces variations ont été significativement différentes sous l'effet des doses de carbone ($p = 0,006$). Après les six percolations, les teneurs en K⁺ obtenues avec les doses D0 et D5 ont été, respectivement, 3 et 5 fois supérieures à la valeur initiale, ce qui donne des accroissements respectifs de 220,05 et 405,62 p.c. En revanche, les percolations ont occasionné une baisse des teneurs en K⁺ de 42,97 p.c. dans les sols fertilisés à la forte dose (D10) (**Figure 11**).

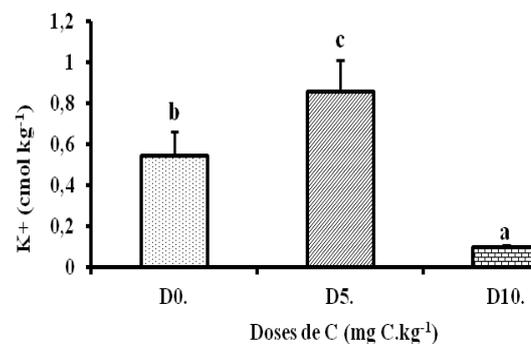


Figure 10 : Teneurs en K⁺ des substrats, obtenues en fin des percolations, en fonction des doses de carbone

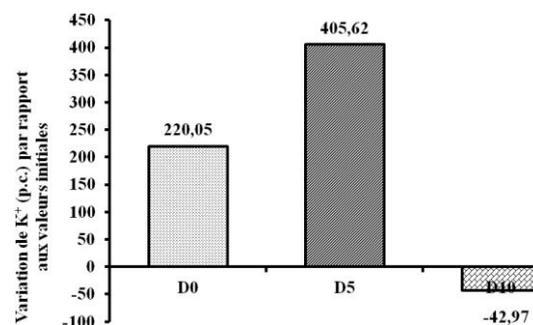


Figure 11 : Variation des teneurs en K⁺ des sols par rapport à celles du sol à l'état initial

3-4. Taux de saturation en bases des substrats

À l'issue des six percolations réalisées, les analyses statistiques ont révélé des différences hautement significatives entre les taux de saturation en bases des substrats, sous l'effet des doses de carbone, ($p = 0,003$). Au regard de la **Figure 12** qui présente ces taux de saturation, on note que les taux ont augmenté de 12,25 p.c., avec D5, par rapport à ceux obtenus avec le témoin, par contre, ils ont diminué de 16,95 p.c., avec D10. Par rapport aux valeurs initiales du sol utilisé (39,42 p.c.), les taux de saturation en bases des sols obtenus à la fin des six percolations ont varié, ces variations ont été significativement différentes, sous l'effet des doses de C ($p < 0,001$). Les percolations ont occasionné les baisses des taux de saturation au niveau du témoin et du traitement D10. Elles ont été, respectivement, de 30,46 p.c. et 73,46 p.c., pour D0 et D10. En revanche, une faible amélioration de 0,60 p.c. a été observée dans les sols fertilisés avec D5, en dépit des six percolations (**Figure 13**).

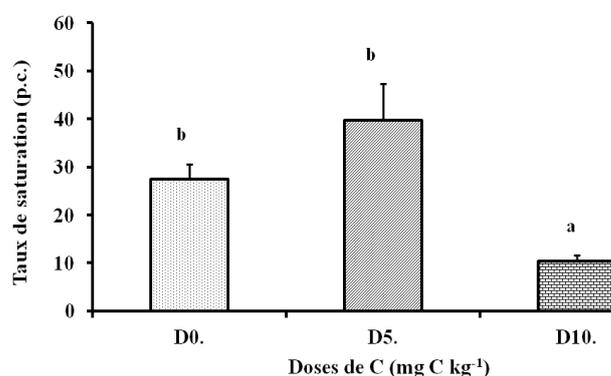


Figure 12 : Taux de saturation en bases échangeables des sols, obtenus en fin de percolation, en fonction des doses de carbone

