

Occurrence et composition chimique de l'huile essentielle des feuilles de *Lippia multiflora* M. (thé de savane) selon le pH, les teneurs en Carbone, en Azote et Phosphore du sol en zones de savane guinéenne en Côte d'Ivoire

Loua Barthélémy DIOMANDE^{1*}, Coffi KANKO², Etienne Vama TIA³, Brahim KONE⁴
et Albert YAO-KOUAME⁴

¹ Université Peleforo Gon Coulibaly de Korhogo, Institut de Gestion Agropastorale, Département de l'Agriculture, 01 BP 2486 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

² Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan, UFR SSMT, Laboratoire de Chimie Organique Structurale, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

³ Université Peleforo Gon Coulibaly de Korhogo, UFR Sciences Biologiques, Département de Biochimie, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

⁴ Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Département des Sciences du sol, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

* Correspondance, courriel : dibalne@yahoo.fr

Résumé

Pour améliorer les productions quantitative et qualitative de l'huile essentielle de *Lippia multiflora*, plante adventice aromatique, l'influence du sol via son pH, ses teneurs en C, NT, PT et PA a été évaluée sur les Coefficients d'Abondance-Dominance (CAD) de la plante et la concentration de l'huile essentielle de ses feuilles associée à celle de leurs composantes volatiles. Trois sites de peuplement naturel de *L. multiflora*, au stade de floraison, ont été choisis chacun dans les régions de Bouaflé, Séguéla et Yamoussoukro. Sur chaque site, les CAD ont été évalués et les échantillons de feuilles et de sol ont été prélevés, à mi-versant. La composition chimique de l'huile extraite des feuilles a été analysée. Au niveau du sol, le pH, les teneurs en carbone (C), en azote (N), en phosphore assimilable (P) et en phosphore total (Pt) ont été déterminés. Des corrélations ont été établies entre les paramètres du sol et le CAD ainsi que les teneurs des constituants majoritaires des huiles essentielles. Les résultats ont montré l'influence significative du phosphore assimilable du sol sur l'occurrence et les teneurs des constituants majoritaires des huiles essentielles de *L. multiflora*. Il serait possible de cultiver *L. multiflora*, dans la savane guinéenne, en appliquant le phosphore pour une production importante et l'obtention d'une plus grande concentration de Citral, 1,8-Cinéole et Linalol dans l'huile essentielle des feuilles.

Mots-clés : *Lippia multiflora*, huile essentielle, chimiotype, écosystème, mi-versant, interaction des nutriments.

Abstract

Occurrence and Leaf extractable essential oil of *Lippia multiflora* M. (Verbenaceae) contents as affected by soil acidity, carbon, nitrogen and phosphorus contents in guinean savannah of Côte d'Ivoire

For generating a strategy of quantitative and qualitative productions of invasive aromatic plant, *L. multiflora*, influence of soil pH and the contents of organic carbon (C), total nitrogen (NT), total (PT) and available (PA) phosphorus were explored via dominant-abundance index (DAI) of species as well as the leaf extractable essential oil constituents contents. In three sites (Bouaflé, Séguéla and Yamoussoukro), corresponding DAI were recorded coupled with soil and leaf sampling at middle slope. Soil pH and the contents of C, NT, PT and PA were determined as well as the concentrations of essential oil constituents. The relationship was established between soil parameters and DAI thus those majority constituents of essential oil contents. The result showed significant influence between PA and occurrence thus those essential oils majority constituents of *L. multiflora* contents. In order to produce and to obtain high quantity of *Citral*, *1,8-Cinéole* et *Linalol* of essential oil from leaf, the cultivation of *L. multiflora* may be possible, in guinean savannah, with the applying phosphorus.

Keywords: *Lippia multiflora*, essential oil, chemotype, ecosystem, middle slope, nutrients relationship.

1. Introduction

Lippia multiflora Moldenke (thé de savane), est un arbuste aromatique boisé en végétation naturelle dans les écologies tropicales. Cette plante a été identifiée dans les savanes de l'Afrique occidentale, de la Gambie au Nigéria. En Côte d'Ivoire, elle se développe depuis la zone de contact forêt-savane jusqu'aux régions du Nord en passant les régions du Centre. *Lippia multiflora* connaît, aujourd'hui, un intérêt grandissant à cause de ses vertus biomédicales. En effet, elle offre une diversité d'usages en pharmacopée et en médecine : les infusions de ses feuilles sont traditionnellement utilisées pour le traitement du paludisme, du diabète, des fièvres, des troubles gastro-intestinaux, de la toux, de l'hypertension et, aussi, comme laxatif [1-4]. Outre son potentiel médical, *L. multiflora* pourvoit des adjuvants cosmétiques et pesticides [5-10]. Ces qualités lui sont attribuées essentiellement par l'huile essentielle extractible des feuilles [11,12]. A cet effet, plus de 42 composantes volatiles ont été identifiées dans l'huile de *L. multiflora* [13] avec des propriétés biomédicales spécifiques pour chaque composante [14].

Vu l'intérêt présenté par les composantes chimiques de l'huile essentielle de *L. multiflora*, son utilisation peut être un atout supplémentaire pour les industries pharmaceutique et cosmétique dans les zones de sa prévalence, telles qu'en Afrique sub-saharienne. Cette éventualité y constituerait un moyen de réduction substantielle de la pauvreté et un atout supplémentaire pour les populations rurales, dépendantes d'une économie tertiaire. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de produire de l'huile essentielle en quantité et en qualité voulues pour soutenir durablement une telle industrialisation. Or, *L. multiflora* demeure surtout une plante invasive et la qualité de l'huile essentielle est très variable [9] même à l'intérieur d'une zone écologique et pour un génotype donné avec des effets saisonniers et environnementaux incluant ceux du sol [15]. A cet effet, des travaux visant à développer des systèmes de cultures de *L. multiflora* sont connus [16,17] alors que la détermination des chimiotypes n'a été que descriptive pour différentes zones écologiques [18,19] en absence d'analyse explicative et compréhensive qui permettraient une maîtrise des quantités et qualités de la production. Une telle analyse est possible du fait qu'il est établi des relations entre certaines caractéristiques chimiques du sol et l'occurrence de certaines adventices dans certains écosystèmes de l'Afrique sub-sahariennes [20].

C'est pourquoi, une étude de prospection dans trois zones d'occurrence naturelle de *L. multiflora* en Côte d'Ivoire a lieu pour la cueillette des feuilles et l'analyse chimique de l'huile essentielle en rapport avec un même segment topographique du paysage en considérant le pH du sol ainsi que les teneurs du sol en Carbone (C), azote total (N), phosphore total (PT) et phosphore assimilable (PA). L'objectif étant d'identifier les nutriments du sol qui affecteraient l'occurrence de *L. multiflora* et la nature chimique de son huile essentielle. A terme, on devra recommander une stratégie de gestion de la fertilité des sols pour une production quantitative et qualitative de *L. multiflora*.

2. Matériel et méthodes

2-1. Zones d'étude

L'étude a été conduite dans trois zones géographiques de la Côte d'Ivoire. Il s'agit des départements de Bouaflé, Séguéla et Yamoussoukro situées, respectivement, au Centre-Ouest, au Nord-Ouest et au Centre de la Côte d'Ivoire. Ces zones se distinguent les unes des autres par leur diversité écologique.

