



Caractérisation morpho-pédologique et contraintes au développement de *Lippia multiflora* sur deux sols tropicaux de Côte d'Ivoire.

N'GUESSAN Kouamé Antoine^{1*}, DIARRASSOUBA Nafan¹, KONE Brahim², ALUI Konan Alphonse¹ et YAO-Kouamé Albert²

¹ UFR des Sciences Biologiques. Université Peleforo Gon Coulibaly, Korbogo. Côte d'Ivoire.

² UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières. Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan-Cocody.

Auteur correspondant :* N'GUESSAN Kouamé Antoine. **Cel** : (225) 07426965, nguessanantoine1@yahoo.fr; BP 1328 Korbogo.

Mots clés : Sol, Acidité, potentiel agricole, *Lippia multiflora*, Côte d'Ivoire.

Keywords : Soil, acidity, agricultural potentiality, Côte d'Ivoire.

1 Résumé

La présente étude a été réalisée pour relever les principales contraintes au potentiel agricole des sols de deux parcelles expérimentales situées dans les localités de Toumodi et d'Azaguié en vue de formuler des recommandations relatives à leur amélioration pour une bonne croissance et développement des plants de *Lippia multiflora*. Sur chacun des deux sites, une fosse pédologique de 120 cm de profondeur a été ouverte, décrite et un total de 16 échantillons de sols ont été prélevés et convoyés au laboratoire pour les analyses courantes. Les résultats obtenus montrent que le sol du site expérimental d'Azaguié est caractérisé par une texture fine argileuse (70 % d'argile), une acidité élevée (pH = 5,2) et une accumulation de matières organiques dans les couches de surface. Par contre, sur la station de recherche de Toumodi (Blé), le sol est très riche en sable (83 %), notamment en sable grossiers (60,33 %) et est affecté par un phénomène d'hydromorphie en profondeur. Au regard de ces résultats, il serait intéressant de rehausser le pH du sol d'Azaguié par la pratique d'amendement. Cela contribuerait à améliorer ses propriétés physiques et à mobiliser certains éléments chimiques nécessaires pour les plants de *Lippia multiflora*. Au niveau de la station de recherche de Toumodi (Blé), l'apport de fumure organique au sol s'avère nécessaire pour permettre la constitution d'un complexe argilo-humique qui assurera une stabilité structurale.

ABSTRACT

This study was conducted to identify key constraints to agricultural soil potential of two experimental plots located in Toumodi and Azaguié and to make recommendations for their improvement for proper growth and development of *Lippia multiflora*. The results indicate that Azaguié's soil is characterized by a fine texture clay (70 % clay), a high acidity (pH = 5.2) and an accumulation of organic matter in the surface layers. At Toumodi (Blé), soil is very rich in sand (83%), especially in coarse sand (60.33%) and is affected by a phenomenon of waterlogging in depth. Considering these results, it would be interesting to raise the soil pH of Azaguié by the practice of liming. This would help to improve its physical properties and mobilize chemical elements necessary for the plant. At the level of Toumodi (Blé), the

contribution of organic manure on the ground is necessary to allow the formation of a clay-humic complex that will provide structural stability.

2 INTRODUCTION

Lippia multiflora (figure 1) est une plante aromatique qui pousse spontanément et préférentiellement dans les zones de savanes de l'Afrique subtropicale (Eyog *et al.*, 2000 ; N'guessan, 2012). Elle est utile grâce à ses feuilles dont la tisane ou l'infusion peut être consommée comme thé ou sous forme de boisson chaude au petit déjeuner, au déjeuner et au dîner (N'guessan et Yao-Kouamé, 2010). Les travaux indiquent également que l'huile essentielle des feuilles de *Lippia multiflora* possède des propriétés antipaludéennes (Bénoit *et al.*, 1996), antioxydantes (Agnaniet *et al.*, 2005), anti hypertensives (Etou-Ossibi *et al.*, 2005), anti-diarrhéiques (Oussou *et al.*, 2008), cosmétiques (Yang *et al.*, 2004) et pesticides (Kunle *et al.*, 2003). Malgré ce gros potentiel, les feuilles de *Lippia multiflora* demeure toujours un produit de cueillette vendu sur les marchés en Côte d'Ivoire (figure 1), y compris dans quelques grandes surfaces à Abidjan (N'guessan et Yao-Kouamé, 2010). Il est alors impérieux d'entreprendre des travaux de recherche sur *Lippia multiflora* afin de contribuer à définir un itinéraire technique performant en culture pure

ou associée. La pratique d'une agriculture durable implique la compréhension de la relation entre le peuplement végétal cultivé et la qualité du sol. Car, ces deux facteurs déterminent l'efficacité et la durabilité du système de culture. Cependant, en région tropicale humide, la mise en valeur des terres rencontre des difficultés liées souvent à l'inadéquation des pratiques culturales au regard des caractéristiques des sols (Mbonigaba *et al.*, 2009 ; Nangah *et al.*, 2012). Dès lors, la connaissance et la maîtrise des caractères physiques et chimiques du sol d'une parcelle de culture constituent un préalable à une bonne pratique agricole. C'est pourquoi, cette étude a été initiée pour faire l'état des potentialités agricoles des sols des sites expérimentaux de *Lippia multiflora* en vue d'apprécier leur aptitude culturale. Il s'agit plus spécifiquement d'évaluer les caractéristiques physiques et chimiques actuelles des sols des deux sites d'étude ; de relever les principales contraintes à la productivité de ces sols et de formuler des recommandations relatives à leur amélioration et exploitation durable.



Feuilles

(a)



Feuilles sèches

(b)



Sachets sertis de
feuilles sèches

(c)

Figure 1 : Vue d'un plant de *Lippia multiflora* et quelques modes de conditionnement des feuilles (a= souche sauvage de *Lippia multiflora*, b = sachets de feuilles sèches en vente chez une détaillante ; c = sachets sertis (20 g) de feuilles sèches dans un rayon d'un hypermarché à Abidjan

3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1. Milieu d'étude : Les travaux de recherche ont été menés dans les localités de Toumodi (zone de contact forêt/savane) et d'Azaguié (zone de forêt), respectivement au centre-sud et au sud de la Côte d'Ivoire. La localité de Toumodi baigne dans le climat baouléen, caractérisé par quatre (4) saisons dont deux (2) saisons sèches et deux (2) saisons de pluie. Les travaux ont été réalisés à Blé, situé à environ 6 km de la ville de Toumodi. Ce village se localise dans le degré carré de Dimbokro 1, géographiquement délimité par les coordonnées 6°00 à 6°30 de latitude nord et 4°30 à 5°00 de longitude ouest (Yao-Kouamé et Allou, 2008). Le milieu naturel de la zone d'étude est une savane herbeuse, parsemée d'arbustes. Les sols de cette zone sont issues de l'altération de matériaux

du complexe volcano-sédimentaire du Birimien constitués essentiellement de tufs, de quartzites, de granodiorites etc. S'agissant de la localité d'Azaguié, elle est située dans la zone forestière à 40 km au Nord d'Abidjan entre les coordonnées 5°35 et 6°15 de latitude Nord et 3°55 et 4°40 de longitude Ouest (Roose et Godefroy, 1977). Cette localité appartient au climat tropical humide de type Attiéen. Il se caractérise par l'existence de deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches. La majeure partie des sols de cette localité appartient à la classe des sols ferrallitiques (Ferralsols) développés sur schiste Birimien de type arkosique ou parfois du schiste bariolé riche en silice (Tamia *et al.*, 1999) ou encore de schiste vert (Roose et Godefroy, 1977). Le site expérimental est situé à environ 5 km au Sud-est

d'Azaguié, sur l'axe Anyama-Adzopé. La végétation naturelle est une forêt secondaire, composée

d'arbustes (figure 2).