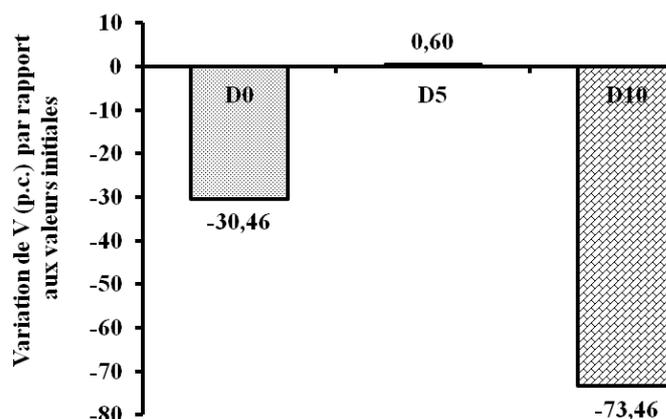


Figure 13 : Taux de saturation des sols, après percolation, comparés aux valeurs initiales des sols sous cultures vivrières, en fonction des doses de carbone

4. Discussion

Les résultats obtenus dans cette étude, à la fin des 6 percolations réalisées, mettent en évidence une nette amélioration de la fertilité chimique du sol par les coques de cabosses de cacao séchées. L'évolution de la CEC, des teneurs en cations échangeables et du pH en témoigne.

4-1. Effet de l'apport des coques de cabosses de cacao sur la CEC du sol et l'acidité du sol

Les coques de cabosses de cacao séchées ont produit des effets positifs sur la CEC et l'acidité des Ferralsols de la zone d'Oumé, qui ont été significativement améliorés. Cette amélioration a été d'autant plus marquée pour la CEC que la quantité de coques de cabosses de cacao a été forte, tandis que, pour le pH, elle a été plus importante avec D5 qu'avec D10. Ces résultats corroborent ceux de l'auteur [39] qui ont montré que les téguments de fèves de cacao utilisés ont produit des effets significatifs sur les sols dégradés de la zone d'Ahoué, en Côte d'Ivoire, par l'amélioration de la CEC, de la matière organique, de la somme des bases échangeables et du pH. L'augmentation de la CEC, par l'apport des coques de cabosses de cacao, pourrait s'expliquer par le fait que ces amendements organiques ont affecté les phénomènes de fixation des cations échangeables sur le complexe absorbant [29]. En effet, l'apport des coques de cabosses de cacao comme matière organique au sol, permet une amélioration du complexe argilo humique, due à la fixation des composés humiques sur la kaolinite, colloïde minéral des Ferralsols [22]. Les composés humiques ont une plus grande capacité d'échange, en raison de leurs nombreux groupements fonctionnels COOH et OH, qui s'ionisent, et peuvent fixer, plus ou moins, fortement les cations [5]. Ainsi, ceux issus de la décomposition des coques de cabosses de cacao ont amélioré la CEC des sols, et ce, en fonction des quantités apportées. Ce complexe argilo-humique enrichi a stocké des éléments nutritifs libérés par la minéralisation des coques de cabosses de cacao, en dépit des percolations, notamment avec la dose D5. L'accroissement de pH, observé dans les substrats amendés avec les coques de cabosses de cacao, traduit une baisse de l'acidité du sol. Avec la dose D5, l'acidité du sol passant de 5,3 à 6,7, et avec D10, de 5,3 à 6,4, serait liée aux ions Ca^{2+} et Mg^{2+} , qui, en dépit des percolations réalisées, sont en quantités suffisantes pour neutraliser les ions responsables de l'acidité du sol, notamment Al^{3+} et H^+ . Avec l'apport de coques de cabosses de cacao, le sol qui était, à l'état initial, fortement acide ($\text{pH} = 5,3$) est devenu faiblement acide ($\text{pH} = 6,5$) avec la dose D10 et neutre avec la dose D5 ($\text{pH} = 6,7$). L'apport des coques de cabosses de cacao constitue un moyen qui permet de neutraliser l'acidité du sol.