2-1-1. Département de Bouaflé

Le département de Bouaflé est à cheval entre les secteurs climatiques mésophile et ombrophile du domaine guinéen. Le climat, de type tropical et bimodal, se caractérise par une longue saison sèche, de mi-octobre à début mars, et une courte saison sèche qui part de mi-juin à mi-juillet. Entre ces deux saisons, s'intercalent les deux saisons pluvieuses [21]. La pluviométrie moyenne annuelle oscille autour de 1150 mm et la température moyenne annuelle varie de 25,2 à 26,5 °C [22]. Le paysage de la zone de Bouaflé est peu accidenté, avec des plateaux culminant entre 200 et 500 m. Les formations géologiques, se rattachant au précambrien, précisément au protérozoïque inférieur ou birimien, se caractérisent par la manifestation d'un métamorphisme léger et par des plissements isoclinaux aux axes de direction N-S à NE-SW. Le substratum géologique est fait de schistes, de cuirasses latéritiques et de roches vertes [23]. Sur ce support, se développe des Ferralsols, des Cambisols et des Gleysols.

La zone de Bouaflé, étant située dans une zone de transition, est couverte par une mosaïque de forêt-savane. La savane, constituée d'étendues de hautes herbes, est parsemée d'importants îlots de forêts denses semi-décidues, de forêts galerie, de forêts claires et de forêts ripicoles. Cette savane est de type arboré. Sa physionomie présente une strate arborescente, constituée essentiellement d'arbustes dont la taille n'excède pas 10 m de haut, et une strate herbacée, de grande taille pouvant atteindre en moyenne 5 m de haut, qui comporte de nombreuses espèces de la famille des poaceae et des arbrisseaux. C'est dans ce type de savane que l'on rencontre *L. multiflora*. Notre site d'étude, dont les coordonnées géographiques sont 07°03,417' N - 005°45,907' W, est situé à mi-versant d'un plateau à sommet gravillonnaire, d'altitude 210 m. Le sol est de type Dystric cambisol. Les principales espèces floristiques identifiées, avec leurs propriétés de peuplement suivant la topographie, sont indiquées dans le **Tableau 1**

2-1-2. Département de Séguéla

Dans le département de Séguéla, règne un climat de transition entre deux types différents, l'un équatorial (guinéen forestier), à deux saisons des pluies, l'autre, sub-équatorial (soudano-guinéen), avec la disparition de la petite saison sèche [24]. La pluviométrie annuelle oscille autour de 1300 mm. La saison pluvieuse part de mai à mi-octobre. Les variations de température sont plus importantes en savane qu'en forêt. L'évapotranspiration potentielle (ETP) est élevée à cause de la forte insolation [25]. L'ETP peut passer d'environ 1480 à 1580 mm par an.

Tableau 1 : Principales espèces floristiques identifiées, avec leurs propriétés de peuplement suivant la topographie, sur le site de Bouaflé

Position topographique	Espèces floristiques et leurs familles	CS	CAD	SA
Sommet	<i>Chromolena odorata</i> (Asteraceae)	95-100%	4 (50 à 75%)	4
	<i>Vitex doniana</i> (Verbenaceae)		1 (ε à 5%)	1
Haut de versant	<i>Pennisetum purpureum</i> (Poaceae)	95-100%	4 (50 à 75%)	5
	<i>Margaritaria discoidea</i> (Phyllanthaceae)		1 (ε à 5%)	1
Mi-versant	<i>Lippia multiflora</i> (Verbenaceae)	95-100%	2 (5 à 25%)	1
	<i>Andropogon gayanus</i> (Poaceae)		3 (25 à 75%)	3
	<i>Andropogon macrophyllus</i> (Poaceae)		2 (5 à 25%)	3
	<i>Borassus aethiopum</i> (Borassoïdeae)		1 (ε à 5%)	1
	<i>Bridelia ferruginea</i> (Euphorbiaceae)		1 (ε à 5%)	1
	<i>Desmodium velutinum</i> (Fabaceae)		1 (ε à 5%)	1
	<i>Ficus sur</i> (Moraceae)		1 (ε à 5%)	1
	<i>Ficus vallis-choudae</i> (Moraceae)		1 (ε à 5%)	1
	<i>Hyparrhenia diplandra</i> (Poaceae)		3 (25 à 75%)	3
	<i>Terminalia glaucescens</i> (Combretaceae)		1 (ε à 5%)	1
Bas de versant	<i>Lippia multiflora</i> (Verbenaceae)	90-95%	2 (5 à 25%)	1
	<i>Imperata cylindrica</i> (Poaceae)		3 (25 à 75%)	4
	<i>Panicum phragmitoides</i> (Poaceae)		3 (25 à 75%)	3
	<i>Raphia hookeri</i> (Arecaceae)		1 (ε à 5%)	3
	<i>Aframomum latifolium</i> (Zingiberaceae)		3 (25 à 75%)	2
	<i>Piliostigma thonningii</i> (Fabaceae)		1 (ε à 5%)	1
	<i>Terminalia glaucescens</i> (Combretaceae)		1 (ε à 5%)	1
	<i>Pseudarthria hookeri</i> (Fabaceae)		1 (ε à 5%)	1
	<i>Cochlospermum planchonii</i> (Bixaceae)		1 (ε à 5%)	1
	<i>Indigofera berhautiana</i> (Fabaceae)		2 (5 à 25%)	3
<i>Hymenocardia acida</i> (Euphorbiaceae)	1 (ε à 5%)	1		
<i>Sorghastrum bipennatum</i> (Poaceae)	2 (5 à 25%)	4		

CS : Couverture du Sol ; CAD : Coefficient d'Abondance- dominance; SA : Sociabilité d'Agrégation

Source : [27]

Le déficit hydrique pendant la saison sèche est d'environ 500 mm pendant 7 mois [26]. Le paysage est dominé par des plateaux dont l'altitude varie entre 200 et 300 m. Le socle géologique, figé au précambrien, est formé essentiellement de roches cristallines (granites calco-alkalins, porphoroides et hyperalkalins) et de roches métamorphiques (schistes, quartzites et amphibolites) [28]. Les sols rencontrés, à Séguéla, appartiennent aux classes des Ferralsols, des Gleysols, des Histosols et des Vertisols. La zone de Séguéla se situe dans une zone de contact de forêt-savane, s'étendant sur une largeur de 30 à 40 km. Au Nord-Ouest, le contact est fait d'interpénétrations dans la forêt, par une coulée de savane, formant de nombreuses digitations. Dans le secteur médian, la transition consiste en une imbrication d'îlots forestiers discontinus, soit très découpés, soit plus massifs, dans une savane très ramifiée. Au Sud-Est, le contact prend une forme linéaire suivant une orientation NO-SE [28]. Ces savanes sont, pour la plupart, herbeuses où existent des arbustes épars. La taille moyenne des espèces herbacées avoisine 5 m de haut. Ce sont ces types de savanes qui constituent le biotope de *L. multiflora*.