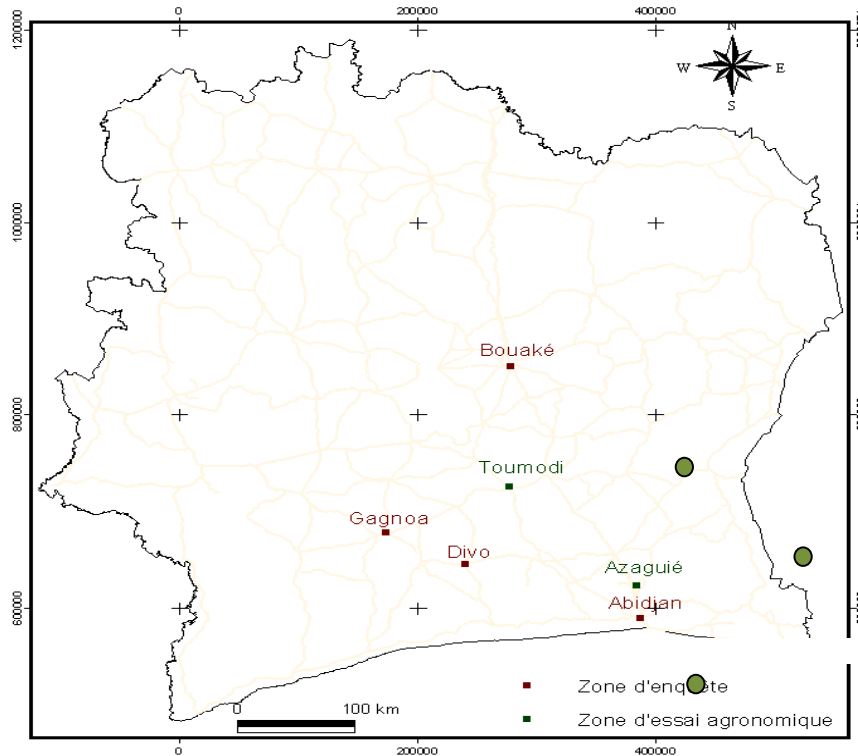


Figure 2 : Localisation des différents sites d'étude

3.2. Caractérisation morpho-pédologique des sites d'étude : Sur chacun des deux sites d'étude, une fosse pédologique de 120 cm de profondeur, longue de 1 m et large de 80 cm a été ouverte. Ces deux fosses ont été orientées de manière à ce que la face qui va servir à la description soit éclairée au coucher du soleil. Ces fosses pédologiques ont été décrites horizon par horizon à l'aide de matériel de prospection pédologique (figure 3) suivant l'approche de l'Office de Recherche Scientifique et Technique Outre Mer (ORSTOM). Les variables étudiées sont : la couleur, la teneur en matière organique, l'état d'humidité du sol, la texture, la charge en éléments grossiers, la structure générale, la cohésion générale, la porosité, la classe de drainage, le type d'horizon etc. Les études effectuées en Côte d'Ivoire par N'guessan (2005 ; 2007 et 2012) et Yao-Kouamé et Allou (2008) ont indiqué que la majeure partie des racines de plants de *Lippia multiflora* se rencontre dans les horizons de surface du sol sur la couche 0 - 30 cm.

Aussi, compte tenu du fait que les changements sous les systèmes de culture se font plus rapidement dans la couche superficielle (Azontonde et *al.*, 1998 ; Koutika et *al.*, 2001 ; Koné, 2009), nous avons considéré, dans le cas de cette étude, les couches (0 - 20 cm) et (20 - 40 cm) comme niveaux de prélèvement d'échantillons de sol pour les analyses chimiques en laboratoire. Au total, sur chacun des deux sites d'étude, 4 échantillons composites de sol ont été prélevés au niveau des couches (0 - 20 cm) et (20 - 40 cm), correspondant à 8 échantillons ; soit un total de 16 échantillons pour les analyses au laboratoire.

3.3. Analyses chimiques de laboratoire : Les échantillons de sol ont d'abord été séchés sur du papier journal, à la température ambiante du laboratoire. Sur ces échantillons, l'analyse granulométrique a été effectuée par la méthode densimétrique à l'aide de la pipette de Robinson (Gee et Bauder, 1986).

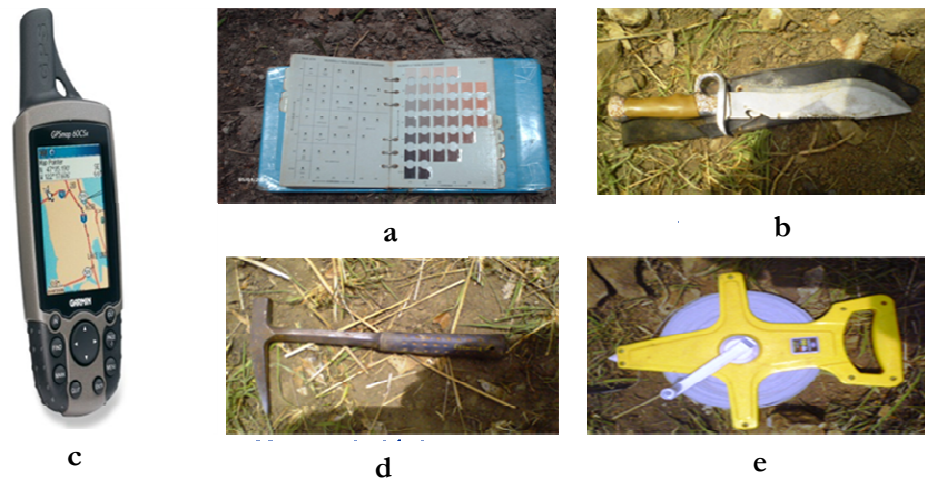


Figure 3 : Quelques matériels de prospection pédologique (**a** = Code Munsell ; **b** = Couteau de pédologue ; **c** = GPS de type Garming CS x 60 ; **d** = Marteau de géologue ; **e** = mètre ruban)