4-2. Effet de l'apport des coques de cabosses de cacao sur les teneurs en bases échangeables

Les teneurs en actions échangeables du sol (Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^+) ont connu des accroissements significatifs avec l'apport de coques de cabosse de cacao séchées, notamment avec D5, malgré les 6 percolations effectuées. Les accroissements des teneurs en Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^+ ont été de 64, 77,28 et 57,41 p.c., respectivement, par rapport au témoin D0. Comparées à leurs valeurs initiales, les teneurs en Mg^{2+} et K^+ ont connu des augmentations respectives de 77,28 p.c. et 405,62 p.c. En effet, avec leur décomposition dans le sol au cours des incubations, les coques de cabosses de cacao séchées ont assuré une grande disponibilité en cations échangeables dans le sol. Les travaux des auteurs [27, 28, 40] ont montré, respectivement, que la décomposition des résidus végétaux a relevé le niveau de matière organique, de pH et de nutriments. En revanche, les teneurs en cations échangeables, obtenues dans les sols amendés avec la forte dose D10, ont été inférieures à celles du témoin D0, après les 6 percolations. Lorsqu'on les évalue par rapport aux valeurs initiales, ces teneurs ont subi des baisses significatives de l'ordre de 64,82, 45,27 et 42, 97 p.c. pour Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^+ , respectivement. En revanche, avec la dose D10, les teneurs en cations échangeables ont été significativement inférieures à celles du témoin, après les 6 percolations, ce qui notifie que ces teneurs ont subi des baisses significatives. Lorsqu'on les évalue par rapport à leurs valeurs dans le sol à l'état initial, les baisses enregistrées sont de l'ordre de 64,82, 45,27 et 42,97 p.c., respectivement, pour Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^+ . Ceci pourrait être lié à la décomposition des coques de cabosses de cacao, notamment avec la dose D10, au cours de l'incubation des substrats. En effet, les auteurs [27, 36] ont observé, au cours de leurs travaux, une baisse de la minéralisation du carbone avec la plus forte dose de résidus organiques. Par ailleurs, les résultats révèlent que la lixiviation avec D10 a été plus importante pour Ca^{2+} que pour Mg^{2+} et K^+ , alors que, selon

l'auteur [22], on considère, de façon globale, que la susceptibilité à la lixiviation des éléments nutritifs du sol s'établit dans l'ordre décroissant suivant : N^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} . Mais, nos résultats font apparaître un ordre décroissant contraire à celui indiqué par l'auteur [22] : Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^+ . Selon l'auteur de la référence [22], les sensibilités de Ca^{2+} et Mg^{2+} à la lixiviation sont assez voisines, mais la lixiviation porte préférentiellement sur l'éléments (calcium ou magnésium) relativement abondant. Quant au K^+ , dont la lixiviation a été moindre, il se fixe concurrentiellement avec les autres cations, sur 30 à 50 p.c. des sites d'échanges, d'où une très bonne mobilité, mais associée à une probabilité de lixiviation plus grande [22]. Des cations tels que H^+ , Al^{3+} , et NH_4^+ ont la propriété de gêner la fixation de K^+ sur le complexe adsorbant. Dans les ferrasols, on attribue habituellement ce phénomène à la présence de Al^{3+} , qui impose une très rigoureuse compétition pour les sites d'échange. La difficulté de fixation de K^+ en présence de Al^{3+} peut s'accompagner d'une grande facilité de lixiviation du potassium. Mais, certains ions comme Ca^{2+} , au contraire, favorisent sa fixation sur le complexe adsorbant et réduisent aussi une mobilité excessive. Le calcium provoque le déplacement de Al^{3+} présent sur le complexe adsorbant, lequel s'échange ensuite facilement avec le potassium. Or, les valeurs de pH, obtenues avec l'apport des coques, après percolation, ont été supérieures à 5,9. Il y a donc eu une réduction de l'acidité et, par conséquent, une neutralisation des ions Al^{3+} ; ce qui a contribué à la fixation de K^+ sur le complexe adsorbant, réduisant ainsi sa lixiviation. Aussi, l'élimination des bases par les eaux de percolations se produit-elle principalement sous forme de nitrates, notamment sous forme de nitrates de calcium. Or, Mg^{2+} paraît proportionnellement moins affecté et K^+ nettement moins sensible que les ions bivalents, à l'entraînement sous forme de nitrates [22]. En plus de sa fixation sur les sites d'échange, K^+ peut être soumis à un autre phénomène appelé rétrogradation. Mais, il apparaît que la rétrogradation est de moindre importance dans les Ferrasols, du fait de la présence de la kaolinite comme argile dominante. Elle est nulle pour les micas et les kaolinites [22].