Tableau 2 : Principales espèces floristiques identifiées, avec leurs propriétés de peuplement suivant la topographie, sur le site de Séguéla

Position topographique	Espèces floristiques	CS	CAD	SA
Sommet	<i>Daniella oliveri</i> (Fabaceae)		1 (ε à 5%)	1
	<i>Securinea virosa</i> (Phyllanthaceae)		1 (ε à 5%)	1
	<i>Piliostigma thonningii</i> (Fabaceae)		1 (ε à 5%)	1
	<i>Albizia zygia</i> (Fabaceae)	70-80%	+ (ε à 5%)	1
	<i>Hyparrhenia diplandra</i> (Poaceae)		3 (25 à 75%)	4
	<i>Andropogon gayanus</i> (Poaceae)		3 (25 à 75%)	3
	<i>Hyptis suaveolens</i> (Lamiaceae)		3 (25 à 75%)	3
Haut de versant	<i>Lippia multiflora</i> (Verbenaceae)		2 (5 à 25%)	1
	<i>Daniella oliveri</i> (Fabaceae)		1 (ε à 5%)	1
	<i>Parinari curatellifolia</i> (Chrysobalanaceae)		1 (ε à 5%)	1
	<i>Bridelia ferruginea</i> (Euphorbiaceae)		1 (ε à 5%)	1
	<i>Piliostigma thonningii</i> (Fabaceae)		1 (ε à 5%)	1
	<i>Ficus vallis-choudae</i> (Moraceae)		1 (ε à 5%)	1
	<i>Parkia biglobosa</i> (Fabaceae)		1 (ε à 5%)	1
	<i>Pterocarpus erinaceus</i> (Fabaceae)	95-100%	1 (ε à 5%)	1
	<i>Lophira lanceolata</i> (Ochnaceae)		1 (ε à 5%)	1
	<i>Hymenocardia acida</i> (Euphorbiaceae)		1 (ε à 5%)	4
	<i>Hyparrhenia diplandra</i> (Poaceae)		1 (ε à 5%)	4
	<i>Imperata cylindrica</i> (Poaceae)		3 (25 à 75%)	3
	<i>Andropogon gayanus</i> (Poaceae)		3 (25 à 75%)	2
	<i>Pseudarthria hookeri</i> (Fabaceae)		3 (25 à 75%)	1
	Mi-versant	<i>Lippia multiflora</i> (Verbenaceae)		2 (5 à 25%)
<i>Bridelia ferruginea</i> (Euphorbiaceae)			1 (ε à 5%)	1
<i>Dichrostachys cinerea</i> (Fabaceae)			1 (ε à 5%)	4
<i>Lophira lanceolata</i> (Ochnaceae)			+ (peu abondant)	1
<i>Nauclea latifolia</i> (Rubiaceae)			+ (peu abondant)	1
<i>Pterocarpus erinaceus</i> (Fabaceae)			2 (5 à 25%)	1
<i>Pericopsis laxiflora</i> (Fabaceae)		90-95%	1 (ε à 5%)	1
<i>Piliostigma thonningii</i> (Fabaceae)			1 (ε à 5%)	1
<i>Cochlospermum planchonii</i> (Bixaceae)			1 (ε à 5%)	1
<i>Hyparrhenia diplandra</i> (Poaceae)			1 (ε à 5%)	4
<i>Sorghastrum bipennatum</i> (Poaceae)			3 (25 à 75%)	4
<i>Euclasta condylotricha</i> (Poaceae)			3 (25 à 75%)	4
<i>Imperata cylindrica</i> (Poaceae)			3 (25 à 75%)	4
Bas de versant	<i>Lippia multiflora</i> (Verbenaceae)		2 (5 à 25%)	1
	<i>Cussonia barteri</i> (Araliaceae)		1 (ε à 5%)	1
	<i>Ficus sur</i> (Moraceae)		1 (ε à 5%)	1
	<i>Nauclea latifolia</i> (Rubiaceae)		1 (ε à 5%)	1
	<i>Parkia biglobosa</i> (Fabaceae)		1 (ε à 5%)	1
	<i>Aframomum latifolium</i> (Zingiberaceae)	90-95%	1 (ε à 5%)	1
	<i>Terminalia glaucescens</i> (Combretaceae)		1 (ε à 5%)	1
	<i>Melanthera scandens</i> (Asteraceae)		1 (ε à 5%)	3
	<i>Euclasta condylotricha</i> (Poaceae)		3 (25 à 75%)	3
	<i>Andropogon tectorum</i> (Poaceae)		(25 à 75%)	4
<i>Andropogon macrophyllus</i> (Poaceae)		2 (5 à 25%)	2	
		2 (5 à 25%)	2	

CS : Couverture du Sol ; CAD : Coefficient d'Abondance- dominance ; SA : Sociabilité d'Agrégation. Source : [27]

Notre site d'étude, dont les coordonnées sont $08^{\circ}00,970'$ - $006^{\circ}39,480'$, est situé à mi-versant d'un plateau à sommet gravillonnaire avec de petits affleurements de granite disséminés çà et là, sur Paraplinthic ferralsol. Son altitude est de 295 m. Les principales espèces floristiques identifiées, suivant la topographie, sont indiquées dans le **Tableau 2**.

2-1-3. Département de Yamoussoukro

Le département de Yamoussoukro est situé dans une zone de transition entre le climat subéquatorial à 4 saisons et le climat tropical à 2 saisons. Il est caractérisé par un climat de type tropical humide, à 4 saisons :

- une grande saison sèche, s'étendant de novembre à février, marquée par un vent sec et chaud,
- une grande saison pluvieuse, de mars à juin,
- une petite saison sèche, de juillet à août,
- une petite saison pluvieuse, à grosses averses, de septembre à octobre.

La zone de Yamoussoukro est soumise à une pluviométrie annuelle comprise entre 1100 et 1200 mm, une hygrométrie moyenne annuelle de l'ordre 60 à 70 p.c, une température moyenne annuelle variant entre $25,3$ à $28,6$ °C, et un bilan hydrique climatique déficitaire (-631 mm) sur 8 mois [29]. Les roches, à des degrés divers, ont une influence sur les formes du relief. Dans l'ensemble, les granites altérés ont donné des paysages de basses collines, aux versants étirés. Toutefois, certains granites, plus résistants, donnent des plateaux bien individualisés. Des phénomènes subactuels et paléoclimatiques d'érosion ont dégagé, en de nombreux points, des croupes granitiques, qui affectent profondément le paysage. Le relief culmine, du Sud au Nord, entre 80 et 180 m. Les formations géologiques, datant du précambrien, sont formées granites, de migmatites, de flysch, de pegmatites [30], de schistes, de grauwares et les roches vertes [31]. Dans cette zone, existent des Cambisols, des Ferralsols et des Gleysols.

Le département de Yamoussoukro se trouve dans le secteur mésophile du domaine guinéen [32]. Dans cette région, l'on rencontre les savanes sur sols drainés, sur sols marécageux et sur sols alluvionnaires. Les savanes sur sols drainés sont les plus étendues. Les deux autres sont plus réduites et disséminées dans le premier. L'ensemble de ces savanes présente de grandes étendues de hautes Graminées, des essences ligneuses, généralement, de dimensions médiocres, résistant aux feux de brousse, originaires des forêts claires soudanaises. Dans ces savanes, de nombreuses forêts-galeries, densément boisées, encadrent les cours d'eau. Ces forêts se composent en majorité d'arbres et de lianes ligneuses de forêts denses. C'est dans la savane sur sols drainés que pousse *L. multiflora*. Notre site d'étude, dont les coordonnées géographiques sont $06^{\circ}54,476'$ N - $005^{\circ}13,226'$ W, est situé sur le mi-versant d'un plateau, haut d'environ 150 m, avec un sommet comportant une carapace ferrugineuse. Le sol est de type Dystric cambisol. Les principales espèces floristiques identifiées, avec leurs propriétés de peuplement suivant la topographie, sont indiquées dans le **Tableau 3**.