Cinq classes granulométriques ont été séparées : argiles (0-2 μm) ; limons fins (2-20 μm) ; limons grossiers (20-50 μm) ; sables fins (50-200 μm) ; sables grossiers (200-2000 μm). La mesure de pH eau a été effectuée par électrométrie, dans une suspension de sol dans l'eau dans un rapport de 1/2,5. Le carbone organique (C) a été dosé selon la méthode de Walkley et Black (1934), le résultat a été converti en matière organique (MO) en utilisant le facteur 1,724 ($\text{MO} = \text{C} \times 1,724$). Quant à l'azote total, il a été déterminé par la méthode Kjeldahl (Bremner, 1996). Les bases échangeables et la capacité d'échange cationique ont été dosées dans une solution d'extraction à l'acétate d'ammonium (CH_3COOH 1N) tamponnée à pH 7 (Thomas, 1982). Le Phosphore assimilable a été déterminé par la méthode Olsen modifié Dabin. Quant au phosphore total, il a été déterminé par colorimétrie,

4. RÉSULTATS

4.1. Caractères morphologiques des sols :

Sur le site expérimental d'Azaguié, les horizons de surface sont humifères, bien drainés, de colorations brunes tachetés ocres (10YR 6/3), cohérents, peu poreux, avec une texture argileuse (plus de 75 % d'argile), tandis que ceux de profondeur sont apparemment non humifères, argileux et riches en éléments grossiers (> 70 %). Dans ce profil, les couches de profondeur sont caractérisées par un mauvais drainage (classe de drainage = 6,8) exprimé

après extraction à l'acide perchlorique (Olsen et Sommers, 1982).

3.4. Analyses statistiques : La comparaison des moyennes des données granulométriques, physico-chimiques et chimiques du sol de chacun des sites d'étude a été réalisée par l'analyse de la variance (ANOVA), au seuil de probabilité 5 %. Lorsqu'une différence significative est notée entre les facteurs considérés pour un caractère donné, le test de la plus petite différence significative (ppds) a été réalisé. Enfin, une Analyse en Composantes Principales (ACP) normées, appliquée entre les différentes variables du sol a permis de mettre en évidence les différentes interactions qui existent entre elles. La projection de l'ensemble des individus sur les plans des axes 1 et 2 a permis d'apprécier la dispersion des individus et de mieux comparer leur variabilité. Tous ces tests statistiques ont été réalisés à l'aide du logiciel STATISTICA 7.1.

par des tâches ocres rouilles (5YR 6/9) et jaunâtres (5YR 5/6). La structure du sol est polyédrique à tendance grumeleuse dans les horizons de surface, alors qu'elle est induite par les éléments grossiers en profondeur (75 %). De nombreuses racines millimétriques et centimétriques se rencontrent, principalement dans les horizons de surface, caractérisés par une forte activité biologique (annélides et termites). Sur la station de recherche de Blé, le sol est affecté par un phénomène



d'hydromorphie en profondeur. Les horizons constitutifs du profil observé sont de type A. Dans les couches de surface, le sol est humifère, peu cohérent à meuble, de coloration brun grisâtre (2,5YR 4/1; 2,5YR 4/3), avec une texture grossière riche en sables. Par contre, celles de profondeur sont apparemment non humifères, sableuses, poreuses, et caractérisées par un mauvais drainage exprimé par des colorations bruns beiges (7,5YR 6/8 ; 7,5YR 7/6), tachetées ocre rouilles (10YR 6/4 ; 7,5YR 5/6). La structure du sol est massive à tendance particulaire, aussi bien en surface qu'en profondeur. La surface du sol est caractérisée par la présence de nombreuses turricules de vers de terre, traduisant une forte activité biologique en surface.

4.2 . Caractéristiques physiques, physico-chimiques et chimiques des sols : Le Tableau 1 présente les résultats des analyses physiques, physico-chimiques et chimiques effectuées sur les échantillons de sol. Ce tableau révèle l'existence d'une différence significative entre la composition granulométrique du sol d'Azaguié et celle du sol de Blé. En effet, le sol d'Azaguié est significativement plus riche en argile (70,21 %) par rapport au sol de la station de recherche de Blé (7,03 %) qui, au contraire, est très pourvu en sables et notamment en sables grossiers (60,33 %). Le sol d'Azaguié est donc de texture fine, très argileuse, tandis que celui de Blé est de texture sablo-limoneux, majoritairement constitué de sables grossiers. Ce tableau indique que le sol est faiblement acide ($5,93 < \text{pH} < 6,02$) à Blé, tandis qu'il est acide ($5,36 < \text{pH} < 5,22$) à Azaguié. Pour ce qui est de la matière organique total, sa teneur est significativement plus importante dans le sol du site d'Azaguié (5,78 g.kg⁻¹) par rapport à celui du site de Blé (1,48 g.kg⁻¹). De plus, cette teneur diminue avec la profondeur, notamment au niveau du sol du site expérimental d'Azaguié. En effet, sur ce site, la couche de surface du sol est significativement plus riche en carbone total (5,78 g.kg⁻¹) que celle de

profondeur (3,38 g.kg⁻¹) tandis que sur la station de recherche de Blé, la teneur en carbone total du sol reste statistiquement identique dans les deux couches, respectivement 1,48 et 1,42 g.kg⁻¹. Le tableau révèle également que la teneur en azote total est très faible ($N < 0,5$ g.kg⁻¹) aussi bien dans le sol d'Azaguié (0,11 g.kg⁻¹ et 0,05 g.kg⁻¹) que dans celui de la station de recherche de Blé (0,29 g.kg⁻¹ et 0,15 g.kg⁻¹). Néanmoins, dans la couche de surface, le sol de la station de recherche de Blé est relativement plus pourvu en azote (0,29 g.kg⁻¹) que celui du site d'Azaguié (0,11 g.kg⁻¹). En conséquence, la vitesse de décomposition de la matière organique est rapide dans le sol de la station de recherche de Blé ($6,45 < C/N < 9,19$) et très lente dans le sol du site expérimental d'Azaguié ($C/N > 50$).

Pour ce qui est du complexe absorbant, le sol du site expérimental d'Azaguié est caractérisé par une capacité d'échange cationique (5,41 et 5,26 cmol.kg⁻¹) correspondant à la normale ($3 < \text{CEC} < 8$), et une faible teneur ($1,5 < \text{SBE} < 3$) en bases échangeables (2,72 et 1,88 cmol.kg⁻¹). Dans ce sol, le complexe d'échange est moyennement saturé ($V = 50,27 \% > 50 \%$) dans la couche de surface alors qu'il est fortement désaturé ($V = 35,66 < 50 \%$) en profondeur. En revanche, le sol de la station de recherche de Blé se singularise par une capacité d'échange cationique relativement forte (14,45 et 11,56 cmol.kg⁻¹), une faible teneur en bases échangeables (2,61 et 2,10 cmol.kg⁻¹) et une très forte désaturation ($V = 18,01 < 50 \%$) du complexe d'échange. Les résultats montrent également que le sol du site expérimental d'Azaguié est faiblement pourvu en calcium (1,72 et 1,32 cmol.kg⁻¹), en magnésium (0,94 et 0,52 cmol.kg⁻¹) et en potassium (0,06 et 0,04 cmol.kg⁻¹). Il en est de même pour le sol de la station de recherche de Blé, hormis le magnésium (1,27 et 1,01 cmol.kg⁻¹) dont la teneur est optimale ($1 < \text{Mg} < 1,5$ cmol.kg⁻¹).