5. Conclusion

L'étude, réalisée sur les Ferrasols de la zone d'Oumé dans l'optique de valoriser les résidus de récolte en vue d'une gestion durable de la fertilité des sols, a montré que l'utilisation des coques de cabosses de cacao comme amendement organique, constitue une alternative pour réguler les pertes des sols en éléments nutritifs. Il ressort de cette étude qu'en dépit des percolations effectuées, la dose D5, apportée au sol, a permis des accroissements des teneurs en Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^+ de 64, 77,28 et 57,41 p.c., respectivement, par rapport au témoin D0. Comparées à leurs valeurs initiales, ces teneurs ont augmenté de 77,28 p.c. pour Mg^{2+} et 405,62 p.c. pour K^+ , quant à Ca^{2+} , une faible baisse de 1,91 p.c. a été enregistrée. En revanche, avec la dose D10, les teneurs en Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^+ , après les 6 percolations, ont été inférieures à celles du témoin, avec des baisses de 64,82, 45,27 et 42,97 p.c., par rapport aux valeurs initiales. Par ailleurs, les pH et les CEC des sols amendés avec D5 et D10 ont été plus élevés que ceux du témoin. Les CEC ont augmenté en fonction des doses apportées tandis que les pH ont été plus élevés avec D5 qu'avec D10. La valorisation agronomique des coques de cabosses de cacao comme amendement organique mérite d'être approfondie car leur utilisation pourrait être une solution pour une agriculture durable.

Références

- [1] - K. T. P. ANGUI, D. L. GONE et S. L. DJEBRE, Effets comparés d'induits de chaux et de dolomie sur quelques paramètres chimiques d'un sol ferrallitique et d'un sol organique au sud de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 21 (2) (2009) 155 - 163 p.
- [2] - K. H. ASSIE, K. T. P. ANGUI, A. J. TAMIA, Effets de la mise en culture et des contraintes naturelles sur quelques propriétés physiques d'un sol ferrallitiques au Centre Ouest de la Côte d'Ivoire. *European Journal Sciences Research*, 23 (1) (2008) 149 - 166 p.
- [3] - D. J. B. ETTIEN, B. KONE, K. K. H. KOUADIO, N. E. KOUADIO, A. YAO-KOUAME et O. GIRARDIN, Fertilisation minérale des ferralsols pour la production d'igname en zone de Savane Guinéenne de l'Afrique de l'Ouest : cas des variétés d'igname traditionnelle sur dystric ferralsols du Centre de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 23 (2009) 1394 - 1402 p.
- [4] - FAO, World Reference Base for soil resources. World Soils Resources Report 84; Food and Agricultural Organization of United Nations, Rome Italie, (2006) 130 p.
- [5] - CPCS, Commission de la Pédologie et de Cartographie des Sols, Classification des sols. ENSA, Grignon, (1967) 96 p.
- [6] - L. RABEHARISOA, Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des hautes terres de Madagascar. Thèse de doctorat d'Etat en Sciences Naturelles, Université d'Antananarivo, (2004) 213 p.
- [7] - A. P. SANCHEZ, Properties and management of soils the tropics. New York : John Wiley and Sons, (1976) 618 p.
- [8] - P. K. T. ANGUI, T. TIE-BI et J. A. TAMIA, Typologie des sols de la Côte d'Ivoire et leur utilisation. *Bioterre*, 5 (1) (2005) 1 - 16 p.
- [9] - L. C. BALBINO, M. BROSSARD, J-C. LEPRUN et A. BRUAND, Mise en valeur des Ferralsols de la région du Cerrado (Brésil) et évolution de leurs propriétés physiques : une étude bibliographique. *Etude et Gestion des Sols*, 9 (2002) 83 - 104 p.
- [10] - K. P. AKANZA et A. YAO-KOUAME, Fertilisation organo-minérale du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) et diagnostic des carences du sol. *Journal of Applied Biosciences*, 46 (2011) 3163 - 3172 p.
- [11] - I BOLAKONGA, M. MOANGO, L. NATDANGA et B. LIENGE, Contribution à la détermination d'impacts économiques de la fertilisation d'un Ferralsol par l'extrait aqueux de cendres de *Cynodon dactylon* à Kisangani, R.D.Congo. *Annales de l'Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi*, 1 (2007) 39 - 46 p.
- [12] - E. ROOSE, H. DUCHAUFOUR, G. DE NONI, Lutte antiérosive, réhabilitation des sols tropicaux et protection contre les pluies exceptionnelles. IRD Editions, (2012) 1 - 8, <http://horizon.documentation.ird.fr>
- [13] - M. CONEDERA, N. BOMIO-PACCIORINI, P. BOMIO-PACCIORINI, S. SCIACCA, L. GRANDI, A. BOUREIMA et A. M. VETTRAINO, Reconstitution des écosystèmes dégradés sahéliers. *Bois et forêts des tropiques*, 304 (2) (2010) 61 - 71 p.
- [14] - Ch. FLORET et R. PONTANIER, La jachère en Afrique tropicale. Rôles, aménagement, alternatives. De la jachère naturelle à la jachère améliorée ; le point des connaissances (t.2). Sciences et Techniques. Ed John Libbey, (2000) 358 p.
- [15] - O. DEHEUVELS, Dynamiques de plantation - replantation cacaoyères en Côte d'Ivoire : comparaison de choix techniques avec Olympe. *In* : Modélisation économique des exploitations agricoles : modélisation, simulation et aide à la décision avec le logiciel Olympe. E. Penot (ed.), O. Deheuvelds (ed.). Paris : L'Harmattan, (2007) 49 - 61 p.