Tableau 3 : Principales espèces floristiques identifiées, avec leurs propriétés de peuplement suivant la topographie, sur le site de Yamoussoukro

Position topographique	Espèces floristiques	CS	CAD	SA
Sommet	<i>Lonchocarpus sericeus (a)</i>	95-100%	1 (ε à 5%)	1
	<i>Lonchocarpus cyanescens (a)</i>		1 (ε à 5%)	1
	<i>Margaritaria discoidea (Phyllanthaceae)</i>		1 (ε à 5%)	1
	<i>Ficus exasperata (Moraceae)</i>		1 (ε à 5%)	1
	<i>Ficus sur (Moraceae)</i>		1 (ε à 5%)	1
	<i>Combretum sp (Combretaceae)</i>		1 (ε à 5%)	2
	<i>Andropogon macrophyllus (Poaceae)</i>		3 (50 à 75%)	4
	<i>Chromolena odorata (Asteraceae)</i>		3 (50 à 75%)	4
Haut de versant	<i>Lonchocarpus sericeus (a)</i>	95-100%	1 (ε à 5%)	1
	<i>Lonchocarpus cyanescens (a)</i>		1 (ε à 5%)	1
	<i>Margaritaria discoidea (Phyllanthaceae)</i>		2 (5 à 25%)	1
	<i>Ficus sur (Moraceae)</i>		1 (ε à 5%)	1
	<i>Combretum sp (Combretaceae)</i>		1 (ε à 5%)	1
	<i>Andropogon macrophyllus (Poaceae)</i>		3 (25 à 75%)	4
Mi-versant	<i>Lippia multiflora (Verbenaceae)</i>	95-100%	2 (5 à 25%)	1
	<i>Borassus aethiopum (Borassoïdeae)</i>		1 (ε à 5%)	1
	<i>Bridelia ferruginea (Euphorbiaceae)</i>		1 (ε à 5%)	1
	<i>Desmodium velutinum (Fabaceae)</i>		1 (ε à 5%)	1
	<i>Terminalia glaucescens (Combretaceae)</i>		1 (ε à 5%)	1
	<i>Pericopsis laxiflora (Fabaceae)</i>		1 (ε à 5%)	1
	<i>Hyparrhenia dissoluta (Poaceae)</i>		3 (25 à 75%)	4
	<i>Hyparrhenia diplandra (Poaceae)</i>		3 (25 à 75%)	4
	<i>Loudetia arundinacea (Poaceae)</i>		2 (5 à 25%)	2
	<i>Cochlospermum planchonii (Bixaceae)</i>		1 (ε à 5%)	1
Bas de versant	<i>Pennisetum purpureum (Poaceae)</i>	90-95%	4 (50 à 75%)	4
	<i>Loudetia arundinacea (Poaceae)</i>		2 (5 à 25%)	4
	<i>Ficus vallis-choudae (Moraceae)</i>		1 (ε à 5%)	1
	<i>Hyparrhenia dissoluta (Poaceae)</i>		3 (25 à 75%)	4

CS : Couverture du Sol ; CAD : Coefficient d'Abondance- dominance ; SA : Sociabilité d'Agrégation

Source : [27]

2-2 Echantillonnage de la plante et du sol

Un échantillonnage stratifié égal [33] a été réalisé à chaque mi-versant sur les sites de Bouaflé, Séguéla et Yamoussoukro. Au stade de floraison de *L. multiflora* (novembre), les feuilles ont été prélevées sur trente-deux (32) pieds choisis au hasard sur 1 ha au zénith (11h-12h). Les feuilles prélevées ont été mélangées afin d'homogénéiser l'ensemble. De cet ensemble, 1 kg d'échantillon composite de feuilles a été confectionné et conservé à la carboglace jusqu'au lieu de séchage. Durant l'échantillonnage des feuilles, à l'aide d'une tarière, un échantillon composite de sol (1 kg) a été également prélevé, là où les feuilles ont été récoltées, à des profondeurs 0 - 20 cm, 20 - 40 cm, 40 - 60 cm et 60 - 80 cm.

A la même position topographique, aux mêmes profondeurs, non loin de la parcelle de 1 ha de peuplement de *L. multiflora*, des échantillons similaires de sol ont été également confectionnés, là où ne poussent pas *L. multiflora*. Par site, 8 échantillons de sol ont été obtenus pour un échantillon de feuilles. Au total, il y a eu 24 échantillons de sol contre 3 échantillons de feuilles.

2-3 Description de l'occurrence de *L. multiflora*

Au niveau de chaque mi-versant, il y a eu des prélèvements des espèces floristiques sur 25 m² pour la strate herbacée et 400 m² pour la strate arborescente. Après description et identification de ces espèces, l'estimation de la fréquence et de la distribution des espèces dominantes a été faite en utilisant successivement les tableaux bruts, différenciés et diagonalisés [34]. En utilisant les échelles d'abondance-dominance [35], des Coefficients d'Abondance-Dominance (CAD) ont été affectés à chaque peuplement de *L. multiflora*.

2-4 Extraction et analyse de l'huile essentielle

Avant l'extraction des huiles, les échantillons de feuilles ont été séchés à l'ombre durant au moins sept jours. Les huiles essentielles ont été obtenues par hydrodistillation durant 3 heures à l'aide d'un appareil de type Clevenger. L'analyse des huiles essentielles a été effectuée par la chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse. Le couple chromatographe en phase gazeuse et spectromètre de masse est de type Hewlett-Packard (GC 5890 série II). Le mode opératoire utilisé a été décrit par [10]. Les spectres de masse des différents constituants sont analysés par un système informatique gérant une bibliothèque de spectre de masse (NBS75K/NIST98) et comparés individuellement aux données de la littérature [36] afin d'identifier les différents composants des huiles essentielles.

2-5 Analyse du sol

Les analyses du sol en laboratoire ont concernées la détermination du pH à l'aide d'électrode en verre sur les suspensions de sols dans un rapport de 1/2,5 (sol/eau). La teneur du sol en Carbone total (C) a été déterminée selon la méthode de Walkley et Black utilisant l'oxydation à froid de la matière organique par le bichromate de potassium (1 N) en présence d'acide sulfurique [37]. La méthode Kjeldhal, a servi à la détermination de la teneur du sol en azote total (N) par la minéralisation de la matière organique à chaud (300 °C) utilisant de l'acide sulfurique, en présence d'un catalyseur (K₂SO₄ + CuSO₄ + Se) pendant 3 heures. Les déterminations des teneurs en phosphores total (PT) et assimilable (PA) ont été réalisées respectivement par la minéralisation totale par voie humide et par extraction sélective des formes du phosphore à l'aide de l'EDTA [37].

2-6 Analyses statistiques

Par la statistique descriptive, les teneurs moyennes du sol en ses composantes chimiques (pH, C, NT, PT et PA) des trois sites d'étude ont été déterminées en différentes profondeurs. Des analyses de corrélation de Pearson ont été effectuées entre les paramètres de peuplement (CAD et SA) de *L. multiflora* et les teneurs du sol en C, N, PT et PA en différentes profondeurs du sol (0 - 20 cm, 20 - 40 cm, 40 - 60 cm et 60 - 80 cm) par site. Des analyses similaires ont été effectuées pour la composition chimique de l'huile essentielle. Ces analyses ont été faites à l'aide du logiciel SAS version 8 au seuil de $\alpha = 5\%$.