Tableau 1: Résultat d'analyses physiques, physico-chimiques et chimiques

| Types d'analyses | Azaguié | | Toumodi (Blé) | | Statistique | |
|---------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|----------|
| | 0 - 20 cm | 20 - 40 cm | 0 - 20 cm | 20 - 40 cm | <i>F</i> | <i>P</i> |
| Analyses physiques | | | | | | |
| Argile | 70,21 ± 0,009 ^b | 72,28 ± 0,015 ^b | 7,03 ± 1,01 ^a | 8,79 ± 1,27 ^a | 203,32** | <0,0001 |
| Limon fin | 8,29 ± 0,15 ^b | 8,76 ± 0,02 ^b | 4,02 ± 0,23 ^a | 4,66 ± 0,26 ^a | 16,27** | <0,0001 |



| | | | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------|---------|
| Limon grossier | 4,11 ± 0,19 ^a | 3,53 ± 0,008 ^a | 5,38 ± 0,37 ^b | 4,52 ± 0,31 ^{ab} | 0,89** | 0,0022 |
| Sable fin | 8,20 ± 0,008 ^a | 8,06 ± 0,014 ^a | 22,83 ± 0,77 ^b | 21,92 ± 0,75 ^b | 23,37** | <0,0001 |
| Sable grossier | 9,17 ± 0,007 ^a | 7,37 ± 0,019 ^a | 60,33 ± 2,06 ^b | 62,75 ± 2,14 ^b | 42,79** | <0,0001 |
| Analyses physico-chimiques | | | | | | |
| pH eau | 5,36 ± 0,04 ^a | 5,22 ± 0,07 ^a | 5,93 ± 0,06 ^b | 6,02 ± 0,02 ^b | 3,79** | <0,001 |
| C (g.kg ⁻¹) | 5,78 ± 0,005 ^c | 3,38 ± 0,01 ^b | 1,48 ± 0,15 ^a | 1,42 ± 0,15 ^a | 37,34** | <0,001 |
| N (g.kg ⁻¹) | 0,11 ± 0,006 ^{ab} | 0,05 ± 0,003 ^a | 0,29 ± 0,09 ^b | 0,15 ± 0,003 ^{ab} | 0,36** | 0,047 |
| C / N | 51,85 ± 2,74 ^b | 64,84 ± 2,90 ^c | 6,45 ± 1,06 ^a | 9,19 ± 1,66 ^a | 17,78** | <0,001 |
| P (mg.kg ⁻¹) | 229,08 ± 4,18 ^a | 214,75 ± 0,48 ^a | 490,33 ± 17,48 ^c | 397,17 ± 14,16 ^b | 13,65** | <0,001 |
| Complexe adsorbant | | | | | | |
| CEC (cmol.kg ⁻¹) | 5,41 ± 0,01 ^a | 5,26 ± 0,01 ^a | 14,45 ± 0,54 ^c | 11,56 ± 0,43 ^b | 17,33** | <0,001 |
| SBE (cmol.kg ⁻¹) | 2,72 ± 0,01 ^c | 1,88 ± 0,01 ^a | 2,61 ± 0,23 ^{bc} | 2,10 ± 0,18 ^{ab} | 0,76** | 0,004 |
| V (%) | 50,27 ± 0,12 ^c | 35,66 ± 0,26 ^b | 18,01 ± 1,13 ^a | 18,07 ± 1,13 ^a | 36,55** | <0,001 |
| Ca (cmol.kg ⁻¹) | 1,72 ± 0,01 ^b | 1,32 ± 0,01 ^{ab} | 1,21 ± 0,22 ^{ab} | 0,97 ± 0,17 ^a | 0,48* | 0,02 |
| Mg (cmol.kg ⁻¹) | 0,94 ± 0,01 ^b | 0,52 ± 0,01 ^a | 1,27 ± 0,03 ^c | 1,01 ± 0,02 ^b | 23,58** | <0,001 |
| K (cmol.kg ⁻¹) | 0,06 ± 0,01 ^a | 0,04 ± 0,01 ^a | 0,11 ± 0,01 ^b | 0,09 ± 0,01 ^b | 3,64** | <0,001 |
| Oligo-éléments | | | | | | |
| Fe (g.kg ⁻¹) | 32,67 ± 0,85 ^b | 29,58 ± 1,03 ^b | 18,43 ± 2,10 ^a | 17,69 ± 2,02 ^a | 2,28** | <0,001 |
| Mn (g.kg ⁻¹) | 18,67 ± 0,62 ^a | 16,50 ± 1,04 ^a | 48,50 ± 9,17 ^b | 48,50 ± 9,18 ^b | 0,75** | <0,001 |
| Zn (g.kg ⁻¹) | 3,67 ± 0,24 ^b | 3,25 ± 0,25 ^b | 0,83 ± 0,25 ^a | 0,83 ± 0,26 ^a | 3,89** | <0,001 |

Néanmoins, le sol du site de Blé est relativement plus pourvu en magnésium et en potassium que celui d'Azaguié qui contient plus de calcium. S'agissant des oligo-éléments, les résultats indiquent que les deux types de sol sont carencés en Zinc (Zn < 5 g.kg⁻¹). Mais, ils sont restés largement au dessus du seuil de carence pour le Fer (Fe > 10 g.kg⁻¹) et le Manganèse (Mn > 8 g.kg⁻¹). La comparaison de ces sols révèle que celui d'Azaguié contient significativement plus de Fer (32,67 g.kg⁻¹) et de Zinc (3,67 g.kg⁻¹) que le sol du site de Blé qui en revanche, est plus pourvu en Manganèse (48,50 g.kg⁻¹).

4.3. Équilibres entre minéraux des deux types de sol: Les valeurs du rapport Ca / Mg (Tableau 2) correspondent à l'optimale (1,5 < Ca/Mg < 5) dans le sol du site expérimental d'Azaguié (1,83), tandis qu'elles sont très faibles (Ca/Mg < 1) dans le sol de la station de recherche de Blé (0,95). Ce résultat suggère qu'il y a équilibre entre le calcium et le magnésium dans le sol d'Azaguié, alors que le calcium est déficient par rapport au magnésium dans le sol de la station de recherche de Blé.

Tableau 2: Équilibres entre minéraux des deux types de sol.

| Paramètres | Azaguié | | Toumodi (Blé) | |
|--------------|-----------|------------|---------------|------------|
| | 0 - 20 cm | 20 - 40 cm | 0 - 20 cm | 20 - 40 cm |
| Ca/Mg | 1,83 | 2,54 | 0,95 | 0,96 |
| Mg/K | 15,67 | 13 | 11,55 | 10,63 |



| | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| Ca/K | 28,67 | 33 | 11 | 10,21 |
| K/(Ca+Mg) | 0,023 | 0,022 | 0,044 | 0,048 |
| K/CEC | 0,011 | 0,008 | 0,008 | 0,008 |

Ce tableau révèle également que les valeurs du rapport Mg/K sont très élevées ($Mg/K > 4$) dans les sols des deux sites d'étude. Dans ces sols, le magnésium est en excès par rapport au potassium. Cela est plus marqué dans le sol du site d'Azaguié que dans celui du site de Blé. Les valeurs du rapport Ca/K sont très élevées ($Ca/K > 12$) dans le sol d'Azaguié (28,67) alors qu'elles correspondent à l'optimale ($6 < Ca/K < 12$) dans le sol du site de Blé (11,00 et 10,21). Il résulte de ce qui précède que le calcium est en excès par rapport au potassium dans le sol d'Azaguié, tandis qu'il existe un équilibre entre ces deux éléments dans le sol de la station de recherche de Blé. Par ailleurs, les valeurs des rapports $K/(Ca+Mg)$ et K/CEC sont très faibles ($(K/(Ca+Mg) < 2$ et $K/CEC < 2$) dans les deux types de sol. Le potassium est déficient par rapport à la somme du calcium et du magnésium sur le complexe adsorbant des deux types de sol.