- [16] - E. J. TONDOH, M. L. MONIN, S. TIHO et C. CSUZDI, Can earthworms be used as bio-indicators of land-use perturbations in semi-deciduous forest? *Biology Fertility and Soils*, 43 (2007) 585 - 592 p.
- [17] - M. Y. DJONDO, Propriétés d'échange ionique des sols ferrallitiques argileux de la vallée du Niari et sableux du plateau de Mbé-Batéké au Congo. Application à la correction de leur acidité. Thèse de doctorat, Université Paris XII - Val de Marne, (1996) 242 p.
- [18] - J. P. BOGA, Etude expérimentale de l'impact de matériaux de termitières sur la croissance, le rendement et la fertilité des sols cultivés en savanes sub-soudaniennes, Booro-Borotou (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat, Cocody, Abidjan, (2007) 231 p.
- [19] - B. DABIN et R. MAIGNIEN, Les principaux sols d'Afrique de l'Ouest et leurs potentialités agricoles. *Cahier Orstom, Série Pédologique*, 17 (4) (1979) 235 - 237 p.
- [20] - L. T. RAJOT, Bilan en masse de l'érosion éolienne à l'échelle d'un terroir sahélien : rôle des jachères, In : Floret Ch., Pontanier R. (Eds) : *Jachère en Afrique tropicale*. Paris, (1999) 155 - 162 p.
- [21] - E. ROOSE et B. BARTHÈS, Soil carbon erosion and its selectivity at the plot scale in tropical and Mediterranean regions. In: *Soil erosion and carbon dynamics*, É. ROOSE, R. LAL, C. FELLER, B. BARTHÈS et B.A. STEWARD édit., Édit. CRC Press, *Advances in Soil Science*, Vol. 15, (2006) 55 - 72 p.
- [22] - L. J. MUNKHOLM, P. SCHJONNING, K. J. RASMUSSEN et K. TANDERUP, Spatial and temporal effects of direct drilling on soil structure in the seedling environment. *Soil and Tillage Research*, 71 (2003) 163 - 173 p.
- [23] - C. PEKRUN, H. P. KAUL et W. CLAUPEIN. Soil tillage for sustainable nutrient management. In El Titi, A. (ed.). *Soil tillage in Agroecosystems*, CRC Press, NewYork (USA), (2003) 83 - 113 p.
- [24] - C. PIERI, Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au Sud du Sahara. Ministère de la Coopération - CIRAD. Paris, (1989) 444 p.
- [25] - B. MORSLI, M. MAZOUR, N. MEDEDJEL, A. HAMOUDI et E. ROOSE, Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et d'érosion sur les versants semi-arides du nord-ouest de l'Algérie. *Sécheresse*, 15 (1) (2004) 96 - 104 p.
- [26] - K. P. KOUADIO, K. E. YOBOUE, K. K. H. KOUADIO, Y. Y. P. BINI et A. YAO-KOUAME, Caractéristiques morpho-pédologiques des sols d'Ahoué dans la Sous-Préfecture de Brofodoumé, Sud-Est Côte d'Ivoire. *Afrique Science*, 15 (5) (2010) 140 - 150 p.
- [27] - M. D. DJEKE, K. T. P. ANGUI et Y. J. KOUADIO, Décomposition des broyats de coques de cacao dans les sols ferrallitiques de la zone d'Oumé, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire : effets sur les caractéristiques chimiques des sols. *Biotechnologie Agronomie Société Environnement*, 15 (1) (2011) 109 - 117 p.
- [28] - S. A. AYANLAJA et J. O. SANWO, Management of soil organic matter in farming systems of the lowland humid trop of West Africa. *Soil Technologie*, 4 (1991) 265 - 279 p.
- [29] - E. I. MOYIN-JESU, Use of plant residue for improving Soil fertility, pod nutrients, root growth and pod weight of okra (*Abelmoschus esculentum* L). *Bioresource Technologie*, 98 (2007) 2057 - 2064 p.
- [30] - A. H. D. ABOBI, K. T. P. ANGUI et Y. J. KOUADIO, Influence de la fertilisation à base des coques de cacao sur les paramètres chimiques d'un Ferralsol et sur la croissance du maïs à Oumé Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 82 (2014) 7359 - 7371 p.
- [31] - H. K. ADU-DAPAAH, J. COBBINA et E. O. ASARE, Effect of cocoa pod ash on the growth of maize. *Journal Agriculture Sciences*, Cambridge, 132 (1994) 31 - 32 p.
- [32] - C. LEPOITEVIN, M. NUVILLE, A. BOULLENGER et N. MAGUET, Le cacao : vers un système plus durable ? Horticulture dans les pays en voie de développement. Angers, France : ENSHA, (2003)
- [33] - CCC. Conseil Café Cacao. Journées nationales du cacao et du chocolat 4^e édition des journées nationales du cacao et du chocolat Abidjan (JNCC), Evolution de la filière café-cacao de 2012 à 2017, 60 (2017) 30 p.