3. Résultats

3-1. Relation sol et occurrence de *L. multiflora*

Le **Tableau 4** présente les valeurs du pH ainsi que celles des teneurs en C, N, PT et PA à différentes profondeurs des sols sous occurrence de *L. multiflora* et des sols sans *L. multiflora* dans chaque localité. Ce **Tableau** révèle que les sols des sites d'étude ont une faible acidité ($5,5 < \text{pH} < 6,5$), des teneurs en C et N exclusivement faibles ($< 1\text{g.kg}^{-1}$) et les teneurs moyennes en PT élevées ($> 50\text{mg.kg}^{-1}$) aussi bien sous occurrence que sans occurrence de *L. multiflora*. Quant au PA, dans chaque localité, sa teneur moyenne reste faible ($< 25\text{mg.kg}^{-1}$) dans les sols sans occurrence de *L. multiflora* tandis qu'elle est normale (comprise entre 25 et 50 mg.kg^{-1}) sous occurrence de *L. multiflora*.

Tableau 4 : Teneurs des sols en C, N, PT et PA ainsi que le pH associées au CAD correspondant pour chacun des sites étudiés selon la profondeur du sol

Site	P (cm)	pH		C (g/kg)		N (g/kg)		PT (mg/kg)		PA (mg/kg)		CAD	
		AL	SL	AL	SL	AL	SL	AL	SL	AL	SL	AL	SL
Bouaflé	0-20	6,5	6,5	0,9	0,89	0,08	0,09	118	110	33	23		
	20-40	6,5	6	0,81	0,80	0,06	0,04	87	97	26	19	2	0
	40-60	6	6	0,25	0,27	0,04	0,03	107	114	30	20		
	60-80	6	6	0,09	0,1	0,02	0,03	98	78	28	28		
Séguéla	0-20	6	6	0,62	0,59	0,05	0,05	118	108	45	24		
	20-40	5,5	5,5	0,46	0,45	0,04	0,06	72	82	57	25	2	0
	40-60	5,5	5	0,42	0,44	0,04	0,03	118	121	65	15		
	60-80	5,5	5	0,40	0,43	0,04	0,04	112	102	71	21		
Yamous-soukro	0-20	6	6	0,18	0,19	0,05	0,04	72	77	30	10		
	20-40	5,5	5,5	0,32	0,28	0,04	0,03	94	99	25	15	2	0
	40-60	5,5	5	0,22	0,26	0,03	0,03	185	167	57	27		
	60-80	5,5	5,5	0,12	0,15	0,03	0,03	424	415	66	26		

CAD : Coefficient d'Abondance-Dominance ; AL : Avec Lippia ; SL : Sans Lippia

La corrélation (r) entre les CAD et les paramètres chimiques des sols étudiés, en différentes profondeurs du sol, sont présentées dans le **Tableau 5** associée à leur probabilité respective.

Tableau 5 : Corrélation entre le CAD et les paramètres chimiques (pH, C, N, PT et PA) du sol suivant les différentes profondeurs du sol

Paramètres du sol	Coefficient de corrélation (r) et probabilité ($p > r $) de CAD							
	0 - 20 cm		20 - 40 cm		40 - 60 cm		60 - 80 cm	
	r	$p > r $	r	$p > r $	r	$p > r $	r	$p > r $
pH	-0,33	0,67	-0,23	0,71	-0,20	0,58	-0,10	0,49
C	0,03	0,87	-0,25	0,51	-0,12	0,79	-0,18	0,78
NT	-0,14	0,82	-0,29	0,45	0,40	0,37	0,48	0,41
PT	0,51	0,38	-0,43	0,23	-0,31	0,54	-0,40	0,53
PA	0,72	0,02	0,65	0,04	0,77	0,01	0,56	0,04

On ne note aucune corrélation significative entre pH, C, NT, PT et CAD. Par contre, il y a significativement une bonne corrélation positive ($r > 0,56$), dans toutes les profondeurs, entre la teneur en PA et CAD, pour $\alpha = 0.05$.

3-2. Composition chimique des huiles essentielles selon les sites

Les teneurs des constituants chimiques des huiles essentielles extraites du *L. multiflora* des sites étudiés sont présentées dans le **Tableau 6**. Au total, 41 composants chimiques caractérisent les huiles essentielles de *L. multiflora* des trois localités étudiées. A Bouaflé, Séguéla et Yamoussoukro, on note respectivement 34, 31 et 34 composants chimiques. La nature de ces constituants chimiques et leur teneur varient d'un site à un autre (**Tableau 6**). L'huile essentielle de Bouaflé se caractérise par l'absence de *Cis-Sabinène hydrate* et par la présence de *Epoxide rosefuran* et *Citronellal*. Tandis que celle de Séguéla se distingue par la présence δ -Terpinéol et β -Pinène, et l'absence de *Limonnène*+ β -Phellandrène, *(Z)-Isocitral*, *(E)-Isocitral* et α -Humulène. Cependant à Yamoussoukro, on note dans l'huile essentielle l'absence de *Sesquisabinène*, *Terpinolène* et α -Thujène, et la présence de *1-Octen-3-ol* et β -Elemène.

Quatre groupes chimiques ont été identifiés de ces huiles essentielles : les monoterpènes et sesquiterpènes qu'ils soient hydrocarbonés ou oxygénés. La teneur en monoterpènes hydrocarbonés (MTH) est plus élevée à Séguéla, tandis que celle des monoterpènes oxygénés (MTO) l'est à Bouaflé. Quant aux sesquiterpènes (hydrocarbonés (STH) et oxygénés (STO)), ils sont plus dominants (fortes teneurs) dans l'huile essentielle de Yamoussoukro. Néanmoins, les huiles essentielles de *L. multiflora* obtenues sur nos différents sites d'étude sont riches en MTO. La teneur en MTO vaut presque la moitié de la teneur totale des constituants chimiques à Yamoussoukro. Cependant, à Bouaflé et Séguéla, elle fait plus de 3/5 de la teneur totale (**Tableau 6**) Les types chimiques (chimiotypes) des huiles essentielles étudiées sont différents entre eux. Bouaflé, Séguéla et Yamoussoukro présentent respectivement le chimiotype *Citral (Géranial + Néral)*, *1,8-Cinéole* et *Linalol*.

Tableau 6 : Teneurs en constituants chimiques des huiles essentielles de *L. multiflora* récolté dans les sites étudiés

Teneur des constituants chimiques (%)	Bouaflé	Séguéla	Yakro
Monoterpènes hydrocarbonés			
α-Thujène	tr	0,3	.
α-Pinène	0,5	2,7	0,2
Sabinène	1	11,6	0,6
Terpinolène	tr	0,1	.
β-Pinène	.	1,5	.
(E)-β-Ocimène	0,5	tr	tr
Myrcène	1	3,1	0,2
α-Phellandrène	3,7	5,2	0,6
para-Cymène	5,6	1,4	0,6
Limonène + β-Phellandrène	4,2	.	0,7
(Z)-β-Ocimène	tr	0,8	tr
% des monoterpènes hydrocarbonés	16,5	26,7	2,9
Monoterpènes oxygénés			
1,8 Cinéole	1,9	40,7	1,2
Cis-Sabinène hydrate	.	0,5	tr
6-methyl-5-hepten-2-one	1,9	tr	0,6
Linalol	1,4	10,1	40,9
Citronellal	0,4	.	.
1-Octen-3-ol	.	.	0,2
(Z)-Isocitral	0,9	.	tr
δ-Terpinéol	.	0,5	.
Epoxide rosefuran	0,4	.	.
(E)-Isocitral	1,6	.	tr
α-Terpinéol	0,7	6,8	tr
Néral	25,9	0,9	2,1
Géranol	0,6	tr	0,4
Géranial	34	1,2	2,8
% des monoterpènes oxygénés	69,7	60,7	48,2
Sesquiterpènes hydrocarbonés			
α-Copaène	0,5	tr	0,2
β-Bourbonène	tr	tr	0,8
β-Cubébène	0,5	tr	0,7
β-Elemène	.	.	0,5
(E)-β-Caryophyllène	2,7	4,2	8,6
α-Humulène	tr	.	6,8
(E)-β-Farnésène	4,6	2,8	2,2
Sesquisabinène	0,5	0,4	.
Germacrène D	2,1	4,1	10,1
δ-Cadinène	0,5	tr	1
α-Murolène	tr	tr	0,7
β-Bisabolène	tr	tr	0,6
% des sesquiterpènes hydrocarbonés	11,4	11,5	32,2
Sesquiterpènes oxygénés			
Epi-Cubébol	.	.	0,3
Cubébol	.	.	0,6
(E)-Nérolidol	tr	tr	13,3
Oxide de Caryophyllène	0,9	tr	1
% des sesquiterpènes oxygénés	0,9	tr	15,2
% total des constituants chimiques	98,5%	98,9%	98,5%