4.4 . Relation entre les paramètres granulométriques, physico-chimiques et chimiques du sol de chacun des sites d'étude.

4.4.1. Analyse des matrices de corrélation :

Une synthèse des matrices de corrélation multiple des paramètres pris en considération au niveau de chacun des sols étudiés, est présentée dans les tableaux 3 et 4. L'analyse de ces tableaux montre plusieurs niveaux de corrélation entre les différentes variables. Au niveau du sol du site expérimental d'Azaguié (tableau 3), l'argile est fortement et positivement corrélée au pH ($r = 0,81$) tandis qu'il

est négativement corrélé à la somme des bases échangeables ($r = -0,96$) et au taux de saturation en bases ($r = -0,85$). On observe une corrélation positive entre sable grossier et magnésium ($r = 0,75$), pH et N ($r = 0,87$), pH et Ca ($r = 0,84$), carbone organique et Fer ($r = 0,81$), azote et Calcium ($r = 0,97$), C/N et P ($r = 0,88$) et C/N et CEC ($r = 0,99$). De fortes corrélations négatives ont été notées entre sable fin et C/N ($r = -0,78$), sable fin et CEC ($r = -0,81$), sable grossier et carbone organique ($r = -0,84$), sable grossier et fer ($r = -0,92$), pH et C/N ($r = -0,87$), pH et Pt ($r = -0,96$), pH et CEC ($r = -0,87$), pH et SBE ($r = -0,75$), pH et K ($r = -0,82$), carbone organique et Mg ($r = -0,92$), azote et C/N ($r = -0,99$), azote et CEC ($r = -1,00$), C/N et Ca ($r = -0,98$) et CEC et Ca ($r = -0,97$). Au niveau du sol de la station de recherche de Blé (tableau IV), l'argile est corrélée positivement au limon fin ($r = 0,99$), au carbone organique ($r = 0,98$), à l'azote total ($r = 0,95$), à la somme des bases échangeables ($r = 0,87$), au taux de saturation du complexe ($r = 0,98$) et au calcium ($r = 0,81$) tandis qu'elle est négativement corrélée au sable grossier ($r = -0,85$), au pH ($r = -0,90$) et au rapport carbone-azote ($r = -0,88$). Dans le même ordre, le sable grossier est positivement corrélé au pH ($r = 0,99$) alors qu'il est négativement corrélé au carbone organique ($r = -0,73$), à la capacité d'échange cationique ($r = -0,83$), à la somme des bases échangeables ($r = -0,99$), au taux de saturation du complexe ($r = -0,94$) et au calcium ($r = -0,99$).

Tableau 3: Corrélations entre les caractéristiques du sol du site expérimental d'Azaguié avant l'expérimentation.

| Source de variation | Coefficients de corrélation "r" |
|---------------------|---------------------------------|
| A - pH | 0,81 |
| A - SBE | -0,96 |
| A - SBE/CEC | -0,85 |
| Sf - C/N | -0,78 |
| Sf - CEC | -0,81 |
| Sg - C | -0,84 |



| | |
|-----------|-------|
| Sg - Mg | 0,75 |
| Sg - Fe | -0,92 |
| pH - N | 0,87 |
| pH - C/N | -0,87 |
| pH - Pt | -0,96 |
| pH - CEC | -0,87 |
| pH - SBE | -0,75 |
| pH - Ca | 0,84 |
| pH - K | -0,82 |
| C - Mg | -0,92 |
| C - Fe | 0,81 |
| C - Mn | 0,94 |
| N - C/N | -0,99 |
| N - CEC | -1 |
| N - Ca | 0,97 |
| C/N - Pt | 0,88 |
| C/N - CEC | 0,99 |
| C/N - Ca | -0,98 |
| CEC - Ca | -0,97 |

Tableau 4 : Corrélations entre les caractéristiques du sol de la station de recherche du village de Blé avant l'expérimentation.

| Source de variation | Coefficient de corrélation "r" |
|---------------------|--------------------------------|
| A - Lf | 0,99 |
| A - Sg | -0,85 |
| A - pH | -0,9 |
| A - C | 0,98 |
| A - N | 0,95 |
| A - C/N | -0,88 |
| A - SBE | 0,87 |
| A - V | 0,98 |
| A - Ca | 0,81 |



| | |
|----------|-------|
| Sg - pH | 0,99 |
| Sg - C | -0,73 |
| Sg - CEC | -0,83 |
| Sg - SBE | -0,99 |
| Sg - V | -0,94 |
| Sg - Ca | -0,99 |
| | |
| pH - C | -0,79 |
| pH - N | -0,72 |
| pH - CEC | -0,78 |
| pH - SBE | -0,99 |
| pH - V | -0,96 |
| pH - Ca | -0,98 |
| | |
| C - N | 0,99 |
| C - C/N | -0,96 |
| C - Fe | 0,84 |
| C - SBE | 0,74 |
| C - V | 0,92 |
| C - Ca | 0,67 |
| C - Mg | 0,82 |
| C/N - N | -0,98 |
| C/N - V | -0,76 |

Au niveau du pH, les résultats du tableau IV indiquent qu'il est négativement corrélé au carbone organique ($r = -0,79$), à l'azote ($r = -0,72$), à la capacité d'échange cationique ($r = -0,78$), à la somme des bases échangeables ($r = -0,99$), au taux de saturation en bases ($r = -0,96$) et au calcium ($r = -0,98$). Dans ce sol, le carbone organique est positivement corrélé à l'azote total ($r = 0,99$), à la somme des bases échangeables ($r = 0,74$), au taux de saturation en bases ($r = 0,92$), au calcium ($r = 0,67$), au magnésium ($r = 0,82$) et au fer ($r = 0,84$) alors qu'il est corrélé négativement au rapport carbone-azote ($r = -0,96$). Les résultats indiquent également que le rapport C/N est négativement corrélé à l'azote ($r = -0,98$) et au taux de saturation en bases.