- [34] - AGRISTAT, Statistiques agricoles : superficies, productions et prix des principales cultures des 20 dernières années, N° 7. Ministère de l'Agriculture, Division des études et projets, Yaoundé, Cameroun, (2002) 25 p.
- [35] - S. ABIVEN, Relations entre caractéristiques des matières organiques apportées, dynamique de leur décomposition et évolution de la stabilité structurale du sol. Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de rennes, France, (2004) 262 p.
- [36] - M. ANNABI, Stabilisation de la structure d'un sol limoneux par des apports de composts d'origine urbaine : relation avec les caractéristiques de leur matière organique. Thèse de doctorat de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon, France, (2005) 280 p.
- [37] - CNRA. Données pluviométriques de la station CNRA de Gagnoa. Communication personnelle de la station, (2005)
- [38] - J. M. ANDERSON et J. S. I. INGRAM, Tropical soil biology and fertility. A Handbook of Methods. 2^e Edition. Wallingford-CAB international, (1993) 221 p.
- [39] - K. P. KOUADIO, K. E. YOBOUE, N. TOURE, C. M. BEUGRE, K. F. AKA, K. J. KOUAKOU et A. YAO-KOUAME, Effet des téguments de fèves de cacao sur la fertilité chimique d'un Ferralsol et quelques paramètres de croissance du manioc, à Ahoué, Sud-Est Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 121 (2018) 12144 - 12156 p.
- [40] - S. Y. USENI, K. M. CHUKIYABO, K. J. TSHOMBA, M. E. MUYAMBO, K. P. KAPALANGA, N. F. NTUMBA, A. K. P. KASANGIJ, K. KYUNGU, L. L. BABOY, K. L. NYEMBO et M. M. MPUNDU, Utilisation des déchets humains recyclés pour l'augmentation de la production du maïs (*Zea mays L.*) sur un ferralsol du sud-est de la RD Congo. *Journal of Applied Biosciences*, 66 (2013) 5070 - 5081 p.