3-3 Relation sol et composition chimique de l'huile essentielle

Le **Tableau 7** montre la relation entre le constituant majoritaire de l'huile de chaque zone d'étude et les paramètres chimiques du sol (teneurs en C, NT, PT et PA ainsi que le pH).

Tableau 7 : Corrélation entre les constituants majoritaires des huiles essentielles et les paramètres chimiques du sol

Composants chimiques	Coefficient de corrélation (r) et probabilité (P _{value})									
	pH		C		N		PT		PA	
	r	P _{value}	r	P _{value}	r	P _{value}	r	P _{value}	r	P _{value}
<i>Citral</i>	0,03	0,81	-0,28	0,25	0,01	0,75	0,65	0,10	0,59	0,02
<i>1,8-Cinéole</i>	0,04	0,78	-0,19	0,32	0,08	0,80	0,52	0,30	0,71	<0,00
<i>Linalol</i>	0,08	0,84	-0,31	0,34	0,03	0,93	0,61	0,60	0,68	0,08

Le **Tableau 7** présente de faibles valeurs de coefficient de corrélation ($-0,31 < r < 0,08$) entre pH, C, NT et les trois constituants majoritaires des huiles essentielles issues de nos zones d'étude. Par contre, entre PT et les constituants majoritaires de l'huile essentielle, on note un coefficient de corrélation élevé ($0,52 < r < 0,65$). Cependant, ces coefficients de corrélation n'ont pas une probabilité significative. Au contraire, c'est le PA du sol qui a eu de fortes valeurs de coefficient de corrélation positif ($0,59 < r < 0,71$), associées à des probabilités significatives, avec tous les constituants majoritaires de l'huile essentielle. Cette corrélation est très hautement significative entre PA et *1,8-cinéole* ($P_{value} < 0,01$), hautement significative entre PA et *Citral* ($P_{value} < 0,05$), et significative entre PA et *Linalol* ($P_{value} < 0,1$).

4. Discussion

4-1 Relation sol et occurrence de *L. multiflora*

Les sols des zones d'étude sont acides, avec un pH_{eau} compris entre 5,5 et 6,5, correspondant à une acidité modérée. L'acidification est un phénomène qui se produit naturellement dans les sols tropicaux les plus humides. Les causes sont liées, en général, aux faibles teneurs en cations basiques dans les sols [38]. L'acidification a d'importants effets sur la croissance des plantes. Les milieux très alcalins et très acides nuisent généralement à la vie des plantes [39]. Dans les sols étudiés, l'acidité étant modérée, elle est favorable à un bon développement de nombreuses espèces végétales [40]. Ce qui expliquerait la multiplicité d'espèces floristiques qui côtoient *L. multiflora*. Les teneurs en carbone et azote dans les sols, de nos différentes zones d'étude, sont faibles. Ces niveaux faibles de carbone et d'azote caractérisent bien les sols sous savane guinéenne.

En effet, le carbone et l'azote du sol proviennent essentiellement des végétaux supérieurs, après décomposition de la litière [41]. Dans cette savane, la plupart des facteurs, influençant la dynamique de cette litière, favorise la perte de carbone et de l'azote du sol. Il s'agit principalement des feux de brousse cycliques [42] et les systèmes de culture itinérante [43]. Les feux de brousse consomment toute la matière végétale sèche pour la transformer en cendre (matière très érodable). Les systèmes de culture itinérante ne donnent pas le temps nécessaire au sol de reconstituer son stock naturel de carbone et d'azote [44]. Malgré, le rôle important que l'azote joue dans la nutrition des végétaux supérieurs, *L. multiflora* n'est pas exigeante en azote, pour sa nutrition [45]. C'est plutôt le phosphore qui joue un rôle prépondérant dans la nutrition de *L. multiflora* [46], car, cette plante pousse là où la teneur en phosphore assimilable est élevée.

Ce qui explique la corrélation significative positive ($r > 0,56$), dans toutes les profondeurs, entre la teneur en PA et CAD, pour $\alpha = 0,05$. La teneur en phosphore total est beaucoup supérieure à celle du phosphore assimilable. En effet, dans les sols tropicaux, seulement quelques kilogrammes de phosphore sont présents en solution dans les sols, sous forme de composés anioniques tels que le P (HPO_4^{2-} , HPO_4^-), directement assimilables par les plantes [47]. Les phosphates se trouvent, généralement, associés à des cations, à des oxydes ou à des hydroxydes métalliques dans les sols. En Côte d'Ivoire, les différentes formes de phosphore qu'on y rencontre sont les phosphates de chaux, d'alumine, de fer et le phosphore organique [38]. Le niveau de disponibilité des différentes formes d'orthophosphates varie grandement. Certains se retrouvent rapidement en solution, d'autres migrent plus lentement, de la phase solide vers la solution, et d'autres ne se solubilisent qu'avec l'activité d'organismes vivants [48].

4-2 Composition chimique des huiles essentielles selon les sites

Au total, 41 composés ont été identifiés dans l'huile essentielle de *L. multiflora* dans les trois localités étudiées. On peut conclure que l'huile essentielle produite par *L. multiflora* est riche en éléments chimiques, comparativement aux huiles essentielles extraites de *Ruta chalepensis*, *Erigeron floribundus* et *Aframomum latifolium* qui comprennent respectivement 20, 31 et 38 composés chimiques [49,50]. Les huiles essentielles obtenues sur les trois sites ont une forte teneur en monoterpènes. Cette caractéristique chimique est conforme aux huiles essentielles telles que décrites par [51]. De surcroît, ces huiles sont très concentrées en monoterpènes oxygénés, concordant avec les résultats d'analyses de [9]. Les chémotypes *Citral* (*Géranial + Néral*), *1,8-Cinéole* et *Linalol* ont été déterminés. Ces chémotypes font partir des douze (12) décrits par [52] à travers seize régions de la Côte d'Ivoire.

4-3 Relation sol et composition chimique de l'huile essentielle

Le *Citral* (*Géranial + Néral*) a été identifié à Bouaflé, *1,8-Cinéole* à Séguéla et *Linalol* à Yamoussoukro. Cette différence de chimiotype est probablement liée à des différences génétiques de *L. multiflora* [53] et à la différence de latitude [54]. Cependant, l'effet de l'interaction de *L. multiflora* avec l'environnement tel que mentionné par [55] peut s'avérer la plus déterminante dans ces trois différentes zones agro-écologiques étudiées. En effet, la teneur du sol en phosphore assimilable a montré une influence sur la teneur des constituants majoritaires de l'huile essentielle des feuilles dans toutes les localités étudiées, à travers les corrélations très hautement significative entre PA et *1,8-cinéole* ($P_{\text{value}} < 0,01$), hautement significative entre PA et *Citral* ($P_{\text{value}} < 0,05$), et significative entre PA et *Linalol* ($P_{\text{value}} < 0,1$). Ce résultat s'expliquerait par le caractère temporelle du phosphore fixé, composé majoritairement de Al-P, Fe-P et Ca-P dans des conditions de pH faible ($< 5,5$), contrastant avec les caractéristiques du sol de nos zones d'étude. Il va s'en dire que ces liaisons chimiques sont formées dans des conditions précaires, les prédisposant facilement à une rupture.