4.4.2. Analyse dans le plan factoriel $F_1 \times F_2$ de l'espace des variables des deux types du sol : L'Analyse en Composantes Principales (ACP) normée appliquée aux paramètres de chacun des sols étudiés a permis de mettre en évidence les

différentes interactions qui existent entre eux (figures 4 et 5). Au niveau du sol du site expérimental d'Azaguié, les résultats de l'analyse dans l'espace des variables montrent que les deux premiers facteurs expriment 82,96 % de la variance totale. Pour cette raison, la projection du nuage de points a été faite dans le plan des axes 1 et 2. Le facteur 1 est défini par deux groupes de variables G_1 et G_2 . Le groupe G_1 est constitué de l'azote (N), du pH, du calcium (Ca) et, dans une moindre mesure, de l'argile (A) tandis que le groupe G_2 comprend le rapport carbone/azote (C/N), la capacité d'échange cationique (CEC), le zinc (Zn), le phosphore total (P) et la somme des bases échangeables (S). Le groupe G_1 exprime l'acidité actuelle du sol. Elle est l'inverse de l'acidité potentielle ou somme des ions H^+ fixés, représentant l'« insaturation » du complexe qui, elle-même, est la différence entre la capacité totale d'échange (CEC) et la somme des bases échangeables (S) comme l'indiquent les constituants du groupe G_2 de la figure 4. Le sol du site

expérimental d'Azaguié a donc tendance à s'acidifier.

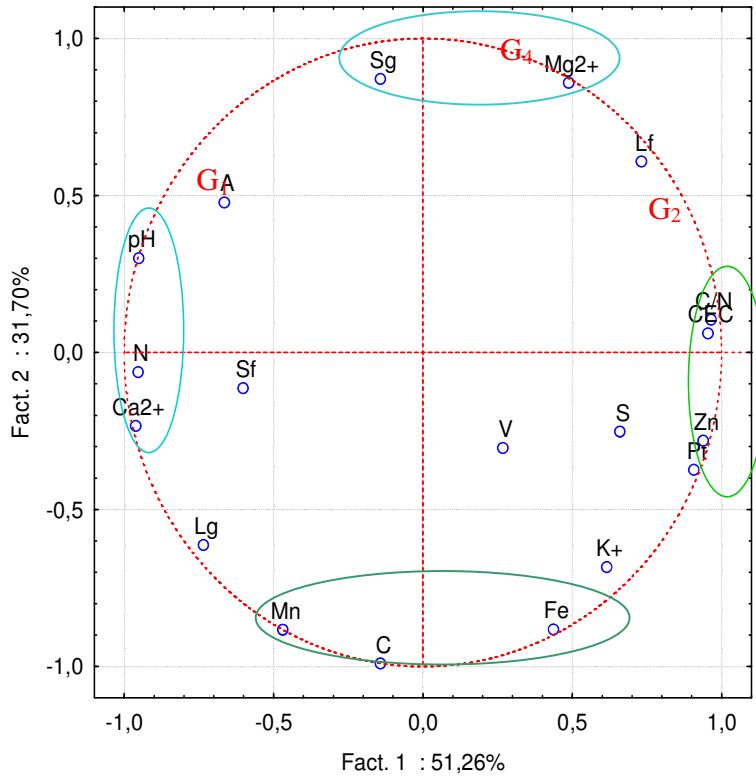
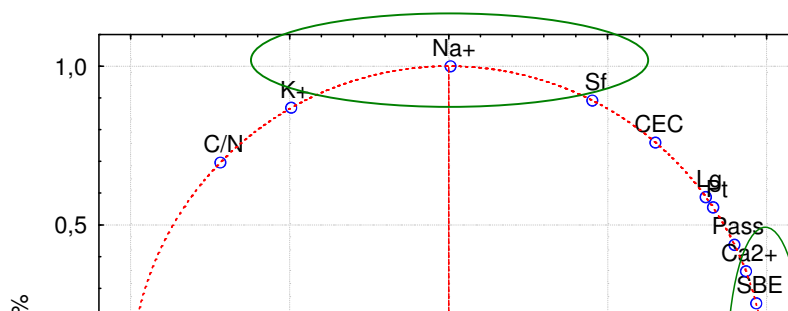


Figure 4 : ACPN des caractéristiques du sol du site expérimental d'Azaguié : Espace des variables dans le plan factoriel F₁-F₂.

Cette acidification porte à la fois sur le complexe et sur la solution. De ce fait, le facteur 1 représente l'acidification du sol. Le taux de saturation en bases reste indépendant vis-à-vis de cet axe. Le facteur 2 est défini par deux groupes de variables inverses G₃ et G₄. Le groupe G₃ est composé du carbone organique (C), du fer (Fe) et du manganèse (Mn) tandis que le groupe G₄ comprend le magnésium (Mg) et le sable grossier. Ainsi, l'excès d'ions H⁺ dans le sol et sa faible teneur en magnésium freinent la décomposition des matières organiques et limitent leur humification. Faute d'humus, la floculation de l'argile est insuffisante pour assurer la stabilité des agrégats. Pour cette raison, le facteur 2 représente la possibilité pour le magnésium d'améliorer les propriétés chimiques et biologiques du sol en neutralisant les ions H⁺ fixés, accélérant

ainsi la décomposition des matières organiques et induisant la floculation de l'argile et de l'humus. Au niveau du sol de la station de recherche de Blé, les résultats de l'analyse dans l'espace des variables (Figure 5) montrent également que les deux premiers facteurs expriment précisément 99,99 % de la variance totale, ce qui est très satisfaisant pour effectuer cette analyse. Pour cette raison, la projection du nuage de points a donc été faite dans le plan des axes 1 et 2. Le facteur 1 est défini par deux groupes de variables G₁ et G₂. Le groupe G₁ comprend le pH et le sable grossier (Sg) alors que le groupe G₂ est constitué de la somme des bases échangeables (SBE), du taux de saturation en bases (V), de l'aluminium échangeable (Al³⁺), de l'argile (A), du limon fin (Lf) et, dans une moindre mesure, du carbone organique (C).



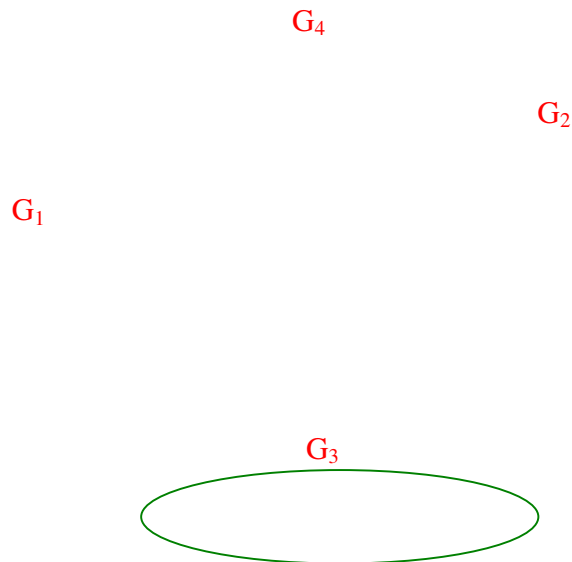


Figure 5 : ACPN des caractéristiques du sol de la station de recherche de Blé : Espace des variables dans le plan factoriel F_1 - F_2 .

On observe ainsi, que la teneur du sol en sable grossier est opposée à celle de l'argile, du limon fin et du carbone organique. Il résulte de ce qui précède que les constituants solides de ce sol, majoritairement constitués de sables grossiers, sont entassés sans aucune liaison, faute de colloïdes. Cela rend le sol filtrant et léger. Les résultats indiquent également que l'acidité actuelle du sol est l'inverse du taux de saturation en bases. Dans ce sol, il y a moins d'ions H^+ que de cations métalliques échangeables fixés sur le complexe. Le sol de la station de recherche de Blé n'a donc pas tendance à s'acidifier mais plutôt à neutraliser les ions H^+ . Au regard de ce qui précède, le facteur 1 représente la tendance du sol à neutraliser les ions H^+ et à

favoriser la floculation du complexe. Le facteur 2 est défini par deux groupes de variables G_3 et G_4 comme le facteur 1. Le groupe G_3 comprend le magnésium (Mg), le fer, l'ion hydrogène H^+ , le zinc (Zn) et le manganèse (Mn) tandis que le groupe G_4 est constitué du sodium (Na^+), du sable fin (Sf), du potassium et, dans une moindre mesure, de la capacité d'échange cationique (CEC) et du rapport C/N. Dans ce sol, le magnésium, le fer et l'ion hydrogène sont fortement corrélés et opposés au sodium. Le complexe absorbe davantage le magnésium que le sodium pour neutraliser les ions H^+ . Le facteur F_2 représente ainsi les facteurs qui peuvent faire varier le pH du sol.

5 DISCUSSION

Les sols des deux sites d'étude appartiennent à la classe des sols ferrallitiques ou Ferralsols ; mais, ils possèdent des caractères différents. Au niveau du site expérimental d'Azaguié, le sol est très riche en argile et, cela proviendrait de l'altération de roches schisteuses observables dans la localité comme l'a signalé Tamia *et al.* (1999). Cette forte richesse en argile a induit une structure compacte qui a rendu le

sol asphyxiant. Toutefois, ce sol ne présente pas de phénomènes pédogénétiques majeurs dans les couches de surface, hormis l'accumulation de matières organiques, alors que ceux de profondeur sont caractérisés par la forte charge en éléments grossiers qui influence également la réserve en eau du sol. Au niveau de la station de recherche de Blé, le sol est caractérisé par sa richesse en sables



grossiers (60 %) et sa pauvreté en argile (1,48 g.kg⁻¹). Cette forte richesse en sables grossiers rend le sol filtrant et léger et cela lui confère une faible stabilité structurale, induisant une grande sensibilité de ce sol aux dégradations physiques (érosion) et chimiques. Ce résultat corrobore les conclusions de Koné *et al.*, (2008) et Koné, (2009) sur la qualité des sols en zone de savane humide de Côte d'Ivoire. Sur l'ensemble des deux sites d'étude, la couleur du sol est homogène sur les horizons de surface tandis qu'elle est hétérogène en profondeur. Ce résultat montre que le drainage interne est bon dans les couches de surface des sols correspondants. Mais, l'hétérogénéité de la couleur observée dans les couches de profondeur serait liée au fait que l'eau dans le sol ne circule pas correctement et, cela peut créer des phénomènes d'oxydo-réduction, sources d'asphyxie des plantes comme l'a signifié Koko *et al.*, (2009). Dans ces deux types de sol, aucune limitation de la profondeur utile par une induration sous forme de carapace ou de cuirasse n'a été observée. La profondeur du sol n'apparaît donc pas comme un facteur limitant à la croissance et au développement des plantes sur ces deux sites. Au plan chimique, les résultats du pH montrent que le sol de la parcelle expérimentale d'Azaguié est acide, alors que celui de la station de recherche de Blé est faiblement acide. Selon Landon (1991), à des faibles valeurs de pH, il se produit dans le sol, de nombreux phénomènes néfastes à la croissance végétale comme la diminution de la nitrification, la déficience en phosphore, la toxicité aluminique et manganique, la faible mobilité des polluants organiques et la grande disponibilité de certains métaux lourds. L'acidité du sol d'Azaguié serait donc responsable de la faible décomposition de la matière organique et son accumulation dans les

horizons de surface contrairement à Blé où le sol est faiblement acide et où la matière organique se décompose rapidement. Au niveau du complexe adsorbant, les valeurs de Ca²⁺ obtenues dans le sol du site expérimental d'Azaguié sont comprises entre 1,32 et 1,72 cmol.Kg⁻¹ et considérées comme de faibles concentrations (Landon, 1991). Il en est de même pour le sol de la station de recherche de Blé dont les valeurs sont comprises entre 0,97 et 1,21. Selon cet auteur, les déficiences en calcium échangeable dans les sols surviennent normalement dans les sols de faibles CEC, à pH ≤ 5,5 ; ce qui est le cas pour le sol de la parcelle expérimentale d'Azaguié. En revanche, la faible teneur en calcium observé dans les couches de surface du sol de la station de recherche de Blé, en dépit de la faible acidité et de la relative forte capacité d'échange cationique du sol pourrait être attribuée à sa migration permanente en profondeur sous l'effet de l'infiltration de l'eau et son remplacement par les ions Mg²⁺. Les valeurs obtenues pour ce macroélément (Mg) varient entre 0,94 et 0,52 cmol.kg⁻¹ dans le sol du site expérimental d'Azaguié et de 1,01 à 1,27 dans celui de la station de recherche de Blé. Ces valeurs de Mg sont nettement supérieures à 0,5 cmol.Kg⁻¹, seuil de déficience en magnésium dans les régions tropicales (Mbonigaba *et al.*, 2009). Les teneurs en K échangeable n'excèdent pas 0,2 cmol.kg⁻¹ pour le sol de la parcelle expérimentale d'Azaguié et de celui de la station de recherche de Blé. Les valeurs qui ne dépassent pas cette concentration sont considérées comme étant très faibles (Voundi Nkana, 1998). Néanmoins, le sol du site de Blé est relativement plus pourvu en potassium que celui d'Azaguié qui contient plus de calcium.

6 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les résultats obtenus à l'issue de ce travail montrent que les sols des deux sites d'étude constituent effectivement deux milieux différents, permettant de tester *Lippia multijflora* dans deux écosystèmes différents. En effet, le sol du site expérimental d'Azaguié est caractérisé par une accumulation de matières organiques dans les couches de surface, alors que celles de profondeur sont caractérisées par le remaniement. Par contre, sur la station de recherche de Blé, le sol est affecté par un phénomène d'hydromorphie en profondeur et les horizons constitutifs du profil observés sont de type

A. Les résultats montrent que le sol du site expérimental d'Azaguié a tendance à s'acidifier. Cette acidification porte à la fois sur le complexe et sur la solution. Dans ce sol, l'argile est mal flocculée et cela rend sa structure compacte, asphyxiante, défavorable à la vie des racines et des micro-organismes. Au niveau du sol de la station de recherche de Blé, la vitesse de décomposition de la matière organique est rapide. Mais, l'absence de liaison entre les particules du sol, due à sa forte charge en sable grossier, rend le sol filtrant et léger. Ainsi, avant l'installation d'une culture sur ces deux



types de sol, nous recommandons de neutraliser l'acidité du sol du site expérimental d'Azaguié et

l'apport de la fumure organique au sol de la station de recherche de Blé.