En effet, diverses interactions chimiques dans le sol faisant intervenir des anions peuvent libérer le -P pour sa biodisponibilité [56], dépendant des conditions locales. A la lumière de cette analyse, le phosphore est indiscutablement le nutriment du sol le plus important pour une production qualitative de l'huile essentielle. Ce rôle dans la production des huiles essentielles a été mis exergue par [57] sur le cumin en indiquant une dose optimale ($40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) pour l'obtention de fortes concentrations d'huile essentielle de cumin alors que des études similaires sont peu connues pour l'amélioration de la production d'huile chez *L. multiflora*. Des investigations des doses de P sur les productions quantitative et qualitative des substances volatiles de l'huile essentielle de *L. multiflora* sont à envisager dans les études futures.

Trois niveaux de signification de corrélation observés pour les trois constituants majoritaires, dans la présente étude, indique que la biosynthèse d'un constituant donné, dépend d'une dose précise de P. En effet, le phosphore rentre dans la constitution de l'isoprène actif ou IPP (Isopentenyl pyrophosphate), l'unité de base de l'enchaînement des terpènes [58]. Il joue un rôle important dans la physiologie des plantes aromatiques [59]. Une contribution essentielle de cette étude est d'identifier des composantes de la nutrition végétale pouvant influencer l'occurrence et la variabilité de chimiotypes de l'huile essentielle de *L. multiflora* faisant ainsi une ouverture pour l'approfondissement des connaissances en vue d'une maîtrise des stratégies de production de cette espèce végétale à fort potentiel économique qui reste néanmoins, une espèce adventice.

5. Conclusion

Outre les travaux déjà réalisés qui indiquent l'acidité du sol comme un critère d'occurrence de *L. multiflora* dans les écosystèmes, notre étude révèle l'importance de la biodisponibilité du phosphore dans le sol. La teneur du phosphore influence, non seulement, l'occurrence de *L. multiflora* mais aussi la biosynthèse des constituants chimiques de l'huile essentielle. Les composantes volatiles dominantes identifiées sont Citral (Géranial+Néral), 1,8-Cinéole et Linalol. Pour ces composantes, le phosphore a montré une influence sur leurs concentrations respectives. Il a été recommandé d'approfondir ces résultats par des tests impliquant la réponse aux doses de P dans différents écosystèmes pour développer une stratégie de production quantitative et qualitative de *L. multiflora*.

Références

- [1] - B. K. NOAMESI, G. I. ADEBAYO and S. O. BAMGBOSE, *Planta Med.*, (3) (1985) 256 - 258.
- [2] - H. C. PHAM and Y. KOFFI, *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids*, 34(2) (1998) 83 - 88.
- [3] - S. JIM, L. WUDENEH, S. MARIANA and A. DAN, "Agribusiness in sustainable natural African plant product: *Lippia tea*", Ph.D Center for New Use Agriculture and Natural Plant Products, (2000) 3p.
- [4] - A. A. ABENA, A. M. DIATEWA, G. GAKOSSOA, M. GBEASSOR, T.H. HONDI- ASSAHA and J. M. OUAMBA, *Fitoterapia*, 74 (2003) 231–236.
- [5] - A. PORSPI, "Ghana herbal pharmacoid", Advance press, Accra, Ghana, (1992) 59 - 61.
- [6] - C. KANKO, G. KOUKOUA, Y. T. N'GUESSAN, J. FOURNIER, J. P. PRADERE & L. TOUPET, *Comptes Rendus Chimie*, 7 (2004) 1029–1032.
- [7] - T. SILOU et J.M. OUAMBA, *Revue med. PHARM. Afr.*, 6 (2) (1992) 36p.
- [8] - F. A. OLADIMEJI, O. O. ORAFIDIYA, T. A. B. OGUNNIYI and T.A. ADEWUNMI, *Journal of Ethnopharmacology*, 72 (1-2) (2000) 305-311.
- [9] - K. R. OUSSOU, S. YOLOU, J. B. BOTI, K. N. GUESSENND, C. KANKO, C. AHIBO and J. CASANOVA, *European Journal of Scientific Research*, 24 (1) (2008) 94-103.
- [10] - V. T. ETIENNE, A. A. AUGUSTIN, L. N. SEBASTIEN, A. GNAGO, T. M. P. L. JEAN and C. MENUT, *Natural Product Communications*, 6 (8) (2011) 1183-1188.
- [11] - IRVINE F. R., "Woody plants of Ghana, with special reference to their uses", 1st ed., London: OXFORD UNIVERSITY PRESS, (1961) 158p.
- [12] - M. E. PASCUAL, K. SLOWING, E. CARRETERO, M. D. SÁNCHEZ and A. VILLAR, *Journal of Ethnopharmacology*, 76 (3) (2001) 201-214.
- [13] - J. G. S. MAIA, M. H. L. SILVA, E. H. A. ANDRADE and L. M. M. CARREIRA, *Journal of Essential Research*, (2005) <http://dx.doi.org/10.1080/10412905.2005.9699030> consulté le 21 avril 2014.