7 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agnaniet H, Makani T, Akagah A, Menut C. and Bessière JM : 2005. Volatile constituents and antioxidant activity of essential oils from *Lippia multiflora* Mold. Growing in Gabon. Flavour and Fragrance Journal. (20) : 34-38.
- Azontonde A, Feller C, Ganry F. et Remy J. C : 1998. Le mucuna et la restauration des propriétés d'un sol ferrallitique au sud du Bénin. Agriculture et développement. (18) : 55-61.
- Benoît-Vical F, Valentin A, Pelissier Y, Marion C, Castel D, Milhau M, Mallie M, Bastide JM, Diafouka F, Koné-Bamba D, Malan A, Loukou Y, Monet D, Ake Assi L. et Yapo A : 1996. Confirmation in vitro de l'activité antimalarique de certaines plantes d'origine Africaine utilisées en médecine traditionnelle. Médecine d'Afrique Noire. 43 (7) : 393-400.
- Bremner JM : 1996. Nitrogen-total. In : Sparks, DL. (Ed.), Methods of Soil Analysis : Chemical Methods Part 3. Soil Science Society of America Inc, American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, USA : 1085-1122.
- Etou-Ossibi W, Nzonzi J, Mombouli J. V, Nsondé-Ntandou GE, Ouamba JM, et Abena AA : 2005. Screening chimique et effet de l'extrait aqueux de *Lippia multiflora* Moldenké sur le cœur isolé de crapaud. Phytotherapie. 3 (5) : 193-198.
- Eyog MO, Adjanooun E, de Souza S. et Sinsin B : 2000. Réseau « Espèces Ligneuses Médicinales ». Compte rendu de la première réunion du Réseau tenue 15-17 décembre 1999 à la Station IITA Cotonou, Bénin (*International Plant Genetic Resources Institute*). 120 p.
- Gee GW. et Bauder JW : 1986. Particle-size analysis. In : Methods of soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods (ed. A. Klute). American society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI: 383-411.
- Koko LK, Kassin KE, Yoro G, N'goran K., Assiri AA, Yao-kouame 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.
- Koné W. A : 2009. Qualité des sols en zone de savane humide de Côte d'Ivoire : utilisation des légumineuses herbacées comme alternative pour une valorisation des terres marginales et une agriculture durable. Thèse de doctorat, Université d'Abobo-Adjamé. Côte d'Ivoire. 194 p.
- Kone WA, Tondoh EJ, Angui KTP, Bernhard-Reversat F, Loranger-Merciris G, Brunet D. and Brédoumi TKS : 2008. Is soil quality improvement by legume cover crops a function of the initial soil chemical characteristics. Nutrient cycling in agroecosystems. 17p.
- Koutika LS, Hauser S. and Henrot J : 2001. Soil organic matter assessment in natural regrowth, *Pueraria phaseoloides* and *Mucuna pruriens* fallow. Soil Biology and Biochemistry. (33) : 1095-1101.
- Kunle O, Okogun J, Egamana E, Emojevwe E. and Shok M : 2003. Antimicrobial activity of various extracts and carvacrol from *Lippia multiflora* extract. Phytomedicine. (10) : 59-61.
- Landon JR: 1991. Booker tropical soil manual. A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. Oxon, UK : Longman. 500 p.
- Mbonigaba JJM, Nzeyimana I, Bucagu C, Culot M: 2009. Caractérisation physique, chimique et microbiologique de trois sols acides tropicaux du Rwanda sous jachères naturelles et contraintes à leur productivité. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2009, 13 (4) : 545-558.
- Nangah KY, Yao-Kouamé A, Yao GF, Kouakou YKN, Alui KA. et Savane I: 2012. Attributs physico-chimiques et contrainte à la productivité agricole des sols du site manganésifère de Lauzoua (Guitry) en Côte d'Ivoire. Journal of Applied Biosciences. 50 : 3459- 3467.



- N'guessan KA : 2005. Caractérisation physico-chimique sommaire des sols à *Lippia multiflora* (Verbenaceae). Mémoire de maîtrise de protection des végétaux et de l'environnement. Université Abobo-Adjamé. Côte d'Ivoire. 43p.
- N'guessan KA : 2007. Incidence de la densité de plantation sur la croissance et le développement de *Lippia multiflora* (Verbenaceae) sur sol remanié de la région de Yamoussoukro. Mémoire de DEA des Sciences de la Terre et des Ressources Minières. Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire. 69 p.
- N'guessan KA : 2012. Incidence de la densité de plantation et du type de semence sur le rendement et les composantes du rendement du thé de savane, cultivé dans les écosystèmes forestiers (Azaguié) et savanicole (Toumodi) et sur les caractéristiques du sol. Thèse de Doctorat de l'Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan. Côte d'Ivoire. 165 p.
- N'guessan Kouamé Antoine et Yao-kouamé Albert : 2010. Filière de commercialisation et usages des feuilles de *Lippia multiflora* (Verbenaceae) en Côte d'Ivoire. Journal of Applied Biosciences. 29: 1743-1752.
- Olsen SR et Sommers LE : 1982. Phosphorus. In Methods of soil analysis. Ed Page et al., Madison, Wisc.: ASA and SSSA : 403-430.
- Oussou KR, Yolou S, Boti JB., Guessennnd KN, Kanko C, Ahibo C. et Casanova J : 2008. Étude chimique et activité antidiarrhéique des huiles essentielles de deux plantes aromatiques de la pharmacopée ivoirienne. European Journal of Scientific Research. 24 (1) : 94-103.
- Roose E et Godefroy J: 1977. Pédogénèse actuelle comparée d'un sol ferrallitique remanié sur schiste sous forêt et sous bananeraie fertilisée de basse Côte d'Ivoire : Azaguié, 1968-1973. Cahier ORSTOM serie pédologie. 15 (4) : 67-94.
- Tamia A, Moreau R, Fortier M, et Yoro G : 1998. Influence du travail du sol sur l'évolution physique d'un sol forestier ferrallitique après défrichement motorisé. Étude et gestion des sols. 6 (1) : 27-39.
- Thomas GW: 1982. In : Methods of soil Analysis : Part 2. Chemical and Microbiological Methods (eds Page A. L., Miller R. H. et Keeney D.R.). American society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI : 159-165.
- Voundi Nkana JC : 1998. Utilisation des déchets de l'industrie du bois en vue de l'amélioration de la fertilité chimique des sols acides tropicaux. Thèse de doctorat : Université de Gand (Belgique).
- Walkley A, Black IA: 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sciences. (37) : 29-36.
- Yang YC, Lee SH, Clark JM. and Ahn YJ: 2004. Insecticidal activity of plant essential oils against *Pediculus humanus capitis* (Anoplura : Pediculidae). Journal of Medical Entomology (41): 699-704.
- Yao-kouamé A. et Allou K: 2008. Propriétés du sol et domestication de *Lippia multiflora* (verbénaceae) en Côte d'Ivoire. Agronomie Africaine. 20 (1) : 97-107.