- [14] - A. A. ABENA, J. K. ATIPO-EBATA, A. T. HONDI and M. DIATEWA, *Encephale*, 27(4) (2001) 360-364.
- [15] - OWOLABI S. M., OGUNDAJO A., LAJIDE L., OLADIMEJI O. M., SETZER N. W. and PALAZZO C. M., *Rec. Nat. Prod.*, 3 (4) (2009) 170-177.
- [16] - A. YAO-KOUAMÉ and K. FAKO, *J. Plant Sci.*, 3(4), (2008) 287 – 291.
- [17] - Y. AMEYAW, *Journal of Medicinal Plants Research*, 3(9) (2009) 681-685.
- [18] - K. O. FOLASHADE and E. H. OMOREGIE, *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 02 (01) (2012) 15-23.
- [19] - C. KANKO, G. KOUKOUA and Y. T. N'GUESSAN, *Journal of Essential Oil Research*, 2 (2) (1999) 1-11.
- [20] - B. KONÉ , G. L. AMADJI, A. TOURÉ, A. YAO-KOUAMÉ, T. P. ANGUI and J. HUAT, *African Journal of Ecology*, 51(3), (2013) 402 – 408.
- [21] - M. EL DIN, “*Le climat : In Le milieu naturel de la Côte-d'Ivoire*”, Mémoires ORSTOM, Paris, (50) (1971) 175-108.
- [22] - SODEXAM, “*Données climatiques : Pluviométrie, Température et Evapotranspiration*”, Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique de Daloa, (2013).
- [23] - M. JAUJOU, “*Le levé géologique du degré carré de Bouaké*”, Rapport de fin de mission 1964 -1970, Ministère de l'Economie et des Finances, Direction des mines et de la Géologie —Service géologique, (1970) 151p.
- [24] - G. ROUGERIE, “*Le fractionnement des modelés en Côte d'Ivoire forestière*”, Dakar, Mém. I.F.A.N, 58 (1960) 542 p.
- [25] - M. LATHAM, “*Note explicative de la carte pédologique de reconnaissance au 1/200 000 de Séguéla*”, Ronéo ORSTOM, Abidjan, (1969) 84 p.
- [26] - M. BOLGARSKY, “*Note explicative sur la feuille Daloa-Est : carte géologique de reconnaissance à l'échelle du 500. 000 : levés effectués de 1931 à 1944*”, Grande imprimerie Africaine, (1950) 70 p.
- [27] - L. AKE-ASSI, “*Description des espèces compagnes de Lippia multiflora dans les localités de Kpacouabo (Bouaflé), Niangoro (Séguéla) et N'gbessou (Yamoussoukro)*”, Notes prises sur le terrain, (2012).
- [28] - J.-M. AVENARD, M. EL DIN, G. GIRARD, J. SIRCOULON, P. TOUCHEBEUF, J. L. GUILLAUMET, E. ADJANOHOUN et A. PERRAUD, “*Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*”, ORSTOM, Paris, (1974) 401 p.
- [29] - K. A. ALUI, K. C. BALLO, A. YAPI, K.-K. H. KOUADIO, K. P. KOUADIO, N. TOURE, K. A. N'GUESSAN, K. E. KWADJO and A. YAO-KOUAME, *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*, 3 (1) (2013) 18 - 29.
- [30] - G. SORO, “*Evaluation quantitative et qualitative des ressources en eau souterraines dans la region des lacs (centre de la Côte d'Ivoire) : hydrogéologie et hydrochimie des aquifères discontinus du district de Yamoussoukro et du département de Tiébissou*”, Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody Abidjan, (2008) 250 p.
- [31] - A. YAO-KOUAME, G. F. YAO, A. K. ALUI , A. K. N'GUESSAN, T. P. TIEMOKO and Y. K. KLOMAN, *Afrique Science*, 04(3) (2008) 426 – 451.
- [32] - J. L. GUILLAUMET et E. ADJANOHOUN, “*La végétation de la Côte d'Ivoire. In Le milieu naturel de Côte d'Ivoire*”, Mémoire ORSTOM, Paris, 50 (1971) 161-262.
- [33] - R. WEBSTER and M. A. OLIVIER, “*Statistical methods for soil and land resource survey*”. Oxford University Press, (1990) 316 p.
- [34] - M. GUINOCHE, “*La phytosociologie*”, Collection d'écologie I, Masson édition, Paris, (1973) 227p.
- [35] - J. BRAUN-BLANQUET, N. ROUSSINE et R. NEGRE, “*Les groupements végétaux de la France méditerranéenne*”, Dir. Carte Gr. Vég. Afr. Nord, CNRS, (1952) 292 p.
- [36] - R. P. ADAM'S, “*Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry*”, 4th Edition, Allured Publishing Corporation, (Ed.). Carol Stream, USA, (2007) 803 p.

- [37] - M. PANSU et J. GAUTHEYROU, “*L'analyse du sol - minéralogique, organique et minérale*”, 2^{ème} ed. Paris, Springer-Verlag, (2003) 34-41, 341, 334-347, 558-564, 665-673, 791-828.
- [38] - B. Dabin, “*Les sols tropicaux acides*”, Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., vol, XXI, n°1, (1985) 13 p.
- [39] - D. H. ROBERT, “*Les sols acides des tropiques*”, Echo Note Technique, (2007)12 p.
- [40] - B. KONE, A. SAÏDOU, M. CAMARA et S. DIATTA, *Agronomie Africaine*, 22 (1) (2010) 55 - 63.
- [41] - J. DELMAS (1967), *La terre et la vie*, (21) 216-227.
- [42] - B. KONÉ, S. DIATTA, S. OIKEH, Y. GBALOU, M. CAMARA, D. D. DOHM and A. ASSA, *Canadian Journal of Soil Science*, 89 (3) (2009) 331-342.
- [43] - M. YONI, V. HIEN, L. ABBADIE et G. SERPANTIE, *Cahiers Agricultures*, 14 (6) (2005) 525-533.
- [44] - A. BATIONO and A. BUERKERT, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 61(2000) 131-142.
- [45] - Y. L. ABOUA, “*Essai variétal et essai de fertilisation de Lippia multiflora (Verbenaceae) en zone de forêt*”, Mémoire de DEA, Université de Cocody, UFR STRM, (2007) 60 p.
- [46] - L. B. DIOMANDE, B. KONE, E. V. TIA, T. B. TRA and A. YAO-KOUAME, *Environment and Natural Resources Research*, 4 (2) (2014) 1-13.
- [47] - E. FROSSARD, M. BROSSARD, M. J. HEDLEY and A. METHERELL, “*Reactions controlling the cycling of P in soils. In: Phosphorus in global environment*”, Tiessen H (Eds), John Willey & Sons Ltd, New York, USA, (1995) 107-137.
- [48] - F. LOMPO, M. BONZI, B.V. BADO, Z. GNANKAMBARY, N. OUANDAOGO, M.P. SEDOGO and A. ASSA, *International Journal of Biological and chemical Sciences*, 2 (2) (2008) 175 – 184.
- [49] - S. MERGHACHE, M. HAMZA & B. TABTI, *Afrique Science*, 05(1) (2009) 67-81.
- [50] - J. BRUNETON, “*Pharmacognosie : phytochimie, plantes médicinales*”, Tec & Doc, Lavoisier, Paris, (1993) 915 p.
- [51] - C. KANKO, “*Contribution à l'étude phytochimique de plantes médicinales et aromatiques de Côte d'Ivoire. Activités analgésique et anti-inflammatoire de stérols isolés de l'écorce de Parkia biglosa (Mimosaceae)*”, Thèse de Doctorat d'Etat, Université de CocodyAbidjan, (2010) 150 p.
- [52] - K. E. ADOU, A. S. P. N'GUETTA, A. KOUASSI, C. KANKO, A. YAO-KOUAME, D. P. SOKOURI and M. Y. COULIBALY, *Journal of Applied Biosciences*, 37 (2011) 2441-2452.
- [53] - J. W. PURSEGLOVE, E. G. BROWN, C. L. GREEN and S. R. J. ROBBINS, *Spices*, London & New York, (1981) 744-769.
- [54] - C. BESOMBES, “*Contribution à l'étude des phénomènes d'extraction hydro-thermomécanique d'herbes aromatiques. Applications généralisées*”, Thèse de Doctorat de l'Université de La Rochelle, (2008) 41-45.
- [55] - S. H. CHIEN, P. W. G. SALE and L. L. HAMMOND, “*Comparison of various phosphate fertilizer products*”. In: Proceedings of international symposium on phosphorus requirements for sustainable agriculture in Asia and Oceania, Manila IRRI, (1990)143-156.
- [56] - R.TUNCTÜRK and M.TUNCTÜRK, *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 2 (2006) 336-340.
- [57] - W. R. NES and M. L. MCKEAN, “*Biochemistry of steroids and other isoprenoids*”, Univ.Park Press, Baltimore, (1977) 14-29.
- [58] - F. SIMARD, J.-A. RIOUX, M. TRÉPANIÉ et M.-P. LAMY, “*Stimulation par les champignons endomycorhiziens de la synthèse de composés nutraceutiques et aromatiques dans les fruits et légumes*”, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Québec, Canada, (2013) 2 p.
- [59] - K. KOUAMÉ, T. LASM, J.R. DE DREUZY, A. AKAFFOU, P. DAVY et O. BOUR, *Revue des sciences de l'eau*, 23(1) (2010) 41-56.